NORMA TÉCNICA DE SEGURIDAD Y CALIDAD DE SERVICIO

ANEXO TÉCNICO DE REQUISITOS SÍSMICOS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN

Enero 2025

Santiago, Chile

INDICE

Título I Objetivo, Alcance y Campo de Aplicación 8
Artículo 1 Objetivo General 8
Artículo 2 Alcance General 8
Artículo 3 Alcance Específico 8
Artículo 4 Campo de aplicación 8

Título II Abreviaturas y Definiciones 10
Artículo 5 General 10
Artículo 6 Abreviaturas 10
Artículo 7 Definiciones 11
Artículo 8 Referencias Normativas 19

Título III Funciones, Atribuciones y Obligaciones 22
Artículo 9 Obligaciones del Coordinador 22
Artículo 10 Obligaciones de los Coordinados y/o Propietarios 22
Artículo 11 Obligaciones del Contratista 23
Artículo 12 Obligaciones del Diseñador 23
Artículo 13 Obligaciones del Fabricante de Equipo Eléctrico 24
Artículo 14 Obligaciones del Proveedor de Equipo Eléctrico 24
Artículo 15 Obligaciones del Revisor Sísmico 25

Título IV Nivel de Tensión de los Equipos 26
Artículo 16 Nivel de tensión de los Equipos 26

Título V Disposiciones para el Diseño Sísmico de Equipos 28
Artículo 17 Intensidad sísmica 28
Artículo 18 Solicitaciones sísmicas para el diseño 28
Artículo 19 Espectro de Diseño o RRS 28
Artículo 20 Espectro de Sitio 30
Artículo 21 Factor de Importancia "IE", Factor de Modificación de la Respuesta "R" y Razón de Amortiguamiento "ξ". 31
Artículo 22 Solicitaciones simultáneas con el Sismo de Diseño. 35
Artículo 23 Diseño Sísmico de Equipos 36

Título VI Solicitaciones para el Diseño Sísmico de Equipos 37
Artículo 24 Alcance 37
Artículo 25 Solicitación sísmica (E) para el Sistema Estructural 37
Artículo 26 Solicitación sísmica (E) para Equipos 38
Artículo 27 Solicitaciones debidas a cargas de operación (CO o COs) 38
Artículo 28 Solicitaciones debido a cargas de conexión (T) 39
Artículo 29 Solicitaciones debido a cargas de cortocircuito (Fc) 39
Artículo 30 Solicitaciones debido a condiciones meteorológicas (CA o CAs) 41
Artículo 31 Otras solicitaciones 42
Artículo 32 Combinaciones de cargas 42

Título VII Documentación de Respaldo del Diseño Sísmico 44
Artículo 33 Documentos de respaldo 44
Artículo 34 Memorias de cálculo 44
Artículo 35 Planos 46

Título VIII Clasificación Sísmica de Equipos Eléctricos 48
Artículo 36 Clasificación sísmica de Equipos Eléctricos 48

Título IX Métodos para la Determinación de la Fuerza Sísmica sobre Equipos Eléctricos 50
Artículo 37 Métodos para la determinación de la fuerza sísmica sobre Equipos Eléctricos. 50
Artículo 38 Método Estático 50
Artículo 39 Método de Coeficientes Estáticos 51
Artículo 40 Método Estático Simplificado 52
Artículo 41 Método de Análisis Dinámico por superposición modal espectral 53

Título X Pruebas en Mesa Vibratoria 55
Artículo 42 Proceso para Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos 55
Artículo 43 Pruebas en mesa vibratoria 55

Título XI Métodos y Pruebas para Determinar la Razón de Amortiguamiento 68
Artículo 44 Métodos y pruebas para determinar la razón de amortiguamiento 68
Artículo 45 Pruebas de oscilación libre 68

Título XII Método Especial para la Verificación Sísmica por Grupo de Equipos 71
Artículo 46 Definición del Método de Grupo 71
Artículo 47 Requisitos para utilizar el Método de Grupo 71

Título XIII Esfuerzos de Acoplamiento Mecánico 73
Artículo 48 Acoplamiento mecánico 73

Título XIV Requisitos de Resistencia de Materiales 74
Artículo 49 Requisitos de resistencia 74
Artículo 50 Materiales dúctiles 74
Artículo 51 Materiales no dúctiles y no poliméricos 75
Artículo 52 Determinación de la tensión de ruptura "Rc" para materiales no dúctiles y no poliméricos 76
Artículo 53 Pruebas de ruptura para determinar el valor de resistencia "Rc" en materiales que no sean de aleación de aluminio 77
Artículo 54 Determinación de la tensión de ruptura "Rc" para materiales de aleación de aluminio 79
Artículo 55 Materiales poliméricos 79
Artículo 56 Requisitos mínimos que deben cumplir los informes de pruebas de materiales no dúctiles y los materiales poliméricos 82

Título XV Estructuras de Soporte y Anclajes que Forman Parte del Equipo 83
Artículo 57 Estructuras de soporte que forman parte del Equipo 83
Artículo 58 Reemplazo de estructuras de soporte que forman parte del Equipo 84
Artículo 59 Fijación o anclaje de Equipos 84

Título XVI Requisitos Sísmicos Particulares para Equipos Rígidos y Semi-Rígidos 86
Artículo 60 Equipos Rígidos 86
Artículo 61 Equipos Semi-Rígidos: Transformadores de poder, reactores de poder y similares 86

Título XVII Requisitos Sísmicos Particulares para Equipos GIS y Similares..... 93
Artículo 62 Alcance..... 93
Artículo 63 Descripción general del Equipo 93
Artículo 64 Requisitos Sísmicos..... 93
Artículo 65 Sistema de Anclaje a la fundación 97
Artículo 66 Información Mínima a entregar para el Diseño de la Fundación 99

Título XVIII Requisitos Sísmicos Particulares para Bancos de Condensadores y Similares..... 100
Artículo 67 Equipos de compensación serie de líneas de transmisión..... 100
Artículo 68 Banco de condensadores en derivación o shunt..... 103

Título XIX Requisitos Sísmicos Particulares para Equipos Flexibles con Simetría Respecto a su Eje Vertical..... 104
Artículo 69 Alcance..... 104
Artículo 70 Equipos sin Dispositivos de Amortiguación 105
Artículo 71 Equipos con Dispositivos de Amortiguación 106
Artículo 72 Pararrayos 108
Artículo 73 Transformadores de potencial, condensador de acoplamiento y otros similares..... 110

Título XX Requisitos Sísmicos Particulares para Equipos Flexibles sin Simetría Respecto a su Eje Vertical..... 111
Artículo 74 Alcance..... 111
Artículo 75 Equipos sin Dispositivos de Amortiguación 112
Artículo 76 Equipos con Dispositivos de Amortiguación 114
Artículo 77 Desconectadores..... 116

Título XXI Requisitos Sísmicos Particulares para Interruptores 119
Artículo 78 Interruptores de tanque vivo o live tank 119
Artículo 79 Interruptores de tanque muerto o dead tank 119

Título XXII Requisitos Sísmicos Particulares para Equipos Montados en Altura . 121
Artículo 80 Alcance..... 121
Artículo 81 Equipos montados sobre Estructuras Tipo Parrón 121
Artículo 82 Equipos montados sobre Estructuras Altas 122
Artículo 83 Equipos dentro de edificios o salas, montados en pisos superiores al nivel de terreno..... 123

Título XXIII Equipos Eléctricos Suspendidos 124
Artículo 84 Equipos suspendidos 124

Título XXIV Requisitos Sísmicos Particulares para Otros Equipos..... 126
Artículo 85 Aisladores de pedestal..... 126
Artículo 86 Reactores en aire..... 126
Artículo 87 Banco de baterías acumuladoras..... 127
Artículo 88 Celdas metálicas autosoportadas ancladas a la fundación..... 128
Artículo 89 Equipos de Almacenamiento tipo BESS 129
Artículo 90 Anclaje de Equipos en pisos técnicos 130
Artículo 91 Subestaciones móviles..... 130

Título XXV Conexión de los Equipos a la Red 132
Artículo 92 Alcance 132
Artículo 93 Criterios de validación de una conexión 133
Artículo 94 Conexiones horizontales 133
Artículo 95 Cálculo de la longitud ($L0$) para conexiones horizontales 135
Artículo 96 Configuración de conexiones horizontales aceptables 135
Artículo 97 Conexiones verticales 138
Artículo 98 Conexiones combinadas 139
Artículo 99 Caso especial: Equipos sobre Estructuras Altas 139

Título XXVI Solicitación Sísmica sobre Estructuras y Fundaciones del Sistema de Transmisión 140
Artículo 100 Solicitación sísmica sobre estructuras de soporte y fundaciones de Equipos 140
Artículo 101 Zonificación sísmica 140
Artículo 102 Solicitación sísmica 141
Artículo 103 Nivel Basal 141
Artículo 104 Factor de Importancia "IE", Factor de Modificación de la Respuesta "R" y razón de amortiguamiento "ξ" 141
Artículo 105 Determinación de la fuerza sísmica total mediante Método Estático Equivalente 142
Artículo 106 Determinación de la respuesta sísmica mediante Método de Análisis Dinámico 144

Título XXVII Método Estático Civil para el Diseño Sísmico de Estructuras de Soporte y Fundaciones de Equipos 146
Artículo 107 Alcance 146
Artículo 108 Requisitos para el uso del Método Estático Civil 146
Artículo 109 Estructura de soporte y fundaciones para Equipos Flexibles 146
Artículo 110 Fundaciones para Equipos Rígidos y Semi-Rígidos 148

Título XXVIII Método de análisis Dinámico para Diseño Sísmico de Estructuras de Soporte y Fundaciones de Equipos 151
Artículo 111 Alcances y limitaciones 151
Artículo 112 Sistema Estructural 151
Artículo 113 Criterios de aceptación del diseño 152
Artículo 114 Solicitación sísmica 153
Artículo 115 Información requerida del Equipo 153
Artículo 116 Modelo matemático 153
Artículo 117 Número de modos 154
Artículo 118 Superposición modal 154
Artículo 119 Corte Basal mínimo para el diseño 154

Título XXIX Requisitos Sísmicos para Estructuras de Soporte 155
Artículo 120 Alcance 155
Artículo 121 Solicitaciones de diseño 155
Artículo 122 Requisitos de rigidez global 155
Artículo 123 Requisitos de rigidez local 157
Artículo 124 Definición del Sistema de Fijación del Equipo a la estructura de soporte 157
Artículo 125 Diseño por resistencia de la estructura 157

Artículo 126 Diseño del Sistema de Anclaje de la estructura de soporte a la fundación 158
Artículo 127 Estructura tipo Parrón 159
Artículo 128 Estructuras especiales 159

Título XXX Requisitos Sísmicos para los Sistemas de Anclaje a la Fundación 161
Artículo 129 Requisitos generales 161
Artículo 130 Materiales 162
Artículo 131 Fuerza sísmica para diseño 163
Artículo 132 Pernos de anclaje en general 164
Artículo 133 Cajas de anclaje 164
Artículo 134 Llaves de corte 166
Artículo 135 Topes sísmicos 167
Artículo 136 Pernos de anclaje post instalados 167
Artículo 137 Sistemas de Anclaje a la fundación mediante soldaduras a placas embebidas a la fundación (sin pernos de anclaje) 168
Artículo 138 Diseño 169
Artículo 139 Información requerida por parte del Proveedor del Equipo cuando éste se ancla directamente a la fundación 170

Título XXXI Requisitos de Diseño para Fundaciones 171
Artículo 140 Alcances 171
Artículo 141 Requisitos generales 171
Artículo 142 Requisitos de operatividad 172
Artículo 143 Otros requisitos de resistencia y/o estabilidad 172
Artículo 144 Resistencia a la compresión 172
Artículo 145 Resistencia al arrancamiento para fundaciones diseñadas con la colaboración del cono de suelo. 172
Artículo 146 Estabilidad al volcamiento 172
Artículo 147 Estabilidad al deslizamiento 173
Artículo 148 Diseño de fundaciones tipo dado o zapata 174
Artículo 149 Diseño de fundaciones con micropilotes/barras helicoidales 174
Artículo 150 Requisitos de diseño generales para fundaciones con micropilotes ... 174
Artículo 151 Determinación de esfuerzos en cada micropilote 175
Artículo 152 Verificación de los desplazamientos en la fundación con micropilote 175
Artículo 153 Diseño del micropilote 175
Artículo 154 Pruebas de carga para fundaciones con micropilote 176
Artículo 155 Diseño de fundaciones tipo pilas 176
Artículo 156 Requisitos de diseño generales para fundaciones tipo pilas 177
Artículo 157 Factor de rigidez para pila 177
Artículo 158 Diseño de fundaciones controladas por carga axial para fundaciones tipo pila 179
Artículo 159 Diseño de fundaciones controladas por carga lateral y/o momento basal para fundaciones tipo pila 179
Artículo 160 Verificación de los desplazamientos en la fundación tipo pila 179
Artículo 161 Pruebas de carga para fundaciones tipo pila 179

Título XXXII Requisitos Sísmicos Particulares para Sistemas de Anclaje y Fundaciones de Equipos GIS y Equipos de Compensación Serie 181
Artículo 162 Alcance 181

Artículo 163 Interacción de la fundación y las características del suelo en el comportamiento sísmico del Equipo GIS. 181
Artículo 164 Metodología para el diseño independiente entre el Equipo GIS y su fundación 181
Artículo 165 Requisitos para el diseño de la fundación del Equipo GIS..... 182
Artículo 166 Diseño de los Sistemas de Anclaje del Equipo GIS 185
Artículo 167 Aspectos generales de fundaciones para Equipos de compensación serie 185
Artículo 168 Diseño de la fundación del Equipo compensación serie 186
Artículo 169 Diseño de los Sistemas de Anclaje del Equipo compensación serie ... 186

Título XXXIII Requisitos para la Reutilización de Estructuras de Soporte y/o Fundaciones Existentes 187
Artículo 170 Requisitos para la reutilización de Estructuras de Soporte y fundaciones existentes 187

Título XXXIV Requisitos Sísmicos para Estructuras Altas y para Estructuras de Soporte de Antenas 189
Artículo 171 Alcance 189
Artículo 172 Consideraciones generales 189
Artículo 173 Solicitación sísmica "$A'0$" en la base del Equipo 190
Artículo 174 Diseño de la sección local de la Estructura Alta donde se fija el Equipo 191
Artículo 175 Consideraciones generales para el diseño de Estructuras Altas de Subestaciones 192
Artículo 176 Solicitación Sísmica (E) para el diseño de Estructuras Altas de Subestaciones 192
Artículo 177 Nivel Basal para el diseño de Estructuras Altas de Subestaciones 193
Artículo 178 Fuerza sísmica de diseño de Estructuras Altas de Subestaciones para peso de Equipos menores al 25% del peso total combinado..... 193
Artículo 179 Fuerza sísmica de diseño de Estructuras Altas de Subestaciones para peso de Equipos mayores o igual al 25% del peso total combinado ... 193
Artículo 180 Solicitaciones propias de la Estructura Alta de Subestaciones simultáneas con el Sismo de Diseño 194
Artículo 181 Combinaciones de carga para el diseño de Estructuras Altas de Subestaciones: 194
Artículo 182 Diseño de la Estructura Alta de Subestaciones 196
Artículo 183 Diseño de Estructuras Altas de Subestaciones con Equipos suspendidos o colgados 197
Artículo 184 Diseño de estructura de líneas de transmisión 198
Artículo 185 Diseño de estructura de soporte de antenas 198
Artículo 186 Diseño de fundaciones 199

Título XXXV Requisitos Sísmicos para Otras Obras Civiles dentro de Subestaciones..... 200
Artículo 187 Alcance 200
Artículo 188 Solicitación sísmica de diseño 200
Artículo 189 Factor de Importancia "I" 201
Artículo 190 Factor de Modificación de la Respuesta "R" 202
Artículo 191 Requisitos de diseño 202

Artículo 192 Requisitos generales para el diseño de obras civiles de subestaciones eléctricas 203
Artículo 193 Combinaciones de carga 204
Artículo 194 Diseño de muro corta fuego..... 204
Artículo 195 Diseño de salas eléctricas, casetas de control y otras edificaciones similares 206
Artículo 196 Diseño de salas para Equipos GIS interiores 207
Artículo 197 Diseño de sistemas colectores de aceite 208
Artículo 198 Estanque de agua 209
Artículo 199 Requisitos adicionales para obras de hormigón sin revestimiento para estanqueidad..... 209

Título XXXVI Disposiciones Transitorias 210
Artículo 200 Adecuaciones a las exigencias del Anexo Técnico 210
Artículo 201 Exención justificada a las exigencias del Anexo Técnico..... 210
Artículo 202 Estudio del Estado de Situación de las instalaciones 211
Artículo 203 Información de respaldo para el Estudio del Estado de Situación 212
Artículo 204 Instalaciones validadas mediante normativas extranjeras..... 213
Artículo 205 Entrada en operación de proyectos eximidos de dar cumplimiento a las exigencias técnicas del presente Anexo..... 213
Artículo 206 Entrada en operación de proyectos con exenciones 214

TÍTULO I OBJETIVO, ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN

Artículo 1 Objetivo General

El objetivo del presente Anexo es definir las exigencias mínimas de diseño sísmico que deben cumplir las instalaciones señaladas en el Artículo 3-31 de la NTSyCS, a efectos de que éstas garanticen el cumplimiento de los objetivos de seguridad y calidad de servicio.

Artículo 2 Alcance General

Las disposiciones establecidas en el presente Anexo serán aplicables a las instalaciones de todos los sistemas de transmisión, es decir, del STN, STZ, STD, y STPD; así como sistemas de almacenamiento de energía que presten servicios de transmisión y equipos de compensación de energía. Todo lo anterior, en estricto resguardo del alcance y campo de aplicación definidos en el Artículo 3 y Artículo 4, respectivamente.

Artículo 3 Alcance Específico

Las disposiciones establecidas en el presente Anexo son aplicables a los Equipos Eléctricos, las Estructuras, las Fundaciones y las Obras Civiles correspondientes a las líneas y subestaciones eléctricas que forman parte de las instalaciones de los sistemas de transmisión, incluyendo a las subestaciones eléctricas elevadoras de las centrales de generación que se conectan al Sistema Eléctrico Nacional, sistemas de almacenamiento de energía que presten servicios de transmisión y equipos de compensación de energía que se conectan al SEN.

Los requisitos mínimos establecidos en el presente Anexo están destinados a garantizar tanto la resistencia de las solicitaciones sísmicas como las condiciones de inmediata disponibilidad de operación después de un sismo.

Para efectos del presente Anexo, se entenderá como inmediata disponibilidad de operación la condición de que los daños sufridos por la instalación durante el Sismo de Diseño no deberán obstaculizar su funcionamiento posterior y que, en caso de ser necesarias reparaciones, estas se deberán llevar a cabo de manera que no afecten la continuidad de la operación de la instalación.

Artículo 4 Campo de aplicación

Los requisitos establecidos en el presente Anexo deberán ser considerados por los Proveedores, los Diseñadores, los Revisores, los Contratistas y los Propietarios o Responsables de las instalaciones eléctricas, establecidas en el primer inciso del Artículo 3, en los procesos de diseño y construcción de dichas instalaciones, así como por el Coordinador Eléctrico Nacional.

Los requisitos del presente Anexo son aplicables a la siguiente infraestructura:

1. Los Equipos Eléctricos señalados explícitamente en el presente Anexo y otros Equipos cuyo comportamiento sísmico pueda considerarse como asimilable al comportamiento de alguno de los Equipos señalados en el presente Anexo.

2. Las Estructuras y Obras Civiles señaladas explícitamente en el presente Anexo y todas aquellas cuyo comportamiento sísmico pueda considerarse como asimilable al comportamiento de alguna de las señaladas en el presente Anexo.
3. Los Sistemas de Anclajes de Equipos Eléctricos y de las Estructuras de Soporte de Equipos Eléctricos a la fundación.
4. Las fundaciones de las instalaciones eléctricas establecidas en el primer inciso del Artículo 3.

Considerando que un mismo Equipo Eléctrico y su Estructura de Soporte se pueden instalar en distintas subestaciones, su diseño deberá cumplir con los requisitos de la zona sísmica más desfavorable, independiente de donde se ubique la instalación a la cual se destine el Equipo inicialmente. Como las fundaciones y obras civiles de los equipos son permanentes en el lugar donde se ubica la instalación, solo requieren ser diseñadas para la zona sísmica donde se ubica el proyecto.

Para aquellas instalaciones, o partes de ella, que formen parte de las establecidas en el primer inciso del Artículo 3 y cuya infraestructura presente un comportamiento sísmico no homologable a los Elementos descritos en el presente documento, los propietarios, arrendatarios, usufructuarios o quienes exploten a cualquier título dichas instalaciones, serán responsables de definir las exigencias sísmicas aplicables a dicha infraestructura. El responsable, deberá realizar los mejores esfuerzos para que estas exigencias estén alineadas con el objetivo establecido en el segundo inciso del Artículo 3 de este Anexo.

Tanto la justificación técnica de que el comportamiento sísmico no es homologable, así como las exigencias sísmicas que se definan, deberán ser presentadas al Coordinador previo al inicio de los diseños. Lo antes señalado debe contar con la validación de un Revisor Sísmico, según corresponda. Para la definición de exigencias sísmicas, se podrán utilizar como referencias normas internacionales, así como publicaciones técnicas de organizaciones internacionales reconocidas, como son las señaladas en la letra a) del Artículo 3-3 de la NTSyCS.

Artículo 3

TÍTULO II ABREVIATURAS Y DEFINICIONES

Artículo 5 General

Sin perjuicio de que se aplican las definiciones y abreviaturas establecidas en el Capítulo 1 de la NTSyCS y en el Título II del Anexo Técnico de Diseño, para efectos del presente Anexo se establecen las siguientes abreviaturas y definiciones.

Artículo 6 Abreviaturas

1. Anexo Técnico de Diseño: Anexo Técnico "Exigencias Mínimas de Diseño de Instalaciones de Transmisión" que forma parte de la NTSyCS.
2. Anexo o Anexo Técnico: Anexo Técnico de Requisitos Sísmicos para Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión.
3. DS : Decreto Supremo.
4. GIL : Gas Insulated Line.
5. GIS : Gas Insulated Switchgear.
6. NTSyCS : Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio.
7. SEC : Superintendencia de Electricidad y Combustible.
8. SEN : Sistema Eléctrico Nacional
9. ST : Sistema de Transmisión.
10. STN : Sistema de Transmisión Nacional.
11. STZ : Sistema de Transmisión Zonal.
12. STD : Sistema de Transmisión Dedicada.
13. STPD : Sistema de Transmisión para Polos de Desarrollo.
14. NBA o BIL: Nivel Básico de aislamiento para impulso tipo rayo.
15. BESS: Sistema de almacenamiento de energía por baterías (en inglés Battery Energy Storage System)

Artículo 7 Definiciones

1. **Aceleración Basal "A_0"**

   Aceleración horizontal máxima de referencia del suelo en el sitio de la instalación que caracteriza al Sismo de Diseño.

2. **Aceleración Basal "A_0'"**

   Aceleración horizontal máxima de referencia en la base de Equipos Eléctricos cuando estos se encuentran instalados en altura de acuerdo con la definición en el numeral 17 del presente Artículo.

3. **Acoplamiento del Sistema Estructural**

   Influencia en el comportamiento sísmico de un Sistema Estructural debido al comportamiento sísmico de sus componentes, subsistemas o debido al comportamiento sísmico de otro Sistema Estructural.

   Desde el punto de vista de cálculo de fuerzas sísmicas, corresponden a efectos que no se pueden representar mediante el cálculo de excentricidades equivalentes correspondientes a los centros de masa o rigidez.

4. **Amortiguador o Dispositivos de Amortiguación**

   Dispositivo que permite la disipación de energía sísmica sobre el Equipo Eléctrico durante el movimiento; puede ser del tipo viscoso, en base a fricción o con configuraciones especiales como es el tipo "wire rope", entre otros. Para efectos del presente Anexo deberá entenderse que en esta definición se incluyen también a los Dispositivos de Protección Sísmica señalados en la IEEE 693.

5. **Anexo**

   Se refiere al presente documento, el cual contiene las exigencias mínimas de Diseño Sísmico para instalaciones de transmisión, sistemas de almacenamiento de energía que presten servicios de transmisión y equipos de compensación de energía. Además, este documento forma parte de la NTSyCS.

6. **Anexo de Diseño**

   Se refiere al Anexo Técnico de Exigencias Mínimas de Diseño de Instalaciones de Transmisión que forma parte integrante de la NTSyCS.

7. **Brida o Flange**

   Elemento o componente en los extremos de las columnas de aislación de los Equipos Eléctricos que permite conectar la columna de aislación con otros elementos o componentes del equipo o a su estructura de soporte según corresponda. En el presente Anexo se utilizará "Flange" o "Brida" de manera indistinta.

8. **Combinación de cargas**

   Sumatoria de múltiples solicitaciones que actúan simultáneamente y que se utilizan en conjunto con estándares normativos para el diseño de un Elemento. En general, las combinaciones de carga se clasifican en Combinaciones Normales, que corresponden a distintas combinaciones donde todas las solicitaciones se definen

como normales, y en Combinaciones Eventuales, que corresponden a distintas combinaciones donde al menos una de las solicitaciones es eventual. Para la definición de solicitaciones normales y eventuales, ver los numerales 59 y 60 del presente Artículo.

9. Contratista

Responsable del desarrollo de la ingeniería y/o construcción del proyecto.

10. Corte Basal "Q_b"

Fuerza sísmica total horizontal actuando en el Nivel Basal.

11. Desplazamiento

Para efectos del presente Anexo, se entenderá por desplazamiento a la distancia entre dos posiciones de un mismo punto físico debido a la aplicación de una fuerza. La determinación del valor del desplazamiento se realiza considerando estados de carga no mayorados y las cargas sísmicas sin reducir (cargas elásticas), es decir con un Factor de Modificación de la Respuesta R=1.

12. Diseñador

Profesional responsable del Diseño Sísmico del Elemento. Para efectos del presente Anexo, se entenderá como "Diseñador" al: Diseñador del Equipo, Diseñador de la Estructura de Soporte, Diseñador de la Estructura Alta, Diseñador de la Fundación, Diseñador de la Obra Civil, entre otros, y según corresponda.

13. Diseño Sísmico

Para efectos del presente Anexo, se entenderá como "Diseño Sísmico" tanto al diseño propiamente tal, como a la demostración de que el Elemento cumple con los Requisitos Sísmicos mínimos establecidos en el presente Anexo, siendo la segunda situación la más característica para los Equipos Eléctricos.

14. Elemento

Para efectos del presente Anexo, se entenderá por "Elemento" al equipo eléctrico, estructura, fundación, obra civil, entre otros, cuyos requisitos de Diseño Sísmico están definidos en el presente Anexo. Cada Elemento corresponde a un todo que a su vez puede estar conformado por distintos componentes o elementos secundarios.

15. Equipo o Equipo Eléctrico

Equipo que forma parte de las instalaciones del Sistema de Eléctrico establecidas en el primer inciso del Artículo 3 y para el que los Requisitos Sísmicos están definidos por el presente Anexo. El concepto de "Equipo" en el presente Anexo incluye todos los componentes y/o elementos necesarios para su correcta operación, a excepción de su estructura de soporte cuando ésta no es parte del equipo.

16. Equipos Flexibles y/o Elementos Flexibles

Equipos y/o Elementos cuya Frecuencia Fundamental, es menor a 30 Hz y que se caracterizan por tener masa pequeña en comparación a los Equipos Semi-Rígidos y por tener desplazamientos laterales importantes debido a la acción sísmica, razón

por la cual experimentan aceleraciones a lo largo de su altura mayores a las que experimenta en su base (amplificación dinámica). Ejemplos de estos Equipos incluyen interruptores, pararrayos, desconectadores, transformadores de corriente y de potencial, aisladores de pedestal y otros similares. Por otro lado, ejemplo de Elementos Flexibles son los bushings y las cadenas para la fijación de equipos en suspensión.

17. Equipo Instalado en Altura

Se entenderá como Equipo Instalado en Altura al Equipo Eléctrico que, independiente de su nivel de tensión, se instala sobre una estructura que no cumple con los requisitos definidos en el Artículo 122 y/o no cumple con lo señalado en el Artículo 123 del presente Anexo.

Los Requisitos Sísmicos de estos Equipos y sus Sistemas de Fijación deberán cumplir con los requisitos definidos en el presente Anexo amplificados por los Factores de Amplificación **"Kh"** y **"Kv**" que correspondan a la altura y situación donde se ubica el Equipo.

18. Equipos Rígidos

Equipos cuya Frecuencia Fundamental es mayor o igual a 30 Hz.

19. Equipos Semi-Rígidos

Equipos cuya Frecuencia Fundamental es menor a 30 Hz y que se caracterizan por estar conformados por un componente principal de gran masa y rigidez, normalmente anclado directamente a la fundación, y por Elementos Flexibles de acuerdo con la definición en el numeral 16 del presente Artículo. Ejemplos de estos Equipos son los transformadores de poder, reactores de poder y otros Equipos similares.

20. Espectro de Respuesta Elástico

Corresponde a la respuesta máxima de varios sistemas de un grado de libertad, con comportamiento lineal elástico y diferentes frecuencias fundamentales, para una excitación y amortiguamiento determinado. La respuesta del sistema puede estar expresada en términos de desplazamientos, velocidades o aceleraciones.

21. Espectro de Diseño, Espectro de Respuesta Requerido o RRS

Espectro de Respuesta Elástico expresado en aceleraciones utilizado para definir el nivel de solicitación sísmica de diseño y que corresponde al espectro definido en el Artículo 19 o en el Artículo 20 del presente Anexo según corresponda. Las siglas RRS viene de su nombre en inglés (Required Response Spectrum).

22. Espectro de Respuesta de Prueba o TRS

Corresponde al Espectro de Respuesta de aceleraciones en osciladores matemáticos (teóricos), para una razón de amortiguamiento determinada, calculado a partir de las aceleraciones medidas en la mesa vibradora durante los ensayos de un Equipo. Las siglas TRS viene de su nombre en inglés (Test Response Spectrum).

23. Espectro de Sitio

Espectro de Respuesta de aceleraciones obtenido mediante un Estudio de Amenaza Sísmica para el Sitio, necesario para definir el nivel de solicitación sísmica de diseño cuando el Espectro definido en el Artículo 19 no es válido.

24. Estructuras de Soporte de Equipos o Estructuras Bajas

Las Estructuras de Soporte de Equipos, también conocidas como Estructuras Bajas, corresponden a estructuras de subestaciones cuya función es ser soporte de los Equipos Eléctricos tales como interruptores, pararrayos, desconectadores, transformadores de corriente y de potencial, aisladores de pedestal y otros similares. Estas estructuras no son soporte de conductores de energía eléctrica.

25. Estructuras Altas

Las Estructuras Altas corresponden en general a estructuras cuya finalidad es sostener conductores de energía eléctrica y sus accesorios instalados en altura, pudiendo o no sostener también Equipos. Dentro de esta definición se encuentran las Estructuras Altas de Subestaciones y las Estructuras de Soporte de Líneas de Transmisión.

26. Estructuras Altas de Subestaciones

Corresponden a los denominados pórticos, portales o marcos de líneas y/o barras, a los pilares de malla aérea y a otra estructura de similares características, cuya principal función es resistir el remate de conductores con tensión mecánica según las exigencias meteorológicas y tipo de solicitaciones definidas en los Pliegos RPTD N°10 y RPTD N°11. Estas estructuras podrán o no tener Equipos Eléctricos.

27. Estructuras de Soporte de Líneas de Transmisión

Corresponde a las estructuras que soportan los conductores de las líneas de transmisión, cuya principal solicitación de diseño corresponde a la tensión mecánica de conductores según las exigencias meteorológicas y tipo de solicitaciones definidas en el Pliego RPTD N°11. Estas estructuras normalmente no tienen Equipos Eléctricos.

28. Estructuras de Soporte de Antenas

Corresponden a estructuras cuya finalidad es sostener en altura los Equipos de comunicaciones de la subestación y cuya principal solicitación de diseño corresponde a las exigencias meteorológicas de su lugar de ubicación y las solicitaciones correspondientes a los Equipos de antena a los cuales soportan.

29. Estructuras Tipo Parrón o Parrón

Estructuras modulares, generalmente de disposición rectangular en planta, conformadas por pilares y vigas. La estructuración de un Parrón está definida por su configuración eléctrica para permitir la conexión de conductores energizados desde o hasta cualquiera de sus cuatro lados y normalmente tienen Equipos instalados sobre sus vigas o pilares.

30. Estudio Técnico

Estudio técnico que debe incluir las características de la instalación y la información relevante relativa al diseño sísmico y que, de manera fundada, respalda la imposibilidad de que las ampliaciones o modificaciones realizadas a las instalaciones señaladas en el inciso segundo del Artículo 200, cumplan con las disposiciones establecidas en el presente Anexo.

31. Estudio del Estado de Situación

Estudio técnico que debe incluir toda la información relevante relacionada con el diseño sísmico de las instalaciones eximidas de cumplir con las disposiciones del presente Anexo. Su propósito es proporcionar al Coordinador y a las instituciones que corresponda un análisis detallado del estado real de dichas instalaciones desde una perspectiva sísmica, permitiendo evaluar su comportamiento frente al sismo de diseño definido en este Anexo.

32. Fabricante

Responsable de la fabricación del Elemento.

33. Factor de Amplificación "Kh" y "Kv"

Factor de Amplificación para la solicitación sísmica estática equivalente horizontal **"Kh"** o vertical **"Kv"** que representa el efecto de amplificación dinámica que tiene el comportamiento de un Equipo en particular, o partes del Equipo, según sean las características dinámicas del sistema donde se apoya.

Los valores que se definen en el presente Anexo reconocen la variabilidad de esta respuesta dinámica para situaciones propias en este tipo de instalaciones, tales como, Equipos montados en altura, Equipos sobre estructuras de soporte en voladizo o Equipos instalados horizontalmente, así como partes de Equipos que se encuentran en una situación similar, tales como, soportes de los tanques conservadores de aceite de transformadores de poder y los bushings, entre otros.

34. Factor de Importancia

Factor relativo a la importancia, uso y riesgo de falla de un equipo, estructura u obra civil con respecto a otro dentro de una misma instalación. El valor de este factor está directamente relacionado con el Espectro de Diseño y con la Aceleración Horizontal de Referencia Ao.

35. Factor de Importancia de Equipo Eléctrico "I_E"

Factor de Importancia correspondiente al Equipo Eléctrico de acuerdo con lo señalado en la Tabla 4.

36. Factor de Importancia de Obras Civiles "I"

Factor de Importancia señalado en la Tabla 21. correspondiente a aquellas obras civiles que se diseñan de acuerdo con lo señalado en el Título XXXV.

37. Factor de Modificación de la Respuesta "R" o Factor "R"

Factor de reducción de la aceleración espectral calculada para la Frecuencia Fundamental definida en el numeral 38 del presente Artículo, utilizado en el diseño

por resistencia para reducir las fuerzas sísmicas desde los valores correspondientes a un comportamiento lineal elástico para llevarlas a un nivel de fuerzas de diseño correspondientes a un comportamiento no elástico (no lineal); el valor de este factor toma en cuenta la capacidad de disipación de energía sísmica que tiene el Elemento y su ductilidad (disipación por deformación del material).

38. Frecuencia Fundamental de Oscilación o Frecuencia Fundamental

Frecuencia natural de vibración de un Sistema Estructural en la que participa la mayor masa traslacional equivalente para la dirección de análisis. En el presente Anexo se utilizará "Frecuencia Fundamental de Oscilación" o "Frecuencia Fundamental" de manera indistinta.

39. Frecuencia Equivalente

Parámetro de diseño que permite medir el cumplimiento de uno de los requisitos de rigidez global de la estructura de soporte de Equipo, de acuerdo con lo definido en el numeral 4 del Artículo 122. La Frecuencia Equivalente no es la Frecuencia Fundamental de la estructura de soporte de equipo ni tampoco del Sistema Estructural Equipo + Estructura de soporte.

40. Informe de Mecánica de Suelos

Documento técnico señalado en el Artículo 24 del Anexo Técnico de Diseño, incluyendo la recomendación de definir un Espectro de Sitio. En lo que respecta al presente Anexo, debe incluir la recomendación de definir un Espectro de Sitio cuando el suelo no se pueda clasificar dentro de los tipos de suelo para el cual el Espectro definido en el Artículo 19 es válido.

41. Ingeniero Geotécnico

Ingeniero señalado en el Artículo 24 del Anexo Técnico de Diseño.

42. Método Estático Equivalente

Método simplificado que, a través de fuerzas estáticas equivalentes aplicadas en el centro de gravedad de los componentes del Sistema Estructural, representa adecuadamente la distribución de los esfuerzos internos máximos sobre dichos componentes cuando el Sistema Estructural está sometido a la acción sísmica.

43. Método Estático Civil

Método Estático Equivalente para el diseño de las estructuras y fundaciones de Equipos Eléctricos.

44. Nivel Basal

Nivel donde se considera aplicada la Aceleración Basal para la determinación de la solicitación sísmica de diseño. En general corresponde a la base del Sistema Estructural.

45. Nivel Basal para Diseño de Equipos

Nivel donde se considera aplicada la Aceleración Basal "A_0" definida en el numeral 1 del presente Artículo. En general corresponde a la base del Equipo, salvo que el diseño o Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos del Equipo se

realice en conjunto con su estructura de soporte, en cuyo caso corresponderá a la base de la estructura.

Para Equipos instalados en altura de acuerdo con la definición del numeral 17 del presente Artículo, corresponde al nivel donde se considera aplicada la Aceleración Basal **"A_0'"** definida en el numeral 2 del presente Artículo y que en general corresponde a la base del Equipo Instalado en Altura.

46. Nivel Basal para diseño de estructuras, fundaciones y otras obras civiles

Nivel donde se considera que se transfieren las fuerzas horizontales de inercia al suelo.

47. Normas Sísmicas Nacionales

Para efectos de este Anexo, se entenderá como Normas Sísmicas Nacionales a aquellas normas NCh publicadas por el Instituto Nacional de Normalización que, independiente de cuál sea el alcance de la norma, definen zonificaciones sísmicas territoriales, clasificaciones sísmicas de suelos que son de carácter nacional o son normas que no están directamente relacionadas con el ámbito de la Comisión Nacional de Energía.

48. Propietario o Responsable

Corresponde al dueño, arrendatario, usufructuario o quien opere o explote a cualquier título la instalación.

En el caso de una instalación definida como Obra Nueva de acuerdo con los Decretos de Expansión aprobados por el Ministerio de Energía, el Propietario corresponderá al adjudicatario de la Licitación.

El Propietario es el responsable final ante la autoridad de que dicha instalación cumpla los Requisitos Sísmicos establecidos en el presente Anexo.

49. Proveedor de Equipo Eléctrico o Proveedor

Responsable del suministro del Equipo Eléctrico.

50. Pliego RPTD

Pliego Técnico correspondiente al Reglamento de Seguridad de las instalaciones Eléctricas destinadas a la Producción, Transporte, Prestación de Servicios Complementarios, Sistemas de Almacenamiento y Distribución de Energía Eléctrica, emitido por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles de acuerdo con el DS N°109/2017 del Ministerio de Energía.

51. Requisitos Sísmicos

Para efectos del presente Anexo, se entenderá como "Requisitos Sísmicos" a los requisitos mínimos necesarios para cumplir con el comportamiento esperado del Sistema Estructural cuando está sometido a la acción sísmica.

52. Revisor Sísmico

Profesional responsable de revisar que el Diseño Sísmico, realizado por el Diseñador, cumple con los Requisitos Sísmicos definidos en el presente Anexo.

Para efectos del presente Anexo, se entenderá como "Revisor Sísmico" al: Revisor Sísmico del Equipo, Revisor Sísmico de la Estructura de Soporte, Revisor Sísmico de la Estructura Alta, Revisor Sísmico de la Fundación, Revisor Sísmico de la Obra Civil, entre otros y según corresponda.

53. Sismo de Diseño

Sismo para el cual se definen los Requisitos Sísmicos del presente Anexo.

54. Sistema

Conjunto de elementos o componentes. Según sea el caso, corresponde al Sistema Estructural, al Sistema de Anclaje, sistema de amortiguación o a otro sistema.

55. Sistema de Anclaje

Conjunto de elementos o componentes que permiten el anclaje de un Equipo o Estructura a su fundación.

56. Sistema de Fijación

Conjunto de elementos o componentes que permiten la fijación o unión del Equipo u otro Elemento a una estructura.

57. Sistema Estructural

Sistema que se está analizando para diseñar alguno(s) de los Elementos que conforman dicho sistema. De acuerdo con el propósito del análisis que se realiza, según los Artículos del presente Anexo, el Sistema Estructural corresponde a:

i) Equipo;
ii) Equipo + estructura de soporte;
iii) Equipo + fundación;
iv) Equipo + estructura de soporte + fundación;
v) Equipo + fundación + suelo;
vi) Equipo + estructura de soporte + fundación + suelo; y,
vii) Otro.

58. Sistema Estructural Rígido

Sistema Estructural cuya Frecuencia Fundamental es mayor o igual a 30 Hz.

59. Solicitaciones de Cargas Normales

Corresponden a las solicitaciones provenientes del funcionamiento normal del equipo, tales como peso propio, presión interna, fuerzas provenientes de resortes, vibraciones, efectos térmicos, cortocircuito, entre otros. Para el caso de equipos a la intemperie, también corresponden a las condiciones meteorológicas.

60. Solicitaciones de Cargas Eventuales

Corresponden a las solicitaciones provenientes de situaciones especiales, las que pueden ser propias del equipo, como por ejemplo son las solicitaciones de parada,

como externas, tales como sismo, cargas en los terminales, condiciones meteorológicas, entre otros.

61. Solicitaciones de Cargas Permanentes (CP)

Corresponden a las solicitaciones de peso propio y todas aquellas que actúan permanentemente sobre el Elemento en diseño.

62. Torreta

Estructura de soporte de bushings de transformadores de poder y Equipos similares. Estas estructuras, normalmente del tipo tubular, sobresalen del tanque principal del Equipo y contienen, sumergidos en el medio aislante de que se trate, tanto la parte inferior de los bushings como los transformadores de corriente de que disponga el transformador de poder.

63. Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos

Proceso mediante el cual se demuestra que un Sistema Estructural cumple con los Requisitos Sísmicos establecidos en el presente Anexo.

64. ZPA

Las siglas ZPA viene de Zero Period Acceleration y corresponde a la Aceleración Basal "A_0" que teóricamente es igual a la ordenada del Espectro de Respuesta de aceleraciones para frecuencia infinita (período cero).

Artículo 8 Referencias Normativas

1. Norma IEC 60068-3-3: "Environmental Testing – Part 3-3", versión 2019.
2. Norma IEC 60071-1: "Insulator Coordination - Part 1" versión 2020.
3. Norma IEC 60099-4: "Surge arresters - Part 4", versión 2018.
4. Norma IEC 60137: "Insulated bushings for alternating voltages above 1000 V", versión 2017.
5. Norma IEC 60168: "Tests on indoor and outdoor post insulators of ceramic material or glass for systems with nominal voltages greater than 1000", versión 2001.
6. Norma IEC 60815-1: "Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 1", versión 2008.
7. Norma IEC 61462: "Composite hollow insulators - Pressurized and unpressurized insulators for use in electrical equipment with AC rated voltage greater than 1 000 V AC and D.C. voltage greater than 1500V", versión 2023.
8. Norma IEC 62155: "Hollow pressurized and unpressurized ceramic and glass insulators for use in electrical equipment with rated voltages greater than 1 000 V", versión 2023.
9. Norma IEC 62231: "Composite station post insulators for substations with AC voltages greater than 1 000 V up to 245 kV – Part 1", versión 2015.

10. Norma EN 50216-1: "Power transformers and reactor fitting – Part 1", version 2003.
11. Norma NCh 2369: "Diseño Sísmico de estructuras e instalaciones industriales", corresponde a una Norma Sísmica Nacional, para efectos de este Anexo se deberá utilizar la versión 2023 o la que la reemplace.
12. Norma NCh 1537: "Diseño estructural. Cargas permanentes y cargas de uso", corresponde a una Norma Sísmica Nacional, para efectos de este Anexo se deberá utilizar la versión 2009 o la que la reemplace.
13. Manual de Carreteras Volumen 3: "Instrucciones y criterio de diseño", versión 2022 o la que la reemplace.
14. Norma IEEE 693: "Recommended Practice for Seismic Design of Substations", versión 2018.
15. Norma IEEE 1527: "Recommended Practice for the Design of Buswork Located in Seismically Active Areas", versión 2018.
16. Norma ACI 318: Requisitos de Diseño para hormigón estructural, versión 2019.
17. Norma ACI 355.2: Qualification of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete, version 2019.
18. Norma ACI 355.4: Qualification of Post-Installed Adhesive Anchors in Concrete, version 2019.
19. Norma ASTM E-23: "Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials", versión 2023.
20. Pliego RPTD N°05: (SEC) Aislación, en su última versión vigente.
21. Pliego RPTD N°07: (SEC) Franja y distancias de seguridad, en su última versión vigente.
22. Pliego RPTD N°10: (SEC) Centrales de producción y subestaciones, en su última versión vigente.
23. Pliego RPTD N°11: (SEC) Líneas de alta y extra alta tensión, en su última versión vigente.
24. Norma AWS A5.1: "Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding", versión 2012.
25. Norma AWS A5.5: "Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding", versión 2022.
26. Norma AWS A5.17:" Specification for Carbon Steel Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding", versión 2019.
27. Norma AWS A5.18: "Specification for Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding", versión 2023.
28. Norma AWS A5.20: "Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding", versión 2021.
29. Norma AWS A5.23: "Specification for Low Alloy Steel Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding", versión 2021.

30. Norma AWS A5.29: "Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding", versión 2021.

TÍTULO III FUNCIONES, ATRIBUCIONES Y OBLIGACIONES

Artículo 9 Obligaciones del Coordinador

Con el objeto de dar cumplimiento a lo establecido en el presente Anexo, el Coordinador deberá:

1. Exigir el cumplimiento de las disposiciones del presente Anexo por parte de los Propietarios o Coordinados, requiriendo para esto los estudios, ensayos, planos y antecedentes que sean necesarios, en las instancias correspondientes establecidas en la normativa vigente. Además, deberá solicitar a los Propietarios o Coordinados toda información que la SEC y la Comisión necesiten para dar cumplimiento a sus funciones.

2. Publicar y mantener actualizada la información señalada en el numeral precedente. Asimismo, deberá adoptar las medidas necesarias para resguardar la confidencialidad y reserva de aquella información cuya publicidad, comunicación o conocimiento afecte el debido cumplimiento de sus funciones o los derechos de las personas, especialmente en el ámbito de su vida privada o derechos de carácter comercial o económico.

3. Validar la consistencia de la información entregada por los Coordinados que provenga de una solicitud de la SEC o de la Comisión, previo a su envío a la correspondiente institución.

4. Informar a la SEC el grado de cumplimiento, del Coordinador y los Coordinados, de las disposiciones del presente Anexo.

5. Dar cumplimiento a las exigencias del presente Anexo en la elaboración de las bases de licitación de obras de transmisión contenidas en planes de expansión si corresponde, otras bases de licitación, y en otras materias de su competencia respecto de las cuales sea aplicable el presente Anexo.

6. Verificar la experiencia de los Diseñadores y/o Revisores Sísmicos responsables de los documentos que respaldan los diseños sísmicos. Para este propósito, se podrá requerir al Coordinado o al Propietario de la instalación información adicional.

Artículo 10 Obligaciones de los Coordinados y/o Propietarios

Con el objeto de dar cumplimiento a lo establecido en el presente Anexo, las obligaciones de los Coordinados y/o Propietarios serán las siguientes:

1. Dar cumplimiento a las exigencias mínimas de Diseño Sísmico de las instalaciones contenidas en el presente Anexo.

2. Entregar al Coordinador los datos, antecedentes e información requeridos en tiempo y forma y con la calidad correspondiente, en las instancias establecidas en la normativa vigente.

3. El Propietario o Coordinado es el responsable final ante la autoridad de que cada Elemento y el Sistema cumplan los Requisitos Sísmicos establecidos en el presente Anexo.

4. Asegurar la participación de los Revisores Sísmicos en la revisión de los diseños sísmicos de cada Elemento, en conformidad con los requisitos aplicables.

5. Responsable de que el suministro y la construcción de la instalación sean consistentes con los documentos aprobados o validados por el Revisor Sísmico.

Artículo 11 Obligaciones del Contratista

Con el objeto de dar cumplimiento a lo establecido en el presente Anexo, las obligaciones del Contratista serán las siguientes:

1. Dar cumplimiento a las exigencias mínimas de Diseño Sísmico de las instalaciones contenidas en el presente Anexo.

2. Para el Contratista que desarrolla la ingeniería, este deberá entregar al Propietario toda la documentación necesaria que respalda el Diseño Sísmico de las estructuras, fundaciones y obras civiles que corresponden al proyecto.

3. Para el Contratista que desarrolla la construcción y puesta en servicio de la instalación, este debe entregar al Propietario de toda la documentación necesaria que respalda la construcción, montaje y puesta en servicio de la instalación de acuerdo con los documentos de diseño aprobados por el o los Revisores.

4. Cuando el Contratista también es responsable del Suministro de los Equipos Eléctricos, entonces aplica también lo señalado para el Proveedor de Equipo Eléctrico descrito en el Artículo 14 del presente Anexo.

Artículo 12 Obligaciones del Diseñador

Con el objeto de dar cumplimiento a lo establecido en el presente Anexo, las obligaciones del Diseñador serán las siguientes:

1. Dar cumplimiento a las exigencias mínimas de Diseño Sísmico de las instalaciones contenidas en el presente Anexo.

2. Ser un profesional con a lo menos 5 años de experiencia en el Diseño Sísmico de Elementos del mismo tipo o similares del cual es responsable de diseñar y deberá estar debidamente identificado en todos los documentos que respaldan su diseño. Esta obligación es independientemente de si el profesional obtuvo su título profesional en una universidad chilena o en el extranjero.

3. Para el diseño de estructuras, fundaciones y/u obras civiles, el Diseñador deberá tener su título profesional emitido por alguna universidad chilena acreditada por la Comisión Nacional de Acreditación o en el caso de que el profesional consiguiera su título en una universidad extranjera, deberá tener su título profesional convalidado en Chile, conforme a la normativa vigente.

4. En el caso de que el Diseñador sea una empresa o un grupo de profesionales, en cada uno de los documentos que respaldan el diseño, se deberá identificar claramente al profesional responsable que cumple con los requisitos establecidos en este artículo para realizar dicho diseño.

5. Elaboración y entrega al Contratista o Propietario, según sea su Mandante, de toda la documentación necesaria que respalda el diseño realizado.

6. En el caso de los Equipos Eléctricos objeto del presente Anexo, el Diseñador que se identifique será el Fabricante del Equipo.

Artículo 13 Obligaciones del Fabricante de Equipo Eléctrico

Con el objeto de dar cumplimiento a lo establecido en el presente Anexo, las obligaciones del Fabricante serán las siguientes:

1. Dar cumplimiento a las exigencias mínimas de Diseño Sísmico de las instalaciones contenidas en el presente Anexo.

2. Responsable del Diseño Sísmico del Equipo, del Sistema de Fijación del Equipo a la estructura de soporte y del Sistema de Anclaje del Equipo a la fundación según corresponda.

3. Elaboración y entrega al Contratista, Proveedor o al Propietario, según sea su Mandante, de toda la documentación necesaria que respalda el Diseño Sísmico del Equipo, así como de toda la información necesaria para el cálculo de las conexiones eléctricas.

Artículo 14 Obligaciones del Proveedor de Equipo Eléctrico

Con el objeto de dar cumplimiento a lo establecido en el presente Anexo, las obligaciones del Proveedor serán las siguientes:

1. Dar cumplimiento a las exigencias mínimas de Diseño Sísmico de las instalaciones contenidas en el presente Anexo.

2. Asegurar la entrega al Contratista o al Propietario, según sea su Mandante, de toda la documentación necesaria que respalda el Diseño Sísmico del Equipo al cual provee.

3. Cuando el Proveedor es diferente del Fabricante, el Proveedor es responsable subsidiariamente del Diseño Sísmico del Equipo al cual provee.

Artículo 15 Obligaciones del Revisor Sísmico

Con el objeto de dar cumplimiento a lo establecido en el presente Anexo, las obligaciones del Revisor Sísmico serán las siguientes:

1. Revisar que el Diseño Sísmico realizado por el Diseñador cumple con las exigencias mínimas de Diseño Sísmico de las instalaciones contenidas en el presente Anexo.

2. El Revisor Sísmico deberá ser un profesional con a lo menos 8 años de experiencia en Chile en el Diseño Sísmico o revisión de Diseños Sísmicos de Elementos del mismo tipo o similares.

3. El Revisor Sísmico deberá tener su título profesional emitido por alguna universidad chilena acreditada por la Comisión Nacional de Acreditación o en el caso de que el profesional consiguiera su título en una universidad extranjera, deberá tener su título profesional convalidado en Chile, conforme a la normativa vigente.

4. El Revisor Sísmico podrá ser más de un profesional en la medida en que la experiencia sísmica de un solo profesional no permita realizar la revisión sísmica de todos los Sistemas Estructurales señalados en el numeral 57 del Artículo 7.

5. En el caso de que el Revisor Sísmico sea una Empresa o un Grupo de Profesionales, en cada uno de los documentos que respaldan la revisión, se deberá identificar claramente al profesional responsable que cumple con los requisitos aquí señalados para realizar dicha revisión.

6. El Revisor Sísmico deberá ser independiente del Diseñador, del Fabricante, del Proveedor y del Contratista.

7. El Revisor Sísmico podrá ser el Propietario, siempre y cuando el Propietario no tenga, adicionalmente alguno de los otros roles señalados en el punto 6, de lo contrario, también deberá ser independiente del Propietario.

TÍTULO IV NIVEL DE TENSIÓN DE LOS EQUIPOS

Artículo 16 Nivel de tensión de los Equipos

Los requisitos establecidos en el presente Anexo están referidos al nivel de tensión que caracteriza al Equipo Eléctrico de acuerdo con lo siguiente:

1. Nivel de tensión más elevada del Equipo **"Um"** definida según la norma IEC 60071-1.

2. Rango de tensiones de servicio del Equipo asociado al valor **"Um"** de acuerdo con la Tabla 1.

   Excepción a lo anterior, son los pararrayos, que se designan en este documento por la tensión del Sistema **"Um"** para el cual son empleados y no por su tensión nominal como Equipo, y las baterías y celdas, cuyos Requisitos Sísmicos no están relacionados con el nivel de tensión de la instalación.

Los valores señalados en la Tabla 1 corresponden a Equipos instalados en zonas hasta una altitud de 1.000 msnm.

Equipos que requieren de una mayor aislación, según lo señalado en el Pliego RPTD N°05 y/o debido a que se instalan en altitudes mayores a 1.000 msnm, deberán cumplir con los Requisitos Sísmicos definidos en el presente Anexo para el nivel de tensión que corresponde a la aislación corregida, nivel de tensión que es mayor que el nivel de tensión en que operará la instalación.

Para la corrección de las distancias eléctricas por altura geográfica se deberá utilizar lo señalado en la Cláusula 5.6 del Pliego RPTD N°07.

Nivel de Tensión más elevada del Equipo [kV] "Um"	Rango de niveles de tensiones de servicio del Equipo [kV]
≤ 24	2.0 a 24
36	25 a 36
72,5	37 a 72,5
123	73 a 123
170	124 a 170
245	171 a 245
362	246 a 362

Nivel de Tensión más elevada del Equipo [kV] "Um"	Rango de niveles de tensiones de servicio del Equipo [kV]
550	363 a 550
800	551 a 800

Tabla 1: Tensiones de servicio

TÍTULO V DISPOSICIONES PARA EL DISEÑO SÍSMICO DE EQUIPOS

Artículo 17 Intensidad sísmica

Independiente del lugar de emplazamiento de la instalación, el Diseño Sísmico de los equipos deberán considerar la solicitación sísmica caracterizada por los valores máximos de aceleración, de velocidad y de desplazamiento horizontales en la superficie del terreno señalados en la Tabla 2.

Aceleración Basal "A_0" [g]	Velocidad "V" [cm/s]	Desplazamiento Horizontal "d" [cm]
0.5	50	25

Tabla 2: Intensidad sísmica de diseño.

Considerando que las fundaciones de los Equipos no tienen el carácter de movilidad o traslado que sí tienen los equipos y sus estructuras de soporte, para el Diseño Sísmico de las fundaciones se podrán considerar los parámetros de intensidad sísmica correspondientes a la zona sísmica donde su ubica la instalación de acuerdo con lo señalado en el Artículo 101.

Artículo 18 Solicitaciones sísmicas para el diseño

El Diseño Sísmico se deberá realizar considerando simultáneamente las direcciones horizontal y vertical de la acción sísmica como se indica a continuación:

1. En dirección horizontal: un movimiento del terreno cuya aceleración, velocidad y desplazamiento máximos son los indicados en el Artículo 17.

2. En dirección vertical: un movimiento del terreno cuya aceleración es igual al 60% de la aceleración horizontal máxima del terreno.

Esto se deberá realizar en dos direcciones horizontales ortogonales entre sí, que sean las más desfavorables desde el punto de vista de la respuesta sísmica del Sistema Estructural y considerando los dos posibles sentidos de cada una de las direcciones de la acción sísmica.

Artículo 19 Espectro de Diseño o RRS

El Espectro de Diseño que se define a continuación, se deberá considerar aplicable a las instalaciones, con excepción de la Obras Civiles señaladas en el Título XXXV.

Este Espectro está definido para una demanda sísmica a nivel de tensiones admisibles y es válido para suelos Tipo A a Tipo D de acuerdo con la clasificación señalada en las Normas Sísmicas Nacionales.

$$\frac{S_a(f, A_o, \xi)}{g} = \begin{cases} A \cdot \dfrac{f}{0{,}9} & 0\ Hz < f < 0{,}9\ Hz \\ A & 0{,}9\ Hz \leq f \leq 10\ Hz \\ A_0 + (A - A_0) \cdot \dfrac{\left(\frac{30}{f} - 1\right)}{2} & 10\ Hz < f \leq 30\ Hz \\ A_0 & f > 30\ Hz \end{cases}$$

Donde:

$$A = 2{,}12 \cdot A_0 \cdot F_b$$

$$F_b = \frac{3{,}21 - 0{,}68 \cdot Ln(\xi)}{2{,}1156}$$

g [m/s^2]: Aceleración de gravedad.

S_a [g]: Aceleración del Espectro de Diseño

f [Hz]: Frecuencia

ξ [%]: Razón de Amortiguamiento

A_0 : Aceleración Basal.

A : Aceleración máxima definida para el Espectro de Diseño y que depende de la Aceleración Basal **"A_0"** y de la Razón de Amortiguamiento **"ξ"**.

	Ao = 0,5	Ao = 0,4	Ao = 0,3
ξ [%]	A	A	A
1	1,608	1,287	0,965
2	1,372	1,098	0,823
5	1,060	0,848	0,636
10	0,824	0,659	0,494
20	0,588	0,470	0,353

Tabla 3: Parámetros para el Espectro de Diseño

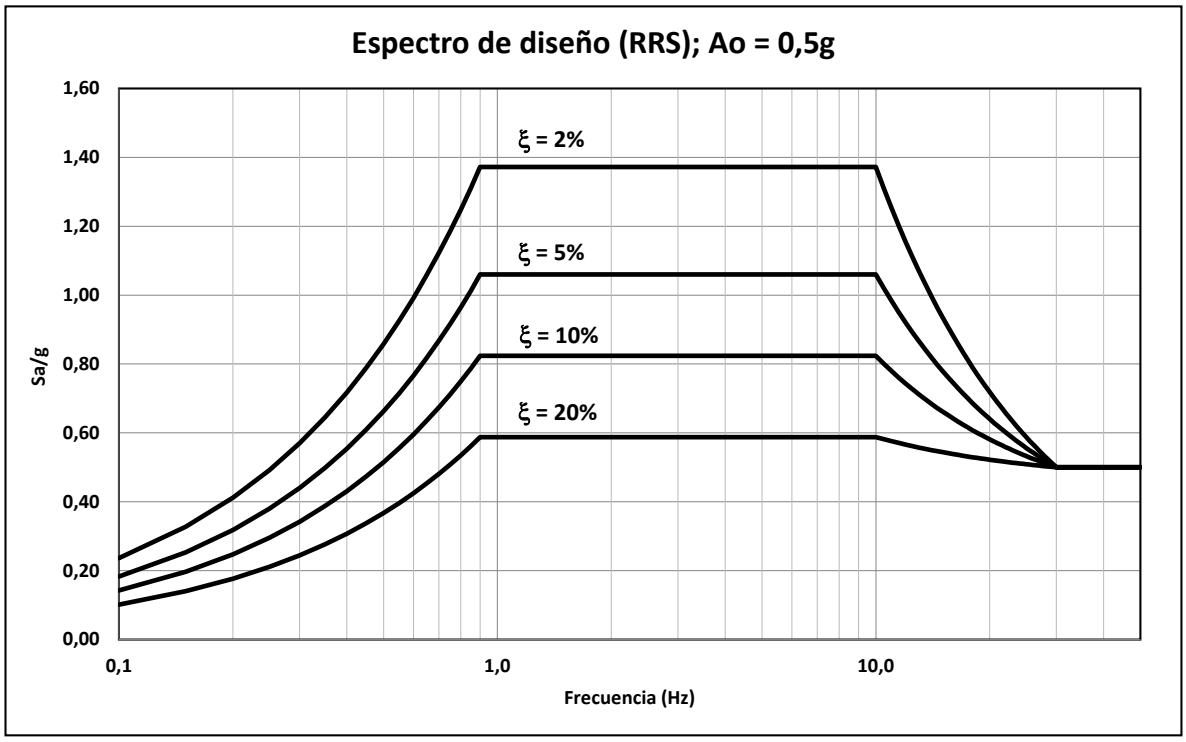

Figura 1: Espectro de Aceleraciones de Diseño en función de la frecuencia [Hz]

Artículo 20 Espectro de Sitio

Para suelos que no se puedan clasificar como suelos Tipo A @ Tipo D, el Propietario deberá realizar un Espectro de Sitio para definir la demanda sísmica para el diseño de la instalación, demanda que en ningún caso podrá ser inferior a la definida en el Artículo 19.

El Espectro de Sitio deberá ser definido mediante métodos probabilísticos y determinísticos y de acuerdo con lo indicado en la Cláusula 5.4.3 de la Norma NCh 2369.

Como resultado de este estudio se deberá entregar como mínimo la siguiente información:

1. Espectro de Sitio horizontal y vertical para los niveles de amortiguamientos requeridos. Este estudio deberá incorporar la respuesta de sitio en superficie.

2. PGA (aceleración máxima del suelo).

3. Recomendación de coeficientes sísmicos para el análisis estático de estructuras.

Los amortiguamientos requeridos son a lo menos 2% y 5%. El Propietario deberá definir otros valores según sean las características de los Elementos a diseñar, para lo cual puede usar como referencia lo señalado en la Tabla 5 del presente Anexo.

El Diseño Sísmico en este caso deberá cumplir igualmente con todos los requisitos y/o metodologías señaladas en el presente Anexo siendo la única modificación el Espectro de Diseño.

Para comparar las demandas sísmicas con el Espectro de Diseño del Artículo 19, se deberá tener presente que el Espectro de Sitio corresponde a demandas sísmicas asociadas a nivel último (LRFD), por lo cual se deberá considerar como factor de relación el valor de 1,4, valor correspondiente al factor de mayoración de la solicitación sísmica según Artículo 32.

A modo de ejemplo y sin ser excluyentes, los siguientes tipos de terrenos no clasifican en suelos Tipo A @ Tipo D:

- Terrenos con topografía irregular donde pueden existir fenómenos de amplificación local (efecto topográfico), los cuales no están cubiertos por la clasificación de las Normas Sísmicas Nacionales.
- Suelos potencialmente licuables, como arenas, arenas limosas o limos, saturados, de baja compacidad y/o consistencia.
- Depósitos de suelos especiales como suelos susceptibles de densificación por vibración; suelos colapsables, suelos orgánicos, turba, suelos finos saturados con Límite Líquido > 80 y espesor > 20 m, suelos finos saturados de sensitividad mayor a 10.
- Otros que defina el Ingeniero Geotécnico señalado en el numeral 41 del Artículo 7.

Artículo 21 Factor de Importancia "I_E", Factor de Modificación de la Respuesta "R" y Razón de Amortiguamiento "ξ".

1. Factor de Importancia **"I_E"**, Factor de Modificación de la Respuesta **"R"**

   Los valores del Factor de Importancia **"I_E"** y del Factor de Modificación de la Respuesta **"R"** para el Diseño Sísmico de un Elemento particular se deberá elegir entre los definidos en la Tabla 4.

N°	Elemento a diseñar	"I_E"	"R"
1.	Equipos Eléctricos en general, incluidos GIS/GIL e incluidas estructuras de soporte de partes	1	1

N°	Elemento a diseñar	"I_E"	"R"
	del Equipo que se fijan o unen directamente al Equipo principal		
2.	Estructuras de soporte de material dúctil sin redundancia estructural	"I_E" del Equipo	1,5
3.	Estructuras de soporte de material dúctil con redundancia estructural	"I_E" del Equipo	Máximo 3
3.1	Estructuras reticuladas de acero autosoportadas que cumplen Criterio de Rigidez Global según Artículo 122	"I_E" del Equipo	3
3.2	Estructuras reticuladas de acero autosoportadas que no cumplen Criterio de Rigidez Global según Artículo 122	"I_E" del Equipo	Máximo 2
3.3	Estructuras de soporte horizontales en voladizo con a lo menos 3 puntos de apoyos	"I_E" del Equipo	2
3.4	Estructuras de soporte de Marcos de Acero	"I_E" del Equipo	3
3.5	Estructuras de soporte de Marcos de Hormigón Armado	"I_E" del Equipo	2
4.	Estructuras de soporte tubulares, incluidos los monopostes de acero	"I_E" del Equipo	1,5
5.	Otras Estructuras de Soporte de Equipos Eléctricos	"I_E" del Equipo	A definir por el Diseñador
6.	Sistemas de Anclaje:		
6.1	Pernos de anclaje embebidos en hormigón (pre-instalados)	"I_E" del Equipo	2
6.2	Pernos de anclaje post-instalados para estructuras de soporte	"I_E" del Equipo	2

N°	Elemento a diseñar	"I_E"	"R"
	diseñadas de acuerdo con el Artículo 109		
6.3	Pernos de anclaje post-instalados para equipos y para estructuras distintas a las señaladas en 6.2	"I_E" del Equipo	1
6.4	Soldadura a placas embebidas	"I_E" del Equipo	1
6.5	Sistemas de Anclaje con un único punto de traspaso de fuerza	"I_E" del Equipo	1
6.6	Otros elementos de los Sistemas de Anclajes descritos en el Título XXX	"I_E" del Equipo	2
7.	Fundaciones:		
7.1	Hormigón armado del tipo superficial	"I_E" del Equipo	3
7.2	Micropilotes / Barras Helicoidales	"I_E" del Equipo	1
7.3	Pilas de Hormigón Armado	"I_E" del Equipo	2
7.4	Losa GIS / Losa Compensación Serie	"I_E" del Equipo	3
8.	Sistema Estructural Rígido	"I_E" del Equipo	1

Tabla 4: Valores de factores ***"I_E"*** *y* ***"R"*** *para equipos, sus estructuras de soporte y sus fundaciones.*

Donde:

i. La solicitación sísmica del Sistema Estructural corresponde la solicitación elástica, lo que es equivalente a considerar un Factor de Modificación de la Respuesta de R=1 en el cálculo de la solicitación sísmica. El cálculo de los desplazamientos sobre el Elemento en diseño se deberá realizar para la solicitación sísmica elástica.

El Factor **"R"** puede utilizarse solamente para reducir la solicitación sísmica que deberá resistir el Elemento en diseño, siempre y cuando el tipo de material, la estructuración y el detallamiento del Elemento permiten disipar energía y los requisitos de diseño del presente Anexo permitan aceptar esta deformación. Los valores de Factor **"R"** indicados en la Tabla 4 corresponden a los máximos valores que se pueden utilizar en cada caso.

ii. Las estructuras de soporte sin redundancia estructural corresponden a aquellas estructuras cuya integridad depende de la resistencia de pocos componentes y para las que la falla de alguno de ellos transforma a la estructura en un mecanismo que, aun cuando la estructura pueda no colapsar, puede producir a lo menos la falla operacional del Equipo Eléctrico al cual soporta.

iii. Los marcos de acero para los cuales se define un Factor de Modificación de la Respuesta de R=3, corresponden a aquellos marcos cuyo diseño y detallamiento estructural permite la disipación de energía por comportamiento inelástico y tiene la capacidad de redistribuir los esfuerzos entre los distintos componentes que lo conforman una vez alcanzado el límite del comportamiento elástico.

iv. En relación con el número 3.3 de la Tabla 4, no se aceptarán voladizos con menos de 3 apoyos.

v. Para otras Estructuras de Soporte de Equipos Eléctricos según lo señalado en el número 5 de la Tabla 4, la elección del Factor **"R"** dependerá de si la elección del material permite o no disipar energía. Así como, de que su estructuración y detallamiento permitan también la disipación de energía. El valor que se defina deberá ser validado previamente por parte del Revisor Sísmico.

vi. Las Estructuras de Soporte de Equipos Eléctricos y las fundaciones de Equipos Eléctricos, con o sin estructura de soporte, se deberán diseñar con el mismo Factor de Importancia **"I_E"** correspondiente al Equipo Eléctrico al cuál soportan.

vii. El valor del Factor de Importancia "$I_E = 1$" definido para los Equipos Eléctricos en la Tabla 4 está basado tanto en el Espectro de Diseño como en los tipos de equipos eléctricos definidos en el presente Anexo.

viii. La verificación del cumplimiento de los modos de falla en el hormigón debido a los pernos de anclaje se debe realizar con la misma carga sísmica con que se diseña el perno (números 6.1, 6.2 y 6.3 en la Tabla 4).

2. Razón de Amortiguamiento **"ξ"**

Los valores de la razón de amortiguamiento **"ξ"** para el Diseño Sísmico de los distintos Elementos son los definidos en la Tabla 5.

Elemento a diseñar		"ξ"
1.	Equipos Eléctricos en general, incluidos GIS/GIL e incluidas estructuras de soporte de partes del Equipo que se fijan o unen directamente al Equipo principal	2% Salvo que se demuestre un valor mayor
2.	Estructuras de soporte de hormigón armado, pretensado o post-tensado	2%
3.	Estructuras de soporte de acero con uniones soldadas	2%
4.	Estructuras de soporte de acero con uniones empernadas	5%
5.	Fundaciones de hormigón armado: • Del tipo superficial • Pilas de hormigón armado • Losa GIS • Losa Compensación Serie	5%
6.	Fundación con Micropilotes / Barras Helicoidales	3%
7.	Fundaciones de hormigón armado para Equipos Rígidos y Semi-Rígidos anclados directamente a la fundación $Vs_{30} \geq 900$ m/s $Vs_{30} < 900$ m/s Donde Vs_{30} = velocidad de la onda de corte definida en el Informe de Mecánica de Suelos de la instalación	 5% 7%

Tabla 5: Valores de Razón de Amortiguamiento ***"ξ"*** *para equipos, sus estructuras de soporte y sus fundaciones.*

Artículo 22 Solicitaciones simultáneas con el Sismo de Diseño.

El diseño deberá considerar las solicitaciones sísmicas y no sísmicas que pudieran estar actuando simultáneamente con el Sismo de Diseño, las que en general estarán definidas por las características propias del Equipo y las condiciones meteorológicas en la zona de emplazamiento de la instalación.

Dentro de las condiciones meteorológicas en la zona de emplazamiento de la instalación se deberá considerar viento, nieve, hielo, variaciones de temperatura u otras de acuerdo con lo señalado en los Pliegos RPTD N°10 y RPTD N°11.

Dentro de las solicitaciones a ser consideradas en forma simultánea con la solicitación sísmica actuando sobre el Sistema Estructural, se deberán considerar a lo menos y según corresponda:

1. Las solicitaciones provenientes del funcionamiento normal del Equipo tales como peso propio, presión interna, fuerzas provenientes de resortes, vibraciones, efectos térmicos, efectos eléctricos, entre otros.

2. Las solicitaciones eventuales correspondientes a las fuerzas de cortocircuito y a las fuerzas debido a las conexiones con otros Equipos.

3. Otras solicitaciones eventuales que tengan una alta probabilidad de ocurrir simultáneamente con el Sismo de Diseño, según corresponda.

Artículo 23 Diseño Sísmico de Equipos

El Diseño Sísmico o la Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos de los Equipos, se deberá realizar copulativamente con:

1. Lo señalado en el Título V considerando que la Aceleración Basal "A_0" o "A'_0", según corresponda, se encuentra aplicada en el Nivel Basal del Equipo, conforme al Artículo 7.

2. Lo señalado en el Título VI.

3. Lo señalado en el Título Requisitos Sísmicos Particulares según corresponda al tipo de Equipo.

4. Los resultados del análisis sísmico (esfuerzos y desplazamientos).

5. El cumplimiento de los requisitos de resistencia de materiales definidos en el Título XIV.

Para aquellos equipos que se hayan diseñado o validado sísmicamente con otra norma, ya sea nacional o internacional (IEEE 693, ETG 1.020 u otra), no podrá considerarse dicho diseño o validación como reemplazo directo de los requisitos sísmicos definidos en el presente Anexo, por lo que dichos equipos igualmente deberán validarse para los requisitos sísmicos del presente Anexo.

TÍTULO VI SOLICITACIONES PARA EL DISEÑO SÍSMICO DE EQUIPOS

Artículo 24 Alcance

Las siguientes solicitaciones son aplicables al diseño de los Equipos Eléctricos y a sus estructuras de soporte y sus fundaciones.

Las solicitaciones para el Diseño Sísmico de Obras Civiles que no tienen relación directa con los Equipos Eléctricos objeto del presente Anexo, se definen en el Título XXXV.

El diseño deberá considerar a lo menos las solicitaciones sísmicas y no sísmicas asociadas a Cargas Permanentes (CP), solicitación sísmica, solicitaciones debido a cargas de operación, solicitaciones debido a cargas de conexión, solicitaciones debido a cargas de cortocircuito, solicitaciones debido a condiciones meteorológicas, otras solicitaciones y combinaciones de cargas definidas en el presente Anexo.

Artículo 25 Solicitación sísmica (E) para el Sistema Estructural

1. General

   La solicitación sísmica se calcula para el Sistema Estructural que corresponde analizar y se deberá considerar actuando en la dirección horizontal y vertical simultáneamente:

   $$E = \pm Eh \pm Ev$$

   Donde:

   Eh: Solicitación sísmica horizontal

   Ev: Solicitación sísmica vertical

   Esta solicitación se deberá aplicar teniendo en consideración la distribución en planta y en altura de las masas en el Sistema Estructural que se está analizando y las excentricidades que puedan tener las cargas aplicadas.

2. Solicitación sísmica horizontal

   i. En general el análisis se podrá realizar aplicando las solicitaciones en dos direcciones horizontales ortogonales, en forma independiente, sin considerar interacción entre ellas.

   $$Eh = \begin{cases} Ex \\ Ey \end{cases}$$

   ii. Cuando exista Acoplamiento del Sistema Estructural en las direcciones horizontales principales o exista torsión, las solicitaciones sobre los Elementos se deberán obtener considerando un 100% de la solicitación sísmica que actúa

en la dirección del análisis más un 30% de la acción sísmica que actúa en la dirección ortogonal y viceversa.

$$Eh = \begin{cases} \pm Ex \ \pm 0{,}3\ Ey \\ \pm 0{,}3\ Ex \ \pm Ey \end{cases}$$

iii. Para Equipos Flexibles con simetría respecto de su eje vertical y sin Dispositivos de Amortiguación que se instalan sobre estructuras de soporte que no cumplen con los requisitos de rigidez señalados en el numeral 4 del Artículo 122, se deberá tener en cuenta que los ejes ortogonales con respecto al sistema de fijación pueden no ser la dirección más desfavorable para la solicitación sísmica sobre el Equipo.

iv. Se deberá tener en cuenta que los ejes ortogonales con respecto al sistema de amortiguación o al sistema de fijación pueden no ser la dirección más desfavorable para la solicitación sísmica sobre el Equipo. Esta situación es particularmente relevante para Equipos sin simetría en su eje vertical y para Equipos con Dispositivos de Amortiguación.

v. El diseño de la estructura de soporte, del Sistema de Anclaje y de la fundación deben tomar en cuenta la dirección de la solicitación sísmica que es más desfavorable para el Equipo, de acuerdo con lo indicado en los párrafos precedentes, según corresponda.

Artículo 26 Solicitación sísmica (E) para Equipos

La solicitación sísmica sobre un Equipo se define de acuerdo con lo señalado en los Títulos Requisitos Sísmicos Particulares, de este Anexo, según corresponda al tipo de Equipo.

Para el caso de Equipos que tengan sistemas de aislación sísmica en la base, aplicarán los mismos Requisitos Sísmicos que en el presente Anexo se señalan para los Equipos con sistemas de disipación de energía en base a Amortiguadores.

Artículo 27 Solicitaciones debidas a cargas de operación (CO o COs)

Corresponden a las solicitaciones debidas a la operación del Equipo, incluidas las cargas especiales cuando correspondan.

En general, estas cargas corresponden a solicitaciones dinámicas de servicio y otras provenientes del funcionamiento normal del Equipo, tales como presión interna, fuerzas provenientes de resortes, vibraciones, efectos térmicos, efectos eléctricos, entre otros.

Estas cargas son normalmente definidas por el Fabricante quien deberá definir explícitamente los valores de las Cargas de Operación de Diseño (CO) y de las Cargas de Operación simultáneas con el Sismo de Diseño (COs). En el caso de que no se definan estas últimas, deberá considerarse que las cargas COs son iguales a las cargas CO.

Artículo 28 Solicitaciones debido a cargas de conexión (T)

Considerando que las conexiones con otros Equipos y/o barras son flexibles, se generan solicitaciones dinámicas en los terminales de los equipos debido a solicitaciones dinámicas, como es el caso del sismo.

Simultáneo con la solicitación sísmica, se deberá considerar el efecto dinámico conocido como "Tirón" (T) mediante los siguientes valores que corresponden a cargas estáticas equivalentes que representan dicho comportamiento dinámico. Para el diseño, se deberá considerar estas fuerzas actuando en la dirección más desfavorable:

Nivel de Tensión más elevada del Equipo	Carga de Tirón "T" [daN]
"Um" ≤ 36 kV	40
36 kV < "Um" ≤ 72,5 kV	60
72,5 kV < "Um" < 123 kV	80
123 kV	80 para conexiones con 1 solo conductor 100 para conexiones con haz de conductores
123 kV < "Um" ≤ 245 kV	100
"Um" > 245 kV	175

Tabla 6: Cargas de tirón

Donde **"Um"** corresponde al Nivel de Tensión más elevada del Equipo de acuerdo con lo señalado en el Artículo 16.

Los valores indicados en la Tabla 6 son independientes de la cantidad de conductores por fase, a excepción del nivel de tensión de 123 kV.

Con el propósito que los valores anteriores de fuerzas no sean excedidos en una instalación particular, se deberán cumplir los requisitos de conexión del Equipo a la red de la subestación que se establecen en el Título XXV.

Artículo 29 Solicitaciones debido a cargas de cortocircuito (Fc)

Corresponden a las solicitaciones debidas a la ocurrencia de un cortocircuito de acuerdo con lo siguiente:

La fuerza estática equivalente que representa el efecto del cortocircuito sobre el Equipo se calculará considerando la corriente dinámica de cortocircuito, la que se determinará considerando su valor peak como 2,5 veces la corriente de cortocircuito efectiva, valor rms.

En el cálculo de la fuerza de cortocircuito se considerará que participan también los cables de conexión al Equipo en una longitud de al menos 1,0 [m] en cada punto de conexión.

Para el cálculo de la fuerza de cortocircuito resultante se utilizará la siguiente fórmula:

$$Fc = \frac{0{,}0204 \cdot (2{,}5 \cdot Ic)^2 \cdot L}{d}$$

Donde:

Fc: Fuerza de cortocircuito en [daN].
Esta fuerza se aplica en el centro geométrico de la trayectoria de la corriente de cortocircuito de largo **"L"**.

L: Largo en metros por donde circula la corriente de cortocircuito.

d: Separación entre fases en metros de acuerdo con el plano de disposición de Equipos del Proyecto.

Ic: Corriente cortocircuito rms en [kA]

La corriente de cortocircuito corresponde a la capacidad de ruptura simétrica proyectada a 10 años respecto de la fecha de Entrada en Operación de la instalación o Equipo, teniendo en consideración los cambios topológicos de la red de transmisión, los niveles de corriente de cortocircuito no podrán ser menores a lo señalado en el Título XIII "Niveles de Corriente de Cortocircuito" del Anexo Técnico de Exigencias Mínimas de Diseño de Instalaciones de Transmisión de acuerdo con lo siguiente:

1. Tensión nominal del Equipo ≥ 500 kV: mínimo 1,2 veces lo señalado en la Tabla 3 del Título XIII del Anexo Técnico de Exigencias Mínimas de Diseño de Instalaciones de Transmisión.
2. Tensión nominal del Equipo < 500 kV: mínimo 1,0 veces lo señalado en la Tabla 3 del Título XIII del Anexo Técnico de Exigencias Mínimas de Diseño de Instalaciones de Transmisión.

La dirección de la fuerza de cortocircuito será perpendicular a la dirección de la trayectoria de la corriente de cortocircuito.

La magnitud y dirección de aplicación de esta fuerza deberá estar definida explícitamente en la memoria de cálculo de respaldo del Diseño Sísmico del Equipo debido a su necesidad para el diseño de la estructura de soporte y fundación del Equipo.

Tanto el Diseñador del Equipo como el Diseñador de la Estructura de Soporte y/o fundación deberán ser explícitos en cuanto a cómo se determinó la fuerza de cortocircuito (valores y dirección) en los documentos que respaldan sus respectivos diseños de acuerdo con lo señalado en el Título VII.

En el caso de que se defina que un Equipo no estará sometido a cargas de cortocircuito, el Fabricante y/o el Diseñador de la Estructura de Soporte y/o Fundación deberán

justificarlo en los documentos que respaldan sus respectivos diseños de modo que el Revisor Sísmico correspondiente pueda revisar que el diseño es consistente con la ubicación y tipo de conexión que tendrá el Sistema Estructural en el lugar de instalación.

Artículo 30 Solicitaciones debido a condiciones meteorológicas (CA o CAs)

Corresponde a las solicitaciones debidas a viento, nieve, hielo, variaciones de temperatura, entre otras, que son propias del lugar en donde se ubica la instalación de acuerdo con lo definido en los Pliegos RPTD N°10 y RPTD N°11, donde:

CA: corresponde a las condiciones meteorológicas de Diseño.

CAs: corresponde a las condiciones meteorológicas simultáneas con el Sismo de Diseño.

La aplicación conjunta de las cargas meteorológicas y las cargas debido al sismo se deberán considerar solamente en el caso en que exista una alta probabilidad de que ambos eventos puedan ocurrir simultáneamente.

En general, para el diseño o Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos de los Equipos no será necesario considerar la solicitación de viento simultánea con la solicitación sísmica definida en el presente Anexo, a excepción de las siguientes situaciones:

1. Equipos o partes de Equipos donde las solicitaciones de viento corresponden a su Condición Normal de Operación:

   Dentro de estos Equipos o parte de Equipos se encuentran:

   i. Radiadores de los Transformadores de Poder y Reactores de Poder.

   ii. Unidad de Chisperos de los Equipos de Compensación Serie.

   Para estos casos, junto con el Sismo de Diseño se deberá considerar como mínimo la siguiente solicitación de viento simultánea:

   i. Equipos con superficie cilíndrica expuesta al viento: presión de viento de 40 daN/m^2.

   ii. Equipos con superficies planas expuestas al viento: presión de viento de 80 daN/m^2.

2. Equipos montados sobre Estructuras Altas

   Para estos casos, junto con el Sismo de Diseño se deberá considerar la siguiente solicitación de viento simultánea:

   Presión de viento definida para la Condición Normal de Operación del proyecto con un mínimo de 0,25 veces (25%) la presión de viento máximo de diseño de la

Estructura Alta de acuerdo con lo señalado en el Artículo 180. Los factores de Gt y Cf necesarios para calcular la Fuerza de Viento deberán ser los señalados en la Cláusula 5.12 del Pliego RPTD N°11.

Otros Equipos u otras situaciones deberán ser analizadas por el Diseñador para determinar si el viento u otra condición meteorológica deberá ser considerada como simultánea con el Sismo de Diseño.

Artículo 31 Otras solicitaciones

Se deberán considerar todas las otras solicitaciones no indicadas previamente y que por sus características definan el diseño de parte o de todo el Sistema Estructural.

Artículo 32 Combinaciones de cargas

En el presente Artículo se indican las combinaciones de carga más usuales en el Diseño Sísmico de los Equipos Eléctricos, sus estructuras de soporte y sus fundaciones, listado que no es taxativo ni exhaustivo. En virtud de lo anterior, el Diseñador deberá evaluar las particularidades de cada instalación y definir otras solicitaciones y/o combinaciones de carga que puedan controlar el diseño.

Si bien las Combinaciones CS1 y CU1 que se definen a continuación no corresponden a combinaciones sísmicas, dichas combinaciones igualmente se deben considerar en el diseño de los Elementos que conforman el Sistema Estructural, por lo tanto, también deben estar incluidas en los documentos que respaldan los respectivos diseños de acuerdo con lo señalado en el Título VII.

En las combinaciones que se definen a continuación se deberán considerar los sentidos en que actúan las distintas fuerzas.

1. Método de Diseño por Tensiones Admisibles

$CS1$: $CP + CO + FC + CA$

$CS2$: $CP + E + COs + T + 0{,}6 * Fc$

$CS3$: $CP + E + COs + T + 0{,}6 * Fc + CAs$

2. Método de Diseño por Estados Límites Últimos

$CU1$: $1{,}2 * CP + 1{,}2 * CO + 1{,}2 * Fc + 1{,}6 * CA$

$CU2$: $1{,}2 * CP + 1{,}4 * E + 1{,}2 * COs + 1{,}2 * T + 1{,}2 * 0{,}6 * Fc$

$CU3$: $1{,}2 * CP + 1{,}4 * E + 1{,}2 * COs + 1{,}2 * T + 1{,}2 * 0{,}6 * Fc + 1{,}6 * CAs$

$CU4$: $1{,}0 * CP + 1{,}4 * E + 1{,}2 * COs + 1{,}2 * T + 1{,}2 * 0{,}6 * Fc$

$CU5$: $1{,}0 * CP + 1{,}4 * E + 1{,}2 * COs + 1{,}2 * T + 1{,}2 * 0{,}6 * Fc + 1{,}6 * CAs$

Se hace notar que cuando la Fuerza de Cortocircuito $\mathbf{"}\boldsymbol{Fc}\mathbf{"}$ es simultánea con el sismo, se considera el factor de 0,6 indicado en las combinaciones de carga para representar los siguientes efectos simultáneos:

i. Reducción de la fuerza en las zonas críticas del Equipo debido a las características y razón de amortiguamiento propios del Equipo.

ii. Conexión con conductores flexibles con las holguras señaladas en el Título XXV.

iii. Baja probabilidad de ocurrencia simultánea del Sismo de Diseño y la fuerza de máximo cortocircuito definida en el Artículo 29.

TÍTULO VII DOCUMENTACIÓN DE RESPALDO DEL DISEÑO SÍSMICO

Artículo 33 Documentos de respaldo

El Diseñador deberá respaldar el diseño de cada uno de los Elementos del Sistema Estructural mediante memorias de cálculo, informes técnicos, planos y en general otros documentos y/o procesos necesarios. Estos respaldos deberán tener un nivel de detalle adecuado que permitan su utilización en las etapas siguientes del diseño, tales como: fabricación, montaje, construcción, operación y mantenimiento de la instalación.

El objetivo de los documentos de respaldo es dar cumplimiento al menos a los siguientes requisitos:

1. Revisar el diseño y que el Revisor Sísmico pueda concluir que éste cumple con los requisitos definidos en el presente Anexo.

2. El correcto montaje de los Equipos.

3. La correcta fabricación y montaje de las estructuras.

4. La correcta construcción de las fundaciones y otras obras civiles.

5. En general, demostrar que cumple con los requisitos de diseño del presente Anexo.

La documentación a entregar deberá corresponder fehacientemente al suministro y/o diseños a los cuales representa, ya sea para los Equipos Eléctricos como para las estructuras, fundaciones y otras obras civiles que forman parte de las instalaciones contenidas en el presente Anexo.

La información indicada en los siguientes Artículos del presente Título constituye el contenido mínimo que deberán incluir los documentos de respaldo de los diseños. Adicionalmente, según sea el Elemento en diseño, en los Títulos siguientes del presente Anexo se especifica la información complementaria que deberá ser presentada como respaldo.

Toda la documentación de respaldo requerida para dar cumplimiento a las disposiciones del presente Anexo Técnico deberá ser presentada por el Propietario de la instalación al Coordinador, previo a la aprobación de su Entrada en Operación.

Artículo 34 Memorias de cálculo

Las Memorias de Cálculo deberán tener toda la información necesaria para cumplir con los objetivos señalados en el Artículo 33. Para este fin, las distintas memorias de cálculo que respaldan el diseño sísmico de la Instalación deberán contener de manera clara y ordenada al menos la siguiente información según corresponda:

1. Las bases generales de cálculos adoptados, indicando las normas, características de los materiales y los programas computacionales que se han utilizado.

2. Una descripción de la estructuración y de los modelos que se utilicen, explicando las consideraciones realizadas, incluyendo la definición de las condiciones de borde, los apoyos y la conectividad entre los distintos elementos/componentes del modelo, distribución de masas, propiedades mecánicas, ubicación del centro de gravedad, entre otros.

3. Los resultados más relevantes de los cálculos según corresponda: desplazamientos, deformaciones, esfuerzos, tensiones, factores de utilización, factores de seguridad, frecuencias, coeficientes de participación de los modos, entre otros.

4. El diseño de todas las conexiones eléctricas entre Equipos y, de Equipos con el resto de la subestación de acuerdo con los requisitos señalados en el Título XXV del presente Anexo y que respaldan el plano señalado en el numeral 4 del Artículo 35.

5. Conclusión, en donde se diga explícitamente que se han cumplido los requisitos del presente Anexo.

6. En caso de que se utilice algún software computacional, se deberá incluir un Anexo con la información de:

    i. El archivo de entrada del modelo computacional: definición de ejes, croquis con identificación de nodos y barras/elementos, nodos del modelo y sus coordenadas, calidad de los materiales de las barras/elementos, valores y ubicación de las solicitaciones de diseño, combinaciones de cargas, grados de libertad o restricción de los apoyos, conectividad de elementos, condiciones especiales de modelación (elementos rígidos, dependencias cinemáticas, otras), entre otros.

    ii. El archivo de salida correspondiente a los resultados del análisis realizado.

En el caso del Diseño de un Equipo, la memoria de cálculo deberá incluir, además:

1. Los informes de ensayos de laboratorio, incluyendo los que definen el comportamiento de los dispositivos de disipación de energía sísmica cuando estos forman parte del suministro del Equipo y los que respaldan las resistencias mecánicas consideradas en la demostración del cumplimiento de los Requisitos Sísmicos del Equipo, entre otros.

2. Los cálculos que respaldan la resistencia del equipo para todas las solicitaciones señaladas en el Título VI.

3. El diseño del sistema de fijación o de anclaje del Equipo, ya sea a la estructura de soporte (fijación) o a la fundación (anclaje) según corresponda, indicando claramente si los pernos de fijación o de anclaje forman parte o no del suministro del Equipo por parte del Proveedor.

4. Demostración de que la estructura de soporte cumple con todos los requisitos de diseño señalados en el Título XV cuando ésta forma parte de la demostración del cumplimiento de los Requisitos Sísmicos del Equipo y es suministrada junto con el Equipo.

Artículo 35 Planos

Los planos deberán tener toda la información necesaria que permita cumplir con los objetivos señalados en el Artículo 33.

Para este fin, los planos deberán contener de manera clara y ordenada a lo menos la siguiente información:

1. Los planos de los Equipos deberán contener a lo menos la siguiente información, necesaria tanto para el diseño de sus estructuras de soporte y fundaciones como para la Revisión Sísmica del Equipo:

   i. Peso y posición del o los centros de gravedad del Equipo, tanto en planta como en elevación.

   ii. Altura de ubicación de los conectores.

   iii. Detalle del sistema de fijación o de anclaje del Equipo, ya sea a una estructura de soporte (fijación) o directamente a la fundación (anclaje) según corresponda, indicando claramente las cotas de los ejes de los pernos.

   iv. Información del diámetro, calidad (definición de material) y cualquier otro parámetro de los pernos del Equipo calculados por el Diseñador del Equipo, indicando claramente si estos pernos de fijación o de anclaje forman parte o no del suministro del Equipo por parte del Proveedor.

   v. Detallamiento de la estructura soporte cuando ésta forma parte de la demostración del cumplimiento de los Requisitos Sísmicos del Equipo, ya sea que forme parte del suministro del Equipo o no.

   vi. Detallamiento de los aisladores incluyendo dimensiones, sus Flanges metálicos con dimensiones, tolerancias y peso.

   vii. Detallamiento de la base metálica del Equipo y su fijación a la estructura de soporte.

   viii. Cuando el Equipo incluya un sistema de disipación de energía sísmica: Información que defina dicho sistema, su conexión al Equipo y su conexión a la estructura de soporte (si corresponde), incluyendo dimensiones, materiales y condiciones de instalación, entre otros.

   En caso de que el sistema de disipación de energía, presente derechos de propiedad intelectual, se podrá eximir de presentar información sensible referida a materiales o técnicas utilizadas, pero se deberán entregar todos los antecedentes que demuestren las propiedades sísmicas del sistema de disipación.

2. Los planos de fundación de Equipos deberán incluir dentro de las notas de Diseño el valor de la Aceleración Basal "A_0" y el Factor de Importancia del Equipo "I_E" considerados, así como los parámetros geotécnicos utilizados en el diseño.

3. Los planos de Estructuras de Soporte de Equipos que emita el Diseñador, aun cuando no correspondan a la condición de "fabricación", igualmente deberán incluir, al menos, todo el detalle que se indica a continuación:

i. Para las Estructuras de Soporte de Equipos: la zona local donde se apoya el Equipo en la estructura de acuerdo con lo señalado en el Artículo 123.

ii. Todas las uniones que tienen más de un perno.

iii. Todas las uniones que son soldadas.

iv. Los Sistemas de Anclaje.

v. Cualquier otro detalle que en opinión del Diseñador sea lo suficientemente relevante en el diseño para que no pueda ser modificado por la maestranza.

4. Para cada subestación deberá existir un plano de diseño global de todas las conexiones eléctricas entre Equipos y de Equipos con el resto de la subestación, que señale las conexiones y sus holguras de acuerdo con los requisitos señalados en el Título XXV. Los valores establecidos en dicho plano deberán estar respaldados por una memoria de cálculo de dichas conexiones de acuerdo con lo señalado en el numeral 4 del Artículo 34.

   El Contratista encargado del montaje de las conexiones deberá realizarlas de acuerdo con lo señalado en este plano.

TÍTULO VIII CLASIFICACIÓN SÍSMICA DE EQUIPOS ELÉCTRICOS

Artículo 36 Clasificación sísmica de Equipos Eléctricos

Desde el punto de vista de la aplicación del presente Anexo, los Equipos se clasifican en general en:

1. Equipos Rígidos: son los que tienen su Frecuencia Fundamental mayor o igual a 30 [Hz].

2. Equipos Semi-Rígidos: son los que tienen su Frecuencia Fundamental menor a 30 [Hz] y que se caracterizan por estar conformados por un componente principal de gran masa y rigidez, normalmente anclado directamente a la fundación, y por Elementos Flexibles.

3. Equipos Flexibles: son los que tienen Frecuencia Fundamental menor a 30 Hz y que se caracterizan por tener masa pequeña en comparación a los Equipos Semi-Rígidos y por tener desplazamientos laterales importantes debido a la acción sísmica, razón por la cual experimentan aceleraciones a lo largo de su altura mayores a las que experimenta en su base (amplificación dinámica).

4. Equipos especiales: Equipos que requieren de un análisis sísmico especial debido a las particularidades de su comportamiento sísmico.

36.1. Características generales de los Equipos Rígidos

Estos Equipos pueden:

1. Formar una unidad independiente montada sobre una fundación única implantada directamente en el terreno, sin interposición de una estructura soportante.

2. Estar desacoplado mecánicamente de otros Equipos o estructuras vecinas.

36.2. Características generales de los Equipos no rígidos

Estos Equipos pueden clasificarse en:

1. Equipos de gran masa con Elementos Flexibles, como son por ejemplo los transformadores de poder y reactores de poder. Para efectos del presente Anexo, a estos Equipos se les conocerá como Equipos Semi-Rígidos.

2. Equipos Flexibles con simetría respecto a su eje vertical, como son por ejemplo los interruptores, transformadores de potencial y de corriente, aisladores de soporte, pararrayos y otros similares.

3. Equipos Flexibles sin simetría respecto a su eje vertical, como son por ejemplo los interruptores con cámaras en T, desconectadores y otros similares.

36.3. Características de los Equipos especiales

Equipos que, si bien por su Frecuencia Fundamental se pueden categorizar en rígidos o no rígidos, por sus características particulares deberán ser analizados sísmicamente de forma especial.

Las características que hacen que un equipo se clasifique como "Especial", depende del tipo de equipo como también de las particularidades del proyecto, tales como, equipos sensibles a los desplazamientos, equipos con estructuras de soporte de material aislante, zona sísmica con tipos de suelos con deformaciones horizontales importantes, entre otros. Corresponde al Revisor Sísmico validar el diseño en cuanto a si el equipo debe analizarse como especial o no.

Ejemplos de estos Equipos son las subestaciones encapsuladas aisladas en gas SF6, conocidas como GIS, y los bancos de condensadores de derivación y en serie, entre otros.

TÍTULO IX MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA FUERZA SÍSMICA SOBRE EQUIPOS ELÉCTRICOS

Artículo 37 Métodos para la determinación de la fuerza sísmica sobre Equipos Eléctricos.

Según sea el tipo de Equipo Eléctrico y según sea su nivel de tensión, la determinación de la fuerza sísmica se deberá realizar de acuerdo con alguno de los siguientes métodos:

1. Métodos estáticos equivalentes:

   i. Método Estático definido en el Artículo 38

   ii. Método de Coeficientes Estáticos definido en el Artículo 39

   iii. Método Estático Simplificado definido en el Artículo 40

   Considerando que los métodos estáticos corresponden a una representación simplificada del comportamiento dinámico, para que las fuerzas sísmicas calculadas sean efectivamente representativas del comportamiento del Sistema Estructural sometido a la acción sísmica, la utilización de estos Métodos está limitada a la validez del Espectro de Diseño definido en el Artículo 19 y al cumplimento de las restricciones que se señalan en cada caso.

2. Método de Análisis Dinámico por Superposición Modal Espectral definido en el Artículo 41.

Independiente del método utilizado, el Diseño Sísmico o la Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos deberá considerar las hipótesis más desfavorables en lo que se refiere a los sentidos en que actúan las fuerzas sísmicas sobre cada una de las partes, Equipos o estructuras, acopladas mecánicamente.

Artículo 38 Método Estático

El Método Estático podrá ser utilizado en los Equipos o parte de Equipos que cumplan que su Frecuencia Fundamental sea mayor o igual a 30 Hz, empleando para ello las siguientes fuerzas sísmicas de diseño:

$$H = 0{,}6 \cdot I_E \cdot W \cdot Kh$$

$$V = 0{,}36 \cdot I_E \cdot W \cdot Kv$$

Donde:

I_E: Factor de Importancia del Equipo según Tabla 4.

H: Fuerza Sísmica Horizontal aplicada en el centro de gravedad del Equipo.

V: Fuerza Sísmica Vertical aplicada en el centro de gravedad del Equipo.

W: Peso del Equipo.

Kh: Factor de Amplificación de la solicitación sísmica horizontal.

Kv: Factor de Amplificación de la solicitación sísmica vertical.

Artículo 39 Método de Coeficientes Estáticos

El Método de Coeficientes Estáticos podrá ser utilizado en los Equipos en que así se señale explícitamente en el presente Anexo, empleando para ello las siguientes fuerzas sísmicas de diseño:

$$H = 1{,}2 \cdot I_E \cdot \frac{S_a(\xi, f_h)}{R * g} \cdot W \cdot Kh$$

$$V1 = 0{,}36 \cdot I_E \cdot W \cdot Kv$$

$$V2 = 1{,}2 \cdot 0{,}6 \cdot I_E \cdot \frac{S_a(\xi, f_v)}{R * g} \cdot W \cdot Kv$$

Donde:

I_E: Factor de Importancia del Equipo según Tabla 4.

R: Factor de Modificación de la Respuesta para el Equipo según Tabla 4.

H: Fuerza Sísmica Horizontal aplicada en el centro de gravedad del Equipo.

V1: Fuerza Sísmica Vertical aplicada en el centro de gravedad del Equipo cuando éste es rígido en Vertical.

V2: Fuerza Sísmica Vertical aplicada en el centro de gravedad del Equipo cuando éste no es rígido en Vertical.

W: Peso del Equipo.

$\frac{S_a(\xi,f)}{g}$: Ordenada del Espectro de Diseño.

ξ: Razón de amortiguamiento.

f: Frecuencia Fundamental.

f_h: Frecuencia Fundamental para el Sismo Horizontal.

f_v: Frecuencia Fundamental para el Sismo Vertical.

Kh: Factor de Amplificación de la solicitación sísmica horizontal según corresponda.

Kv: Factor de Amplificación de la solicitación sísmica vertical según corresponda.

Para el Método de Coeficientes Estáticos, los valores de **"S_a"** y **"ξ"** serán los siguientes:

1. El valor de **"S_a"** será el que corresponde al máximo valor del Espectro de Diseño, salvo que el valor de la Frecuencia Fundamental del Equipo se haya determinado

mediante una medición experimental debidamente documentada de acuerdo a lo señalado en el Título X.

2. La razón de amortiguamiento **"ξ"** será de 2% salvo que se demuestre que el Equipo tiene una razón de amortiguamiento mayor. La demostración deberá ser realizada de acuerdo con lo señalado en el Título XI pero en ningún caso podrá ser mayor a 20%.

Cuando sea necesario analizar diferentes componentes/secciones del Equipo, la distribución de la aceleración horizontal y vertical, según corresponda, se deberá obtener considerando la forma de triángulo lineal invertido (mayor valor de aceleración en el nivel superior). En este caso, las fuerzas sísmicas **"H"** y **"V"** se deberán distribuir en cada componente/sección del Equipo en forma proporcional a la masa concentrada en el centro de gravedad de cada parte/sección.

Para determinar los valores de las fuerzas sísmicas **"H"** y **"V"**, se deben tener en consideración los siguientes aspectos:

i. El cálculo de la fuerza vertical **"V"** mantiene la exigencia definida en el Artículo 18, esto es que la aceleración sísmica vertical corresponde a un 60% de la aceleración horizontal.

ii. El Factor de 1,2 que amplifica las fuerzas **"H"** y **"V"** es necesario para representar adecuadamente, mediante este método estático, las fuerzas sísmicas sobre el Sistema Estructural real, cuyo comportamiento es dinámico.

iii. Para Equipos con frecuencia fundamental en el eje Vertical, inferior a 30 Hz, se deberá aplicar **"V2"**. Ejemplos para este caso son los Equipos soportados en estructuras en voladizo; el tanque conservador de aceite y su soporte en transformadores de poder y Equipos similares; los soportes y radiadores de transformadores de poder y Equipos similares; los bushings instalados verticales, horizontales o inclinados de GIS, transformadores de poder y otros Equipos similares.

iv. Para Sistemas Estructurales no rígidos se deberá incorporar el Factor **"R"** en el cálculo de las fuerzas sísmica, razón por la que se incorpora en el cálculo de **"H"** y **"V2"**. Para Sistemas Estructurales rígidos el valor de **"R"** es 1, por lo que no se incorpora este Factor en el cálculo de **"V1"**

Artículo 40 Método Estático Simplificado

En general, este método es aplicable a Equipos Eléctricos con niveles de tensión más elevada del Equipo "Um" ≤ 36 kV, salvo que los requisitos específicos de un Equipo en particular señalen lo contrario, empleando para ello las siguientes fuerzas sísmicas de diseño:

$$H = 1{,}37 \cdot I_E \cdot W \cdot Kh$$

$$V = 0{,}82 \cdot I_E \cdot W \cdot Kv$$

Donde:

I_E: Factor de Importancia del Equipo según Tabla 4.

W: Peso del Equipo.

Kh: Factor de Amplificación de la solicitación sísmica horizontal según corresponda.

Kv: Factor de Amplificación de la solicitación sísmica vertical según corresponda.

Además de considerar las hipótesis más desfavorables en lo que se refiere a los sentidos en que actúan las fuerzas sísmicas señaladas, se deberá verificar que el Equipo en sí no tenga puntos débiles en el traspaso de dichas fuerzas desde el centro de gravedad de cada componente/sección hasta el sistema de fijación del equipo.

Artículo 41 Método de Análisis Dinámico por superposición modal espectral

El análisis dinámico por superposición modal espectral se aplica a los Sistemas Estructurales en los cuales se puede suponer que la respuesta es lineal y que hay disipación de energía que se puede representar por amortiguamiento viscoso.

El modelo matemático del Sistema Estructural analizado deberá representar adecuadamente todos los componentes/secciones importantes del Equipo, la estructura de soporte y las uniones o fijaciones entre ellos. El número, ubicación y propiedades de los elementos y nodos considerados en el modelamiento deberán ser tales que permitan obtener o reproducir los modos naturales de vibrar del Sistema Estructural hasta frecuencias de al menos 35 Hz. Cuando sea necesario, los grados de libertad nodales deberán considerar las masas rotacionales además de las masas traslacionales.

En el análisis se deberá incluir suficientes modos de vibrar para que la suma de las masas modales equivalentes, en cada dirección de análisis, sea igual o superior al 95% de la masa total. Si por las características del Sistema Estructural, para el modelo de análisis resulta poco práctico cumplir con el requerimiento anterior, se permitirá utilizar algún procedimiento reconocido de corrección estática que cubra los efectos del porcentaje de masa no considerado.

En el cálculo de los modos de vibrar se deberá considerar el Sistema Estructural sin amortiguamiento. Asimismo, será aceptable utilizar formas de vibrar aproximadas, como por ejemplo el Método de los Vectores de Ritz, Lanczos o similares, siempre que el número de vectores utilizados sea suficiente para capturar correctamente el comportamiento dinámico del sistema.

El modelo de análisis de elementos finitos deberá ser tridimensional excepto en aquellos casos que el comportamiento se pueda predecir con modelos planos, lo que deberá ser aprobado por el Revisor Sísmico.

Para el caso de Equipos especiales, como por ejemplo la Compensación Serie, o para modelamientos del Sistema Estructural Equipo + estructura + fundación, el Revisor Sísmico podrá solicitar la calibración del modelo matemático de análisis para validar que

el modelo es representativo del comportamiento sísmico del Equipo u otro Elemento del sistema en análisis. Esta calibración podrá ser mediante:

1. Pruebas de Oscilación Libre una vez concluido el montaje en terreno para validar la frecuencia fundamental y/o la razón de amortiguamiento.

2. Respuestas obtenidas en ensayos de Equipos similares, para, por ejemplo, comparar los valores de las Frecuencias Fundamentales en cada dirección.

3. Otra forma de calibración que el Revisor Sísmico considere apropiada.

El Espectro de Diseño, definido en el Artículo 19, deberá ser utilizado para definir la solicitación sísmica horizontal para una razón de amortiguamiento de 2% u otro valor debidamente justificado.

Para el caso de la solicitación sísmica vertical, se deberá considerar un 60% del espectro usado para la dirección horizontal, considerando una razón de amortiguamiento del 2% u otro valor debidamente justificado.

La estimación del valor máximo de la respuesta total, que incluye la contribución de todos los modos considerados en el análisis y la corrección estática cuando sea necesario, en cualquier dirección de análisis, se deberá calcular superponiendo los valores máximos de las correspondientes respuestas modales usando el Método de Superposición Cuadrática Completa, también denominado CQC. También se podrá utilizar el Método de la Raíz Cuadrada de la Suma de los Cuadrados, también denominado SRSS, condicionado a la previa aprobación del Revisor Sísmico.

TÍTULO X PRUEBAS EN MESA VIBRATORIA

Artículo 42 Proceso para Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos

Cuando los requisitos particulares de un Equipo señalen que deberá ser sometido a pruebas en mesa vibratoria, la Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos de dicho Equipo se deberá realizar mediante la combinación de ensayos y cálculos de acuerdo con las siguientes etapas:

1. Ejecución de las pruebas de rutina especificadas en las normas eléctricas propias del Equipo.

2. Pruebas en mesa vibratoria de acuerdo con lo señalado el Artículo 43.

3. Repetición de las pruebas de rutina señaladas en el numeral 1 precedente.

4. Memoria de cálculo para demostrar que se cumplen los Requisitos Sísmicos del Equipo bajo la acción simultánea del Sismo de Diseño y otras cargas de acuerdo con lo señalado en el Título VI. En especial, se analizarán las columnas aislantes, pernos y piezas intermedias empleados para la fijación de aisladores, pernos de sujeción del Equipo a su estructura de montaje y a sus Dispositivos de Amortiguación si éstos están contemplados en el diseño, como también cualquier elemento/componente crítico desde el punto de vista de comportamiento sísmico.

Artículo 43 Pruebas en mesa vibratoria

43.1. General

Las pruebas en mesa vibratoria se deberán realizar para una solicitación sísmica consistente con el Espectro de Diseño, definido en el Artículo 19 y, de acuerdo con las siguientes particularidades:

1. Equipo suministrado y probado con su estructura de soporte: el Espectro de Diseño. En relación a la estructura de soporte, ver numerales siguientes y ver Título XV.

2. Equipo probado sin su estructura de soporte: el Espectro de Diseño amplificado por un Factor horizontal igual a 1,2 considerando que los Equipos se instalan en estructuras de soporte que cumplen los requisitos señalados en el numeral 4 del Artículo 122 y con los requisitos señalados en el Artículo 123.

3. De no cumplirse cualquiera de los requisitos señalados para la estructura de soporte en el numeral 4 del Artículo 122 y/o en el Artículo 123 del presente Anexo, se deberá considerar que la estructura de soporte es desconocida y en tal caso, el Factor de Amplificación señalado en el numeral 2 precedente, deberá ser 2,5.

4. Bushings de los Equipos Semi-Rígidos: el Espectro de Diseño amplificado por los Factores de Amplificación **"Kh"** y **"Kv"** que se definen en el Título XVI.

Para pruebas del Equipo sin su estructura de soporte, el Equipo se deberá montar en la mesa de prueba con el sistema de fijación considerado en su diseño, es decir, con la calidad de los pernos y su diámetro determinados por el Fabricante. Para el caso de pruebas del Equipo con su estructura de soporte, la fijación de la estructura de soporte a la mesa vibratoria deberá ser con el mismo tipo de calidad de material y diámetro de los pernos considerados en el diseño del Sistema de Anclaje, también determinados por el Fabricante.

Las pruebas en mesa vibratoria descritas en los numerales 43.3, 43.4 y 43.5 del presente Artículo se llevarán a cabo, independiente y sucesivamente, según las dos direcciones horizontales ortogonales que se consideran más vulnerables y la dirección vertical. Cuando dichas direcciones no sean conocidas, las pruebas se realizarán según dos direcciones horizontales ortogonales elegidas arbitrariamente. En todo caso las direcciones de ensayo deberán contar con la aprobación previa del Revisor Sísmico.

Si las características de comportamiento dinámico del conjunto sometido a prueba fueran susceptibles de cambiar según las diferentes condiciones de servicio del Equipo, como sería el caso de un polo de desconectador en posiciones "abierto" o "cerrado", las pruebas se deberán efectuar en cada una de las condiciones de servicio posible.

Se deberán registrar medidas para verificar cambios de estado (cerrado-abierto) de elementos/componentes tales como relés, contactores, interruptores y desconectadores.

43.2. Calibración de "strain gauges"

La calibración de los medidores de deformaciones unitarias (strain-gauges) se deberá efectuar aplicando fuerzas quasi-estáticas en las mismas direcciones horizontales de los ensayos exploratorios de barrido de frecuencia, hasta un valor de al menos 35% del valor resistido por los elementos/componentes críticos.

Los strain-gauges deberán ser instalados por los especialistas del laboratorio de ensayos en los lugares que se acuerden con el Revisor Sísmico. No se aceptará que los strain-gauges sean instalados por el Fabricante.

Se deberán efectuar al menos dos ciclos de carga en cada dirección utilizando como calibración los valores del segundo ciclo.

43.3. Ensayo exploratorio de barrido de frecuencia

El propósito de los ensayos de barrido de frecuencia es identificar las características oscilatorias del Equipo identificando las diferentes frecuencias de resonancia y la razón de amortiguamiento correspondiente a cada una de ellas.

Este ensayo exploratorio de barrido de frecuencia se deberá realizar con excitación sinusoidal que, dependiendo del Equipo, deberá tener una amplitud máxima de aceleración de la mesa vibratoria que no someta al Equipo a una solicitación excesiva, es decir, cuidando que ésta produzca aceleraciones de respuesta máxima

en el centro de gravedad del Equipo dentro del rango de 50% y 90% del Espectro de Respuesta Requerido (RRS).

El barrido de frecuencias se efectuará en el rango de 0,1 a 35 Hz, con una tasa de crecimiento de la frecuencia de la mesa vibratoria igual o inferior a:

1. 1,0 oct/min para Equipos sin dispositivos de disipación de energía sísmica.
2. 0,6 oct/min para Equipos con dispositivos de disipación de energía sísmica.

Este ensayo se efectuará en las dos direcciones horizontales y en la dirección vertical.

Para Equipos con múltiples frecuencias de resonancia, como son por ejemplo las celdas metálicas, se aceptará para este ensayo el uso de ruido blanco si cumple con los requisitos señalados en la IEEE 693.

De los resultados de este ensayo se deberá obtener el gráfico de la pseudo función de transferencia (o función de transmisibilidad), en módulo y ángulo, entre la aceleración medida en el centro de gravedad del Equipo o en otro punto, y la aceleración de la mesa en función de la frecuencia de la excitación sinusoidal de la mesa. De este gráfico es posible determinar la razón de amortiguamiento de los modos de oscilación conforme a los siguientes métodos:

Método de Ancho de Banda: $\xi = \frac{\Delta f}{2 \cdot f} \cdot 100$ [%]

Método del Factor de Amplificación $\xi = \frac{1}{2 \cdot FA} \cdot 100$ [%]

Donde:

ξ: Razón de Amortiguamiento.

f: Frecuencia de resonancia.

FA: Factor de Amplificación. Corresponde a la amplitud de la función de transferencia para la frecuencia de resonancia **"f"** de acuerdo con la Figura 2.

$\Delta f = f2 - f1$: Rango de variación para la frecuencia de resonancia **"f"** de acuerdo con la Figura 2.

La elección de uno u otro método para la determinación de la razón de amortiguamiento se define en el Título XI.

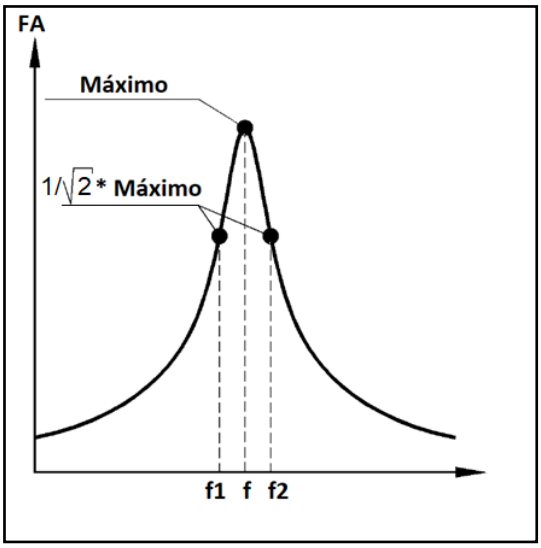

Figura 2: Función de transferencia para la frecuencia de resonancia "f".

43.4. Ensayo exploratorio alrededor de frecuencias de resonancia

Ensayo exploratorio de barrido de frecuencia con excitación sinusoidal alrededor de la frecuencia de resonancia más baja, encontrada en el ensayo exploratorio señalado en el numeral 43.3 precedente, en cada dirección y con un nivel de aceleración de la mesa un 50% mayor que el utilizado en el barrido exploratorio y una velocidad de crecimiento de la frecuencia de a lo más de 0,25 oct/min.

Se podrá reducir el nivel de aceleración de la mesa utilizado en este ensayo, si de los ensayos anteriores, se desprende que la respuesta en el centro de gravedad del Equipo puede superar la respuesta definida por el espectro requerido que está siendo utilizado.

El propósito de este ensayo es determinar las características oscilatorias del Equipo con un mayor nivel de solicitación, con la finalidad de determinar de manera más precisa las características del Equipo en su condición lo más cercana a lo que sucederá durante un sismo. Es especialmente aplicable a Equipos que tienen características oscilatorias no lineales, como por ejemplo son los Equipos con dispositivos de amortiguación.

Para la determinación de la razón de amortiguamiento aplica lo señalado en el numeral 43.3 precedente.

El Revisor Sísmico podrá definir que este ensayo no es necesario en los casos que el ensayo definido en el numeral 43.3 precedente identifique claramente las características oscilatorias del Equipo o parte de él.

43.5. Ensayo de frecuencia fija

Es común que, para Equipos de baja Frecuencia Fundamental, por ejemplo, Equipos Eléctricos con sistemas de disipación de energía en la base, las mesas vibradoras existentes no sean capaces de generar el nivel de movimiento de la mesa tal que la respuesta del Equipo cumpla con el Espectro de Respuesta Requerido (RRS).

Por tal razón, se acepta realizar el ensayo de frecuencia fija bajo las siguientes condiciones:

1. Para Equipos que presenten una frecuencia de resonancia ≤ 1,0 Hz, y que la mesa vibratoria no tenga la capacidad de desplazamientos necesarios para realizar la prueba en frecuencias aún más bajas que la frecuencia de resonancia del Equipo.

2. Para una situación diferente a la señalada en el numeral 1, será requisito que la realización de este ensayo sea aprobada previamente por el Revisor Sísmico, para lo cual el Diseñador del Equipo deberá presentar los argumentos técnicos que justifican la necesidad de realizar este ensayo.

3. Para todos los casos en que se realice el ensayo de frecuencia fija, se deberá efectuar también el ensayo de multifrecuencia que se indica en el numeral 43.6 siguiente.

El ensayo de frecuencia fija con excitación sinusoidal, a la Frecuencia Fundamental del Equipo, se deberá realizar de modo de desarrollar en el centro de gravedad de la masa oscilante del Equipo una aceleración igual a la que se obtiene del Espectro de Respuesta aplicable para la frecuencia en cuestión y, en función de la razón de amortiguamiento obtenida en los ensayos definidos en los numerales 43.3 y 43.4 precedentes.

El Espectro de Respuesta aplicable será el definido en el numeral 43.1.

En caso de que se trate de Frecuencia Fundamental en la dirección vertical, como podrían ser de elementos/componentes en voladizo, el espectro aplicable será el vertical con los mismos factores multiplicadores de la aceleración aplicados para la dirección horizontal.

La duración del ensayo de frecuencia fija será como mínimo 30 segundos en estado permanente.

En el caso de estos Equipos con Frecuencia Fundamental muy baja (inferior a 1,0 Hz) y alta razón de amortiguamiento (>10%), es aceptable efectuar el ensayo de frecuencia fija efectuando un barrido de frecuencia en un rango de ±20% de la frecuencia de resonancia determinada en los ensayos anteriores, para cada dirección en que se identificó esta frecuencia, con una velocidad de barrido de 0,25 oct/min. Lo anterior, es necesario debido a que en estos Equipos, con alta razón de amortiguamiento, se produce un corrimiento de la Frecuencia Fundamental debido a la característica oscilatoria no lineal respecto del nivel de la aceleración.

Cuando sea aplicable este ensayo de frecuencia sinusoidal fija, se deberá efectuar también el ensayo de multifrecuencia señalado en el numeral 43.6 siguiente, de modo de probar frecuencias de resonancias superiores.

Para Equipos que, en el ensayo de multifrecuencia establecido en el numeral 43.6 siguiente, se logre que el TRS supere al RRS desde una frecuencia de al menos 0,75 veces la Frecuencia Fundamental del Equipo, no será necesario realizar el ensayo de frecuencia fija señalado en el numeral 43.5, siendo suficiente con efectuar el ensayo de multifrecuencia señalado en el numeral 43.6 siguiente.

43.6. Ensayo de multifrecuencia

El ensayo de multifrecuencia es un ensayo triaxial cuya especificación básica es la siguiente:

1. El ensayo se hará excitando la mesa en 3 direcciones simultáneas e independientes entre sí.

2. El Equipo o Elemento sometido a la prueba deberá ser montado en la mesa, considerando que el sentido de los 2 ejes principales de simetría del Equipo deberá coincidir con dos de las direcciones señaladas en el número 1 precedente.

   Para casos especiales, como son ejes de simetría del Equipo que no sean los más desfavorables para la solicitación sísmica, la orientación del Equipo en la mesa deberá ser aprobada previamente por el Revisor Sísmico.

3. Los acelerogramas para el movimiento de la mesa deberán ser sintéticos y se deberán generar con una resolución mayor o igual que 24 señales por octava para la frecuencia obtenida de los ensayos de barrido de frecuencia u oscilación libre según corresponda. Acelerogramas basados en sismos reales no son aceptables.

4. Las aceleraciones máximas de la mesa durante el ensayo deberán ser:

   i) Al menos 0,5 * Kh [g] en las direcciones horizontales.

   ii) Al menos 0,3 * Kv [g] en la dirección vertical.

   Siendo **"Kh"** y **"Kv"** los Factores de Amplificación de la acción sísmica definidos para cada Equipo en particular, según lo señalado en el Título correspondiente.

5. Los espectros de respuesta del ensayo, Test Response Spectrum (TRS), deberán estar sobre el Espectro de Diseño (RRS) para cada uno de los ejes horizontales y vertical, para todo el rango de frecuencias hasta 35 Hz, para la razón de amortiguamiento asociada a la frecuencia fundamental determinada de los ensayos de barrido de frecuencia o de oscilación libre que se efectúen.

   El acelerograma obtenido del movimiento de la mesa deberá tener al menos 2 peak de aceleración que alcancen el valor del ZPA del ensayo.

6. La duración de la parte con movimiento fuerte del acelerograma será de 45 segundos como mínimo.

7. Se deberá considerar que la parte de movimiento fuerte del acelerograma corresponde al tiempo transcurrido entre el instante en que el registro alcanza el 10% de la Intensidad de Arias y el instante en que llega al 90% de esta.

   La Intensidad de Arias se define como la integral de la aceleración al cuadrado, es decir:

$$IA(t) = \frac{\pi}{2g}\int_0^t a(t)^2 dt$$

   Para la duración completa del registro, el valor de la Intensidad de Arias corresponde a la misma integral evaluada entre el "comienzo ($t = 0$)" y el "final ($t = t_d$)" del registro, que se define como:

$$IA_f = \frac{\pi}{2g}\int_0^{t_d} a(t)^2 dt$$

   Con esto, la definición del comienzo del lapso de movimiento fuerte t_i y su final t_f se definen como:

$$\frac{IA(t_i)}{IA_f} = 0{,}10 \qquad \frac{IA(t_f)}{IA_f} = 0{,}90$$

8. Para el caso de Equipos que tengan Frecuencia Fundamental inferiores a 1 Hz y la mesa vibratoria no tenga la capacidad de que el TRS supere al RRS desde una frecuencia de 0,75 veces la Frecuencia Fundamental, se deberán combinar los resultados del ensayo de multifrecuencia con los resultados de frecuencia fija utilizando el Método SRSS (Square Root of Sum of Squares).

9. Durante los ensayos dinámicos se deberán registrar, a lo menos, las aceleraciones verticales y horizontales tanto de la mesa vibratoria como del Equipo bajo prueba y las solicitaciones en los puntos más críticos del Equipo. También se deberán registrar los desplazamientos de los terminales de Alta Tensión del Equipo, de la zona de fijación del Equipo a la estructura soporte cuando ésta es parte de la prueba y de la mesa. Para estos efectos, se someterá a la aprobación del Revisor Sísmico una proposición con la ubicación de los instrumentos y puntos de medida, así como el procedimiento de ensayo a realizar por el Laboratorio con la suficiente anticipación a la realización de los ensayos.

10. Para las pruebas de prototipo de fabricantes, en las que no sea posible involucrar a un revisor sísmico de antemano, se deberá instrumentar de manera detallada los componentes críticos del equipo, así como las aceleraciones y desplazamientos en áreas donde se esperan amplificaciones significativas de la excitación. Esto se debe hacer con un alto nivel de detalle para poder determinar todas las variables críticas necesarias y reducir al

mínimo la incertidumbre relacionada con la identificación del equipo. Algunos ejemplos de esto incluyen: incluir transductores extensiométricos en los componentes aislantes en las direcciones más críticas; colocar acelerómetros en los topes de las estructuras, las cubiertas, los centros de gravedad de los componentes pesados y del equipo; registrar los desplazamientos en los terminales de conexión; entre otros.

Para este caso, el Revisor Sísmico deberá evaluar tanto el Informe del laboratorio de la prueba prototipo, así como el informe de análisis de los resultados del ensayo en los que se demuestra el cumplimiento de los Factores de Seguridad de los puntos críticos.

43.7. Repetición del ensayo de barrido de frecuencia

Luego de los ensayos dinámicos se deberán repetir los ensayos exploratorios de barrido de frecuencia con excitación sinusoidal del numeral 43.4 precedente.

La comparación de las pseudo funciones de transferencia de los ensayos de barrido de frecuencia de los numerales 43.4 y 43.6del presente Artículo no deberán mostrar variaciones de las primeras frecuencias de ± 20% y variaciones de la razón de amortiguamiento de ±40%.

Si algunos de estos límites se exceden, el laboratorio deberá hacer una investigación buscando detectar las causas que justifiquen el cambio de comportamiento, como por ejemplo, un Informe de Desarme del Equipo después de las pruebas sísmicas para analizar posibles anomalías que expliquen estas diferencias. El Revisor Sísmico podrá o no validar la justificación.

En caso de aprobar la justificación, se deberá considerar la prueba como aprobada y por lo tanto los resultados del ensayo definido en el numeral 43.4 precedente siguen siendo válidos en este aspecto. En caso de no aprobar la justificación, se deberá considerar la prueba como no aprobada y, en consecuencia, que el Equipo no cumple con los Requisitos Sísmicos del presente Anexo.

43.8. Repetición de la calibración de "strain gauges"

En los casos en que las variaciones sean mayores a las señaladas en el numeral 43.7 precedente, se deberá considerar dentro de los procesos de investigación el repetir los ensayos de calibración de las strain gauges del acuerdo con el numeral 43.2 precedente. El Revisor Sísmico podrá definir que estos ensayos se realicen solo a los strain gauges más solicitados.

La comparación de las curvas fuerza versus deformación unitarias, antes y después de los ensayos sísmicos, no deberán mostrar cambios en la pendiente de la curva mayores a ±10%, y no deberá mostrar deformaciones permanentes mayores a ±7,5% de la deformación máxima a la que fue sometido.

Si algunos de estos límites se exceden, el laboratorio deberá hacer una investigación buscando detectar las causas que justifiquen el cambio de comportamiento. El Revisor Sísmico podrá o no validar la justificación; en caso de

no aprobar la justificación, se deberá considerar la prueba como no aprobada y, en consecuencia, que el Equipo no cumple con los Requisitos Sísmicos del presente Anexo.

43.9. Verificación de los Requisitos Sísmicos de aceptación

Con los valores de aceleraciones y solicitaciones mecánicas obtenidas en los ensayos señalados desde los numerales 43.1 a 43.8 precedentes, se efectuará el cálculo de la verificación del cumplimiento de los factores de seguridad requeridos, considerando las solicitaciones simultáneas con el Sismo de Diseño establecidas en el Título VI.

Se considera que el Equipo cumple con los Requisitos Sísmicos sí cumple copulativamente con las siguientes condiciones:

1. El Equipo después del ensayo no presenta ningún daño visible, filtración o pérdida de hermeticidad, según sea el caso.

2. El Equipo después del ensayo mantiene su condición de operación. Para Equipos que requieren ser desarmados, para su traslado a la repetición de las pruebas de rutina, tales como desconectadores e interruptores de poder, la prueba de operación se deberá efectuar en el mismo Laboratorio.

3. El cumplimiento de los factores de seguridad establecidos en el Título XIV, conforme a los análisis señalados en este Anexo.

4. Las pruebas de rutina estipuladas en los numerales 1 y 3 del Artículo 42 no presentan diferencias significativas entre sí, salvo las atribuibles a la precisión de las medidas. En ningún caso los valores medidos pueden estar fuera de los rangos de aceptación señalados en la norma respectiva.

43.10. Condiciones que deberá cumplir el informe del ensayo sísmico y de los ensayos de rutina

1. Informe del ensayo sísmico:

   El informe del ensayo sísmico deberá ser emitido directamente por el laboratorio ejecutor del ensayo, con la identificación, firmas y timbres necesarios para ser un documento oficial del laboratorio y trazable para el Revisor Sísmico.
   Este informe deberá contener obligatoriamente:

   i. Fechas y lugar de ejecución de los ensayos.

   ii. Nombre y firma del responsable del ensayo del laboratorio y del Jefe del Laboratorio.

   iii. Nombre de los inspectores presentes en el ensayo, tanto del Fabricante como del Propietario.

iv. Identificación del espécimen ensayado, nombre y país del Fabricante, con todas las designaciones, número de serie, fotos e identificación de todos los componentes. En particular, para los aisladores de cualquier tipo se deberán identificar con nombre y país del Fabricante, lugar de fabricación, su designación, fotos de las marcas estampadas en ellos y sus respectivos planos indicando material de los diferentes componentes incluyendo los Flanges.

v. Descripción de los medios utilizados para los ensayos realizados.

vi. Diagrama con la ubicación de los acelerómetros, strain gauges y medidores de desplazamiento.

vii. Descripción del tipo de excitación de la mesa utilizada. En particular si se efectúan ensayos de multifrecuencia se deberá explicar cómo se han generado los acelerogramas sintéticos, su resolución, entre otros.

viii. Descripción de la fijación del Equipo a la mesa de ensayos.

ix. Cuando el Equipo sea probado sobre estructura de soporte, se deberá incluir además la descripción de la fijación del Equipo a la estructura de soporte y de la estructura a la mesa de ensayo.

x. En el caso de que la estructura de soporte utilizada en la prueba del Equipo sea parte del suministro de este, se deberá identificar y entregar el plano de detalle de fabricación y montaje de la estructura de soporte, así como toda la documentación que respalda que el diseño de dicha estructura cumple con los Requisitos Sísmicos del presente Anexo de acuerdo con lo señalado en el Título XV. En el caso de que la estructura de soporte no sea parte del suministro del Equipo, igualmente se deberá identificar y entregar el plano de detalle de fabricación y montaje de la estructura.

xi. Se deberán incluir las curvas de calibración de todos los strain gauges en gráficos de fuerza versus deformación unitaria.

xii. Se deberá incluir gráfico y foto mostrando el punto de aplicación de la fuerza de calibración de strain gauges.

xiii. Se deberá incluir las curvas de transmisibilidad en aceleraciones (pseudo función de transferencia) en el rango de 0 a 35 Hz de cada uno de los ensayos de barrido de frecuencia. También se incluirán las curvas de las medidas de los strain gauges en función de la frecuencia.

xiv. Determinación de las frecuencias de resonancia y, cálculo y determinación de la razón de amortiguamiento para la primera frecuencia de resonancia.

xv. Para los ensayos de frecuencia fija y/o multifrecuencia se deberá entregar las curvas en función del tiempo de todos los medidores de aceleración, strain gauges y medidores de desplazamiento.

xvi. Se deberá registrar cualquier anomalía que se haya detectado durante los ensayos, como por ejemplo: reapriete de conexiones; reposicionamiento o ajuste de los sensores de aceleración y/o desplazamientos y/o strain gages, entre otros.

xvii. Deberá incluir fotos de buena resolución de:

a. El montaje general del Equipo en cada disposición ensayada.

b. El punto de aplicación de la fuerza en los ensayos de calibración de los strain gauges.

c. Detalle de la fijación del Equipo a la mesa y/o a la estructura soporte.

d. Detalle de cada detector instalado.

e. Detalle de cualquier anomalía detectada.

2. Informe de los ensayos de rutina del espécimen previo al ensayo sísmico.

El informe de ensayo de pruebas de rutina al espécimen a ensayar deberá ser entregado al Revisor Sísmico previo a la ejecución del ensayo, como antecedente.

Este informe deberá contener obligatoriamente:

i. Fechas y lugar de ejecución de los ensayos.

ii. Nombre y firma del responsable del ensayo del laboratorio y del Jefe del Laboratorio.

iii. Nombre de los inspectores presentes en el ensayo.

iv. Identificación del espécimen ensayado, nombre y país del Fabricante, con todas las designaciones del Fabricante, número de serie, fotos e identificación de todos los componentes. En particular, para los aisladores de cualquier tipo se deberán identificar con nombre y país del Fabricante, su designación, fotos de las marcas estampadas en ellos y sus respectivos planos indicando material de los diferentes componentes incluyendo los Flanges.

v. Descripción de los ensayos que se ejecutan y valores límites de aceptación.

vi. Resultados detallados.

3. Informe de los ensayos de rutina del espécimen posterior al ensayo en mesa vibratoria:

El informe de ensayo de rutina después del ensayo en mesa vibratoria tiene las mismas exigencias que el efectuado antes de dichas pruebas.

El informe deberá señalar explícitamente si hubo o no cambios dentro de los rangos admisibles en las pruebas de rutina antes y después del ensayo y, cuáles son las causas que justifican dichos cambios.

El Revisor Sísmico podrá o no validar la justificación; en caso de no aprobar la justificación, se deberá considerar la prueba como no aprobada y, en consecuencia, que el Equipo no cumple con los Requisitos Sísmicos del presente Anexo.

43.11. Calificación del Laboratorio de ensayo

La ejecución de las pruebas en mesa vibratoria deberá ser efectuada en un laboratorio especializado. Los antecedentes necesarios para llevar a cabo esta calificación del laboratorio deberán ser entregados por el Fabricante o por el Proveedor, según corresponda, con la suficiente antelación.

El laboratorio deberá contar con experiencia suficiente para ejecutar este tipo de ensayos y disponer de los siguientes recursos mínimos:

1. Mesa vibratoria triaxial de masa de al menos 3 veces superior al del Equipo en prueba.

2. Sistema de adquisición de datos adicionales a los necesarios para el control de la mesa:
   i. 20 o más canales de registros extensiométricos (strain-gauges).
   ii. 20 o más canales de registros de acelerómetros.
   iii. 3 o más canales de registro de desplazamiento.

3. Velocidad de barrido de frecuencia bajas, menores a 0,25 oct/min.

4. Capacidad de proceso de la información para determinación de las funciones de transferencia, en módulo y ángulo.

5. Generación de señal de impulsión de la mesa vibratoria para prueba de multifrecuencia con una resolución de 1/24 de octava o mejor.

6. Capacidad de aplicar fuerzas estáticas al Equipo con precisión para ensayos de calibración de strain-gauges.

7. El personal responsable de la ejecución del ensayo y de la elaboración del informe respectivo, deberá tener una experiencia de a lo menos 5 años de trabajo en laboratorios y en ensayos similares.

El cumplimiento de los requisitos del laboratorio deberá ser aprobado por el Revisor Sísmico.

43.12. Informes de Ensayos Sísmicos efectuados con anterioridad

Solo serán aceptables informes de ensayos sísmicos con una antigüedad de hasta 7 años a la fecha del contrato de adjudicación de los Equipos y siempre y cuando el ensayo y el laboratorio cumplan con los requisitos establecidos en el presente Título, incluyendo la memoria de cálculo indicada en el numeral 4 del Artículo 42. Excepciones a la antigüedad de los ensayos podrán ser aceptadas en casos particulares siempre y cuando estén debidamente justificadas por el Revisor Sísmico del equipo particular.

Los informes deberán corresponder al mismo equipo (origen y material) a proveer. No se aceptarán informes correspondientes a equipos cuyo origen de fabricación y/u origen del material es distinto al del equipo a proveer.

TÍTULO XI MÉTODOS Y PRUEBAS PARA DETERMINAR LA RAZÓN DE AMORTIGUAMIENTO

Artículo 44 Métodos y pruebas para determinar la razón de amortiguamiento

Los diferentes Métodos para determinar la razón de amortiguamiento en el presente Anexo son los siguientes:

1. Método de Ancho de Banda señalado en el numeral 43.3 del Artículo 43.
2. Método del Factor de Amplificación señalado en el numeral 43.3 del Artículo 43.
3. Prueba de oscilación libre de acuerdo con el Artículo 45.

La aplicación de uno u otro se explica a continuación:

i. Amortiguamientos bajos

   En particular para el caso de razones de amortiguamientos bajos, en el rango de 1% a 10% del amortiguamiento crítico, se preferirá utilizar el Método de Ancho de Banda o el que se obtenga de una Prueba de Oscilación Libre.

ii. Amortiguamientos altos

   Para el caso de razones de amortiguamiento mayores a 10% se deberá considerar el menor valor que se obtenga entre el Método de Ancho de Banda y el Método del Factor de Amplificación o el que se obtenga de una Prueba de Oscilación Libre.

Cuando se tengan más de un valor de razón de amortiguamiento para un Equipo, se deberá considerar el valor menor.

Artículo 45 Pruebas de oscilación libre

Los Equipos cuya razón de amortiguamiento no haya podido ser determinado con precisión durante los ensayos exploratorios de los numerales 43.3 y 43.4 del Artículo 43 y los Equipos cuyos requisitos particulares así lo señalen explícitamente, serán sometidos a una Prueba de Oscilación Libre la que se efectuará en condiciones del Equipo completamente armado y anclado sobre una base rígida por los medios previstos en su diseño.

La Prueba de Oscilación Libre consistirá en una fuerza de tracción horizontal equivalente a un 40% de la masa del elemento/componente oscilante que deberá ser aplicada en su centro de gravedad y luego interrumpida bruscamente, registrándose las oscilaciones correspondientes. La fuerza se podrá aplicar también en la parte superior del Equipo con un valor de fuerza que produzca el mismo momento en la sección crítica del Equipo.

En Equipos con sistemas de disipación de energía se podrá considerar una fuerza cuya componente horizontal sea menor a la señalada en el párrafo precedente, lo que deberá ser validado previamente por el Revisor Sísmico.

En Equipos de gran peso montados sobre una plataforma en altura, como son por ejemplo los Equipos de compensación serie, la Prueba de Oscilación Libre se aplicará a

un Equipo completamente armado en terreno y consistirá en una fuerza aplicada a la estructura de la plataforma y luego interrumpida bruscamente. La componente horizontal de esta fuerza deberá ser a lo menos equivalente al 30% del peso total del Equipo; valores menores deberán ser validados previamente por el Revisor Sísmico.

El registro de oscilaciones se deberá realizar por medios que proporcionen sensibilidad y precisión suficientes para determinar el decremento de la amplitud de las oscilaciones, en función del tiempo transcurrido desde la interrupción de la tracción.

La razón de amortiguamiento **"ξ"** en porcentaje se determinará de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\xi = \frac{\ln(Y_1 / Y_{n+1})}{\sqrt{4*\pi^2*n^2 + ln^2(Y_1 / Y_{n+1})}} \qquad (\%)$$

Donde:

y_1: Amplitud de la primera oscilación libre.

y_{n+1}: Amplitud de la siguiente oscilación libre después de transcurridos n ciclos, a partir de la primera oscilación tomada para el cálculo (y_1).

n: Número de ciclos. Cuando la oscilación libre corresponda a un comportamiento lineal del espécimen, el número de ciclos a considerar puede ser del orden de 5 a 10. Para el espécimen de características no lineales, el número de ciclos deberá ser el menor posible, pudiendo llegar a ser n=1 según sea la no linealidad y amortiguamiento del sistema.

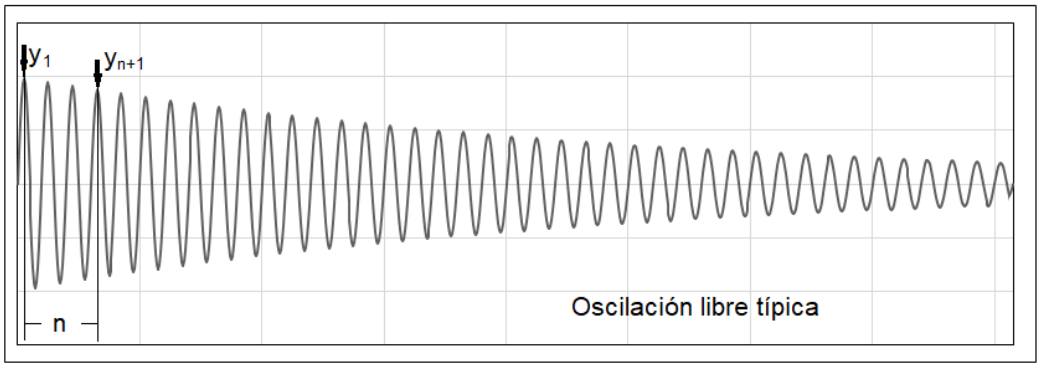

Figura 3: Oscilación libre típica

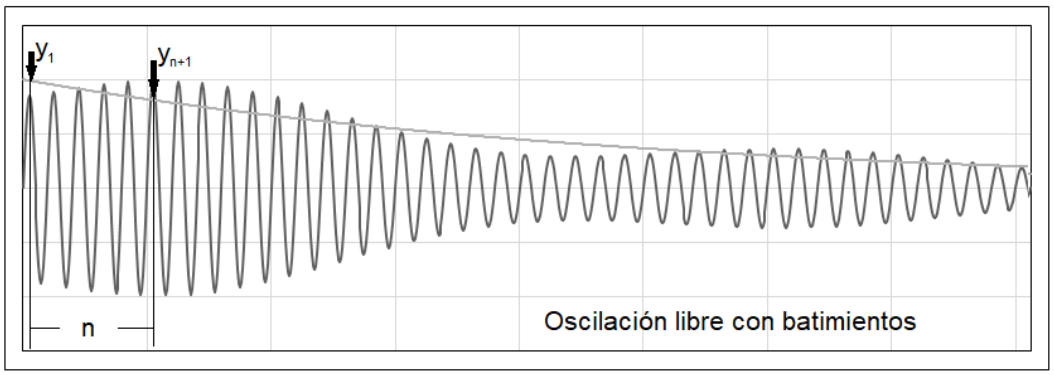

Figura 4: Oscilación libre con batimientos

De preferencia el cálculo de la razón de amortiguamiento se efectuará del registro obtenido de un sensor de desplazamiento.

Alternativamente a la aplicación de la fuerza de tracción señalada en los párrafos precedentes, se podrá producir la oscilación libre del Equipo cuando éste está montado en la mesa vibratoria, excitando la mesa con una señal sinusoidal correspondiente a la frecuencia de resonancia determinada según el Título X y produciendo la detención repentina de la excitación de la mesa. Los registros de las señales posteriores a la detención de la mesa corresponden a una oscilación libre.

En cualquiera de los casos, el ensayo se deberá realizar en la dirección más desfavorable para el Equipo.

Cuando el Equipo tenga más de un eje de simetría, la Prueba de Oscilación Libre se deberá realizar para cada uno de estos ejes o para un eje intermedio que corresponda a la condición más desfavorable para los pernos de anclaje del Equipo y/o para los dispositivos de amortiguación, esto último en caso de que el Equipo los tenga.

TÍTULO XII MÉTODO ESPECIAL PARA LA VERIFICACIÓN SÍSMICA POR GRUPO DE EQUIPOS

Artículo 46 Definición del Método de Grupo

El diseño o la Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos de los Equipos se deberá realizar de acuerdo con los métodos y/o pruebas sísmicas señaladas en los Títulos anteriores.

Se podrán exceptuar a lo señalado en el párrafo precedente aquellos Equipos que correspondan a un mismo tipo de Equipo y que cumplan copulativamente las siguientes condiciones:

1. Deberán ser similares estructuralmente de modo que tengan un comportamiento sísmico similar de acuerdo con lo señalado en el presente Título.

2. Podrán tener características funcionales distintas, tales como corrientes nominales, tensión nominal, BIL, nivel de corriente de cortocircuito resistida, entre otros, siempre que dichas características funcionales diferentes no sean un obstáculo para cumplir lo señalado en el numeral 1 precedente.

El diseño o la Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos de los Equipos que cumplan con las condiciones anteriores se realizará mediante el procedimiento denominado verificación por el Método de Grupo y para su utilización se deberán cumplir los requisitos que se señalan en el Artículo 47.

Artículo 47 Requisitos para utilizar el Método de Grupo

1. El Fabricante deberá someter a revisión del Revisor Sísmico un informe que demuestre analíticamente o mediante pruebas, según lo que corresponda al tipo de Equipo, que el Equipo más vulnerable del grupo de Equipos cumple con los Requisitos Sísmicos de acuerdo con lo señalado en los Títulos anteriores.

2. El Fabricante deberá someter a revisión del Revisor Sísmico un informe con los antecedentes que demuestran que, el Equipo al que se propone esta verificación por el Método de Grupo cumple copulativamente con las siguientes condiciones:

    i. Tiene una estructura y comportamiento dinámico iguales o más favorables, desde el punto de vista sísmico, que el Equipo más vulnerable del grupo.

    ii. Tiene desplazamientos similares a los del Equipo más vulnerable del grupo y en ningún caso mayores en 15% que los del Equipo más vulnerable.

    iii. Los Factores de Seguridad de sus componentes críticas deberán ser iguales o superiores a las del Equipo más vulnerable del grupo.

3. La información que deberá entregar el Fabricante para demostrar que su Equipo es adecuado para ser evaluado sísmicamente mediante el Método de Grupo deberá incluir, pero sin limitarse a, las siguientes consideraciones en relación con el Equipo más vulnerable del grupo:

i. Masa y rigidez del Equipo, así como otras características dinámicas relevantes.

ii. Geometría, por ejemplo, configuración general, altura, ubicación del centro de masa, diámetros interiores y exteriores de la sección critica de los aisladores, entre otros.

iii. Uso de componentes idénticos o muy similares. En caso de aisladores de material cerámico o poliméricos estos deberán ser de diseño similar y ser del mismo Fabricante que los del Equipo más vulnerable y demostrar su resistencia y rigidez mediante ensayos como establece el presente Anexo.

iv. Diferencias que pueden influir en la funcionalidad del Equipo.

v. Estructura de soporte cuando corresponda.

vi. Detalles del sistema de fijación del Equipo a la estructura de soporte o del Sistema de Anclaje a la fundación según corresponda.

En caso de que el Revisor Sísmico hiciera objeciones al mérito técnico del procedimiento usado para la verificación por el Método de Grupo, el Fabricante y el Revisor Sísmico harán una revisión del análisis realizado para determinar si es posible resolver las objeciones. Si no es posible resolverlo, la verificación por el Método de Grupo no se puede utilizar y, en consecuencia, la Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos del Equipo deberá ser realizada por el Fabricante de acuerdo con lo señalado en los Títulos anteriores.

TÍTULO XIII ESFUERZOS DE ACOPLAMIENTO MECÁNICO

Artículo 48 Acoplamiento mecánico

Se deberá verificar por medio de ensayos o análisis que el acoplamiento entre componentes o subsistemas de un mismo Equipo, como por ejemplo son los desconectadores y los interruptores tripolares, o entre Equipos diferentes, es suficientemente flexible para poder despreciar la interacción entre los componentes o subsistemas dentro del rango de las amplitudes máximas previstas de los desplazamientos relativos entre los puntos conectados. Esta exigencia se cumplirá demostrando copulativamente que:

1. El sistema de acoplamiento permite admitir desplazamientos relativos entre los puntos conectados, iguales o mayores que la suma de los desplazamientos máximos, considerados en sentido opuesto de cada uno de los dos componentes, amplificados por 1,5.

2. Si los componentes no están montados sobre una fundación común, se deberá agregar en la dirección y sentido más desfavorable los desplazamientos relativos entre los puntos de apoyo, especialmente, si las fundaciones no corresponden a las señaladas en el número 1 del Artículo 141 o si, correspondiendo incluso a las allí señaladas, la clasificación del suelo en el lugar de la instalación corresponde a una clasificación para la cual el Espectro de Diseño del Artículo 19 no es válido.

3. Las frecuencias fundamentales de los componentes o subsistemas no quedan afectadas de manera importante por el hecho de que haya o no acoplamiento.

4. Las fuerzas generadas por el acoplamiento, como consecuencia de los movimientos relativos, quedan dentro de la capacidad resistente de los acoplamientos mismos y de los componentes o subsistemas acoplados. Dicha capacidad podrá verificarse por una prueba estática del acoplamiento mismo.

Si al hacer las verificaciones antes descritas, resultare que el acoplamiento afecta al comportamiento conjunto de los componentes acoplados, se deberá efectuar un ensayo sísmico en mesa vibratoria del sistema correspondiente a los Equipos acoplados de acuerdo con lo señalado en el Título X.

Si no es posible realizar el ensayo, el Revisor Sísmico podrá autorizar efectuar un análisis dinámico del conjunto.

Se deberá tener especial cuidado con la instalación de elementos externos al Equipo y/o a su estructura de soporte, aun cuando sean necesarios para la operación del Equipo. Estos elementos externos deberán permitir mantener la independencia del comportamiento sísmico de cada polo, de modo que no exista acoplamiento entre componentes o subsistemas del mismo Equipo, o entre Equipos diferentes como consecuencia de la instalación de estos elementos externos.

TÍTULO XIV REQUISITOS DE RESISTENCIA DE MATERIALES

Artículo 49 Requisitos de resistencia

La verificación del cumplimiento de los requisitos de resistencia, para las condiciones que incluyen solicitaciones sísmicas en los Equipos Eléctricos, se realizará en general considerando el llamado Método de Tensiones Admisibles o Allowable Stress Design o ASD por sus siglas en inglés.

Tanto que se utilice el Método de Tensiones Admisibles o se utilice un método basado en Estados Límites Últimos, las combinaciones de carga y sus factores de mayoración son los señalados en el Título VI.

Los Elementos sometidos a las pruebas señaladas en este Título, deberán ser unidades completas, es decir aisladores con sus Bridas o Flanges cementados o sistema de fijación por mordazas, según sea su uso en el Equipo.

Los requisitos de resistencia dependen del tipo de material que conforma el Equipo de acuerdo con la siguiente clasificación:

1. Materiales dúctiles: aquellos que cumplen con el alargamiento y con la relación entre los límites de fluencia y rotura señalados en el número 2 del Artículo 130.

2. Materiales no dúctiles y no poliméricos, como, por ejemplo, son las porcelanas y los materiales de aleación de aluminio.

3. Materiales poliméricos.

Artículo 50 Materiales dúctiles

Para la verificación del cumplimiento de los requisitos por resistencia de estos materiales se deberá considerar como valor de referencia su Tensión Fluencia según la norma de calidad con que éste está certificado.

Cuando el diseño o verificación se realice con el Método de Tensiones Admisibles, se deberán considerar los siguientes Factores de Seguridad:

1. Solicitación pura de tracción, compresión, corte o flexión

$$\sigma \leq minimo\ \{1{,}33 * \sigma_{adm}\ \ ;\ \ \frac{Fy}{FS = 1{,}25}\}$$

2. Solicitación combinada de tracción - corte

$$\sigma \leq minimo\ \{1{,}33 * \sigma_{adm}\ \ ;\ \ \frac{Fy}{FS = 1{,}25}\}$$

3. Solicitación total equivalente

   Obtenida mediante Von Mises, Tresca, Círculo de Mohr u otro método equivalente.

$$\sigma \leq minimo\,\{1{,}33 * \sigma_{adm} \;\; ; \;\; \frac{Fy}{FS = 1{,}1}\}$$

Donde:

σ: Esfuerzo de solicitación correspondiente a las combinaciones de carga que incluyen la acción sísmica.

σ_{adm}: Tensión Admisible de acuerdo con el Método de Tensiones Admisibles correspondiente a solicitaciones permanentes (no eventuales).

Fy: Valor de la Tensión de Fluencia del material según la norma de calidad con que éste está certificado.

FS: Factor de Seguridad.

El valor de la Tensión Admisible (σ_{adm}) de acuerdo con el Método de Tensiones Admisibles es de:

i) $0{,}6 \cdot Fy$ para solicitaciones puras de tracción y/o flexión.

ii) $0{,}4 \cdot Fy$ para solicitaciones de corte puro.

iii) Para solicitaciones de compresión pura y solicitaciones combinadas, depende de la esbeltez del elemento en diseño.

iv) Para solicitaciones combinadas de tracción – corte, depende del esfuerzo de corte.

Cuando el diseño o verificación se realice con un método basado en Estados Límites Últimos, los factores de minoración de la resistencia corresponderán a los señalados en el método utilizado y los factores de mayoración de las cargas corresponderán a los señalados en el Artículo 32.

Artículo 51 Materiales no dúctiles y no poliméricos

Para la verificación del cumplimiento de los requisitos por resistencia de estos materiales se deberá considerar como valor de referencia la Tensión de Ruptura **"Rc"**, valor que se deberá determinar de acuerdo con lo señalado en el presente Título.

El diseño o verificación se deberá realizar con el Método de Tensiones Admisibles y deberá considerar un Factor de Seguridad (FS) igual a 2,0.

$$\sigma \leq \frac{Rc}{FS = 2{,}0}$$

Donde:

σ: Esfuerzo de solicitación correspondiente a las combinaciones de carga que incluyen la acción sísmica.

Rc: Tensión de Ruptura del material determinado de acuerdo con lo señalado en el presente Título.

FS: Factor de Seguridad.

Para la determinación de la solicitación **"σ"** se deberán considerar en el cálculo de la sección crítica las dimensiones del Equipo de acuerdo con las tolerancias extremas más desfavorables.

El cálculo de la sección crítica deberá considerar que el cumplimiento de la resistencia del material deberá ser demostrado para todos los tipos de Equipos a los que representa, por lo que la sección crítica se deberá determinar considerando las dimensiones que pueda tener el Equipo de acuerdo con las tolerancias de fabricación definidas por el Fabricante. Por ejemplo, si el aislador es de sección interna sólida, el diámetro que se deberá considerar corresponderá al diámetro mínimo garantizado. Si el aislador es de sección interna hueca, los diámetros que se deberán considerar corresponderán al diámetro externo mínimo garantizado y al diámetro interno máximo garantizado.

Artículo 52 Determinación de la tensión de ruptura "Rc" para materiales no dúctiles y no poliméricos

El valor máximo de la Tensión de Ruptura **"Rc"** será de 250 daN/cm^2, salvo que el Fabricante justifique mediante ensayos un valor mayor.

La determinación del valor **"Rc"** mediante ensayos se deberá realizar considerando que la antigüedad máxima de los informes de las pruebas de ruptura que respaldan la resistencia de estos materiales en ningún caso podrá ser mayor a 7 años desde la fecha de compra del Equipo.

Si los informes de respaldo tienen una antigüedad mayor, entonces se deberá considerar el valor de **"Rc"** señalado en el primer párrafo, salvo que el Revisor Sísmico del equipo particular acepte los ensayos más antiguos, lo que deberá estar debidamente justificado.

Siendo **"R_{me}"** la Tensión de Ruptura Mínima Estadística obtenida mediante ensayos, de acuerdo con lo señalado en el Artículo 53 o Artículo 54 según corresponda, el valor de la Tensión de Ruptura **"Rc"** será el siguiente:

1. $Rc = R_{me}$ si se cumplen copulativamente las siguientes condiciones:

   i. El número **"n"** de especímenes ensayados es como mínimo 3.

   ii. El cálculo de las propiedades de cada espécimen ensayado corresponderá a las dimensiones reales de su sección crítica.

iii. Todos los especímenes ensayados cumplen con lo señalado en el Artículo 53 y han sido ensayados en el mismo periodo de tiempo y bajo las mismas condiciones.

2. $Rc = 0{,}8 * R_{me}$

Cuando no son conocidas las dimensiones reales de la sección crítica de cada espécimen ensayado ni sus tolerancias dimensionales, independiente del número de especímenes ensayados.

Se aceptarán ensayos para un número de especímenes menor a 3 siempre y cuando se cumplan copulativamente las siguientes condiciones:

i. R = valor mínimo de ruptura de los especímenes ensayados cuando n < 3

ii. $Rc = 0{,}60 * \mathrm{R}$

iii. La antigüedad del ensayo deberá ser no mayor a 1 año contado desde la colocación de la Orden de Compra del Equipo para el cual el ensayo se considera representativo.

Artículo 53 Pruebas de ruptura para determinar el valor de resistencia "Rc" en materiales que no sean de aleación de aluminio

Las pruebas de ruptura que respaldan el valor de la resistencia "Rc" considerada deberán formar parte de la Memoria de Cálculo respectiva del Equipo. Además, deberán señalar claramente la fecha de ejecución de las pruebas de los especímenes e incluir de manera explícita como se ha obtenido el valor de "Rc".

Los especímenes sometidos a prueba de ruptura deberán cumplir con los siguientes requisitos:

1. Corresponder al mismo modelo, la misma partida de fabricación y la misma planta de producción que los materiales utilizados en el Equipo.

2. Ser idénticos a los del suministro del Equipo, a lo menos en cuanto a la sección crítica de la porcelana y en la Brida.

3. Ser unidades completas, es decir aisladores con sus Bridas o Flanges cementados o sistema de fijación por mordazas, según sea su uso en el Equipo.

4. No se acepta cementación Flange – porcelana con materiales ricos en azufre a menos que los ensayos de ruptura sean efectuados a temperatura de los especímenes superior o igual a 60°C.

Se deberá tener presente que estas pruebas de ruptura son para determinar la resistencia del material no dúctil y no polimérico del equipo. Estas pruebas deberán realizarse de manera tal que la ruptura se produzca en cualquiera de los componentes del aislador y no en los pernos de fijación del equipo toda vez que estos pernos son de material dúctil. Para esto, el sistema de fijación del aislador a la mesa de ensayo deberá

ser tal que represente correctamente la solicitación en la pieza donde van los pernos de fijación sin incluir los pernos del suministro. Para esto se podrán utilizar pernos de igual diámetro, pero de alta resistencia, mordazas o cualquier otra solución que sea aceptada por el Revisor Sísmico.

La prueba de flexión a la ruptura de aisladores se efectuará, en cuanto al procedimiento de prueba, conforme a la norma IEC 62155 párrafo 7.2.2.1 para los aisladores huecos y a la norma IEC 60168 párrafo 5.2.4 para los aisladores sólidos.

Esta prueba consistirá en la aplicación de una fuerza en el extremo superior de la columna a ensayar y se deberá registrar la relación fuerza versus desplazamiento del punto superior hasta la ruptura de la columna.

En caso de piezas con base asimétrica, la aplicación de la fuerza para producir la ruptura de cualquiera de los componentes del aislador deberá tener la dirección más desfavorable.

El valor de ruptura que se registrará como resultado del ensayo, será el que corresponda con el máximo desplazamiento lineal registrado. Valores de ruptura que se obtengan en el rango no lineal de desplazamientos no deberán ser considerados.

Con los valores de ruptura determinados y las características de la columna ensayada, se determinará la Tensión de Ruptura del espécimen correspondiente:

$$R_i = \frac{F \cdot H}{w}$$

Donde:

R_i: Tensión de Ruptura obtenido del ensayo correspondiente a la columna o espécimen "i".

F: Fuerza de Ruptura obtenida del ensayo.

H: Altura de la columna donde se aplica la fuerza **"F"**.

w: Módulo de Sección de la columna, calculado con las dimensiones reales correspondiente a la sección crítica del espécimen probado.

Para la cantidad de ensayos que se realicen, se determinará la Tensión de Ruptura Mínima Estadística **"R_{me}"** de acuerdo con lo siguiente:

$$R_{me} = \mu - 2 \cdot S$$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_i}{n} \qquad S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (R_i - \mu)^2}{n-1}}$$

Donde:

R_{me}: Tensión de Ruptura Mínima Estadística.

μ: Valor de la media de **"R_i"** obtenida de los resultados de los ensayos.

S : Valor de la desviación estándar de la muestra, obtenida de los resultados de los ensayos.

R_i: Tensión de Ruptura obtenido del ensayo correspondiente a la columna o espécimen "i".

n: Número de especímenes ensayados.

Artículo 54 Determinación de la tensión de ruptura "Rc" para materiales de aleación de aluminio

Para materiales de aleación de aluminio, la Tensión de Ruptura **"Rc"** corresponderá al límite elástico de la pieza ensayada.

Para este caso se podrá aceptar el ensayo de un solo espécimen considerando lo señalado en el Artículo 52.

Artículo 55 Materiales poliméricos

El diseño o verificación del cumplimiento de los requisitos por resistencia de estos materiales se deberá realizar con el Método de Tensiones Admisibles y deberá considerar como valor de referencia y como Factores de Seguridad los siguientes:

1. Factor de Seguridad de 1,25 con respecto al valor MML del aislador, para aquellas combinaciones de carga que correspondan a solicitaciones normales de operación.

2. Factor de Seguridad de 2,0 con respecto al valor SML del aislador, para aquellas combinaciones de carga que correspondan a solicitaciones eventuales como es el caso de la acción sísmica.

$$Mop \leq \frac{MML}{FS = 1{,}25}$$

$$Ms \leq \frac{SML}{FS = 2{,}0}$$

Donde:

Mop: Momento en la sección más crítica, correspondiente a estados de carga normales de operación del Equipo.

Ms: Momento en la sección más crítica, correspondiente a estados de carga que incluyen la acción sísmica.

MML: Del inglés Maximum Mechanical Load.

Máxima carga de servicio garantizada por el Fabricante del aislador para solicitaciones permanentes de acuerdo con las condiciones de pruebas que se definen en el presente artículo.

SML: Del inglés Specified Mechanical Load.

Momento resistente correspondiente a la carga de cantilever nominal de un aislador de material polimérico (composite) que puede resistir por 1 minuto sin daño visible alguno de acuerdo con las condiciones de pruebas que se definen en el presente artículo.

FS: Factor de Seguridad.

La definición de MML y SML corresponde a aisladores huecos (tipo "hollow"). Para aisladores macizos, la determinación de la resistencia de los materiales se deberá realizar de la misma manera, considerando que los valores que deben utilizarse corresponden a la siguiente equivalencia: MDCL y SCL respectivamente.

Los especímenes ensayados deberán corresponder al mismo modelo, partida de fabricación y planta de producción que los aisladores utilizados en los Equipos.

Los especímenes se ensayarán con sus accesorios normales de montaje, tales como Bridas o Flanges metálicos en el caso de aisladores.

Estas pruebas deberán realizarse de manera tal que la ruptura se produzca en cualquiera de los componentes del aislador y no en los pernos de fijación del equipo toda vez que estos pernos son de material dúctil. Para esto, el sistema de fijación del aislador a la mesa de ensayo deberá ser tal que, represente correctamente la solicitación en la pieza donde van los pernos de fijación sin incluir los pernos del suministro. Para esto se podrán utilizar pernos de igual diámetro, pero de alta resistencia, mordazas o cualquier otra solución que sea aceptada por el Revisor Sísmico.

La antigüedad máxima de los informes de las pruebas de ruptura que respaldan la resistencia del Equipo en ningún caso podrá ser mayor a 7 años desde la fecha de compra del Equipo, salvo que el Revisor Sísmico del equipo particular acepte ensayos más antiguos, lo que deberá estar debidamente justificado.

i. Pruebas de Resistencia

Los aisladores poliméricos deberán ser sometidos a las siguientes pruebas para determinar su resistencia, pruebas que se deberán realizar con el aislador montado sobre la mesa de ensayo por medio de los pernos usados en el Equipo, sin la colaboración de mordazas.

a. Prueba SML

Carga de cantilever nominal aplicada sobre un aislador de material polimérico de acuerdo con lo señalado en la norma IEC 61462 o IEC 62231, según corresponda, y sin daño visible alguno.

Para la determinación de SML se define como "sin daño visible alguno" si, además de aprobarse por inspección visual el aislador ensayado, la deformación residual del aislador, medida después de 5 minutos de haber finalizado la aplicación de la carga, deberá ser menor que el 5% del desplazamiento máximo medido durante la aplicación de la carga.

Normalmente la deformación se mide en el extremo superior de la columna aisladora.

Este ensayo se deberá realizar sin la cubierta de goma silicona.

b. Prueba MML

Carga de cantilever nominal de un aislador de material polimérico de acuerdo con lo señalado en la norma IEC 61462 y sin daño visible alguno.

Para la determinación de MML se define como "sin daño visible alguno" si, además de aprobarse por inspección visual el aislador ensayado, la deformación residual del aislador, medida después de 5 minutos de haber finalizado la aplicación de la carga, deberá ser menor que el 3% del desplazamiento máximo medido durante la aplicación de la carga.

Normalmente la deformación se mide en el extremo superior de la columna aisladora.

Este ensayo se deberá realizar sin la cubierta de goma silicona.

ii. Otras pruebas

Adicionalmente, los aisladores poliméricos deberán demostrar su condición de sello en sus Flanges metálicos por medio del ensayo definido como "Shed Seal Test" en la cláusula correspondiente de la norma IEEE 693.

Esta prueba será válida para todos los otros aisladores cuyos Flanges cumplan con las siguientes condiciones con respecto al Flange correspondiente al espécimen probado:

a. Que tengan el mismo método de fijación;
b. Que tengan los mismos diámetros; y,
c. Que tengan la misma altura de empotramiento.

Esta prueba se deberá efectuar con el aislador sin la cubierta de goma silicona en el entorno del Flange inferior, de modo que el líquido penetrante se aplique directamente a la unión entre el núcleo de fibra de vidrio con resina y el Flange metálico.

Artículo 56 Requisitos mínimos que deben cumplir los informes de pruebas de materiales no dúctiles y los materiales poliméricos

Los Informes de pruebas de resistencia de materiales, deberán cumplir a lo menos, los siguientes requisitos:

1. Tener una antigüedad no mayor a 7 años desde la fecha de compra del Equipo, salvo que el Revisor Sísmico del equipo particular acepte ensayos más antiguos, lo que deberá estar debidamente justificado.

2. Incluir la identificación del laboratorio.

3. Nombre y firma del responsable del laboratorio y fecha de los ensayos.

4. Identificación detallada de los especímenes de prueba, incluyendo código de identificación que permita trazabilidad.

5. Indicar el Fabricante, país, planta de fabricación de los especímenes.

6. Indicar plano del aislador con dimensiones y tolerancias.

7. Incluir control dimensional de cada espécimen de prueba.

8. Indicar altura de aplicación fuerza.

9. Indicar para cada espécimen donde ocurrió la falla.

10. Incluir registro de Fuerzas v/s Desplazamientos del punto superior del aislador para cada espécimen.

11. Fotos de buena resolución de:
    i. Disposición general de la prueba.
    ii. Fijación del espécimen a la mesa de prueba.
    iii. Punto de aplicación de la fuerza.
    iv. De la zona de quiebre o daño de cada espécimen.

TÍTULO XV ESTRUCTURAS DE SOPORTE Y ANCLAJES QUE FORMAN PARTE DEL EQUIPO

Artículo 57 Estructuras de soporte que forman parte del Equipo

Cuando la estructura soporte forme parte del proceso de diseño o Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos del Equipo, su diseño será responsabilidad del Diseñador del Equipo, ya sea que forme parte o no del suministro del Equipo, y deberá cumplir con los requisitos particulares del Equipo señalados en el Título correspondiente y con todos los requisitos señalados en el Título XXIX de acuerdo con lo siguiente:

1. Si la Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos del Equipo ha sido efectuada de manera conjunta del Equipo con su estructura de soporte en ensayo de mesa vibratoria de acuerdo con lo señalado en el Título X, el Proveedor deberá suministrar el Equipo y la estructura de soporte y deberá entregar junto con los documentos de respaldo del cumplimiento de los Requisitos Sísmicos del Equipo propiamente tal, la siguiente documentación:

    i. Memoria de cálculo de respaldo donde conste que la estructura de soporte cumple con todos los requisitos señalados en el Título XIV y Título XXIX, incluyendo el detalle del cumplimiento de los requisitos señalados en el Artículo 126.

    ii. Los planos de dimensiones y perfiles de la estructura de soporte utilizada en el ensayo en mesa vibratoria y, los planos de dimensiones y perfiles de la estructura de soporte que se suministrará junto con el Equipo.

    El nivel de detalle de la información de ambos planos deberá corresponder a planos del tipo "para fabricación y montaje", de modo de que tanto el Revisor Sísmico, en la etapa de ingeniería, y posteriormente en la inspección en terreno, previo al montaje, puedan verificar que la estructura de soporte es la misma con la que se verificó el cumplimiento sísmico del Equipo y cuyo diseño se respalda en la memoria de cálculo señalada.

    Se podrá aceptar la no entrega de la estructura de soporte como parte del suministro del Equipo, siempre y cuando el Revisor Sísmico valide que los planos de la estructura entregados permiten fabricar una nueva estructura de soporte igual a la utilizada en el ensayo de mesa vibratoria.

    En ningún caso, se aceptará la no entrega de la Memoria de Cálculo de la estructura.

2. Si la estructura de soporte es suministrada por el Proveedor del Equipo, pero no se ha verificado en conjunto el Equipo con la estructura soporte en ensayo de mesa vibratoria, el Proveedor deberá entregar junto con los documentos de respaldo del cumplimiento de los Requisitos Sísmicos del Equipo propiamente tal, la siguiente información:

    i. Memoria de cálculo de respaldo donde conste que la estructura de soporte cumple con todos los requisitos señalados en el Título XXIX, incluyendo el detalle del cumplimiento de los requisitos señalados en el numeral 4 del Artículo 122, en el Artículo 123 y en el Artículo 126.

ii. Los planos de dimensiones y perfiles de la estructura de soporte suministrada con información correspondiente a planos del tipo "para fabricación y montaje" de modo de que tanto el Revisor Sísmico, en la etapa de ingeniería, y posteriormente en la inspección en terreno, previo al montaje, puedan verificar que la estructura de soporte es la misma cuyo diseño se respalda en la memoria de cálculo señalada.

En caso de que el Proveedor del Equipo no entregue la información solicitada, o la información entregada no permita al Revisor Sísmico verificar que la estructura cumple, en particular con todos los requisitos señalados en el numeral 4 del Artículo 122 y/o en el Artículo 123, entonces se deberá considerar la estructura soporte como flexible, y por lo tanto, se deberá verificar el Equipo con la estructura soporte mediante ensayo en mesa vibratoria, de acuerdo con lo señalado en el Título X.

Independiente de si la estructura de soporte es parte o no del suministro del Equipo, es el Diseñador del Equipo el responsable de diseñar el Sistema de Fijación del Equipo a la estructura, definiendo cantidad, diámetro y calidad de los pernos de fijación, así como cualquier otro elemento que sea necesario para el montaje del Equipo a la estructura de soporte.

Si la estructura de soporte forma parte de la Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos del Equipo, de acuerdo con lo señalado en el número 1 precedente, o es parte del suministro, de acuerdo con lo señalado en el número 2 precedente, el Diseñador del Equipo será el responsable de diseñar el Sistema de Anclaje de la estructura a la fundación, diseño que se deberá realizar de acuerdo con los requisitos señalados en el Título XXX y que deberá estar incluido dentro de la memoria de cálculo que respalda el diseño de la estructura de soporte.

Si la estructura de soporte no forma parte del proceso de diseño o verificación del Equipo, su diseño será responsabilidad del Diseñador de la Estructura de Soporte y se deberá realizar de acuerdo con los requisitos señalados en los Títulos siguientes.

Artículo 58 Reemplazo de estructuras de soporte que forman parte del Equipo

Estructuras de soporte que, formando parte del proceso de diseño o Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos del Equipo, y que deban ser modificadas o reemplazadas, pero continúen siendo soporte del mismo Equipo, deberán ser rediseñadas considerando los requisitos señalados en el presente Título y los requisitos señalados en el Artículo 128.

Artículo 59 Fijación o anclaje de Equipos

1. Fijación del Equipo a su estructura de soporte

   El diseño de la fijación del Equipo a su estructura de soporte es responsabilidad del Diseñador del Equipo y se deberá realizar de acuerdo con:

   i. Los requisitos particulares del Equipo señalados en el Título correspondiente.
   ii. Los Factores de Amplificación Kh y Kv según corresponda.
   iii. Los requisitos definidos en el Artículo 124.

2. Anclaje del Equipo a su fundación

Cuando el Equipo se ancle directamente a la fundación, el diseño del anclaje será responsabilidad del Diseñador del Equipo y se deberá realizar de acuerdo con:

i. Los requisitos particulares del Equipo señalados en el Título correspondiente.

ii. Los Factores de Amplificación Kh y Kv según corresponda.

iii. Los requisitos para los Sistemas de Anclajes señalados en el Título XXX.

iv. Para estructuras de soporte que forman parte del Equipo, además se deberá cumplir el requisito señalado en el Artículo 126.

v. Para Equipos GIS, Equipos de compensación serie y otros Equipos similares, además se deberán cumplir los requisitos señalados en el Título XXXII.

En este caso, el Diseñador del Equipo es el responsable de definir:

i. La calidad de los materiales, el dimensionamiento y ubicación de los pernos de anclaje para el caso de anclaje mediante pernos, a excepción de la longitud de los pernos cuando estos son pre-instalados (embebidos en el hormigón).

ii. Lo señalado en el Artículo 137 para el caso de anclaje mediante soldadura.

iii. Cualquier otro elemento que sea necesario para el montaje del Equipo y/o para el correcto traspaso de las solicitaciones a la fundación.

En este caso, la responsabilidad del Diseñador de la Fundación respecto del Sistema de Anclaje se limita a:

i. Incluir como parte de los planos de la fundación, el plano de Disposición de los Sistemas de Anclajes suministrado por el Proveedor del Equipo.

ii. Diseñar los elementos que deberán quedar embebidos en el hormigón que permitan el correcto anclaje del Equipo a la fundación. En el caso de pernos de anclaje pre-instalados, deberá definir su longitud.

iii. Realizar las verificaciones que muestren que el comportamiento de los modos de falla en el hormigón del Sistema de Anclaje, es consistente con los requisitos de comportamiento establecidos en el presente Anexo.

TÍTULO XVI REQUISITOS SÍSMICOS PARTICULARES PARA EQUIPOS RÍGIDOS Y SEMI-RÍGIDOS

Artículo 60 Equipos Rígidos

Equipos Rígidos son aquellos que cumplen con lo señalado en el Artículo 36.

Su diseño o Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos se deberá realizar de acuerdo con el Método Estático definido en el Artículo 38 para el Equipo propiamente tal, y conforme lo señalado en el Artículo 59 para sus anclajes.

Si los Equipos están anclados directamente a la fundación, se deberá considerar Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,0.

Si los Equipos son instalados en altura, se deberán considerar los Factores de Amplificación definidos en el Título XXII.

Artículo 61 Equipos Semi-Rígidos: Transformadores de poder, reactores de poder y similares

Equipos Semi-Rígidos son aquellos que cumplen con lo señalado en el Artículo 36.

En general, estos Equipos corresponden a transformadores de poder, reactores de poder y Equipos similares.

Su diseño o Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos se deberá realizar de acuerdo con las siguientes disposiciones particulares, para sus diferentes partes y elementos que lo componen.

61.1. Sistema de Anclaje a fundaciones

El diseño de los Sistemas de Anclaje de estos Equipos se deberá realizar mediante el Método Estático definido en el Artículo 38 y deberá cumplir con los requisitos señalados en el Artículo 59.

El diseño de los Sistemas de Anclaje deberá considerar el Equipo y el centro de gravedad del conjunto completamente armado con aceite y en condiciones de servicio, es decir, considerando entre otros:

1. El tanque principal y su contenido.
2. Los radiadores con aceite y sus soportes.
3. El tanque conservador de aceite lleno al nivel máximo y su soporte.
4. Los bushings.
5. Cajas de accionamiento y auxiliares.

Si bien estos equipos se comportan globalmente como un cuerpo semi-rígido, la parte que se ancla directamente a la fundación tiene un comportamiento rígido, por lo que

para el cálculo de los Sistemas de Anclaje se utilizará un Factor de Amplificación de la solicitación horizontal y vertical de Kh = Kv = 1,0.

Los pernos de anclaje deberán considerar en su diseño que estos puedan ser inspeccionados y reemplazados sin ningún desplazamiento del Equipo, para lo cual el diseño de los Sistemas de Anclaje deberá considerar la utilización de cajas de anclajes de acuerdo con lo señalado en el Artículo 133 o algún otro tipo de dispositivo que cumpla con este requisito.

En particular, el Diseñador del Equipo es el responsable de definir:

i. La calidad de los materiales, el dimensionamiento y ubicación de los pernos de anclaje, a excepción de la longitud de los pernos si éstos son pre-instalados. Para garantizar la inspección de los pernos, estos deberán estar dispuestos en una misma fila, paralela respecto al eje largo del Equipo.

ii. La geometría general y la ubicación de las cajas de anclaje.

iii. La geometría y ubicación de los elementos para el traspaso de las cargas de corte desde el Equipo a la fundación.

iv. Cualquier otro elemento que sea necesario para el montaje del Equipo.

En este caso, la responsabilidad del Diseñador de la Fundación respecto del Sistema de Anclaje se limita a:

i. Incluir como parte de los planos de la fundación, el plano de Disposición de los Sistemas de Anclajes suministrado por el Proveedor del Equipo.

ii. Diseñar las cajas de anclaje, las llaves de corte y los topes sísmicos y, definir la longitud de los pernos de anclaje cuando éstos son pre-instalados, de modo de asegurar el correcto traspaso a la fundación de las solicitaciones desde los puntos definidos por el Diseñador del Equipo.

iii. Realizar las verificaciones que muestran que el comportamiento de los modos de falla en el hormigón del Sistema de Anclaje, son consistente con los requisitos de comportamiento establecidos en el presente Anexo.

61.2. Radiadores y sus soportes

La Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos de los radiadores y sus soportes se realizará mediante el Método de Coeficientes Estáticos definido en el Artículo 39, considerando la aceleración espectral máxima correspondiente a una razón de amortiguamiento de 2% (sin verificación de la Frecuencia Fundamental) y con Factores de Amplificación de la solicitación horizontal y vertical de Kh = Kv = 1,30.

Los radiadores y los tubos colectores principales de aceite no deberán transmitir fuerzas a los tubos colectores de aceite que conectan con el tanque del transformador que superen el 80% de la fluencia. En este aspecto se requiere la solución de radiadores soportados desde el tanque por elementos estructurales especiales, de modo de disminuir las solicitaciones sobre los tubos colectores.

Los soportes de los radiadores deberán tener elementos que transmitan las fuerzas generadas en los radiadores hacia el tanque principal del Equipo, de modo que las tuberías colectoras de aceite y válvulas de radiadores no sean sometidas a esfuerzos sísmicos importantes en cualquiera de los tres ejes.

Adicionalmente, independientemente de los esfuerzos a que queden sometidos los soportes de los radiadores, los radiadores individuales se arriostrarán mediante diagonales cruzadas con los radiadores vecinos, en todas sus caras posibles (superior, inferior y frente), de modo de rigidizar el conjunto de baterías de radiadores con el fin de aumentar la Frecuencia Fundamental de estos.

En la verificación de los radiadores se deberá considerar como acción simultánea con el sismo la fuerza del viento definida en el Artículo 30. En caso de baterías de radiadores ancladas directamente a fundaciones, se deberá desvincular mecánicamente el tanque del transformador de la batería de radiadores, mediante conexiones flexibles con capacidad de absorber los desplazamientos relativos máximos de las partes, con un Factor de Seguridad mayor o igual a 1,5.

61.3. Tanque conservador y su estructura soporte

La Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos de el o los tanques conservadores y sus soportes se realizará por el Método de Coeficientes Estáticos definido en el Artículo 39, considerando la aceleración espectral máxima correspondiente a una razón de amortiguamiento de 2% (sin verificación de la Frecuencia Fundamental) y con Factores de Amplificación de la solicitación horizontal y vertical de Kh = Kv = 1,50.

Para el soporte del tanque conservador, se deberá demostrar que tiene una Frecuencia Fundamental superior a 15 [Hz] en el sentido horizontal longitudinal del tanque conservador, para lo cual deberá considerar arriostramientos adecuados.

Para el cálculo de esta frecuencia, se debe considerar la rigidez lateral del soporte y la masa tanto del soporte (distribuida) como del tanque y su contenido (tanque lleno) y, se deberá realizar de acuerdo con lo señalado en el numeral iii del numeral 4 del Artículo 122. En este cálculo se deberá considerar la flexibilidad del tanque conservador en la conexión de éste con su soporte y la flexibilidad de la conexión del soporte a la pared del cuerpo del transformador.

En caso de que el tanque conservador y su estructura de soporte sean independientes del tanque del transformador, ya sea anclado directamente a la fundación o a un muro, se deberá desvincular mecánicamente la conexión de la tubería de aceite del tanque del transformador, mediante una conexión flexible con capacidad de absorber los desplazamientos relativos máximos de las partes con un Factor de Seguridad mayor o igual a 1,5.

Los relés Buchholz deberán ser del tipo que no sea sensible o se afecte por sismos. Lo anterior, deberá ser demostrado por el proveedor o fabricante mediante la entrega de certificados de pruebas realizadas en un relé del mismo tipo que el suministrado con el equipo, en conformidad con las normas EN 50216-1 e IEC 60068-3-3. Los contactos por flujo de aceite, clapeta, deberán estar ajustados de fábrica para una actuación por flujo de aceite no inferior a 1,5 m/s y, para transformadores peso total sobre 50 ton de al menos 2,0 m/s.

61.4. Soporte de la parte activa del Equipo al tanque principal

La Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos del soporte de la parte activa en el interior del tanque principal del Equipo, se efectuará mediante el Método Estático definido en el Artículo 38, pero considerando una aceleración de transporte de al menos 2,75g, actuando en el centro de gravedad de la parte activa del Equipo, en cualquier dirección y sentido.

El valor de 2,75g corresponde a la aceleración mínima que deberá soportar el Equipo en condiciones de transporte y, por lo tanto, es la que controla el diseño de estos soportes.

Los materiales aislantes eléctricos usados en estos soportes solo podrán trabajar a esfuerzos de compresión, sin exceder el 50% de la resistencia a compresión del material. No es aceptable que los materiales aislantes de estos soportes trabajen a esfuerzos de tracción y/o corte. Si existen materiales aislantes de caucho sintéticos, resinas epóxicas o materiales poliméricos, estos no deberán exceder una solicitación de 55 MPa, salvo que el Fabricante justifique un valor diferente y que éste sea aceptado por el Revisor Sísmico.

61.5. Bushings y Torretas

Las Torretas de montaje de los bushings deberán demostrar que tienen una frecuencia mínima de 30 Hz, frecuencia calculada de acuerdo con el numeral iii de el numeral 4 del Artículo 122, considerando la masa de la Torreta, la masa del bushing, la masa del aceite y la eventual masa de los transformadores de corriente cuando están incluidos en la parte inferior del bushing.

La Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos de los bushings se deberá efectuar para la solicitación sísmica (E) que se define a continuación:

Tipo de Bushing	Nivel de Tensión más elevada del Bushing	Solicitación Sísmica (E)
Tipo 1 Tipo 2	"Um" ≤ 170 kV	Método de Coeficientes Estáticos definido en el Artículo 39, considerando la aceleración espectral máxima correspondiente a una razón de amortiguamiento de 2% (sin verificación de la Frecuencia Fundamental) y con Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,4.
Tipo 1	170 kV < "Um" ≤ 245 kV	Método de Coeficientes Estáticos definido en el Artículo 39, considerando la aceleración espectral máxima correspondiente a una razón de amortiguamiento de 2% (sin

Tipo de Bushing	Nivel de Tensión más elevada del Bushing	Solicitación Sísmica (E)
		verificación de la Frecuencia Fundamental) y con Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,5.
Tipo 1	"Um" > 245 kV	Ensayo en mesa vibratoria de acuerdo con lo señalado en el Título X y con Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,6.
Tipo 2	"Um" > 170 kV	Ensayo en mesa vibratoria de acuerdo con lo señalado en el Título X y con Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,6.

Tabla 7: Solicitación Sísmica (E) para bushing

Donde:

1. Bushing Tipo 1: Bushings sometido a esfuerzos de flexión.

   Corresponden a aisladores de porcelana cementados a su Flange metálico inferior y a aisladores poliméricos pegados a su Flange metálico inferior.

   Los aisladores de porcelana deberán disponer de Flanges metálicos unidos a los aisladores de porcelana por cementación tipo Portland u otra, o deberán estar sujetos mediante mordazas metálicas. Estos bushing, porcelana y Flange, deberán satisfacer el Factor de Seguridad de esfuerzos mecánicos correspondiente para los materiales frágiles tanto para la porcelana y Flanges de aleación de aluminio fundido de acuerdo con lo señalado en el Título XIV, el mismo Factor de Seguridad se deberá cumplir respecto del inicio de filtraciones o fugas del fluido interior.

2. Bushing Tipo 2: Bushing de porcelana tipo "Central Clamp", no sometido a esfuerzos de flexión.

   El conjunto del bushing se mantiene unido y sellado sólo por efecto de resortes internos que comprimen las partes, la porcelana no es cementada ni tiene mordazas de sujeción. Estos bushing deberán satisfacer los mismos Factores de Seguridad de las solicitaciones mecánicas y de fuga de fluido interior que los bushing del tipo 1.

   Para los bushings "Tipo 2" el Fabricante deberá demostrar la idoneidad de los medios que disponen para evitar, los desplazamientos relativos laterales y la fuerza cantilever garantizada, sin filtraciones o sin daño del bushing. Para esto, se deberá entregar para aprobación del Revisor Sísmico, planos certificados que muestren dichos medios y certificados de ensayos cantilever que muestre el valor garantizado con ausencia de filtraciones del medio aislante.

Para los Bushing Tipo 2, la resistencia nominal a fuga de fluido garantizada por el Fabricante deberá ser respaldada mediante un informe de ensayo, realizado de acuerdo con la norma IEC 60137. El diseño o verificación para esta condición, se deberá hacer para cargas no mayoradas y con un Factor de Seguridad (FS) igual a 1,5, factor de seguridad que se ha definido considerando la presencia de elementos que limitan el desplazamiento lateral de la porcelana, de acuerdo con lo señalado en el párrafo precedente.

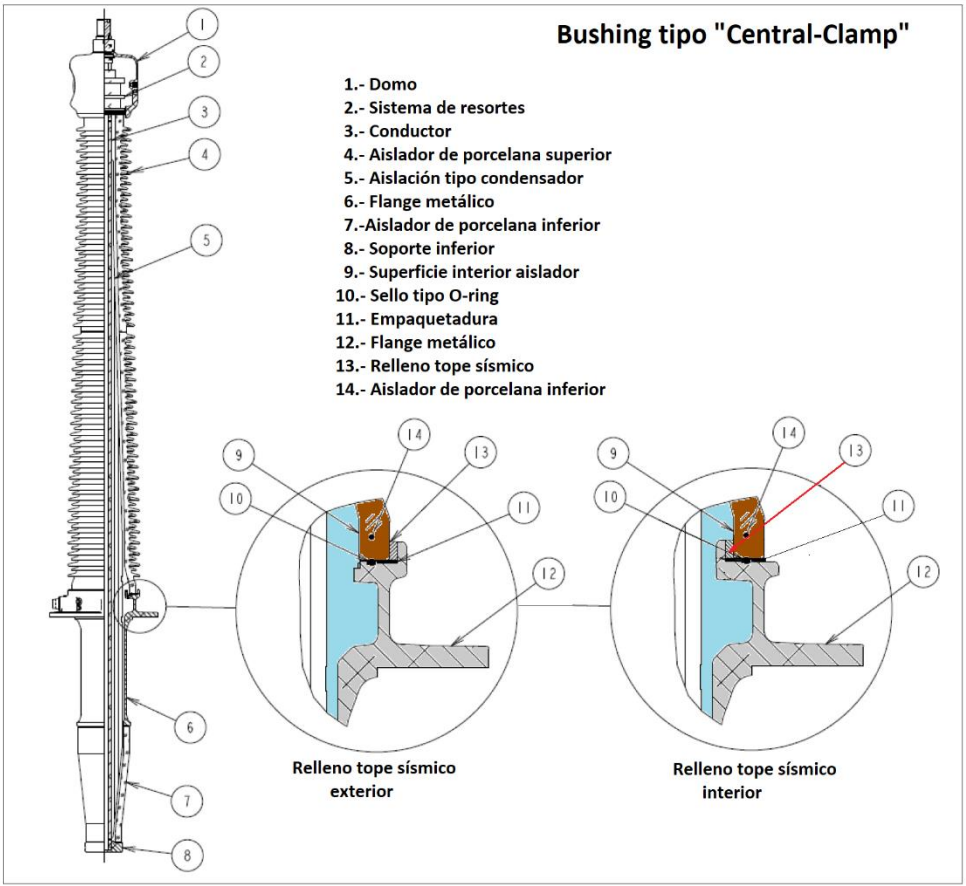

Figura 5: Características de los bushing Tipo 2

61.6. Pararrayos de Transformadores de Poder

Los Pararrayos de Transformadores de Poder se deberán diseñar con los Factores de Amplificación **"Kh"** y **"Kv"** definidos para los Pararrayos, de acuerdo con lo señalado en el Título XIX, siempre y cuando sus estructuras de soporte cumplan con los requisitos de rigidez global y rigidez local señalados en el Artículo 122 y en el Artículo 123.

Para los pararrayos con nivel de tensión más elevada "Um" ≤ 123 kV instalados sobre estructuras de soporte solidarias con el transformador, la verificación del

cumplimiento de los requisitos sísmicos del equipo se realizará por el Método de Coeficientes Estáticos, sin determinación de la Frecuencia Fundamental definida en el Artículo 39, considerando la aceleración espectral máxima correspondiente a una razón de amortiguamiento de 2% (sin verificación de la Frecuencia Fundamental) y con Factores de amplificación Kh = Kv = 1,4. La estructura soporte deberá demostrar que tiene una Frecuencia no menor a 15 Hz calculada de acuerdo con lo señalado en el numeral iii del numeral 4 del Artículo 122.

Los pararrayos con nivel de tensión más elevada "Um" > 150 kV se deberán instalar preferentemente sobre estructuras de soporte y fundaciones independientes del transformador, conectados a la red de derivación. Esto debido a que, al ser independientes del transformador, pueden estar sobre una estructura de soporte de altura normal (estructura baja), lo que permite ser diseñada cumpliendo con los requisitos de rigidez global y rigidez local señalados.

En caso de que los Pararrayos con nivel de tensión más elevada "Um" > 150 kV, se instalen sobre estructuras de soporte solidarias con el transformador y/o que no cumplan con los requisitos de rigidez global y rigidez local señalados, se deberá considerar sobre dichos pararrayos los siguientes Factores de Amplificación:

1. Factor de Amplificación Horizontal Kh = 3,0.
2. Factor de Amplificación Vertical **"Kv"** de acuerdo con lo señalado en el Artículo 82.

TÍTULO XVII REQUISITOS SÍSMICOS PARTICULARES PARA EQUIPOS GIS Y SIMILARES

Artículo 62 Alcance

Los requisitos que se señalan en el presente Título aplican a los Equipos GIS, del inglés "Gas Insulated Substation" y, a los Equipos compactos aislados en gas SF6, también llamados Equipos híbridos.

Artículo 63 Descripción general del Equipo

Los Equipos GIS son en general instalaciones compactas formadas por:

1. Componentes relativamente rígidos, que corresponden a la GIS propiamente tal.

2. Componentes flexibles correspondientes a los ductos de conexión aislados en gas SF6, en adelante GIL.

3. Los correspondientes bushings de salida o entrada (SF6/aire o SF6/Líquido aislante).

En general, este tipo de Equipos es sensible a los desplazamientos relativos entre sus distintos componentes por lo que normalmente tienen dispositivos diseñados para absorber dichos desplazamientos.

Los Equipos GIS y/o sus ductos de conexión GIL, están anclados directamente a la fundación o montados en estructuras de soporte. Algunos de estos puntos de apoyo son fijos, en los que no se permite desplazamientos de los componentes relativos a la estructura, y otros puntos de apoyo permiten desplazamientos en una o dos direcciones con respecto a la estructura.

Artículo 64 Requisitos Sísmicos

El diseño o Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos de las diferentes partes de estos Equipos deberán considerar las siguientes disposiciones:

64.1. Disposiciones Generales

1. El diseño o Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos de los componentes del Equipo, deberá considerar la rigidez relativa de estas estructuras de soporte, de manera de poder determinar correctamente los esfuerzos y desplazamientos de las diferentes partes del Sistema Estructural.

2. En cada tramo o sección de la GIS, entre los dispositivos capaces de absorber desplazamientos deberá haber un solo soporte denominado "punto fijo"; el resto de los soportes deberán ser del tipo que permiten deslizar el elemento soportado o ser lo suficientemente flexibles para no ejercer esfuerzos inadmisibles sobre el Equipo o el ducto.

3. Cuando el componente del Equipo está montado sobre una estructura de soporte, que el Diseñador del Equipo ha definido como "punto fijo", dicha estructura de soporte deberá considerar en su diseño que no produce amplificación de la aceleración en la base del Equipo comparada con la que ocurre en la fundación, ni por traslación ni por rotación, para lo cual deberá cumplir con lo señalado en el Título XXIX.

4. El comportamiento sísmico del Equipo, está interrelacionado con su fundación y con el comportamiento sísmico del suelo donde se ubica la instalación, por lo que en el Diseño del Equipo se deberá considerar también y copulativamente lo señalado en el Artículo 163, en el Artículo 164, y en el Artículo 165. La correcta y oportuna coordinación entre el Diseñador del Equipo y el Diseñador de la Fundación es responsabilidad del Propietario.

5. Para el diseño inicial del Equipo, se pueden utilizar como valores referenciales, los desplazamientos relativos verticales promedio debido a la propagación de la onda sísmica superficial, señalados en Tabla 8 siguiente, según sea el tipo de suelo donde se ubica el proyecto.

Suelo	C_S [m/s]	D/L
A	900	0,0012
B	600	0,0013
C	400	0,0015
D	200	0,0016

Tabla 8: Valores de desplazamientos relativos referenciales

Donde:

Suelo= Tipo de Suelo según Artículo 19.

C_S = Velocidad de propagación de la onda.

D/L = Desplazamiento vertical promedio del suelo por unidad de longitud.

En la etapa de diseño de detalle de la fundación, se deberán calcular los desplazamientos relativos reales correspondientes al lugar de emplazamiento de la instalación, como se señala en el numeral 8 siguiente.

6. Para tipos de suelos no incluidos en la Tabla 8, el Estudio Sísmico que se deberá realizar para definir el Espectro de Diseño, de acuerdo con lo señalado en el Artículo 20, deberá incluir también los parámetros recomendados para definir la onda sísmica y el desplazamiento vertical.

7. Es responsabilidad del Propietario señalar qué tipo de suelo deberá considerar el Diseñador del Equipo, de acuerdo con las particularidades de su proyecto y lo señalado en el Artículo 19, o lo señalado en el número 6 precedente según corresponda.

8. El diseño de la fundación se deberá realizar de acuerdo con lo señalado en el Artículo 165, calculando los desplazamientos relativos entre los diferentes puntos de anclaje de la GIS y sus ductos GIL, estos desplazamientos se deberán calcular considerando el efecto de la propagación de la onda sísmica superficial, las reacciones generadas por el movimiento del Equipo, la interacción fundación-suelo o fundación-foso (donde eventualmente están los cables de poder), entre otros, y según corresponda.

9. El Diseñador de la Fundación deberá verificar que dichos desplazamientos, sumados a los que se generen en el Equipo, se encuentren dentro de los límites establecidos por el Fabricante.

10. Cuando las particularidades del proyecto no permitan cumplir con los desplazamientos límite, se deberán considerar en el Diseño del Equipo, dispositivos capaces de absorber los desplazamientos requeridos por el Diseño Civil previo al término de fabricación del Equipo. Es responsabilidad del Propietario de la instalación realizar la correcta y oportuna coordinación entre el Diseñador del Equipo y el Diseñador civil.

11. De acuerdo con lo señalado en los numerales 6 y 7 del Artículo 165, en el caso de Ampliación de una Instalación existente, el Diseñador del Equipo deberá considerar posibles acoplamientos con el equipo existente, según si, la nueva fundación es monolítica o tiene junta de dilatación con la fundación existente. Es responsabilidad del Propietario informar oportunamente al Fabricante como será la conexión de la nueva fundación con la existente.

64.2. GIS y ductos de conexión aislados en SF6 (GIL)

Para la GIS/GIL y sus estructuras de soporte, se deberá considerar un modelo integrado que incluya tanto las componentes del Equipo (partes de la GIS, tubos GIL y bushings, cuando corresponda) como sus estructuras de soporte, representando adecuadamente las características de las distribuciones de masa y rigidez de todos ellos.

El modelo deberá incluir especialmente las condiciones de apoyo de los diferentes componentes o partes de los Equipos en las estructuras de soporte y en la fundación y, las posibles flexibilidades o restricciones de desplazamientos, entre los distintos componentes en los puntos donde se ubican los dispositivos para absorber los desplazamientos relativos.

Para la determinación de desplazamientos y esfuerzos sísmicos sobre el Equipo, se deberá hacer uso del Método de Análisis Dinámico definido en el Artículo 41. La solicitación sísmica se deberá definir a partir del Espectro de Diseño, considerando una razón de amortiguamiento de 2% y, un Factor de Amplificación del Espectro de Diseño igual a Kh=Kv=1,1 para la GIS y Kh=Kv=1,25 para las GIL.

El diseño de las estructuras de soporte para las GIL, se deberá realizar utilizando el Factor R del Equipo GIS señalado en la Tabla 4.

Se deberá considerar las combinaciones de carga, necesarias para incluir todos los casos de carga que tienen alta probabilidad de ocurrencia simultánea con el sismo que se definen en el Título VI. En particular, siempre se deberá incluir los efectos de presión interior de gas SF6, de temperatura ambiente y de la elevación de temperatura debido a la operación del Equipo y, de la radiación solar cuando corresponda.

Salvo que las especificaciones particulares del proyecto definan rangos mayores, se deberá considerar un rango de temperaturas ambientes de 0°C a 30°C en instalaciones interiores y, de -10°C a 40°C en instalaciones a la intemperie. En el caso de instalación a la intemperie, se deberá considerar además los efectos térmicos producidos por la radiación solar y, como mínimo, un aumento de la temperatura del Equipo sobre la temperatura ambiente máxima, por este efecto, de 15°C.

Para todos los componentes del Equipo, estructuras de soporte y anclajes, se deberá demostrar que los esfuerzos y deformaciones máximas obtenidas del análisis, cumplen los respectivos requisitos definidos en el presente Anexo.

En las verificaciones se deberá incluir en forma explícita la determinación de los desplazamientos relativos máximos, positivos y negativos, que ocurren en la posición donde se ubican los dispositivos para absorber desplazamientos, y su comparación con los desplazamientos admisibles. Este requisito aplica tanto al exterior del dispositivo diseñado para absorber desplazamientos, como al conductor en su interior.

Los desplazamientos relativos de los dispositivos, definidos para absorber desplazamientos, deberán tener un Factor de Seguridad mínimo de 1,5 referido al desplazamiento máximo admisible, definidos por el Fabricante, de dichos dispositivos.

64.3. Bushings SF6/aire

Los bushings SF6/aire deberán estar montados en estructuras denominados "puntos fijos", estructuras que deberán demostrar que tienen una Frecuencia Equivalente mínima de 30 Hz, calculada de acuerdo con lo señalado en el numeral iii del numeral 4 del Artículo 122.

La Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos se deberá realizar mediante el Método de Coeficientes Estáticos definido en el Artículo 39, considerando la aceleración espectral máxima correspondiente a una razón de amortiguamiento de 2% sin verificación de la Frecuencia Fundamental y con Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,25.

Las verificaciones deberán incluir explícitamente las verificaciones de resistencia del aislador, del Flange de conexión y de los pernos de conexión.

Adicionalmente, se deberá incluir la verificación del Factor de Seguridad del conjunto contra filtraciones de gas para las solicitaciones de flexión, Factor de Seguridad que será como mínimo de 2,0.

64.4. Bushing SF6/aceite o líquido dieléctrico

Cuando los tubos aislados (GIL) están conectados directamente a un transformador de poder mediante un bushing SF6/aceite aislante o líquido dieléctrico, o a otro Equipo que tiene desplazamientos laterales y/o verticales debido al Sismo de Diseño, el diseño de resistencia y geometría de la conexión y de los ductos, deberá considerar los desplazamientos de ambos sistemas conectados actuando en oposición de fase y se considerará para este caso un Factor de Seguridad de los desplazamientos máximos relativos de 1,5 como mínimo.

64.5. Mufas de cable aislado/SF6

En conexiones por cable aislado a los ductos aislados GIL o GIS, se deberá definir la geometría de los cables con las suficientes holguras y fijaciones para que ellos puedan tener suficiente flexibilidad, de modo que no se ejerzan esfuerzos que puedan dañar la conexión, el Equipo o el cable.

64.6. Conexión GIL a transformadores de poder

Para cumplir con lo indicado para los transformadores de poder en numeral 61.5 del Artículo 61, no se permitirán conexiones rígidas entre ductos GIL y Torretas de los transformadores de poder.

64.7. Ampliación de instalaciones de Equipos GIS

Para independizar el comportamiento sísmico de los equipos cuando estén conectados, la interfaz de conexión de cada Equipos GIS deberá considerar en su diseño original juntas flexibles desacopladas en todas las direcciones de análisis, independiente de que el Proveedor sea el mismo o no.

En caso contrario, se deberá considerar que el comportamiento sísmico de ambos equipos está acoplado, por lo que la validación del cumplimiento sísmico deberá realizarse tanto para el nuevo Equipo GIS como para el existente, considerando el acoplamiento entre ambos equipos.

Independiente de si se diseñan o no juntas desacopladas para la interfase de conexión, si la nueva fundación es monolítica con respecto a la fundación existente, también existe acoplamiento entre ambos equipos, tal y como señala en el numeral 7 del Artículo 165.

Artículo 65 Sistema de Anclaje a la fundación

El Diseño de los Sistemas de Anclajes del Equipo GIS a la fundación es responsabilidad del Diseñador del Equipo y se deberá realizar de acuerdo con los requisitos señalados en el Título XXX y los siguientes requisitos adicionales:

1. Las solicitaciones sísmicas de diseño serán las provenientes del modelo señalado en el Artículo 64, considerando un Factor de Modificación de la Respuesta de R=1.

2. El diseño de los pernos de anclaje propiamente tal se deberá realizar por Estados Límites Últimos de acuerdo con lo señalado en la norma ACI 318 y los factores de mayoración señalados en el Artículo 32.

3. En atención a las características particulares de este tipo de Equipos, en el diseño de los Sistemas de Anclajes no será necesario cumplir con el requisito señalado en el número 3 del Artículo 129. En tal caso, el diseño de los pernos de anclaje se deberá realizar de acuerdo con lo siguiente:

    i. Se deberá considerar la interacción tracción-corte.

    ii. Se deberá considerar que solo el 50% de los pernos de anclaje de cada apoyo toman el corte.

    iii. Cuando el corte de un apoyo sea mayor al valor máximo señalado en el número 3 del Artículo 129, en el diseño de ese apoyo se deberá considerar el corte amplificado por el Factor de Mayoración adicional de 1,25, como se señala en el número 3 del Artículo 131.

En particular, el Diseñador del Equipo es el responsable de definir:

i. La calidad de los materiales, el dimensionamiento y ubicación de los pernos de anclaje para el caso de anclaje mediante pernos. Si los pernos de anclaje son pre-instalados (embebidos en el hormigón), no será necesario definir su longitud.

ii. Lo señalado en el Artículo 137 para el caso de anclaje mediante soldadura.

iii. Cualquier otro elemento que sea necesario para el montaje del Equipo y/o para el correcto traspaso de las solicitaciones a la fundación.

En este caso, la responsabilidad del Diseñador de la Fundación respecto del Sistema de Anclaje se limita a:

i. Incluir como parte de los planos de la fundación, el plano de disposición de los Sistemas de Anclajes suministrado por el Proveedor del Equipo.

ii. Diseñar los elementos que deberán quedar embebidos en el hormigón que permitan el correcto anclaje del Equipo a la fundación. En el caso de pernos de anclaje pre-instalados, deberá definir su longitud.

iii. Realizar las verificaciones que muestran que el comportamiento de los modos de falla en el hormigón del Sistema de Anclaje es consistente con los requisitos de comportamiento establecidos en el presente Anexo.

Artículo 66 Información Mínima a entregar para el Diseño de la Fundación

El Diseñador del Equipo deberá entregar la siguiente información mínima para el diseño de la fundación:

1. Las reacciones separadas por cada estado de carga de diseño del Equipo y, para cada uno de los apoyos de las diferentes estructuras de soporte sobre la fundación.

2. Los desplazamientos relativos máximos, horizontales y verticales, que permite el Equipo entre los mismos puntos de apoyo para los que se entregan las reacciones. Estos desplazamientos deberán considerar, a lo menos, el efecto de la onda sísmica superficial sobre el suelo de acuerdo con lo señalado en el numeral 64.1 del Artículo 64.

3. Un Plano detallado de disposición de los Sistemas de Anclaje.

4. Las eventuales modificaciones debido a la incorporación de los dispositivos necesarios para absorber los desplazamientos requeridos por el Diseño Civil, de acuerdo con lo señalado en el numeral 10 del numeral 64.1 del Artículo 64.

TÍTULO XVIII REQUISITOS SÍSMICOS PARTICULARES PARA BANCOS DE CONDENSADORES Y SIMILARES

Artículo 67 Equipos de compensación serie de líneas de transmisión

El Equipo de compensación serie, en adelante, "Equipo de Compensación", está conformado por diversos Equipos individuales instalados sobre una estructura de soporte aislada eléctricamente al nivel de tensión nominal de la línea de transmisión a la que se conecta. Lo anterior, hace que un gran peso esté sostenido por aisladores de porcelana a una altura considerable del suelo.

La estructura de soporte está conformada por una estructura metálica de acero, denominada plataforma, y columnas y diagonales de material aislante eléctrico.

Las columnas aisladoras que soportan la plataforma deberán ser de porcelana y trabajarán solo a esfuerzos de compresión, disponiendo con dicho objeto de rótulas en su parte inferior y superior.

Las fuerzas horizontales provenientes de la plataforma deberán ser resistidas por diagonales de material cerámico o polimérico. Dichas diagonales pueden combinarse con dispositivos disipadores de energía para aumentar la razón de amortiguamiento de la estructura de soporte.

El comportamiento sísmico del Equipo de Compensación está interrelacionado con su fundación y, con el comportamiento sísmico del suelo donde se ubica la instalación, por lo que se requiere necesariamente de la correcta y oportuna coordinación entre el Diseñador del Equipo y el Diseñador de la Fundación, con el fin de obtener un diseño conjunto que permita el correcto comportamiento del Equipo durante y después del Sismo de Diseño. Esta correcta y oportuna coordinación es responsabilidad del Propietario.

En el diseño del Equipo de Compensación se deberán evaluar los desplazamientos relativos de las fundaciones de las columnas que soportan la plataforma, así como el efecto de la propagación de las ondas sísmicas de corte, entre otros y según corresponda.

67.1. Requisitos Sísmicos para el Equipo Compensación Serie

El diseño o Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos de las diferentes partes de estos Equipo de Compensación se deberá efectuar copulativamente mediante los siguientes dos métodos:

1. Método 1.

   Mediante el Método de Análisis Dinámico, definido en el Artículo 41, con una razón de amortiguamiento de 2%, se determinará la aceleración horizontal y vertical máxima al nivel de la plataforma. Estas aceleraciones corresponderán a la Aceleración Basal a la que estarán sometidos los equipos sobre la plataforma. El modelo de análisis debe representar correctamente las características de masa y rigidez de la plataforma, así como las columnas y diagonales aislantes que la soportan. Los equipos sobre la plataforma se representarán por su masa sísmica concentrada en los puntos en que ellos se fijan a la plataforma.

Los Equipos soportados en la plataforma se verificarán de acuerdo con lo siguiente:

i. Mediante el Método de Coeficientes Estáticos, sin determinación de la Frecuencia Fundamental, definido en el Artículo 39.

ii. Los Factores de Amplificación **"Kh"** y **"Kv"** que se deberán utilizar en la verificación de los Equipos individuales corresponderán a los que se obtengan de la razón entre la Aceleración Basal de la plataforma obtenida mediante el Análisis Dinámico y la aceleración máxima, horizontal y vertical, del Espectro de Diseño con una razón de amortiguamiento de 2%. Los Factores **"Kh"** y **"Kv"** deberán ser como mínimo 1,5.

2. Método 2.

Método de Análisis Dinámico, definido en el Artículo 41, con una razón de amortiguamiento de 2%, modelando el Equipo Compensación Serie completo, es decir, las columnas y diagonales aisladoras, la plataforma y cada uno de los Equipos individuales soportados. Las distribuciones de masas y rigideces de este análisis deberán ser las adecuadas para representar correctamente el comportamiento dinámico.

El cálculo dinámico global del conjunto de una fase del Equipo de Compensación, calculado de acuerdo con el Método 2, se utilizará para la verificación de cada Equipo individual sobre la plataforma siempre y cuando los valores de las solicitaciones sísmicas obtenidos sean mayores a los obtenidos con el Método 1.

El diseño utilizando una razón de amortiguamiento superior a 2%, deberá ser validado con una Prueba de Oscilación Libre de una fase del Equipo de Compensación completa una vez concluido su montaje en terreno.

La Prueba de Oscilación Libre se deberá realizar de acuerdo con lo señalado en Artículo 45.

En caso de que la Prueba de Oscilación Libre señale una razón de amortiguamiento menor a la utilizada en el diseño, el Diseñador del Equipo de Compensación deberá revisar su diseño para este nuevo valor de razón de amortiguamiento y demostrar que todos los componentes siguen cumpliendo los Factores de Seguridad de resistencia y desplazamientos señalados en el presente Anexo. En caso contrario, se deberán hacer las modificaciones de diseño que correspondan.

67.2. Columnas y diagonales aislantes

Las columnas y diagonales aislantes, que conforman la estructura de soporte del Equipo, se deberán diseñar con las fuerzas máximas obtenidas de acuerdo con los métodos señalados en el numeral 67.1 precedente y, deberán cumplir con los requisitos de Factor de Seguridad definidos en el Título XIV.

Las rótulas que se colocan en la parte inferior y superior de las columnas se deberán diseñar para cumplir con la función de que las columnas solo toman esfuerzo axial.

67.3. Plataforma

Para el caso particular de la plataforma, por ser parte del Equipo, es responsabilidad del Diseñador del Equipo su diseño global, así como la revisión y validación de las memorias de cálculo de las uniones y planos de fabricación y montaje que se elaboren en taller, con el fin de garantizar que el detallamiento, necesario para la fabricación, transporte y montaje de la plataforma, cumple con los siguientes requisitos mínimos:

1. El detallamiento es coherente con el diseño de la plataforma.
2. Permiten la correcta fabricación de los elementos que conforman la plataforma.
3. Permiten el correcto montaje de la plataforma en terreno.
4. Permiten el correcto montaje de los Equipos individuales que van sobre ella.
5. No modifica el comportamiento sísmico de los Equipos individuales, comportamiento obtenido de acuerdo con el modelo de análisis realizado para la compensación serie.

El acero estructural de la plataforma deberá cumplir con una resiliencia o tenacidad garantizada mínima de 27 Joule a la temperatura que defina el Propietario, según sea la ubicación de la subestación, pero en ningún caso mayor a 0°C.

67.4. Sistema de Anclaje a la Fundación

El diseño de los Sistemas de Anclaje a la fundación es responsabilidad del Diseñador del Equipo y se deberá realizar de acuerdo con lo señalado en el Título XXX.

En particular, el Diseñador del Equipo es el responsable de definir:

1. La calidad de los materiales, el dimensionamiento y ubicación de los pernos de anclaje. Si los pernos de anclaje son pre-instalados (embebidos en el hormigón), no será necesario definir su longitud.
2. Cualquier otro elemento que sea necesario para el montaje del Equipo y/o para el correcto traspaso de las solicitaciones a la fundación.

En este caso, la responsabilidad del Diseñador de la Fundación respecto del Sistema de Anclaje se limita a:

i. Incluir como parte de los planos de la fundación, el plano de disposición de los Sistemas de Anclajes suministrado por el Proveedor del Equipo.
ii. Diseñar los elementos que deberán quedar embebidos en el hormigón que permitan el correcto anclaje del Equipo a la fundación. En el caso de pernos de anclaje pre-instalados, deberá definir su longitud.
iii. Realizar las verificaciones que muestran que el comportamiento de los modos de falla en el hormigón del Sistema de Anclaje es consistente con los requisitos de comportamiento establecidos en el presente Anexo.

Artículo 68 Banco de condensadores en derivación o shunt

El Equipo banco de condensadores en derivación o bancos shunt está compuesto de varias unidades de condensadores que están instalados a diferente altura, aislados eléctricamente y soportados por estructuras metálicas horizontales, de acero o aluminio, conectados rígidamente a las columnas aisladoras de soporte de porcelana.

En general, estos bancos de condensadores se pueden clasificar en:

1. Bancos de condensadores con neutro aislado de tierra.

   Estos Equipos tienen las unidades de condensadores instaladas sobre columnas de aisladores a la tensión eléctrica nominal del sistema a que están conectados. Así, en general tienen una estructura soporte de aisladores de la tensión nominal del sistema eléctrico y luego continúa en altura una estructura que es una mezcla de aisladores y estructura metálica en la que se intercalan las unidades de condensadores.

2. Banco de condensadores con neutro conectado a tierra.

   Estos Equipos tienen las unidades de condensadores instaladas en forma gradual sobre columnas de aisladores a la tensión eléctrica nominal del sistema a que están conectados, en forma gradual a diferentes tensiones hasta la tensión nominal del sistema. Así, en general el neutro de este Equipo está conectado a tierra a un nivel bajo de tensión eléctrica. Su estructura es una mezcla de aisladores y estructuras metálicas en altura, en las que se intercalan las unidades de condensadores.

Las solicitaciones horizontales pueden ser resistidas directamente por las columnas de porcelana y/o por diagonales aislantes de material cerámico o polimérico. No será obligatorio la incorporación de rótulas en las partes inferior ni superior de las columnas de porcelana, lo que dependerá en todo caso de la resistencia de la estructura de soporte que se diseñe.

Para los Equipos correspondientes al número 1 anterior, aplican los mismos requisitos que para los Equipos de compensación serie de líneas de transmisión establecidos en el Artículo 67. Para los Equipos correspondientes al número 2 anterior, aplica solamente el Método 2 definido en el Artículo 67.

Para los Equipos con nivel de tensión más elevada "Um" ≤ 72,5 kV correspondientes al número 1 o al número 2, se aceptará que la verificación se realice mediante el Método de Coeficientes Estáticos definido en el Artículo 39, considerando la aceleración espectral máxima correspondiente a una razón de amortiguamiento de 2% (sin verificación de la Frecuencia Fundamental) y con Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,0.

Para el diseño de los Sistemas de Anclaje y de la fundación, aplica lo señalado para Equipos de compensación serie en el numeral 67.4 del Artículo 67.

TÍTULO XIX REQUISITOS SÍSMICOS PARTICULARES PARA EQUIPOS FLEXIBLES CON SIMETRÍA RESPECTO A SU EJE VERTICAL

Artículo 69 Alcance

Los requisitos que se señalan en el presente Título aplican entre otros a:

1. Interruptores tipo tanque vivo de una cámara, transformadores de corriente, mufas y otros Equipos similares, cuya Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos se señalan en el Artículo 70 y en el Artículo 71.
2. Pararrayos, cuya Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos se señala en el Artículo 72.
3. Equipos con caja metálica (tanque) inferior, tales como transformadores de potencial, condensadores de acoplamiento y otros Equipos similares, cuya Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos se señala en el Artículo 73.

La verificación del cumplimiento de los requisitos símicos de estos Equipos deberá distinguir si ésta se refiere a Equipo con o sin Dispositivos de Amortiguación.

Se deberá tener en cuenta que los ejes ortogonales con respecto al sistema de amortiguación pueden no ser la dirección más desfavorable para la solicitación sísmica sobre el Equipo.

Artículo 70 Equipos sin Dispositivos de Amortiguación

Nivel de Tensión más elevada del Equipo	Solicitación Sísmica (E)	Requisito
”Um” ≤ 36 kV	Método Estático Simplificado definido en el Artículo 40 y considerando Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,0.	Equipos instalados en Estructuras Bajas de acuerdo con la definición 24 del Artículo 7. Si los Equipos se instalan en altura, se deberán considerar los Factores de Amplificación definidos en el Título XXII.
36 kV < “Um”≤ 550 kV	Método de Coeficientes Estáticos sin determinación de la Frecuencia Fundamental definido en el Artículo 39, considerando la aceleración espectral máxima correspondiente a una razón de amortiguamiento de 2% (sin verificación de la Frecuencia Fundamental) y con Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,0.	Equipos instalados sobre estructuras de soporte que cumplen copulativamente con lo señalado en el numeral 4 del Artículo 122 y en el Artículo 123. Si los Equipos se instalan en altura, se deberán considerar los Factores de Amplificación definidos en el Título XXII.
36 kV < “Um” ≤ 550 kV	Prueba sísmica en mesa vibratoria de acuerdo a lo señalado en el Título X.	Equipos instalados sobre estructuras de soporte que no cumplen con lo señalado en el numeral 4 del Artículo 122 y/o en el Artículo 123.
“Um” > 550 kV	Prueba sísmica en mesa vibratoria de acuerdo a lo señalado en el Título X.	

Tabla 9: Solicitación Sísmica (E) para Equipos Flexibles con simetría en su eje vertical y sin Dispositivos de Amortiguación

Artículo 71 Equipos con Dispositivos de Amortiguación

Nivel de Tensión más elevada del Equipo	Solicitación Sísmica (E)	Requisito
"Um" < 170 kV	Copulativamente: i) Método de Coeficientes Estáticos sin determinación de la Frecuencia Fundamental definido en el Artículo 39, considerando la aceleración espectral máxima correspondiente a una razón de amortiguamiento de 2% (sin verificación de la Frecuencia Fundamental) y con Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,0. ii) Determinación de la razón de amortiguamiento y Frecuencia Fundamental mediante Prueba de Oscilación Libre señalada en el Artículo 45.	Equipos instalados sobre estructuras de soporte que cumplen copulativamente con lo señalado en el numeral 4 del Artículo 122 y en el Artículo 123. Si los Equipos se instalan en altura, se deberán considerar los Factores de Amplificación definidos en el Título XXII.
170 kV ≤ "Um" ≤ 245 kV	Copulativamente: i) Método de Coeficientes Estáticos sin determinación de la Frecuencia Fundamental definido en el Artículo 39, considerando la aceleración espectral máxima correspondiente a una razón de amortiguamiento de 2% (sin verificación de la Frecuencia Fundamental) y con Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,0 para determinar las fuerzas sísmicas en los distintos componentes del Equipo. ii) Método de Análisis Dinámico definido en el Artículo 41 para evaluar el comportamiento	Equipos instalados sobre estructuras de soporte que cumplen copulativamente con lo señalado en el numeral 4 del Artículo 122 y en el Artículo 123. Si los Equipos se instalan en altura, se deberán considerar los Factores de Amplificación definidos en el Título XXII.

Nivel de Tensión más elevada del Equipo	Solicitación Sísmica (E)	Requisito
	sísmico del Equipo verificado estáticamente, se determinarán los desplazamientos del Equipo y se corregirán al alza las fuerzas sísmicas en aquellas secciones del Equipo que el análisis dinámico señale como mayores a las obtenidas mediante el análisis por Coeficientes Estáticos. iii) Determinación de la razón de amortiguamiento y Frecuencia Fundamental mediante Prueba de Oscilación Libre señalada en el Artículo 45. iv) En ningún caso se aceptará que las fuerzas sísmicas obtenidas mediante el análisis por Coeficientes Estáticos sean corregidas a la baja, salvo que el Equipo y su amortiguación se verifiquen mediante ensayo en mesa vibratoria.	
36 kV < "Um" ≤ 245 kV	Prueba sísmica en mesa vibratoria de acuerdo a lo señalado en el Título X.	Equipos instalados sobre estructuras de soporte que no cumplen con lo señalado en el numeral 4 del Artículo 122 y/o en el Artículo 123.
"Um" > 245 kV	Prueba sísmica en mesa vibratoria de acuerdo a lo señalado en el Título X.	

Tabla 10: Solicitación Sísmica (E) para Equipos Flexibles con simetría en su eje vertical y con Dispositivos de Amortiguación

El diseño de la estructura de soporte, del Sistema de Anclaje y de la fundación deben tomar en cuenta la dirección de la solicitación sísmica que es más desfavorable para el Equipo.

Artículo 72 Pararrayos

Para los pararrayos aplica lo señalado en el Artículo 70 y el Artículo 71, dependiendo si cuentan o no con Dispositivos de Amortiguación, complementado con las siguientes disposiciones relacionadas con la verificación de la integridad interna del Equipo:

Nivel de Tensión más elevada del Equipo	Solicitación Sísmica (E)	Requisito
Equipo sin Dispositivos de Amortiguación "Um" ≤ 36 kV	Método Estático Simplificado definido en el Artículo 40 y considerando Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,0.	Equipos instalados en Estructuras Bajas de acuerdo con la definición 24 del Artículo 7. Si los Equipos se instalan en altura, se deberán considerar los Factores de Amplificación definidos en el Título XXII.
36 kV < "Um" ≤ 123 kV Con o sin Dispositivos de Amortiguación	Método de Coeficientes Estáticos sin determinación de la Frecuencia Fundamental definido en el Artículo 39, considerando la aceleración espectral máxima correspondiente a una razón de amortiguamiento de 2% (sin verificación de la Frecuencia Fundamental) y con Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,0. En este caso las bases aislantes de los pararrayos se verificarán estáticamente considerando el momento basal determinado para el Equipo.	Equipos instalados sobre estructuras de soporte que cumplen copulativamente con lo señalado en el numeral 4 del Artículo 122 y en el Artículo 123. Si los Equipos se instalan en altura, se deberán considerar los Factores de Amplificación definidos en el Título XXII.
36 kV < "Um" ≤ 123 kV Con o sin Dispositivos de Amortiguación	Prueba sísmica en mesa vibratoria de acuerdo a lo señalado en el Título X.	Equipos instalados sobre estructuras de soporte que no cumplen con lo señalado en el numeral 4 del Artículo 122 y/o en el Artículo 123.
"Um" > 123 kV Con o sin Dispositivos de Amortiguación	Prueba sísmica en mesa vibratoria de acuerdo a lo señalado en el Título X.	

Tabla 11: Solicitación Sísmica (E) para pararrayos con y sin Dispositivos de Amortiguación

Para todos los casos se deberá además hacer la verificación de las bases aislantes y de sus componentes internos mediante la ejecución de los ensayos de rutina antes y después del ensayo sísmico.

No se aceptarán variaciones significativas en los resultados de las mediciones de estas pruebas de rutina, pruebas que deberán incluir obligatoriamente el control de estanqueidad de cada unidad.

Se considerará que el Equipo cumple con las exigencias del presente Anexo si los valores medidos en los ensayos de rutina antes y después del ensayo sísmico están dentro de los límites de aceptación definidos en la norma IEC 60099-4.

Para pararrayos de transformadores de poder se deberán considerar los Factores de Amplificación **"Kh"** y **"Kv"** señalados en el numeral 61.6 del Artículo 61.

Artículo 73 Transformadores de potencial, condensador de acoplamiento y otros similares

Para los Equipos con simetría vertical y con caja metálica (tanque) inferior, como son los transformadores de potencial, los condensadores de acoplamiento y otros Equipos similares, aplica lo señalado en el Artículo 70 y en el Artículo 71, dependiendo si cuentan o no con Dispositivos de Amortiguación. Adicionalmente, se aplican los siguientes requisitos:

1. Verificación del cumplimiento de las exigencias sísmicas mediante el Método de Coeficientes Estáticos, siempre y cuando se demuestre mediante cálculo o mediante un ensayo estático que su tanque y su tapa o cubierta tienen una rigidez mínima de 30 Hz.

2. Verificación del cumplimiento de las exigencias sísmicas por prueba sísmica en mesa vibratoria, de acuerdo con lo señalado en el Título X, en caso de que no se cumpla el requisito de rigidez señalado en el numeral 1 precedente.

La memoria de cálculo del Equipo deberá demostrar que tanto el Equipo como su tanque y su cubierta cumplen con los Factores de Seguridad señalados en el Título XIV.

TÍTULO XX REQUISITOS SÍSMICOS PARTICULARES PARA EQUIPOS FLEXIBLES SIN SIMETRÍA RESPECTO A SU EJE VERTICAL

Artículo 74 Alcance

Los requisitos que se señalan en el presente Título aplican, entre otros, a los interruptores de 2 cámaras horizontales, desconectadores y otros similares.

La Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos de estos Equipos deberá distinguir si ésta se refiere a un Equipo con o sin Dispositivos de Amortiguación.

Se deberá tener en cuenta que los ejes ortogonales con respecto al sistema de fijación o al sistema de amortiguación, según corresponda, pueden no ser la dirección más desfavorable para la solicitación sísmica sobre el Equipo.

El diseño de la estructura de soporte, del Sistema de Anclaje y de la fundación deben tomar en cuenta la dirección de la solicitación sísmica que es más desfavorable para el Equipo.

Artículo 75 Equipos sin Dispositivos de Amortiguación

Nivel de Tensión más elevada del Equipo	Solicitación Sísmica (E)	Requisito
"Um" ≤ 36 kV	Método Estático Simplificado definido en el Artículo 40 y considerando Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,0.	Equipos instalados en Estructuras Bajas de acuerdo con la definición 24 del Artículo 7. Si los Equipos se instalan en altura, se deberán considerar los Factores de Amplificación definidos en el Título XXII.
36 kV < "Um" ≤ 245 kV	Copulativamente: i) Método de Coeficientes Estáticos sin determinación de la Frecuencia Fundamental definido en el Artículo 39, considerando la aceleración espectral máxima correspondiente a una razón de amortiguamiento de 2% (sin verificación de la Frecuencia Fundamental) y con Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,0. ii) Método de Análisis Dinámico definido en el Artículo 41 para evaluar el comportamiento sísmico del Equipo verificado estáticamente, se determinarán los desplazamientos del Equipo y se corregirán al alza las fuerzas sísmicas en aquellas secciones del Equipo que el análisis dinámico señale como mayores a las	Equipos instalados sobre estructuras de soporte que cumplen copulativamente con lo señalado en el numeral 4 del Artículo 122 y en el Artículo 123. Si los Equipos se instalan en altura, se deberán considerar los Factores de Amplificación definidos en el Título XXII.

Nivel de Tensión más elevada del Equipo	Solicitación Sísmica (E)	Requisito
	obtenidas mediante el análisis por Coeficientes Estáticos. iii) Determinación de la razón de amortiguamiento y Frecuencia Fundamental mediante Prueba de Oscilación Libre señalada en el Artículo 45. iv) En ningún caso se aceptará que las fuerzas sísmicas obtenidas mediante el análisis por Coeficientes Estáticos sean corregidas a la baja, salvo que el Equipo y su amortiguación se verifiquen mediante ensayo en mesa vibratoria.	
36 kV < "Um" ≤ 245 kV	Prueba sísmica en mesa vibratoria de acuerdo a lo señalado en el Título X.	Equipos instalados sobre estructuras de soporte que no cumplen con lo señalado en el numeral 4 del Artículo 122 y/o en el Artículo 123.
"Um" > 245 kV	Prueba sísmica en mesa vibratoria, de acuerdo a lo señalado en el Título X.	

Tabla 12: Solicitación Sísmica (E) para Equipos Flexibles sin simetría en su eje vertical y sin Dispositivos de Amortiguación

Artículo 76 Equipos con Dispositivos de Amortiguación

Nivel de Tensión más elevada del Equipo	Solicitación Sísmica (E)	Requisito
"Um" ≤ 170 kV	Copulativamente: i) Método de Coeficientes Estáticos sin determinación de la Frecuencia Fundamental definido en el Artículo 39, considerando la aceleración espectral máxima correspondiente a una razón de amortiguamiento de 2% (sin verificación de la Frecuencia Fundamental) y con Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,0 para determinar las fuerzas sísmicas en los distintos componentes del Equipo. ii) Método de Análisis Dinámico definido en el Artículo 41, para evaluar el comportamiento sísmico del Equipo verificado estáticamente, se determinarán los desplazamientos del Equipo y se corregirán al alza las fuerzas sísmicas en aquellas secciones del Equipo que el análisis dinámico señale como mayores a las obtenidas mediante el análisis por Coeficientes Estáticos. iii) Determinación de la razón de amortiguamiento y Frecuencia Fundamental mediante Prueba de Oscilación Libre señalada en el Artículo 45. iv) En ningún caso se aceptará que las fuerzas sísmicas obtenidas mediante el análisis por Coeficientes Estáticos sean corregidas a la baja, salvo que el Equipo y su amortiguación se verifiquen mediante ensayo en mesa vibratoria.	Equipos instalados sobre estructuras de soporte que cumplen copulativamente con lo señalado en el numeral 4 del Artículo 122 y en el Artículo 123. Si los Equipos se instalan en altura, se deberán considerar los Factores de Amplificación definidos en el Título XXII.
"Um" ≤ 170 kV	Prueba sísmica en mesa vibratoria, de acuerdo a lo señalado en el Título X.	Equipos instalados sobre estructuras de soporte que no cumplen con lo señalado en el numeral 4 del Artículo 122 y/o en el Artículo 123.

Nivel de Tensión más elevada del Equipo	Solicitación Sísmica (E)	Requisito
"Um" > 170 kV	Prueba sísmica en mesa vibratoria, de acuerdo a lo señalado en el Título X.	

Tabla 13: Solicitación Sísmica (E) para Equipos Flexibles sin simetría en su eje vertical y con Dispositivos de Amortiguación

Artículo 77 Desconectadores

Se considerará que el desconectador cumple con los Requisitos Sísmicos del presente Anexo si se ha verificado en su condición de montaje, ya sea horizontal o vertical, y en su condición de uso, es decir, en posiciones abierto y cerrado, considerando las direcciones longitudinal y transversal a un polo del Equipo.

En caso de que el desconectador incluya una cuchilla de puesta a tierra, el análisis deberá abarcar copulativamente las siguientes configuraciones:

- Desconectador abierto y cuchilla de puesta a tierra cerrada.
- Desconectador abierto y cuchilla de puesta a tierra abierta.
- Desconectador cerrado y cuchilla de puesta a tierra abierta.

Las posiciones del desconectador para su verificación de uso deberán ser mantenidas por el mecanismo de operación del Equipo y en la posición cerrado del Equipo, los contactos no se deberán separar como consecuencia de la oscilación de las columnas que accionan los brazos (ausencia de micro-interrupciones eléctricas durante la prueba en mesa vibratoria).

La ubicación y diseño de las cajas de accionamiento de estos Equipos deberá cumplir con los siguientes requisitos:

1. Los apoyos de las cajas de accionamiento deberán tener una configuración tal que no se produzcan vibraciones y/o giros que afecten la operatividad del Equipo.

2. La ubicación de las cajas de accionamiento deberán ser las necesarias para que su fijación, a la estructura de soporte del Equipo, sea por la cara exterior de la estructura. No se aceptará la fijación de la caja de accionamiento a una estructura independiente.

3. La ubicación de las cajas de accionamiento deberá ser la necesaria para que la estructura de soporte tenga una geometría regular, tanto en los ejes horizontales como en el eje vertical, de tal forma que, la estructura no requiera de elementos en voladizo para montar sobre ella el desconectador, elementos que pueden producir amplificaciones sísmicas en el Equipo, las cuales no fueron consideradas en su diseño.

Los desconectadores no podrán tener sistema de amortiguación.

Nivel de Tensión más elevada del Equipo	Solicitación Sísmica (E)	Requisito
"Um" ≤ 36 kV	Método Estático Simplificado definido en el Artículo 40 y considerando Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,0.	Equipos instalados en Estructuras Bajas de acuerdo con la definición 24 del Artículo 7. Si los Equipos se instalan en altura, se deberán considerar los Factores de Amplificación definidos en el Título XXII.
36 kV < "Um" ≤ 123 kV	Método de Coeficientes Estáticos sin determinación de la Frecuencia Fundamental definido en el Artículo 39, considerando la aceleración espectral máxima correspondiente a una razón de amortiguamiento de 2% (sin verificación de la Frecuencia Fundamental) y con Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,0, para determinar las fuerzas sísmicas en los distintos componentes del Equipo. En este caso, la ausencia de micro-interrupciones eléctricas de los contactos del Equipo durante el sismo deberá ser demostrada por cálculos.	Equipos instalados sobre estructuras de soporte que cumplen copulativamente con lo señalado en el numeral 4 del Artículo 122 y en el Artículo 123. Si los Equipos se instalan en altura, se deberán considerar los Factores de Amplificación definidos en el Título XXII.
36 kV < "Um" ≤ 123 kV	Prueba sísmica en mesa vibratoria de acuerdo a lo señalado en el Título X.	Equipos instalados sobre estructuras de soporte que no cumplen con lo señalado en el numeral 4 del Artículo 122 y/o en el Artículo 123.
"Um" > 123 kV	Prueba sísmica en mesa vibratoria de acuerdo a lo señalado en el Título X.	Equipos con o sin accionamiento tripolar cuando no se cumplan los otros requisitos señalados en la presente Tabla.

Nivel de Tensión más elevada del Equipo	Solicitación Sísmica (E)	Requisito
"Um" > 72,5 kV	Prueba sísmica en mesa vibratoria de acuerdo a lo señalado en el Título X para el Equipo junto con su estructura de soporte	Equipos con accionamiento tripolar instalados sobre estructuras de soporte que no cumplen con lo señalado en el numeral 4 del Artículo 122 y/o en el Artículo 123.

Tabla 14: Solicitación Sísmica (E) para desconectadores

TÍTULO XXI REQUISITOS SÍSMICOS PARTICULARES PARA INTERRUPTORES

Artículo 78 Interruptores de tanque vivo o live tank

Para estos interruptores aplica lo señalado en el Título XIX o en el Título XX según sea su configuración.

Cuando la Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos se realice mediante prueba en mesa vibratoria, el ensayo de multifrecuencia definido en el numeral 43.6 del Artículo 43 se deberá efectuar dos veces, la primera vez con el Equipo en posición "cerrado" y la segunda vez efectuando una operación O-C-O (apertura – cierre – apertura). Esta operación deberá iniciarse aproximadamente en el instante en que se alcanza el 50% de la Intensidad de Arias para una de las direcciones horizontales de movimiento.

Artículo 79 Interruptores de tanque muerto o dead tank

Estos Interruptores siempre deberán estar instalados sobre estructuras de soporte que cumpla con lo señalado iiiii4Artículo 122en el Artículo 123.

Nivel de Tensión más elevada del Equipo	Solicitación Sísmica (E)	Requisito
"Um" < 550 kV	Método de Coeficientes Estáticos sin determinación de la Frecuencia Fundamental definido en el Artículo 39, considerando la aceleración espectral máxima correspondiente a una razón de amortiguamiento de 2% (sin verificación de la Frecuencia Fundamental) y con Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,0 para determinar las fuerzas sísmicas en los distintos componentes del Equipo. La verificación del cumplimiento de las exigencias sísmicas de los bushings se deberá realizar de acuerdo con lo señalado para los Bushing Tipo 1 en el numeral 61.5 del Artículo 61 considerando Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,25.	Cuando se demuestre mediante cálculo que el tanque y Torretas de estos interruptores tiene una rigidez mínima de 30 Hz calculada de acuerdo con lo señalado en el numeral iii del numeral 4 del Artículo 122.
"Um" ≥ 550 kV	Prueba sísmica en mesa vibratoria, de acuerdo a lo señalado en el Título X.	

Tabla 15: Solicitación Sísmica (E) para interruptores dead tank

Si la estructura soporte de Equipos con "Um" < 550 kV no cumple con el requisito señalado en la Tabla precedente, la verificación del cumplimiento de los requisitos sísmicos del equipo se deberá efectuar mediante Prueba sísmica en mesa vibratoria según Titulo X.

Independiente de la tensión "Um" del equipo, la Prueba sísmica en mesa vibratoria se deberá efectuar al Interruptor completo, incluyendo su correspondiente estructura soporte.

En caso de que la materialidad del tanque del interruptor sea de material dúctil o de aleación de aluminio, el Proveedor deberá respaldar la resistencia de acuerdo con lo señalado en el Artículo 50 o en el Artículo 54 según corresponda.

En caso de que la materialidad del tanque del interruptor sea frágil, el Proveedor deberá entregar los ensayos de rotura de 10 probetas del material, de tal forma de determinar su valor $R_{me} = (\mu - 2 \cdot S)$ de acuerdo con lo señalado en el Artículo 53.

TÍTULO XXII REQUISITOS SÍSMICOS PARTICULARES PARA EQUIPOS MONTADOS EN ALTURA

Artículo 80 Alcance

Los requisitos que se señalan en el presente Título aplican a los Equipos Eléctricos que, independiente de su nivel de tensión, se instalan sobre una estructura que no cumple con los requisitos definidos en el Artículo 122 y/o en el Artículo 123.

Para estos casos, el Diseñador del Equipo deberá considerar en el Diseño Sísmico del Equipo y de su sistema de fijación a la estructura, Factores de Amplificación **"Kh"** y **"Kv"** que amplifican a los señalados en el Título correspondiente al Equipo, como consecuencia de la amplificación de la aceleración sísmica debido a la altura y al comportamiento dinámico del Sistema Estructural Equipo + estructura.

Es responsabilidad del Propietario la definición oportuna al Proveedor o al Fabricante del Equipo, según corresponda, de las condiciones sísmicas particulares que deberá tener el Equipo y su sistema de fijación.

Artículo 81 Equipos montados sobre Estructuras Tipo Parrón

Las Estructuras Tipo Parrón se definen en el numeral 29 Artículo 7 y se caracterizan, entre otros, por no cumplir con lo señalado en el numeral 4 del Artículo 122 y/o con el Artículo 123 y por tener Equipos instalados sobre sus vigas o pilares.

La Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos de estos Equipos se deberá realizar de acuerdo con los siguientes Factores de Amplificación **"Kh"** y **"Kv"**, que amplifican a los señalados en el Título correspondiente al Equipo:

1. Kh =1,5.

2. Kv depende de la rigidez en vertical del elemento donde se instala el Equipo:
    i. 1,4 para Equipos instalados sobre elementos horizontales, tales como las vigas del Parrón, crucetas y otros similares.
    ii. 1,0 para Equipos de disposición vertical instalados directamente sobre los pilares del Parrón.

Equipos de nivel de tensión más elevada "Um" ≤ 36 kV, se verificarán mediante el Método Estático Simplificado definido en el Artículo 40, con los Factores de Amplificación **"Kh"** y **"Kv"** definidos en el presente Artículo.

Equipos con nivel de tensión más elevada "Um" ≤ 72,5 kV, se verificarán mediante el Método de Coeficientes Estáticos definido en el Artículo 39, considerando la aceleración espectral máxima correspondiente a una razón de amortiguamiento de 2% (sin verificación de la Frecuencia Fundamental) y con los Factores de Amplificación **"Kh"** y **"Kv"** definidos en el presente Artículo.

No se podrán instalar Equipos con nivel de tensión más elevada "Um" > 72,5 kV en este tipo de estructuras.

Cuando la Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos de estos Equipos, se realice mediante el Método de Análisis Dinámico definido en el Artículo 41, el modelo deberá considerar que el Sistema Estructural de análisis corresponde a Equipo más Parrón (Equipo + Parrón).

Artículo 82 Equipos montados sobre Estructuras Altas

Las Estructuras Altas se definen en el numeral 25 del Artículo 7, debiendo ser necesario diferenciar si la Estructura Alta considera en su diseño esta condición o si la Estructura Alta es existente y no se ha considerado en su diseño esta condición.

1. Estructura Alta diseñada para instalación de Equipos

   Cuando la Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos de estos Equipos se realice mediante alguno de los métodos estáticos definidos en el Título IX, esta verificación se deberá realizar de acuerdo con los siguientes Factores de Amplificación **"Kh"** y **"Kv"**, que amplifican a los señalados en el Título correspondiente al Equipo:

   i. Kh = 3,0.

   ii. Kv depende de la rigidez en vertical del elemento donde se instala el Equipo:

      a. 1,4 para Equipos instalados sobre elementos horizontales, tales como vigas de marcos o portales, crucetas de torres y otros similares.

      b. 1,0 para Equipos de disposición vertical instalados directamente sobre elementos verticales tales como: pilares, cuerpos de torres y otros similares.

   Cuando la Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos de estos Equipos, se realice mediante el Método de Análisis Dinámico definido en el Artículo 41, el modelo deberá considerar que el Sistema Estructural de análisis corresponde al Equipo más Estructura Alta (Equipo + Estructura Alta).

2. Estructura Alta no diseñada para instalación de Equipos

   En el caso de que los Equipos deban ser instalados sobre Estructuras Altas existentes, que no han sido diseñadas para esta condición, será responsabilidad del Propietario evaluar en etapas tempranas del proyecto la posibilidad real de modificar la estructura existente, para que cumpla con lo señalado en el Artículo 174.

   De no ser posible modificar la estructura existente para lograr la condición señalada en el inciso anterior, se deberá realizar un análisis dinámico del Sistema Estructural Equipo + Estructura Alta, de modo de determinar el valor de **"Kh"** necesario para especificar el Equipo, valor que en ningún caso será menor al definido en el número i del presente Artículo.

   En caso de no realizar el análisis dinámico señalado en el párrafo precedente, se deberá considerar que el valor de **"Kp"** definido en el Artículo 173 es 2,5, con lo cual, el Factor de Amplificación a la aceleración horizontal **"Kh"** necesario para especificar

el Equipo, definido en el número i del presente Artículo, se deberá reemplazar por el siguiente valor:

$$Kh = 3 * 2{,}5 = 7{,}5$$

Artículo 83 Equipos dentro de edificios o salas, montados en pisos superiores al nivel de terreno

La Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos se deberá realizar de acuerdo con el método que le corresponda al tipo de Equipo según lo definido en el presente Anexo, considerando los siguientes Factores de Amplificación **"Kh"** y **"Kv"**, que amplifican a los señalados en el Título correspondiente al Equipo:

1. Para edificios con un máximo de 3 pisos: Kh = 1,5 Kv = 1,4.

   Valores menores de **"Kv"** deberán ser debidamente justificados.

2. Para edificios de más de 3 pisos: **"Kh"** y **"Kv"** deberán ser los señalados en el Artículo 172.

Los valores señalados deben ser consistentes con las exigencias sísmicas de diseño de los edificios o salas de acuerdo con lo señalado en el Título XXXV.

TÍTULO XXIII EQUIPOS ELÉCTRICOS SUSPENDIDOS

Artículo 84 Equipos suspendidos

Se entenderá por Equipo suspendido (o colgado) al Equipo Eléctrico que cuelga libremente desde techos de salas, parte inferior de vigas de Estructuras Altas y similares, mediante Elementos Flexibles que permiten el movimiento libre del Equipo.

El Diseñador del Equipo deberá definir los puntos de suspensión en el Equipo, que permitan dar soporte vertical al Equipo en el lugar de instalación.

El sistema de suspensión que se defina en el proyecto deberá ser consistente con los puntos definidos en el Equipo y, con la condición de flexibilidad necesaria para permitir el movimiento libre señalado en el párrafo precedente.

Si el sistema de suspensión no permite el movimiento libre del Equipo, entonces el Equipo no podrá considerarse como suspendido y se deberá diseñar de acuerdo con los requerimientos señalados en el Artículo 82.

Los Equipos Eléctricos suspendidos se diseñarán mediante un análisis estático de fuerzas, considerando el Equipo en condición de cuerpo libre de acuerdo con los siguientes requisitos:

1. Diseñador del Equipo:

   i. Puntos de suspensión y sistema de suspensión.

      Cada punto de suspensión y el sistema de suspensión deberán ser capaces de soportar y transmitir la siguiente combinación de fuerzas verticales y horizontales:

      a. Fuerza vertical (hacia arriba) de 5 veces el peso del Equipo en los puntos de suspensión, más cualquier fuerza operacional vertical que se sume al efecto del peso.

      b. Fuerza horizontal de 1,0 veces el peso del Equipo en los puntos de suspensión, cuando el Equipo suspendido tenga una conexión eléctrica en el extremo libre lo suficientemente flexible, de manera tal de permitir el movimiento libre del Equipo, más cualquier fuerza operacional horizontal.

   ii. La estructura transmisora de la carga del Equipo deberá ser capaz de transmitir las fuerzas combinadas horizontales y verticales hacia el punto de suspensión. Se deberá considerar el peso propio, las cargas operaciones y una fuerza vertical hacia abajo de 4 veces el peso del Equipo.

2. Diseñador de la estructura donde se colgará el Equipo:

   En el diseño de la estructura donde se colgará el Equipo se deberá tener presente que, la pieza donde se ancla la cadena de soporte del Equipo suspendido deberá resistir las mismas solicitaciones señaladas para el Equipo.

En la Figura 6 se muestra el diagrama de cuerpo libre que representa a un Equipo suspendido.

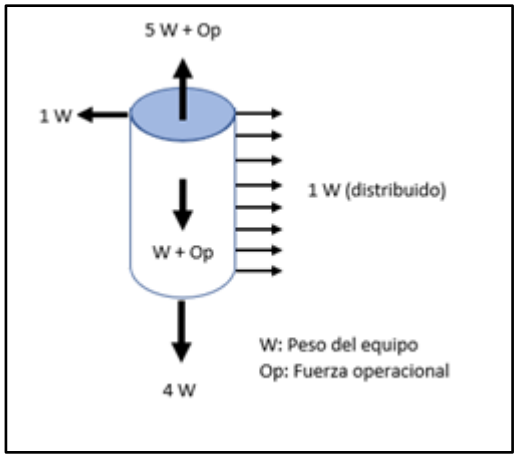

Figura 6: Equipo suspendido

Si el Equipo se encuentra en el exterior, se deberá considerar además las cargas meteorológicas de acuerdo con lo señalado en el Artículo 30.

Se deberá verificar el desplazamiento de los Equipos suspendidos de modo de cumplir con las distancias de seguridad entre ellos y/o con otros elementos, de acuerdo con lo señalado en el Título XXV.

TÍTULO XXIV REQUISITOS SÍSMICOS PARTICULARES PARA OTROS EQUIPOS

Artículo 85 Aisladores de pedestal

Los aisladores de pedestal tienen distinta utilización en las instalaciones eléctricas tales como: soporte de conductores, soporte de Equipos (reactores en aire, capacitores, etc.) u otras.

En este contexto, estos aisladores de pedestal deberán ser considerados como Equipos, en lo que se refiere al cumplimiento de los Requisitos Sísmicos definidos en el presente Anexo, por lo que la Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos se deberá realizar de acuerdo con lo establecido en el Título XIX.

Artículo 86 Reactores en aire

La Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos de los reactores en aire se realizará de acuerdo con lo siguiente:

1. Reactores en aire de tensiones más elevada del Equipo "Um" ≤ 72,5 kV:

   La Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos se efectuará por el Método de Coeficientes Estáticos definido en el Artículo 39, considerando la aceleración espectral máxima correspondiente a una razón de amortiguamiento de 2% (sin verificación de la Frecuencia Fundamental).

   Para esta verificación se deberán considerar los siguiente Factores de Amplificación:

   i. Reactores en aire simples: Kh = 1,0 Kv = 1,0

   ii. Reactores en aire instalados en columna: Kh = 1,5 Kv = 1,0

2. Reactores en aire de tensiones más elevadas del Equipo "Um" > 72,5 kV:

   La verificación del cumplimiento de los requisitos símicos se efectuará por el Método de Análisis Dinámico que se establece en el Artículo 41, o por Mesa Vibratoria de acuerdo con el Título X.

Los reactores inmersos en líquido aislante deberán cumplir los requisitos que se establecen en el Título XVI.

Los reactores en aire instalados suspendidos, como por ejemplo trampas de onda, deberán cumplir los requisitos que se establecen en el Título XXIII.

Los elementos de los reactores en aire necesarios para otorgar la distancia a la fundación o entre reactores, son considerados, para el efecto del presente Anexo, como componentes del reactor en aire. Estos elementos habitualmente son aisladores, los que son necesarios para otorgar distancia a las fundaciones para efectos de permitir el enfriamiento por convección, distancias eléctricas y efectos del campo magnético.

Para el diseño de los Sistemas de Anclajes a la fundación se deberán considerar los requisitos señalados en el Título XXX. Se deberá tener presente que, para este tipo de

Equipos, las fundaciones no pueden tener armaduras de acero magnético dentro de la zona que el Diseñador del Equipo lo prohíbe. En estos casos se deberá usar armaduras de fibra de vidrio.

Artículo 87 Banco de baterías acumuladoras

Los bancos de baterías acumuladoras a que se refiere este párrafo corresponden a los bancos de batería tipo estacionarias, compuesto de un conjunto de celdas de baterías tipo estación, montados en estructura de soporte, usados en las instalaciones eléctricas, como subestaciones y centrales generadoras de electricidad, y que forman parte de los servicios auxiliares esenciales de las instalaciones eléctricas.

La Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos se realizará mediante el Método Estático definido en el Artículo 38.

La Frecuencia Equivalente de la estructura de soporte de los bancos de baterías, calculada con la masa de las celdas de baterías distribuida en la base de apoyo de estas en la estructura, define los Factores de Amplificación **"Kh"** y **"Kv"** de acuerdo con lo siguiente:

1. Si la Frecuencia Equivalente de la estructura de soporte es mayor o igual a 30 Hz, entonces Kh = Kv =1,0.
2. Si la Frecuencia Equivalente de la estructura de soporte es mayor o igual a 20 Hz, pero menor a 30 Hz, entonces Kh = 1,35 y Kv =1,0.

Las estructuras de soporte de los bancos de baterías deberán tener una Frecuencia Equivalente mayor o igual a 20 Hz, en cualquier dirección, calculada de acuerdo con lo señalado en el numeral iii del numeral 4 del Artículo 122.

Para el diseño de los Sistemas de Anclajes del banco de baterías a la fundación se deberán considerar Factores de Amplificación Kh=1,25 y Kv=1,0 como amplificación a los Factores Kh y Kv señalados en el presente Artículo y las disposiciones señaladas en el Título XXX.

Si el banco de batería se instala dentro de un edificio o sobre una Estructura Alta, se deberá considerar además el aumento de las aceleraciones sísmicas basales de acuerdo con lo señalado en el Título XXII, donde los Factores de Amplificación **"Kh"** y **"Kv"** señalados en dicho Título se deberán considerar como amplificación adicional a los Factores **"Kh"** y **"Kv"** señalados en el presente Artículo (doble amplificación).

Las conexiones eléctricas entre las celdas de las baterías deberán ser flexibles, de modo que permitan movimientos relativos sin someter a esfuerzos los bornes de las celdas.

Entre las celdas de baterías y la estructura y, entre celdas, deberá haber un material más blando que absorba las imperfecciones y evite la concentración de esfuerzos.

Las celdas deberán quedar atrincadas a la estructura de soporte. No deberá ser posible que se produzcan desplazamientos de las celdas de baterías respecto de la estructura soporte durante sismos.

Las conexiones eléctricas hacia el exterior de cada subconjunto de banco de batería y también del banco de baterías deberán ser flexibles y tener las suficientes holguras, de modo que, por desplazamientos relativos no se puedan ejercer fuerzas significativas a los bornes de conexión.

Para las baterías con electrolito corrosivo, el anclaje se deberá diseñar con el cuidado que las patas de acero de la estructura no estén en contacto directo con el piso y, los pernos de anclaje sean de material que no se afecte por el tipo de electrolito.

Artículo 88 Celdas metálicas autosoportadas ancladas a la fundación

Las celdas metálicas autosoportadas a que se refiere el presente Artículo corresponden a equipamiento en celdas metálicas, tales como:

1. Celdas de maniobras de Media y Baja Tensión.
2. Tableros generales y de distribución eléctrica y, centros de control de motores.
3. Celdas de control y protecciones.
4. Celdas de telecomunicación.
5. Celdas de baterías acumuladoras con gel, selladas.
6. Celdas de baterías de ion-litio.
7. Celdas con transformadores de poder.
8. Cargadores de baterías.
9. UPS.
10. Otras celdas metálicas, entre otros.

La Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos de las celdas metálica, se realizará mediante el Método de Coeficientes Estáticos sin determinación de la Frecuencia Fundamental definido en el Artículo 39, considerando la aceleración espectral máxima correspondiente a una razón de amortiguamiento de 2% (sin verificación de la Frecuencia Fundamental) y con Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,0 para determinar las fuerzas sísmicas en los distintos componentes del Equipo.

En las celdas metálicas se verificará su estructura soportante considerando las masas de los elementos contenidos. También se verificará la fijación a la celda de los elementos contenidos en ella, especialmente cuando estos elementos sean de un peso mayor a 40 daN.

Para el diseño de los Sistemas de Anclajes a la fundación se deberán considerar Factores de Amplificación Kh=1,5 y Kv=1,0 y los requisitos señalados en el Título XXX. El diseño de los Sistemas de Anclaje deberá incluir el análisis de la base de anclaje en las zonas de alojamiento de los pernos de anclaje.

Si las celdas se instalan dentro de una sala o edificio, se deberá considerar además el aumento de las aceleraciones sísmicas basales de acuerdo con lo señalado en el Título XXII, donde los Factores de Amplificación **"Kh"** y **"Kv"** señalados en dicho Título se

deberán considerar como amplificación adicional a los Factores **"Kh"** y **"Kv"** señalados en el presente Artículo (doble amplificación).

Para el equipamiento de potencia instalado en el interior de la celda, pero anclado directamente al piso dentro de la celda, como ocurre en algunos diseños cuando la celda incluye un transformador de poder, se efectuará la verificación del Equipo y de su anclaje individualmente. Se deberá incluir una verificación de los desplazamientos de la celda a fin de confirmar que se mantienen las distancias eléctricas seguras entre fases y masa.

Los componentes electrónicos críticos deberán soportar los requisitos de vibraciones que se exige en sus propias especificaciones.

La Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos de la celda metálica individual más desfavorable, desde el punto de vista sísmico, validará el conjunto de celdas siempre y cuando todas las celdas metálicas sean del mismo tipo y estén ancladas al piso de la misma forma. Las celdas deberán estar atornilladas entre sí lateralmente, de manera tal que el comportamiento sísmico del conjunto sea equivalente o más rígido que el comportamiento sísmico de la celda individual para la cual se ha verificado el cumplimiento.

Artículo 89 Equipos de Almacenamiento tipo BESS

Los Equipos de Almacenamiento tipo BESS deberán cumplir con los siguientes requisitos:

1. La Sala de almacenamiento deberá cumplir con el Título XXXV.
2. Si las celdas son metálicas autosoportadas y ancladas a la fundación, se deberán diseñar de acuerdo con lo señalado en el Artículo 88, incluyendo el diseño de los Sistemas de Anclaje.
3. Si las celdas son ancladas al piso de la Sala y dicho piso corresponde a un diafragma rígido, el diseño se deberá realizar de acuerdo con el número 1 precedente.
4. Si las celdas son ancladas al piso de la Sala y el piso no corresponde a un diafragma rígido, el diseño de las celdas deberá realizarse mediante el Método de Coeficientes Estáticos sin determinación de la Frecuencia Fundamental definido en el Artículo 39, considerando la aceleración espectral máxima correspondiente a una razón de amortiguamiento de 2% (sin verificación de la Frecuencia Fundamental) y con Factores de Amplificación Kh = 1,5 y Kv = 1,2 para determinar las fuerzas sísmicas en los distintos componentes del Equipo. En este caso, el diseño del Sistema de Anclaje deberá realizarse con Factores de Amplificación Kh = 1,2 y Kv = 1,0 adicionales (doble amplificación) y con un Factor de Modificación de la Respuesta R=1.
5. La conexión entre Equipos BESS o con otros Equipos deberá considerar la holgura suficiente para permitir desplazamientos iguales o mayores que la suma de los desplazamientos relativos de cada uno de los dos equipos, amplificados por 1,5.

Si el piso de la Sala corresponde o no a un diafragma rígido, es parte del diseño de la Sala propiamente tal, lo cual forma parte de las revisiones del Revisor Sísmico.

Si los equipos no están montados sobre una fundación común, se deberá tener que considerar adicionalmente los desplazamientos relativos entre los puntos de apoyo, especialmente si las fundaciones no corresponden a las señaladas en el número 1 del

Artículo 141 o si, correspondiendo incluso a las allí señaladas, la clasificación del suelo en el lugar de la instalación corresponde a una clasificación para la cual el Espectro de Diseño del Artículo 19 no es válido.

Artículo 90 Anclaje de Equipos en pisos técnicos

En el caso de que los Equipos no puedan ser anclados directamente a la fundación debido a la existencia de los llamados "Pisos Técnicos Elevados", dichos Equipos se deberán anclar a una base, la cual deberá ser anclada a la fundación. Esta base se deberá diseñar con una rigidez mínima de 30 Hz calculada de acuerdo con lo señalado en el numeral iii del numeral 4 del Artículo 122. No se aceptarán Equipos anclados al Piso Técnico.

Para el diseño de los Sistemas de Anclajes del Equipo a la base y, de la base a la fundación, se deberán considerar Factores de Amplificación Kh=1,5 y Kv=1,0 como amplificación a los Factores de Amplificación señalados para el Equipo.

Un Piso Técnico Elevado está compuesto por una placa superior lisa de alta resistencia al tráfico, las cuales se montan sobre una estructura metálica compuesta por gatas mecánicas y viguetas como se muestra en la *Figura 7*.

Figura 7: Piso técnico elevado

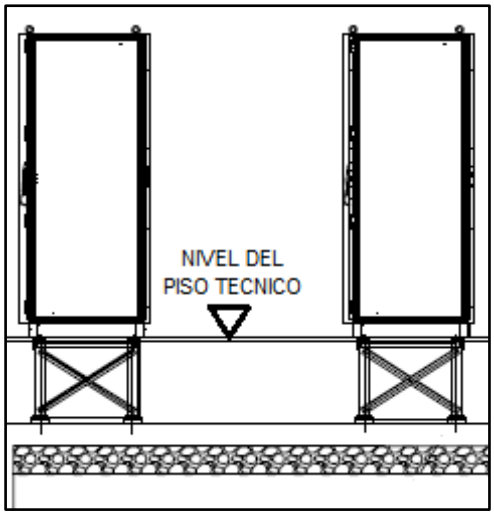

Figura 8: Esquema Ilustrativo de Base Rígida para Piso Técnico

Artículo 91 Subestaciones móviles

Las subestaciones móviles corresponden a instalaciones de uso transitorio y deberán cumplir con los siguientes requisitos:

1. Se deberán diseñar considerando una aceleración de transporte de al menos 2,75g actuando en cualquier dirección y sentido.

2. El diseño deberá considerar los elementos necesarios para evitar el volcamiento y el deslizamiento de la subestación mientras está en operación.

3. La solicitación sísmica a considerar será la obtenida mediante el Método de Coeficientes Estáticos definido en el Artículo 39, considerando la aceleración espectral máxima correspondiente a una razón de amortiguamiento de 2% (sin verificación de la Frecuencia Fundamental) y con Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,0.

4. Todos los Equipos que componen la subestación móvil deberán cumplir con los mismos Requisitos Sísmicos señalados en el presente Anexo, considerando Factores de Amplificación Kh = Kv = 1,0, dado que la utilización de este tipo de subestaciones es transitoria.

TÍTULO XXV CONEXIÓN DE LOS EQUIPOS A LA RED

Artículo 92 Alcance

La conexión eléctrica entre Equipos y de Equipos a las barras de la subestación se deberán hacer mediante conexiones de conductor, o haz de conductores, que cumplan copulativamente con las siguientes condiciones:

1. Deberán ser de materiales flexibles.
2. Deberán tener la holgura suficiente para permitir los desplazamientos relativos de las partes que se conectan, sin que se generen fuerzas y/o momentos inadmisibles en los terminales de los Equipos.
3. Deberán cumplir con las distancias de seguridad en todo momento.
4. La configuración de la conexión deberá tener un equilibrio estable para la condición sin sismo.

Estas conexiones deberán materializarse con conductor o conductores multihebra de aluminio puro (conductor AAC) u otro sistema o material que permita movimientos independientes entre los Equipos.

El Diseñador de las Conexiones deberá elaborar planos de diseño globales para todas las conexiones eléctricas Equipo-Equipo y Equipo-barra, los cuales deberán señalar la forma, geometría y características de cada una de las conexiones, sus valores y holguras.

Los valores establecidos en dicho plano deberán calcularse considerando que cada Equipo se conecta solo a un Equipo o solo a la barra, según corresponda, y deberán estar respaldados por una memoria de cálculo de dichas conexiones, de acuerdo con los requisitos señalados y los desplazamientos debido a la solicitación sísmica que se define en el presente Título.

La materialización de las conexiones en terreno por parte del Contratista deberá realizarse de acuerdo con lo señalado en dichos planos.

En el caso de que algunas de las conexiones definidas en el plano no puedan ser realizadas en terreno, el Contratista encargado del montaje de las conexiones deberá proponer una forma alternativa para la conexión que sea factible de instalar y someterla a la aprobación del Diseñador de las Conexiones.

Será responsabilidad del Propietario de la instalación la coordinación entre el Diseñador y el Contratista encargado del montaje de las conexiones.

Artículo 93 Criterios de validación de una conexión

Una conexión se considerará válida si se cumplen copulativamente las siguientes condiciones:

1. La configuración de la conexión presenta un equilibrio estable para la condición sin sismo, considerando el ángulo de salida del terminal de conexión en los dos puntos que se conectan, las características propias del conductor (flexibilidad, cantidad, otras) y las condiciones meteorológicas locales como, por ejemplo, hielo sobre el conductor.

2. La configuración de la conexión cumple con las distancias de seguridad en todo momento.

3. La evolución con el tiempo de la geometría de la configuración sigue cumpliendo con lo señalado en los numerales 1 y 2 precedentes.

4. La fuerza sobre los terminales del Equipo para la máxima separación entre los puntos de conexión del conductor es menor que 0,8*T, donde T corresponde a la carga de Tirón definida en el Artículo 28 del presente Anexo.

Artículo 94 Conexiones horizontales

Las conexiones que se clasifican como conexiones "horizontales" son conexiones entre equipos con terminales ubicados no necesariamente al mismo nivel en altura, pero en las que su desarrollo es principalmente horizontal.

El riesgo de daño en los Equipos, por este tipo de conexiones, se produce cuando la conexión no tiene la holgura suficiente para absorber los desplazamientos máximos de los terminales que se conectan, tensando el conductor y ejerciendo fuerzas en los terminales que resultan en momentos inadmisibles en los Equipos.

El valor del desplazamiento máximo de los terminales de un Equipo debido a la solicitación sísmica deberá considerar los desplazamientos propios del Equipo, es decir, respecto a su propia base, así como los desplazamientos adicionales debido a las condiciones particulares de la instalación, tales como posibles desplazamientos laterales inducidos por desplazamientos y/o giros de la estructura de soporte y fundación.

1. Desplazamiento propio del Equipo

   El Fabricante es el responsable de entregar los desplazamientos del Equipo a partir de los resultados de los ensayos en Mesa Vibratoria, según lo señalado en el Título X, o de los cálculos de verificación a través de alguno de los métodos señalados en el Título IX. El valor del desplazamiento que entregue el Fabricante deberá ser consistente con su suministro, es decir:

   - Equipo, con o sin disipadores de amortiguación según corresponda.
   - Equipo + Estructura de Soporte cuando la estructura es parte del suministro.

2. Desplazamientos adicionales

El Diseñador de la Conexión es el responsable de determinar el desplazamiento máximo en la dirección de la conexión, que considere los desplazamientos máximos de los terminales de los Equipos proporcionados por el Fabricante y, los desplazamientos adicionales particulares determinados por la ingeniería del proyecto, tales como:

i. Debido a la Estructura de Soporte cuando ésta no forma parte del suministro del Equipo.

ii. Debido a la Fundación cuando ésta corresponde a alguna de las señaladas en el numeral 2 del Artículo 103.

iii. Debido al tipo de suelo en el lugar de emplazamiento de la instalación, cuando éste no cumple con la clasificación sísmica para la cual el Espectro de Diseño es válido de acuerdo con lo señalado en el Artículo 19.

iv. Otras particularidades.

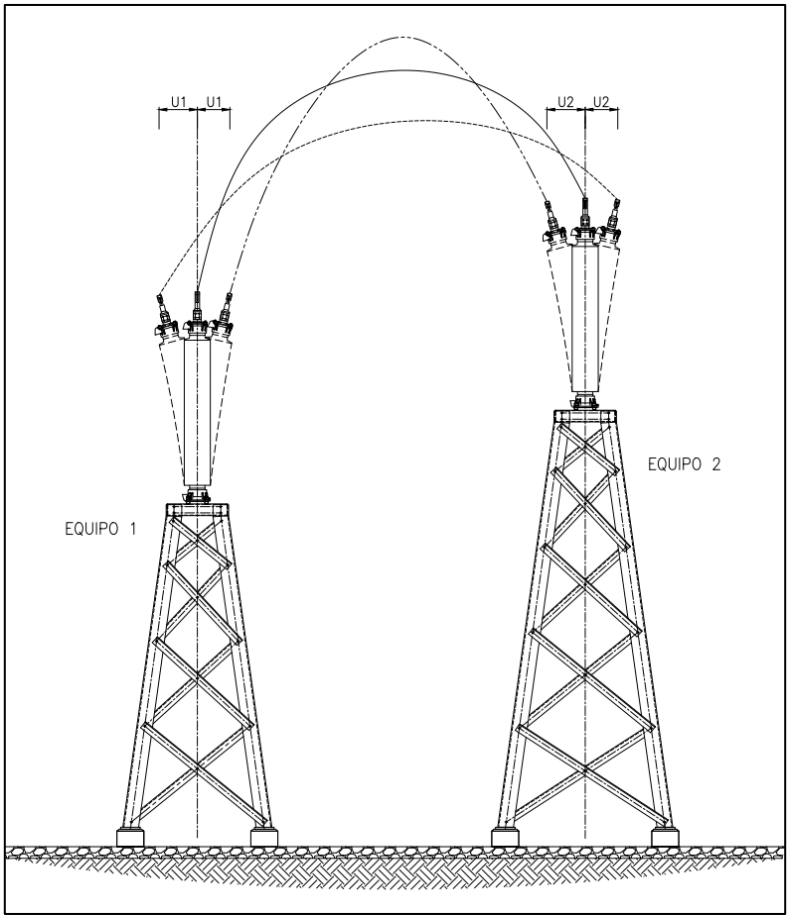

Figura 9: Esquema de una conexión horizontal

Artículo 95 Cálculo de la longitud (L_0) para conexiones horizontales

El valor del desplazamiento máximo de los terminales de un Equipo deberá considerar los desplazamientos propios del Equipo, es decir, respecto a su propia base, así como los desplazamientos adicionales debido a las condiciones particulares de la instalación, tales como posibles desplazamientos laterales inducidos por desplazamientos y/o giros de la estructura de soporte y fundación.

La longitud de conductor entre los dos puntos interconectados será al menos la que se determine de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$L_0 = L_1 + 1{,}5(\Delta_{max}) + L_2$$

Donde:

L_0: Es la longitud necesaria del/los conductor(es) de la conexión.

L_1: Es la longitud de la línea recta entre los terminales a conectar.

Δ_{max}: Es el desplazamiento relativo máximo entre los dos puntos a conectar y se calcula como la suma de los valores máximos (valores absolutos) de los desplazamientos individuales de cada uno de los puntos de conexión:

$$\Delta_{max} = |\Delta_1| + |\Delta_2|$$

Δ_1 , Δ_2: Desplazamiento horizontal máximo de cada punto de conexión considerando los desplazamientos propios del Equipo y los desplazamientos adicionales debido a las particularidades del proyecto, de acuerdo con lo señalado en el numeral 1 y en el numeral 2 del Artículo 94.

L_2: Es la longitud adicional de conductor necesaria para dar a la conexión una forma de equilibrio estable para la condición sin sismo, considerando el ángulo de salida del terminal de conexión en los dos puntos que se conectan, las características propias del conductor (flexibilidad, cantidad, otras) y las condiciones meteorológicas locales como, por ejemplo, hielo sobre el conductor. Para determinar este valor se podrán utilizar normativas internacionales tales como la norma IEEE 1527.

Artículo 96 Configuración de conexiones horizontales aceptables

Para las siguientes configuraciones de conexión no será necesario hacer la comprobación del requisito señalado en el numeral 4 del Artículo 93, si se cumple que el factor ***"β"***, que corresponde al cociente entre el desplazamiento máximo que deberá absorber por conexión y la holgura de longitud de conductor de la conexión, es menor o igual a 0,6.

$$\beta = \frac{1{,}5(\Delta_{max})}{L_0 - L_1} \leq 0{,}6$$

Donde:

L_0: Es la longitud necesaria del/los conductor(es) de la conexión.

L_1: Es la longitud de la línea recta entre los terminales a conectar.

Δ_{max}: Es el desplazamiento relativo máximo entre los dos puntos a conectar y se calcula como la suma de los valores máximos (valores absolutos) de los desplazamientos individuales de cada uno de los puntos de conexión:

$$\Delta_{max} = |\Delta_1| + |\Delta_2|$$

Δ_1 , Δ_2: Desplazamiento horizontal máximo de cada punto de conexión considerando los desplazamientos propios del Equipo y los desplazamientos adicionales debido a las particularidades del proyecto de acuerdo con lo señalado en el numeral 1 y en el numeral 2 del Artículo 94.

1. Configuración 1: Parábola invertida

Se utiliza cuando se requiere una gran holgura, y su aplicación se limita a una distancia máxima entre terminales en la cual su forma puede colapsar por el peso propio de la conexión o por la acumulación de hielo en el conductor.

Esta configuración se debe usar en conexiones en haz de 2 o más conductores por fase, de modo que la conexión tenga estabilidad lateral al viento.

La configuración de parábola invertida deberá formar un semi círculo de longitud **"L_0"**, y se deberá calcular considerando que:

$$L_1 + L_2 = \frac{\pi * H}{2} + V$$

Donde:

L_1: Es la longitud de la línea recta entre los terminales a conectar.

L_2: Es la longitud adicional de conductor necesaria para dar a la conexión una forma de equilibrio estable para la condición sin sismo, considerando el ángulo de salida del terminal de conexión en los dos puntos que se conectan, las características propias del conductor (flexibilidad, cantidad, otras) y las condiciones meteorológicas locales como, por ejemplo, hielo sobre el conductor. Para determinar este valor se podrán utilizar normativas internacionales tales como la norma IEEE 1527.

H: Distancia horizontal entre terminales.

V: Distancia vertical entre terminales.

2. Configuración 2: Doble curvatura

Se utiliza para menores holguras, y en general no acortan las distancias de aislación eléctrica mínimas exigidas. Luego de un estiramiento, estas conexiones pueden evolucionar a parábola invertida dependiendo de su rigidez.

3. Configuración 3: Catenaria

Se utiliza para holgura pequeñas, debido a que, en la medida que se aumenta la holgura que es capaz de absorber esta conexión, se puede llegar a un límite donde se comienzan a acortar las distancias de aislación eléctrica o seguridad mínimas.

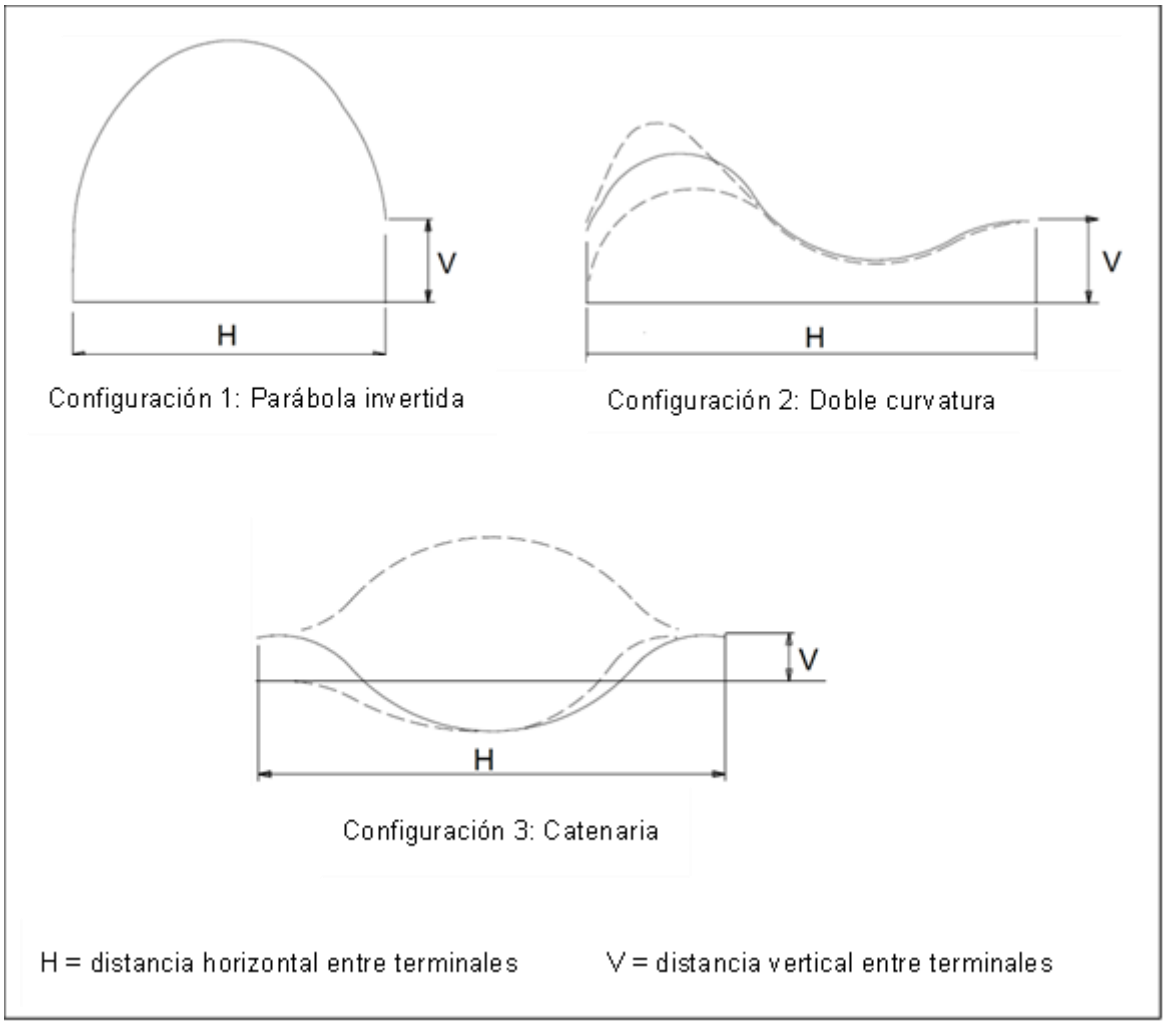

Figura 10: Configuración de conexiones horizontales aceptables

Artículo 97 Conexiones verticales

Las conexiones que se clasifican como conexiones "verticales", son conexiones entre los terminales de un Equipo y las barras o líneas de la subestación, y su desarrollo es principalmente vertical. Un ejemplo de lo anterior se muestra en la siguiente figura.

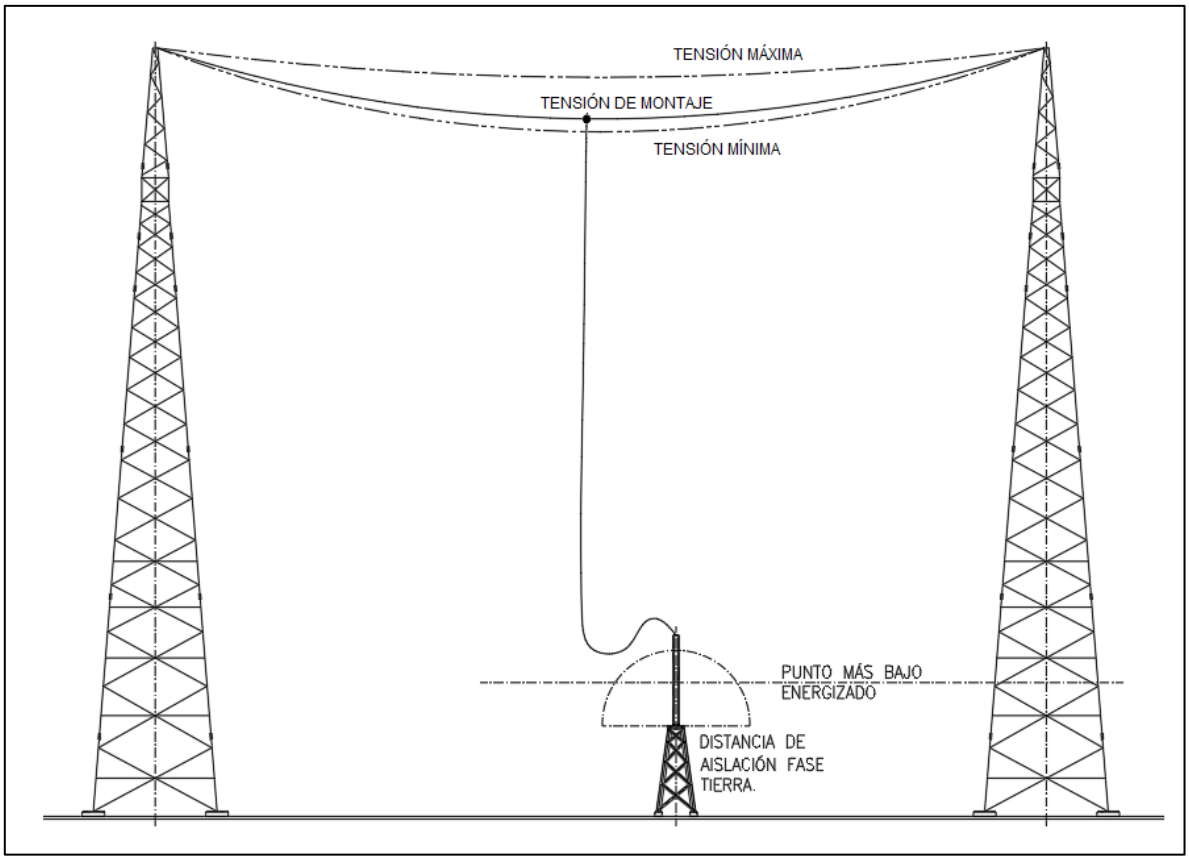

Figura 11: Esquema de una conexión vertical

Los desplazamientos verticales no sísmicos, del punto de conexión a barras de la subestación o a líneas se deberán a la variación de la flecha del conductor, variación que deberá determinar la ingeniería del proyecto y que se deberán principalmente a:

1. La tensión inicial de instalación del conductor.

2. Las características propias del conductor tales como: material, calibre y propiedades de fluencia lenta (creep).

3. La variación de las condiciones meteorológicas tales como temperatura, viento y hielo.

Los desplazamientos verticales debido al efecto sísmico del punto de conexión dependen de varios factores no relacionados directamente con el comportamiento sísmico de los Equipos, tales como: tipo y calibre de los conductores que componen la barra; la flexibilidad de los marcos de barras, la configuración de barras o líneas contiguas a los marcos de barras del patio de la subestación, entre otros.

El Diseñador de las Conexiones deberá diseñarlas tomando en cuenta los desplazamientos no sísmicos para la condición meteorológica más probable que actúa con el Sismo de Diseño, a los cuales se le deberán agregar los desplazamientos sísmicos verticales y horizontales del terminal del Equipo.

Artículo 98 Conexiones combinadas

Pueden existir conexiones que no se pueden clasificar como "principalmente horizontal" o "principalmente vertical", como por ejemplo la que se muestra en la siguiente figura:

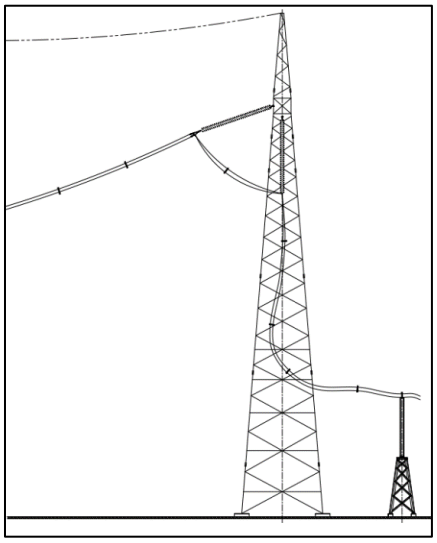

Figura 12: Esquema de una conexión combinada

El diseño de este tipo de conexiones deberá considerar los requisitos y métodos señalados en los Artículos precedentes, y se deberá verificar que la evolución de la geometría de la curva siga cumpliendo con las distancias de seguridad.

Artículo 99 Caso especial: Equipos sobre Estructuras Altas

La determinación de los desplazamientos relativos en el punto de conexión de Equipos montados en Estructuras Altas se deberá obtener mediante un análisis del conjunto Equipo + Estructura Alta de acuerdo con lo señalado en el Título XXXIV.

TÍTULO XXVI SOLICITACIÓN SÍSMICA SOBRE ESTRUCTURAS Y FUNDACIONES DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Artículo 100 Solicitación sísmica sobre estructuras de soporte y fundaciones de Equipos

Los requisitos que se establecen en el presente Título son aplicables al Diseño Sísmico de estructuras y fundaciones que soportan los Equipos Eléctricos, que se rigen por los requisitos señalados en los Títulos anteriores del presente Anexo.

Los requisitos para el Diseño Sísmico de Obras Civiles que no tienen relación directa con los Equipos Eléctricos señalados en los Títulos anteriores, se definen en el Título XXXV del presente Anexo.

Artículo 101 Zonificación sísmica

Aunque los Equipos Eléctricos y sus estructuras de soporte deberán cumplir con los Requisitos Sísmicos, considerando el Espectro de Diseño del Título V para una Aceleración Basal de suelo de A_0 = 0,5g, independiente de en cuál zona sísmica del país se encuentre la instalación, el diseño de la fundación de Equipos Eléctricos deberá considerar el mismo Espectro de Diseño, pero para la aceleración máxima del suelo se deberá considerar, al menos, los valores establecidos en la Tabla 16 según la zona de ubicación de la instalación.

zona sísmica	Aceleración Basal "A_0"
3	0,5g
2	0,4g
1	0,3g

Tabla 16: Aceleración Basal "A_0"

Las Zonas Sísmicas 1, 2, 3 corresponden a las zonas geográficas definidas en las Normas Sísmicas Nacionales; los valores de Aceleración Basal "A_0" corresponden a los definidos en el presente Anexo.

Las estructuras de soporte de los Equipos Eléctricos y, los Sistemas de Anclajes que forman parte de la estructura o forman parte del Equipo, para el caso de Equipos que se anclan directamente a la fundación, se deberán diseñar de acuerdo con el Espectro de Diseño definido para el Equipo, es decir, para la Aceleración Basal A_0 = 0,5g.

Los elementos de los Sistemas de Anclajes que quedan preinstalados en la fundación, tales como llaves de corte o insertos embebidos en el primer hormigón, se deberán diseñar con el mismo Espectro de Diseño de la fundación, a excepción de los pernos de anclaje de los Equipos que se anclan directamente a la fundación.

Tanto la memoria de cálculo de diseño de la fundación, así como sus respectivos planos, deberán indicar claramente el valor de la Aceleración Basal **"A_0"** considerada en el diseño de ésta.

Artículo 102 Solicitación sísmica

La solicitación sísmica corresponde al Espectro de Diseño definido en el Artículo 19, para la Aceleración Basal **"A_0"** correspondiente a la zona sísmica de la instalación de acuerdo con el Artículo 101, salvo que se haya elaborado un Espectro de Sitio de acuerdo con lo señalado en el Artículo 20.

Artículo 103 Nivel Basal

El Nivel Basal a ser considerado en el diseño o verificación de los Requisitos Sísmicos de estructuras y fundaciones que soportan Equipos Eléctricos, dependerá de la profundidad y tipo de la fundación, así como de las características del suelo:

1. Para fundaciones del tipo superficial tales como losa, losa + vástago y monobloques con profundidad menor o igual a 3 metros, el Nivel Basal será el nivel del sello de fundación. Estas fundaciones corresponden a aquellas que presentan un enterramiento, respecto de la superficie del terreno, menor a tres veces el diámetro o ancho menor, también se les considera superficiales a aquellas que poseen un enterramiento menor a 3 metros. Dentro de este tipo de fundaciones se encuentran las diseñadas considerando la colaboración del cono de suelo para resistir las cargas de tracción y/o momentos volcantes.

2. Para fundaciones como las descritas en el párrafo precedente, pero en que la transferencia de las solicitaciones estructurales al suelo se hace también a través de la superficie lateral de la fundación, así como para fundaciones ancladas en roca, pilotes, micropilotes, pilas y otro tipo de fundaciones que no se encuentren dentro de las descritas en el numeral 1 precedente, el Diseñador de la Fundación deberá determinar la ubicación del Nivel Basal mediante un modelo que tome en cuenta las características mecánicas del suelo, del tipo de fundación y del comportamiento sísmico del Sistema Estructural completo.

Artículo 104 Factor de Importancia "I_E", Factor de Modificación de la Respuesta "R" y razón de amortiguamiento "ξ"

Los valores del Factor de Importancia **"I_E"** y del Factor de Modificación de la Respuesta **"R"** a la acción sísmica horizontal para el Diseño Sísmico son los definidos en la Tabla 4. Los valores de la razón de amortiguamiento **"ξ"** para el Diseño Sísmico son los definidos en la Tabla 5.

La solicitación sísmica para el diseño por resistencia de cada Elemento del Sistema Estructural (estructura, Sistema de Anclaje, fundación) corresponde al Espectro de Diseño aplicando el Factor **"R"** correspondiente al Elemento, siempre y cuando el tipo de material, la estructuración y el detallamiento del Elemento permitan disipar energía y los requisitos de diseño del presente Anexo lo acepten.

Artículo 105 Determinación de la fuerza sísmica total mediante Método Estático Equivalente

Cuando la fuerza sísmica total actuando sobre el Sistema Estructural se determine usando un Método Estático Equivalente, estas fuerzas estáticas equivalentes se deberán obtener a través del Coeficiente Sísmico Horizontal **"C_H"** y del Coeficiente Sísmico Vertical **"C_V"** de acuerdo con lo señalado en el presente Artículo.

La utilización de este método está limitada a la validez del Espectro de Diseño definido en el Artículo 19 y al cumplimento de las restricciones que se señalan en cada caso.

1. Coeficiente Sísmico Horizontal **"C_H"**

$$C_H = I_E * \frac{S_a(\xi h, fh)}{R * g}$$

Donde:

I_E: Factor de Importancia del Equipo según Tabla 4.

R: Factor de Modificación de la Respuesta a la acción sísmica horizontal según Artículo 104.

$S_a(\xi h, fh)$: Ordenada del Espectro de Diseño según Artículo 102.

ξh: Razón de Amortiguamiento de la estructura y/o fundación a la acción sísmica horizontal según Artículo 104.

fh: Frecuencia Fundamental del Equipo como respuesta a la acción sísmica horizontal.

El valor de **"S_a"** será el que corresponde al máximo valor del Espectro de Diseño según Artículo 102 sin verificación de la Frecuencia Fundamental, salvo que se conozca experimentalmente el valor de la Frecuencia Fundamental del Equipo.

En el caso de Sistemas Estructurales que tienen un comportamiento rígido con respecto a la dirección horizontal, el coeficiente sísmico horizontal de diseño deberá ser:

$$C_H = 1{,}2 * I_E * \frac{A_o}{g}$$

2. Coeficiente Sísmico Vertical **"C_V"**

$$C_v = 0{,}6 * I_E * \frac{S_a(\xi v, fv)}{Rv * g}$$

Donde:

I_E: Factor de Importancia del Equipo según Tabla 4.

Rv: Factor de Modificación de la Respuesta a la acción sísmica vertical, donde $Rv \leq R \leq 3$.

$S_a(\xi v, fv)$: Ordenada del Espectro de Diseño según Artículo 102.

ξv: Razón de Amortiguamiento de la estructura a la acción sísmica vertical, donde $\xi v = 2\%$.

fv: Frecuencia Fundamental del Equipo como respuesta a la acción sísmica vertical.

El valor de **"S_a"** será el que corresponde al máximo valor del Espectro de Diseño según Artículo 102 sin verificación de la Frecuencia Fundamental, salvo que se conozca experimentalmente el valor de la Frecuencia Fundamental del Equipo.

Para el caso de Sistemas Estructurales que tienen un comportamiento rígido con respecto a la dirección vertical, el coeficiente sísmico vertical de diseño deberá ser:

$$C_v = 0{,}6 * I_E * \frac{A_o}{g}$$

3. Corte Basal **"Q_b"**

Se define el Corte Basal **"Q_b"** como la fuerza sísmica total horizontal actuando a Nivel Basal.

El Corte Basal **"Q_b"** está dado por la expresión:

$$Q_b = C_H * \sum_i W_i$$

Donde:

$\sum_i W_i$: suma de los pesos de las partes del Sistema Estructural analizado que están por encima del Nivel Basal definido en el Artículo 103, es decir, incluye a lo menos el peso del Equipo y de la estructura de soporte. Para el caso de fundaciones superficiales de acuerdo con lo definido en el numeral 1 del

Artículo 103, incluye además el peso de la fundación y del suelo directamente existente sobre la fundación.

Artículo 106 Determinación de la respuesta sísmica mediante Método de Análisis Dinámico

Cuando la respuesta sísmica sobre estructuras y fundaciones de Equipos se determine usando un Método de Análisis Dinámico, esta respuesta se deberá obtener a través del Espectro de Aceleraciones Horizontales "S_{aH}" y del Espectro de Aceleraciones Verticales "S_{aV}" de acuerdo con lo siguiente:

1. Espectro de Aceleraciones Horizontales "S_{aH}"

$$S_{aH}(\xi h, fh) = I_E * \frac{S_a(\xi h, fh)}{R}$$

Donde:

I_E: Factor de Importancia del Equipo según Tabla 4.

R: Factor de Modificación de la Respuesta a la acción sísmica horizontal según Artículo 104.

$S_{aH}(\xi h, fh)$: Ordenada del Espectro de Diseño según Artículo 102.

ξh: Razón de Amortiguamiento de la estructura a la acción sísmica horizontal según Artículo 104.

fh: Frecuencia Fundamental del Equipo como respuesta a la acción sísmica horizontal.

2. Espectro de Aceleraciones Verticales "S_{aV}"

$$S_{aV}(\xi v, fv) = 0{,}6 * I_E * \frac{S_a(\xi v, fv)}{Rv}$$

Donde:

I_E: Factor de Importancia del Equipo según Tabla 4.

Rv: Factor de Modificación de la Respuesta a la acción sísmica vertical, donde $Rv \leq R \leq 3$

$S_{aV}(\xi v, fv)$: Espectro de Diseño según Artículo 102.

ξv: Razón de Amortiguamiento de la estructura a la acción sísmica vertical, donde $\xi v = 2\%$.

fv: Frecuencia Fundamental del Equipo como respuesta a la acción sísmica vertical.

3. Corte Basal Mínimo

Cuando el Corte Basal **"Q_b"**, obtenido del análisis dinámico del Sistema Estructural resulte menor que el corte mínimo **"Q_{min}"** que se señala a continuación, todas las solicitaciones obtenidas del análisis se deberán multiplicar por el cociente Q_{min}/Q_b para efectos de diseño.

$$Q_{mín} = \frac{0{,}40 \cdot I_E \cdot A_o}{g} \cdot \sum_i W_i$$

TÍTULO XXVII MÉTODO ESTÁTICO CIVIL PARA EL DISEÑO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE Y FUNDACIONES DE EQUIPOS

Artículo 107 Alcance

El Diseño Sísmico de las estructuras de soporte y fundaciones de Equipos se deberá realizar preferentemente mediante el Método Estático Civil definido en el presente Título, teniéndose presente que la utilización de este método está limitada a la validez del Espectro de Diseño definido en el Artículo 19, y al cumplimento de las restricciones que se señalan en cada caso.

Artículo 108 Requisitos para el uso del Método Estático Civil

El Método Estático Civil considera que la fuerza sísmica total horizontal "Q_b" del Sistema Estructural, definida en el Artículo 105, se deberá distribuir sobre la altura de dicho sistema según sea el tipo de Equipo al cual la estructura y/o fundación soportan, de acuerdo con lo señalado en el presente Título.

Para que estas fuerzas sísmicas efectivamente sean representativas del Sistema Estructural sometido a la acción sísmica, la utilización de este Método está limitada al cumplimento copulativo de los siguientes requisitos:

1. Las restricciones que se señalan en el Artículo 109, en el Artículo 122 y en el Artículo 123.

2. Las fundaciones deberán ser las señaladas en el numeral 1 del Artículo 103.

En caso de que, cualquiera de los requisitos para la utilización del Método Estático Civil no se cumpla, el Diseño Sísmico de las estructuras y fundaciones de Equipos deberá ser realizado mediante Método de Análisis Dinámico definido en el Título XXVIII.

Artículo 109 Estructura de soporte y fundaciones para Equipos Flexibles

Se entiende por Equipos Flexibles a los señalados en el numeral 3 del Artículo 36.

Estos Equipos presentan una respuesta dinámica importante, con deformaciones y desplazamientos laterales causados tanto por la acción sísmica propiamente tal, como por la influencia de la estructura de soporte y la fundación. En general, estos desplazamientos son apreciables a simple vista y corresponden al movimiento conocido como "cabeceo".

En esta categoría se encuentran Equipos tales como: interruptores, pararrayos, desconectadores, transformadores de potencial y de corriente, aisladores de pedestal y en general cualquier otro Equipo que tenga un comportamiento sísmico similar.

Debido a que el comportamiento sísmico de estos Equipos está fuertemente influenciado por el comportamiento de la estructura de soporte y la fundación, el análisis para el diseño de la estructura de soporte y su fundación se deberá realizar considerando el Sistema Estructural formado por el Equipo, la estructura de soporte y la fundación. Dependiendo del tipo de análisis y del tipo de fundación, en el diseño se deberá

considerar la interacción del suelo de acuerdo con el Nivel Basal definido en el Artículo 103.

Considerando que en general el Diseño Sísmico del Equipo se realiza de manera independiente del Diseño Sísmico de la estructura de soporte y su fundación, el procedimiento para la determinación de las fuerzas sísmicas para el diseño de la estructura de soporte y la fundación de este tipo de Equipos serán los que se señalan a continuación.

1. Fuerza sísmica horizontal

   La fuerza sísmica horizontal se distribuirá en la altura sobre cada parte "i" del Sistema Estructural de acuerdo con la siguiente expresión:

$$F_i = \frac{1}{3}F_i' + \frac{2}{3}F_i''$$

   Donde:

$$F_i' = \frac{W_i Q_b}{\sum_i W_i} = C_H * W_i$$

$$F_i'' = \frac{h_i W_i Q_b}{\sum_i h_i W_i}$$

   Donde:

   h_i: Altura del centro de masas de la parte "i" del Sistema medido desde el Nivel Basal.

   w_i: Peso de la parte "i" del Sistema por encima del Nivel Basal.

   C_h , Q_b: Definidos en el Artículo 105.

   F_i´: Fuerza sísmica de la parte "i" del Sistema debido a la distribución rectangular de la aceleración estática equivalente, actuando en "h_i".

   F_i´´: Fuerza sísmica de la parte "i" del Sistema debido a la distribución triangular de la aceleración estática equivalente, actuando en "h_i".

   Para el diseño se deberá considerar que el Sistema Estructural de análisis está conformado por a lo menos las siguientes tres partes:

   i. Equipo.

   ii. Estructura de soporte.

   iii. Fundación + suelo: en este caso, se deberá considerar que tanto el peso como el centro de masas corresponde al conjunto conformado por la fundación de hormigón propiamente tal, y por el suelo existente sobre ella de acuerdo con lo señalado en el número 3 del Artículo 105.

2. Cortes y momentos

   Las fuerzas de corte y momento serán las que resulten de aplicar la fuerza sísmica horizontal **"F_i"**.

   Para el caso de fundaciones superficiales, de acuerdo a lo definido en el numeral 1 del Artículo 103, los momentos correspondientes a las fuerzas "F_i" se afectarán por un factor de reducción **"J"**, dado por la ecuación:

$$J = 0{,}80 + 0{,}20 * \frac{z}{H}$$

   Donde:

   J: Factor de reducción para solicitaciones de momento debido a la solicitación sísmica en función de la altura sobre el Nivel Basal.

   z: Cota de la sección del Sistema Estructural definido en el numeral 1 precedente, en la cual se desea valorizar el momento reducido, medido desde el Nivel Basal.

   H: Altura del centro de gravedad de la masa concentrada más alta del Sistema Estructural definido en el numeral 1 precedente, medido desde el Nivel Basal.

3. Fuerza sísmica vertical para Sistemas Estructurales rígidos en vertical

   La fuerza sísmica vertical se considerará actuando sobre el centro de masas de cada parte "i" del Sistema de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Fv_i = C_v * W_i$$

   Donde:

   W_i: Peso de la parte "i" del Sistema por encima del Nivel Basal.

   C_v : Coeficiente definido en el Artículo 105.

4. Fuerza sísmica vertical para Sistemas Estructurales flexibles en vertical

   Para Sistemas Estructurales con configuraciones que tienen flexibilidad entre sus partes, para cargas y/o desplazamientos verticales, se deberá considerar una distribución de fuerzas verticales equivalente a la de las fuerzas horizontales señalada en el número 1 del presente Artículo, considerando las distribuciones de pesos y distancias horizontales (respecto de los apoyos verticales) correspondientes.

Artículo 110 Fundaciones para Equipos Rígidos y Semi-Rígidos

Los Equipos Rígidos y Semi-Rígidos se caracterizan por estar anclados directamente a la fundación y por no tener una respuesta dinámica de importancia, excepto eventualmente

las partes flexibles del Equipo de acuerdo con lo señalado en los numerales 1 y 2 del Artículo 36.

En esta categoría se encuentran Equipos tales como: transformadores de poder, reactores de poder y en general cualquier otro Equipo que tenga un comportamiento sísmico similar.

Cuando el suelo de fundación es de baja capacidad de soporte, las fundaciones de este tipo de Equipos pueden presentar giro o rotación en su base. En este tipo de suelos, normalmente se hace un mejoramiento de suelo para aumentar la capacidad de soporte, de modo que resista el peso del Equipo y su fundación.

El Informe de Mecánica de Suelos del proyecto deberá ser explícito en si se puede o no, fundar este tipo de Equipos directamente en el suelo existente, si se deberá hacer algún mejoramiento de suelo y, si se deberá o no considerar la posibilidad de giro o rotación de la fundación.

1. Fuerza sísmica horizontal

   La fuerza sísmica horizontal se distribuirá en la altura sobre cada parte "i" del Sistema Estructural, incluyendo el Equipo, de acuerdo con la siguiente expresión:

   i. Fundaciones en suelos que no permiten rotación o giro de la fundación en su base, según se indique en el Informe de Mecánica de Suelos, se utilizará una distribución proporcional a la distribución de masas multiplicada por un coeficiente sísmico constante:

$$F_i = \frac{W_i Q_b}{\sum_i W_i} = C_H * W_i$$

   ii. Fundaciones en suelos con posibilidad de rotación o giro de la fundación en su base según se indique en el Informe de Mecánica de Suelos, se utilizará una distribución proporcional a la distribución de masas multiplicada por un coeficiente sísmico correspondiente a una distribución triangular en altura:

$$F_i = \frac{h_i W_i Q_b}{\sum_i h_i W_i}$$

   Donde:

   h_i: Altura del centro de masas de la parte "i" del Sistema medido desde el Nivel Basal.

   W_i: Peso de la parte "i" del Sistema por encima del Nivel Basal.

   C_H , Q_b: Definidos en el Artículo 105.

   F_i : Fuerza sísmica de la parte "i" del Sistema debido a la distribución rectangular o triangular de la aceleración estática equivalente, dependiendo de la rigidez del suelo de apoyo, actuando en "h_i".

Para el diseño se deberá considerar que el Sistema Estructural de análisis está conformado por, a lo menos, las siguientes dos partes:

a. Equipo.
b. Fundación + suelo: en este caso, se deberá considerar que tanto el peso como el centro de masas, corresponde al conjunto conformado por la fundación de hormigón propiamente tal, y por el suelo existente sobre ella de acuerdo con lo señalado en el número 3 del Artículo 105.

2. Cortes y momentos

Las fuerzas de corte y momento serán las que resulten de aplicar la fuerza sísmica horizontal **"F_i"**.

Aun cuando las fundaciones sean superficiales, de acuerdo a lo definido en el numeral 1 del Artículo 103, y/o las fuerzas **"F_i"** se determinen de acuerdo con la distribución triangular señalada en el número 1 precedente, los momentos correspondientes a las fuerzas **"F_i"** no deberán considerar el factor de reducción **"J"** señalado en el número 2 del Artículo 109.

3. Fuerza sísmica vertical

La fuerza sísmica vertical se considerará actuando sobre el centro de masas de cada parte "i" del Sistema Estructural de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Fv_i = C_v \cdot W_i$$

Donde:

W_i: Peso de la parte "i" del Sistema por encima del Nivel Basal.

C_v: Definido en el Artículo 105.

TÍTULO XXVIII MÉTODO DE ANÁLISIS DINÁMICO PARA DISEÑO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE Y FUNDACIONES DE EQUIPOS

Artículo 111 Alcances y limitaciones

El Método de Análisis Dinámico que se define en el presente Título corresponde a un análisis por superposición modal espectral, de acuerdo con los requisitos definidos en la Artículo 41 y el Sistema Estructural definido en el Artículo 112.

Este análisis dinámico deberá ser utilizado en el diseño o verificación de estructuras de soporte y/o fundaciones cuando se presente cualquiera de las siguientes situaciones:

1. Análisis de estructuras de soporte y/o fundaciones existentes que se quieran reutilizar para la instalación de un Equipo diferente para el cual fueron diseñadas, y para las cuales, con las fuerzas sísmicas obtenidas de acuerdo con el Método Estático Civil del Título XXVII, se concluye que la estructura y/o fundación existente no cumplen las condiciones establecidas en el presente Anexo para aceptar su utilización.

2. Análisis de estructuras de soporte y/o fundaciones existentes que se quieran reutilizar para la instalación de un Equipo diferente para el cual fueron diseñadas, cuando para el Equipo diferente, la estructura de soporte existente no cumple con los requisitos señalados en el numeral 4 del Artículo 122 y/o en el Artículo 123.

3. Diseño de estructuras de soporte y/o fundaciones para fundaciones del tipo señalado en el numeral 2 del Artículo 103.

4. Estructuras Altas cuando tengan Equipos montados sobre ellas según lo señalado en la Artículo 178.

5. Cualquier otro Sistema Estructural para el cual el Método Estático Civil definido en el Título XXVII no representa adecuadamente el comportamiento sísmico del Sistema.

El concepto de "Equipo diferente" al que se refiere el análisis de reutilización señalado en el presente Artículo, corresponde a un Equipo que tiene cualquiera de sus características diferentes (peso, altura, comportamiento sísmico, entre otras) al del Equipo que se consideró en el diseño inicial de dicha estructura o fundación, independiente que pueda ser del mismo tipo de Equipo de acuerdo con la clasificación del Título VIII.

Este análisis dinámico deberá ser aprobado por los Revisores Sísmicos correspondientes, de acuerdo con lo definido en el presente Anexo.

Artículo 112 Sistema Estructural

El Sistema Estructural que se deberá analizar es el que considera "Equipo + estructura de soporte + fundación + suelo", siendo los Elementos a diseñar y/o verificar la estructura de soporte y/o la fundación.

El modelo deberá considerar que el Nivel Basal es el definido en el Artículo 103 según corresponda y, deberá considerar la interacción con el suelo de fundación de acuerdo con las propiedades de éste, definidas en el Informe de Mecánica de Suelos, y del tipo de fundación según corresponda.

Independiente de que el Equipo forme parte del Sistema Estructural de análisis, la verificación del cumplimiento de los requisitos sísmicos del Equipo propiamente tal, se deberá realizar de manera independiente y de acuerdo a lo definido en el Título correspondiente a dicho Equipo.

La estructura de soporte y/o la fundación que se diseñe y/o verifique, deberá ser tal que resistan las solicitaciones a las que estarán sometidas y que mantengan el comportamiento sísmico del Equipo aprobado, de acuerdo con lo definido en el Título correspondiente a dicho Equipo.

Artículo 113 Criterios de aceptación del diseño

En términos generales, lo que se requiere es comparar la demanda sísmica con la que fue aprobado el Equipo, con la demanda sísmica que tendrá debido a las siguientes situaciones particulares:

1. Equipo montado sobre una estructura de soporte particular y/o Equipo montado sobre un tipo de fundación particular.
2. Las características particulares del suelo de fundación de esa instalación.

De lo señalado, el diseño de los Elementos "estructura de soporte + fundación" será aceptable en la medida en que la respuesta sísmica del Equipo, evaluada mediante el modelo de análisis dinámico descrito en el presente Título, no excede los límites de esfuerzos y desplazamientos utilizados para demostrar que el Equipo, cumple con los Requisitos Sísmicos del presente Anexo de acuerdo con lo definido en el Título correspondiente a dicho Equipo.

Estos Criterios de Aceptación corresponden a valores límites sobre la respuesta de desplazamientos y esfuerzos del Equipo y sus componentes, obtenidos como resultado del modelo dinámico de análisis, y dependen tanto del tipo de Equipo al cual la estructura/fundación soportan, como de la metodología utilizada en la demostración que dicho Equipo cumple, con los Requisitos Sísmicos del presente Anexo.

Tanto los Criterios de Aceptación como los límites y las condiciones que deberá cumplir el Sistema Estructural en análisis (Equipo + estructura de soporte + fundación) deberán ser aceptados, tanto por el Revisor Sísmico de la Estructura/Fundación como por el Revisor Sísmico del Equipo.

Si los resultados obtenidos del análisis del modelo no cumplen con los Criterios de Aceptación que se definan, entonces la estructura de soporte y/o la fundación no son adecuadas para instalar ese Equipo en esa instalación.

Artículo 114 Solicitación sísmica

La solicitación sísmica para el Método de Análisis Dinámico es la definida en el Artículo 106.

Para la evaluación sobre el Equipo de los criterios de aceptación señalados en el Artículo 113, se deberá considerar la fuerza sísmica sin reducir, es decir, considerando un Factor de Modificación de la Respuesta de R=1 y la Razón de Amortiguamiento correspondiente al Equipo.

Para el diseño de la estructura de soporte, del Sistema de Anclaje y de la fundación, se podrá reducir la fuerza sísmica por el Factor **"R"** que corresponda de acuerdo con lo señalado en el Artículo 104, siempre y cuando el tipo de material, la estructuración y el detallamiento del Elemento permiten disipar energía y los requisitos de diseño del presente Anexo lo acepten, utilizando la Razón de Amortiguamiento correspondiente señalado en el mismo Artículo.

Artículo 115 Información requerida del Equipo

Para permitir la adecuada representación del Equipo en el modelo de análisis dinámico y, para permitir una adecuada comparación del comportamiento sísmico del Equipo según el modelo, con respecto al comportamiento sísmico del Equipo obtenido de la demostración de cumplimiento de los Requisitos Sísmicos del presente Anexo, el Proveedor del Equipo deberá entregar a lo menos la siguiente información relacionada con el Equipo específico a suministrar:

1. La distribución de las masas (valores y ubicaciones).
2. Altura del centro de gravedad.
3. Excentricidades en planta del centro de gravedad.
4. Características geométricas y de materiales.
5. Detalle del Sistema de Fijación del Equipo a la estructura de soporte.
6. Detalle del Sistema de Anclaje del Equipo a la fundación cuando corresponda.
7. Detalle del Sistema de Anclaje de la estructura de soporte a la fundación cuando corresponda, según lo señalado en el Artículo 57.
8. Límites de esfuerzos y/o desplazamientos obtenidos en la demostración que el Equipo cumple con los Requisitos Sísmicos del presente Anexo.
9. Cualquier otro antecedente relevante del comportamiento sísmico del Equipo, obtenido en la demostración de que cumple con los Requisitos Sísmicos del presente Anexo.

Artículo 116 Modelo matemático

El análisis dinámico se deberá realizar utilizando un modelo del Sistema Estructural "Equipo + estructura de soporte + fundación + suelo" que represente en forma realista la verdadera distribución de las masas y rigideces de los elementos, siendo los Elementos a diseñar y/o verificar la estructura y la fundación.

Las masas que deberán ser consideradas en el análisis dinámico, corresponden a todos los Elementos por encima del Nivel Basal definido en el Artículo 112. Para el caso de fundaciones superficiales de acuerdo con lo definido en el numeral 1 del Artículo 103, se deberá incluir la masa de la fundación y del suelo directamente existente sobre la fundación.

La representación del Equipo en el modelo deberá respetar la geometría y materialidad, así como el resto de la información sobre el equipo, establecida en el Artículo 115.

En general, se deberá usar un modelo tridimensional, excepto en aquellos casos que el comportamiento se pueda representar correctamente con modelos planos, lo que deberá ser aceptado por los Revisores Sísmicos de acuerdo con señalado en el Artículo 113.

El suelo de apoyo y de confinamiento de la fundación se deberá considerar en el modelo mediante resortes que representen correctamente los parámetros dinámicos de elasticidad y constante de balasto, definidos en el Informe de Mecánica de Suelos correspondiente a la instalación.

Para representar correctamente la distribución de fuerzas de inercia del Sistema, que permitan obtener los esfuerzos, desplazamientos y cualquier otra respuesta a ser usada para verificar el cumplimiento de los criterios de aceptación, se deberá definir en la modelación un número suficiente de grados de libertad nodales asociados a masas traslacionales y cuando sea necesario se deberán considerar además las masas rotacionales.

Artículo 117 Número de modos

El número mínimo de modos a considerar en el análisis deberá ser tal que, permita asegurar una participación de masa equivalente total (suma de las masas de todos los modos considerados) de acuerdo con lo señalado en el Artículo 41.

Artículo 118 Superposición modal

El valor máximo de cualquier respuesta de interés se obtiene de la superposición de los valores máximos de esa respuesta, para cada uno de los modos considerados, de acuerdo con lo señalado en el Artículo 41.

Artículo 119 Corte Basal mínimo para el diseño

Se deberá considerar lo señalado en el número 3 del Artículo 106.

TÍTULO XXIX REQUISITOS SÍSMICOS PARA ESTRUCTURAS DE SOPORTE

Artículo 120 Alcance

El presente Título establece los requisitos que son aplicables al diseño de las Estructuras de Soporte de Equipos, o Estructuras Bajas, según definición del numeral 24 del Artículo 7, estructuras cuya función principal es ser soporte de los Equipos Flexibles de acuerdo con la clasificación del Artículo 36, tales como: interruptores, pararrayos, desconectadores, transformadores de potencial y de corriente, aisladores de pedestal, mufas y en general cualquier otro Equipo, que tenga un comportamiento sísmico similar.

Todas estas estructuras de soporte se deberán diseñar de acuerdo con los requisitos del presente Título, ya sea que su diseño forme parte o no del alcance del Fabricante o de quien suministra el Equipo al cual soportan.

Los requisitos para el diseño de estructuras, cuya función principal no es ser soporte de Equipos, se señalan en el Título XXXIV o en el Título XXXV según corresponda.

Artículo 121 Solicitaciones de diseño

El diseño deberá considerar las solicitaciones sísmicas y no sísmicas definidas por las características propias del Equipo, y por las condiciones meteorológicas en la zona de emplazamiento de la instalación de acuerdo con:

1. Lo señalado en el Título VI.

2. Para estructuras de soporte que no forman parte del diseño o Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos del Equipo, la solicitación sísmica **"E"** se deberá obtener de acuerdo con lo señalado en el Título XXVII o en el Título XXVIII según corresponda.

3. Para estructuras de soporte que forman parte del diseño o Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos del Equipo, la solicitación sísmica **"E"** se deberá obtener de acuerdo con lo señalado en Título correspondiente al Equipo.

El Diseñador deberá evaluar las particularidades de cada instalación y definir otras solicitaciones y/o combinaciones de carga que puedan controlar el diseño.

El diseño de la estructura de soporte deberá, además, ser consistente con el comportamiento sísmico que el Equipo al cual soporta demostró cumplir y que, corresponden a los Requisitos Sísmicos propios del Equipo, establecidos en el Título correspondiente de este Anexo.

Artículo 122 Requisitos de rigidez global

1. Estructuras de soporte que han sido incluidas en el proceso de diseño o Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos del Equipo al cual soportan, no requieren

de cumplir requisitos de rigidez adicionales, a los requisitos establecidos en el Título correspondiente al Equipo al cual soportan.

2. Estructuras de soporte de partes de Equipos que se conectan directamente al Equipo principal, se deberán considerar como parte del Equipo, por lo que sus requisitos de diseño serán los establecidos en el Título correspondiente al Equipo. Ejemplo de esto son la estructura de soporte del tanque conservador de aceite, las estructuras de soporte de baterías de radiadores y otras similares.

3. Las estructuras de soporte que han sido incluidas en el proceso de diseño o Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos del Equipo, como son las estructuras de soporte de interruptores, estructuras de soporte de los Equipos GIS y sus ductos GIL, y las estructuras de soporte de los bancos de condensadores, sus requisitos de rigidez son los señalados en el numeral 1 precedente, y deberán ser diseñadas como parte del Equipo.

4. Estructuras de soporte que no han sido incluidas en el proceso de diseño o Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos del Equipo al cual soportan, deberán cumplir con los siguientes requisitos de rigidez:

    i. La estructura de soporte deberá tener una relación Masa Equipo/Masa Estructura de Soporte ≥ 0,6.

    ii. La Frecuencia Equivalente del primer modo de la estructura de soporte, calculada de acuerdo con lo indicado en el numeral iii siguiente, deberá ser mayor que 4 veces la Frecuencia Fundamental del Equipo (Frecuencia Fundamental del Equipo calculada considerado que está anclado a una base fija), con un mínimo de 15 Hz y que no necesita ser mayor a 30 Hz. Si no se conoce la Frecuencia Fundamental del Equipo, la Frecuencia Equivalente de la estructura deberá ser mayor o igual que 30 Hz.

    iii. El cálculo de esta Frecuencia Equivalente de la estructura de soporte se deberá realizar considerando todas las propiedades de la estructura (masa y rigidez lateral), y agregando la masa del Equipo que va a soportar como una masa concentrada en el tope de la estructura. El cálculo deberá considerar que la estructura de soporte está anclada a una base fija.

5. Se aceptará que estructuras de soporte de equipos con tensión "Um" ≤ 72,5 kV no cumplan la relación de masa señalada en el número i del numeral 4 precedente, siempre y cuando el equipo cumpla los requisitos sísmicos definidos en el presente Anexo, para un Factor de Amplificación Horizontal Kh=1,5, además debe cumplir todos los otros requisitos del numeral 4 precedente. En caso de no cumplirse que el equipo resiste las solicitaciones sísmicas amplificadas por Kh= 1,5, entonces el diseño de la estructura de soporte deberá realizarse de acuerdo con el numeral 6 siguiente.

6. Estructuras de soporte diseñadas de acuerdo con el Método de Análisis Dinámico definido en el Título XXVIII, y para las cuales los resultados del análisis referido al Equipo cumplen con los criterios de aceptación definidos en dicho Título, no necesitan cumplir con los requisitos de rigidez señalado en el numeral 4 precedente.

7. Estructuras de soporte para Equipos que han sido diseñados/verificados para una Solicitación Sísmica amplificada por un Factor de Amplificación Kh≥2,5, no necesitan cumplir con los requisitos de rigidez señalado en el numeral 4 precedente. En este caso, el diseño de esta estructura de soporte deberá realizarse de acuerdo con el Método de Análisis Dinámico definido en el Título XXVIII.

Artículo 123 Requisitos de rigidez local

Adicionalmente al cumplimiento de lo señalado en el Artículo 122, los elementos o componentes de la estructura de soporte donde se apoya el Equipo, deberán ser lo suficientemente rígidos para cumplir con el criterio general de diseño, es decir, el diseño de la estructura de soporte deberá ser consistente con el comportamiento sísmico con que fue validado el Equipo. Para tal efecto, tanto en el diseño de la sección local de la estructura donde se apoya directamente el Equipo como en su detalle en los planos, se deberán considerar todos los elementos/componentes necesarios para garantizar que la rigidez de dicha zona no permite desplazamientos o giros que puedan modificar el comportamiento sísmico del Equipo.

El diseño de esta sección local de la estructura se deberá realizar para las solicitaciones sísmicas y no sísmicas simultáneas con el sismo, definidas para el Equipo en el título correspondiente. La fuerza sísmica que se considere en el diseño de la sección local deberá ser sin reducir, es decir, considerando un Factor de Modificación de la Respuesta de R=1 y ξ=2%.

Aun cuando el diseño de la estructura de soporte se realice de acuerdo con el Método Estático Civil definido en el Título XXVII, la fuerza sísmica para el diseño de la sección local, definida en el párrafo precedente, no deberá considerar el aporte de la masa sísmica de la estructura y/o fundación.

Artículo 124 Definición del Sistema de Fijación del Equipo a la estructura de soporte

La definición del Sistema de Fijación del Equipo a la estructura de soporte es responsabilidad del Diseñador del Equipo.

El Diseñador del Equipo deberá definir cantidad, diámetro y calidad (definición de material) de los pernos de fijación del Equipo a la estructura de soporte, así como cualquier otro elemento, que sea necesario para el montaje del Equipo a la estructura de soporte.

El Diseñador de la Estructura de Soporte es responsable de diseñar una estructura que cumpla con los requisitos de diseño señalados en el presente Título, y que permita el correcto montaje del Equipo. En particular, su responsabilidad con respecto a los pernos de fijación del Equipo a la estructura se limita a definir el largo de agarre y largo total de los pernos.

Artículo 125 Diseño por resistencia de la estructura

El diseño por resistencia de la estructura de soporte podrá realizarse por el Método de Tensiones Admisibles, o por un método basado en Estados Límites Últimos considerando

las solicitaciones y combinaciones de carga señaladas en el Artículo 121, y de acuerdo con la normativa de diseño correspondiente a su materialidad y estructuración.

Los factores de Modificación de la Respuesta **"R"** deberán ser los definidos en el presente Anexo.

Artículo 126 Diseño del Sistema de Anclaje de la estructura de soporte a la fundación

El diseño del Sistema de Anclaje de la estructura de soporte a la fundación es responsabilidad del Diseñador de la Estructura de Soporte y deberá cumplir con lo señalado en el Título XXX.

Cuando la estructura de soporte corresponde a la de un Equipo flexible y ha sido incluida en el proceso de diseño o Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos del Equipo, según lo señalado en el Artículo 57, entonces esta estructura es parte del Equipo, por lo que el Diseñador del Equipo es también el Diseñador de la Estructura y, en consecuencia, el Diseñador del Sistema de Anclaje del Sistema Equipo + Estructura a su fundación.

Para este caso, cuando en el diseño del Sistema Equipo + Estructura no se ha considerado el Nivel Basal definido en el Artículo 103, el Sistema de Anclaje (placa base, perno de anclaje y otros elementos según corresponda al diseño particular de la estructura de soporte) se deberá diseñar con la fuerza sísmica obtenida de acuerdo a los requisitos definidos para el Equipo en el Título correspondiente, y considerando un Factor de Amplificación de Kh = 1,25 a la solicitación sísmica horizontal. Este factor Kh es independiente del tipo de Sistema de Anclaje que se considere en el diseño.

El Diseñador de la estructura es el responsable de definir:

i. La calidad de los materiales, el dimensionamiento y ubicación de los pernos de anclaje para el caso de anclaje mediante pernos, a excepción de la longitud de los pernos cuando estos son pre-instalados (embebidos en el hormigón).
ii. Cualquier otro elemento que sea necesario para el anclaje de la estructura y/o para el correcto traspaso de las solicitaciones a la fundación.

La responsabilidad del Diseñador de la Fundación respecto del Sistema de Anclaje se limita a:

i. Incluir como parte de los planos de la fundación, el plano de Disposición de los Sistemas de Anclajes suministrado por el Proveedor del Equipo.
ii. Diseñar los elementos que deberán quedar embebidos en el hormigón que permitan el correcto anclaje de la estructura a la fundación. En el caso de pernos de anclaje pre-instalados, deberá definir su longitud.
iii. Realizar las verificaciones que muestren que el comportamiento de los modos de falla en el hormigón del Sistema de Anclaje es consistente con los requisitos de comportamiento establecidos en el presente Anexo.

Artículo 127 Estructura tipo Parrón

La estructura tipo Parrón no es una estructura de soporte de Equipo propiamente tal, aun cuando sobre ella se instalen Equipos Eléctricos y su estructuración está definida por su configuración eléctrica. En general, sobre las Estructuras Tipo Parrón se instalan Equipos con nivel de tensión más elevada "Um" ≤ 36 kV tales como interruptor o reconectador, desconectadores, transformadores de medida, equipos compactos de medida, pararrayos, barras rígidas o flexibles, aisladores, entre otros.

Cuando la estructura tipo Parrón no pueda demostrar que cumple con los requisitos de rigidez definidos en el numeral 4 del Artículo 122, y con los definidos en el Artículo 123, los Equipos que se instalen sobre ella deberán ser considerados como Equipos en altura, de acuerdo a lo señalado en el Artículo 81, por lo que se deberá considerar que la solicitación sísmica sobre ellos corresponde a una aceleración amplificada debido a la altura donde se ubica el Equipo.

Según sea la condición de montaje del Equipo, disposición horizontal o disposición vertical, además de la amplificación de la solicitación sísmica horizontal, se deberá considerar la amplificación de la solicitación sísmica vertical.

El diseño por resistencia de la estructura tipo Parrón podrá realizarse por el Método de Tensiones Admisibles o por un método basado en Estados Límites Últimos, considerando las solicitaciones y combinaciones de carga señaladas en el Título XXXIV y de acuerdo con la normativa de diseño correspondiente a su materialidad y estructuración.

El Diseñador del Parrón es el responsable de diseñar una estructura y sistema para la fijación del Equipo a esta estructura, de modo que se cumpla que:

$$Kh = \frac{A'_0}{(A_0 = 0{,}5g)} \leq 1{,}5$$

Donde:

A'_0: Aceleración sísmica en la base del Equipo ubicado en altura de acuerdo con el Artículo 173 y Artículo 174.

$A_0 = 0{,}5g$: ZPA.

Es responsabilidad del Propietario informar oportunamente al Diseñador de la Estructura tipo Parrón de las limitaciones de desplazamientos, giros, deformaciones u otras restricciones que pueda requerir el Equipo para su correcta operatividad. En el caso que los equipos se instalen en estructuras existente, también es responsabilidad del Propietario evaluar en etapas tempranas del proyecto la factibilidad de modificar la estructura existente para que cumpla con lo señalado en el presente artículo.

Artículo 128 Estructuras especiales

Se entenderá por estructuras especiales de soporte de Equipos a aquellas que han sido incluidas en el proceso de diseño o Verificación del Cumplimiento de los Requisitos Sísmicos del Equipo, de acuerdo con lo señalado en el Artículo 57, y que, por diversas

razones requieren de ser modificadas o reemplazadas posteriormente, pero que siguen siendo soporte del mismo Equipo.

Para este tipo de situaciones, el diseño de esta nueva estructura de soporte deberá considerar, el cumplimiento de los requisitos de rigidez señalados en el Artículo 122, y en el Artículo 123, demostrando que ésta mantiene o mejora el comportamiento dinámico del Sistema Estructural "Equipo + estructura de soporte original".

Este análisis se deberá realizar para el Sistema Estructural "Equipo + estructura de soporte nueva" de acuerdo con el Método de Análisis Dinámico definido en el Artículo 106, considerando que la estructura de soporte está anclada sobre base rígida, es decir, sin necesidad de incluir la fundación en el modelo de análisis, y que los Criterios de Aceptación corresponden a los valores de desplazamientos, esfuerzos, aceleraciones y otros registrados para el Sistema Estructural "Equipo + estructura de soporte original" y que permitieron demostrar que el Equipo cumple con los Requisitos Sísmicos del presente Anexo.

TÍTULO XXX REQUISITOS SÍSMICOS PARA LOS SISTEMAS DE ANCLAJE A LA FUNDACIÓN

Artículo 129 Requisitos generales

Los Sistemas de Anclaje de las estructuras y Equipos a sus fundaciones deberán cumplir los siguientes requisitos generales:

1. Los Sistemas de Anclaje deberán estar conformados por pernos de anclaje, llaves de corte, topes sísmicos u otros medios adecuados que garanticen el correcto traspaso de todas las solicitaciones a la fundación. En particular, no se permiten diseños que consideren que el corte o parte de él sea traspasado por roce.

2. El diseño de los Sistemas de Anclaje se deberá realizar de manera tal que su resistencia deberá estar controlada por la capacidad de aquellos elementos, señalados en el número 1 precedente, que presentan un comportamiento dúctil.

3. Cuando el Corte Basal "Q_b" sea mayor a 50 kN considerando el Método de Tensiones Admisibles o 75 kN considerando un método basado en Estados Límites Últimos, el diseño del Sistema de Anclaje deberá considerar que los pernos de anclaje sólo resisten cargas de tracción. En este caso, el Sistema de Anclaje deberá considerar el diseño de llaves de corte o de topes sísmicos, los que deberán tomar el 100% del Corte Basal.

   Esta situación es aplicable normalmente a Equipos anclados directamente a la fundación tales como transformadores de poder, reactores, y otros Equipos similares.

4. Cuando el Corte Basal "Q_b" sea menor al señalado en el número 3 precedente, y el Sistema de Anclaje no tenga topes sísmicos, los pernos de anclaje se deberán diseñar considerando la interacción tracción-corte. En este caso, el diseño deberá considerar que sólo el 50% del total de pernos del Sistema de Anclaje toman el 100% del Corte Basal.

   En el caso de tener topes sísmicos o llaves de corte, estos se deberán diseñar para tomar el 100% del Corte Basal.

5. Según sea la solicitación sobre los pernos de anclaje, el diseño podrá realizarse considerando sillas, las cuales se deberán diseñar considerando las recomendaciones de la norma NCh 2369 siempre y cuando las características del Equipo o de la estructura de soporte así lo permitan.

6. El diseño de los Sistemas de Anclaje deberá minimizar la necesidad de ejecutar soldaduras en terreno. De ser necesarias, el diseño y la ejecución de las soldaduras deberá cumplir con lo señalado en los números 1 y 2 precedentes, y con los requisitos para soldadura señalados en la norma NCh 2369.

7. El 100% de las soldaduras ejecutadas en terreno deberán ser inspeccionadas mediante métodos no destructivos. No se aceptarán inspecciones por muestreo como tampoco inspecciones únicamente visuales. Adicionalmente, se deberán ejecutar en terreno todas las reparaciones necesarias para restaurar el nivel de protección a la corrosión de las estructuras u otros elementos que sean intervenidos.

8. El diseño del traspaso de las cargas de tracción o de corte desde el Sistema de Anclaje a la fundación se deberá realizar mediante pernos o mediante soldaduras, considerando que estos elementos deberán resistir el total de la solicitación que se traspasa, lo cual es equivalente a sumar los esfuerzos de tracción y corte para la verificación de la conexión. Ejemplo de esta situación se presenta en algunas instalaciones GIS y en salas eléctricas prefabricadas.

   Lo anteriormente señalado, se refiere a que, en caso de tener una combinación de pernos y soldadura para traspasar a la fundación la carga de tracción (o de corte), el diseño de los pernos deberá considerar que traspasan el 100% de la tracción y el diseño de la soldadura también deberá considerar que traspasa el 100% de la tracción. No se deberá considerar en el diseño que una parte de las solicitaciones lo traspasan los pernos y otra parte lo traspasa la soldadura.

Artículo 130 Materiales

1. Todos los elementos que conforman los Sistemas de Anclaje deberán ser de materiales de comportamiento dúctil, con soldabilidad garantizada y con resiliencia o tenacidad garantizada mínima de 27 Joule a la temperatura mínima que defina el Propietario, según sea la ubicación de la instalación, temperatura mínima que en ningún caso será mayor a 0°C.

2. La ductilidad deberá ser demostrada mediante ensayo de tracción que demuestre que el material tiene una meseta pronunciada de ductilidad natural con un valor del límite de fluencia inferior al 85% de la resistencia a la rotura y alargamiento de rotura mínimo de 20% en probeta de 50 mm. Para los pernos de anclaje bastará con cumplir con un alargamiento de rotura mínimo de 14% siempre y cuando se mantenga la razón límite de la tensión de fluencia con respecto a la tensión de rotura señalado.

3. La tenacidad o resiliencia deberá ser demostrada mediante ensayos de impacto sobre probeta con entalle simplemente apoyada (ensayo Charpy) de acuerdo con la norma ASTM E-23.

4. Para calidades de acero que por norma de fabricación se garantiza el cumplimiento de los requisitos de resiliencia o tenacidad señalados en el número 1 precedente y/o de ductilidad señalados en el número 2 precedente, se aceptará que no se realicen los ensayos siempre y cuando el Proveedor entregue los certificados de calidad del material y certifique que todo su suministro cumple con dicha norma de fabricación; en este caso, el Propietario deberá además certificar que no existe reemplazo de materiales durante las faenas de construcción.

5. Para el caso particular de los pernos de anclaje, en el caso que no se pueda certificar lo señalado en el número 1, se deberán realizar los ensayos de Charpy de acuerdo con lo siguiente:

   i. Del suministro que está en terreno, se deberán elegir de manera aleatoria muestras con a lo menos 3 pernos cada una, correspondientes a un mismo diámetro de perno. El número de muestras deberá ser a lo menos dos, correspondientes a los dos diámetros más repetitivos en el proyecto.

ii. Para los pernos de anclaje de los Equipos del Título XVI, si el diámetro no es de los más repetitivos, también se deberá elegir del suministro que está en terreno a lo menos 3 pernos como muestra a ensayar, adicional a las muestras señaladas en el numeral i. precedente.

iii. La demostración de la resiliencia mínima señalada en el número 1 precedente corresponderá al promedio del valor obtenido para cada uno de los pernos de cada muestra y ninguno de ellos con un valor menor a 22 Joule.

iv. En el caso de que los pernos de anclaje sean suministrados por más de un Proveedor y/o con más de una calidad, las muestras a ensayar definidas en los numerales precedentes deberán ser elegidas para cada Proveedor y/o para calidad de material según corresponda.

v. De no cumplirse los requisitos de calidad señalados en el numeral iii. precedente, no se aceptará el material suministrado por el Proveedor.

vi. Será responsabilidad del Propietario que estos ensayos se realicen antes de la construcción de las fundaciones toda vez que estos pernos se deben instalar antes del hormigonado.

vii. No se aceptará que las muestras sean elegidas por el Proveedor como tampoco que las muestras sean elegidas en fábrica.

viii. En el caso de que el suministro de los pernos de anclaje sea responsabilidad del Contratista, se deberá entender que éste corresponde al Proveedor señalado en los numerales precedentes.

6. Los pernos de anclaje no requieren tener soldabilidad garantizada siempre y cuando el detallamiento del Sistema de Anclaje considere que ningún elemento está soldado al perno de anclaje.

7. Los electrodos y fundentes de soldaduras al arco deberán cumplir con la especificación AWS A5.1, A5.5, A5.17, A5.18, A5.20, A5.23 y A5.29, o sus equivalentes.

8. Los electrodos de soldadura deberán satisfacer una tenacidad mínima de 27 Joules a -29°C en el ensayo de Charpy según ASTME-23.

9. En general, todos los materiales deberán contar con protección contra la corrosión, adecuada para el lugar de ubicación de la instalación.

10. En el caso de que se reemplacen materiales después de que el Revisor Sísmico ha validado los diseños, se deberá demostrar que los nuevos materiales son equivalentes o de mejor calidad que los considerados en el Diseño. La demostración deberá realizarse de acuerdo con lo señalado en el Artículo 20 del Anexo Técnico de Exigencias Mínimas para el Diseño de Instalaciones de Transmisión.

Artículo 131 Fuerza sísmica para diseño

1. Las cargas para el diseño de los Sistemas de Anclaje se obtienen como resultado del análisis del Sistema Estructural. En el diseño se podrá considerar la fuerza sísmica reducida por el Factor de Modificación de la Respuesta **"R"** que le corresponde de acuerdo con lo señalado en la Tabla 4, siempre y cuando el tipo de material, la

estructuración y el detallamiento del elemento del sistema, permite disipar energía y los requisitos de diseño del presente Anexo lo acepten.

2. Independiente de lo señalado en el número 1 precedente, cuando el Sistema de Anclaje del Equipo o estructura a la fundación tiene un único punto de apoyo responsable de transmitir la totalidad de la fuerza en esa dirección, los valores de las fuerzas para el diseño de los Sistemas de Anclaje deberán ser los que corresponden a la fuerza sísmica sin reducir, es decir, considerando un Factor de Modificación de la Respuesta de R=1.

3. El diseño de los Sistemas de Anclajes deberá considerar modos de falla dúctil. Cuando el diseño de los Sistemas de Anclajes no pueda evitar modos de falla no dúctil, el diseño se deberá realizar con la fuerza sísmica sin reducir, es decir, considerando un Factor de Modificación de la Respuesta de R=1. Para los Pernos de Anclaje que, de acuerdo con lo señalado en la Tabla 4, se diseñan con un Factor R>1, en su diseño se deberá considerar un factor de mayoración adicional de 1,25 a la solicitación sísmica.

Artículo 132 Pernos de anclaje en general

El diámetro mínimo de los pernos de anclaje será de 16 mm (5/8”) para los tipos de estructuras y Equipos definidos en el presente Anexo.

Se podrá utilizar diámetro de 12 mm (1/2”) en pernos de anclaje de estructuras y elementos secundarios tales como luminarias, cercos u otros.

Artículo 133 Cajas de anclaje

1. Las cajas de anclaje son elementos estructurales de acero embebidos y adecuadamente anclados en la fundación que permiten montar Equipos o estructuras utilizando que son reemplazables. En particular, este Sistema de Anclaje deberá ser utilizado en los Equipos del Título XVI.

2. El diseño de las cajas de anclaje se deberá realizar considerando que deberán transmitir el 100% de las cargas verticales del Equipo o estructura hacia la fundación.

3. Considerando que la caja de anclaje no necesita tener una resistencia mayor que la resistencia de los pernos de anclaje, para los Equipos del Título XVI las cargas verticales de diseño deberán ser el menor valor que se obtenga entre:

    i. Las indicadas en el Artículo 110 considerando un factor de mayoración adicional de 1,25 a la solicitación sísmica.

    ii. La resistencia de los pernos de anclaje que efectivamente se colocarán en el equipo.

4. El diseño de las cajas de anclaje deberá considerar lo siguiente:

   i. El diseño deberá asegurar el traspaso de las solicitaciones desde el Equipo a la base de la fundación, asegurando su resistencia y ductilidad.

   ii. Las cajas podrán estar embebidas en hormigones de primera o segunda etapa.

   iii. Se deberán dejar armaduras de traspaso horizontales y verticales de modo que ambos hormigones trabajen como un conjunto.

   iv. No se deberá considerar en su diseño el traspaso de corte, por lo tanto, no se deberán soldar topes sísmicos sobre las cajas.

5. El diseño de las cajas de anclajes deberá tener en cuenta las dimensiones necesarias, que permitan la correcta instalación y desinstalación de los pernos, así como la inspección de los mismos.

6. Para garantizar la inspección de los pernos, estos deberán estar preferentemente dispuestos en una misma fila, paralela respecto al eje largo del Equipo.

7. Los modos de falla del hormigón se deberán verificar de acuerdo con los requisitos correspondientes al Capítulo de "Anclajes al Hormigón" de la norma ACI- 318.

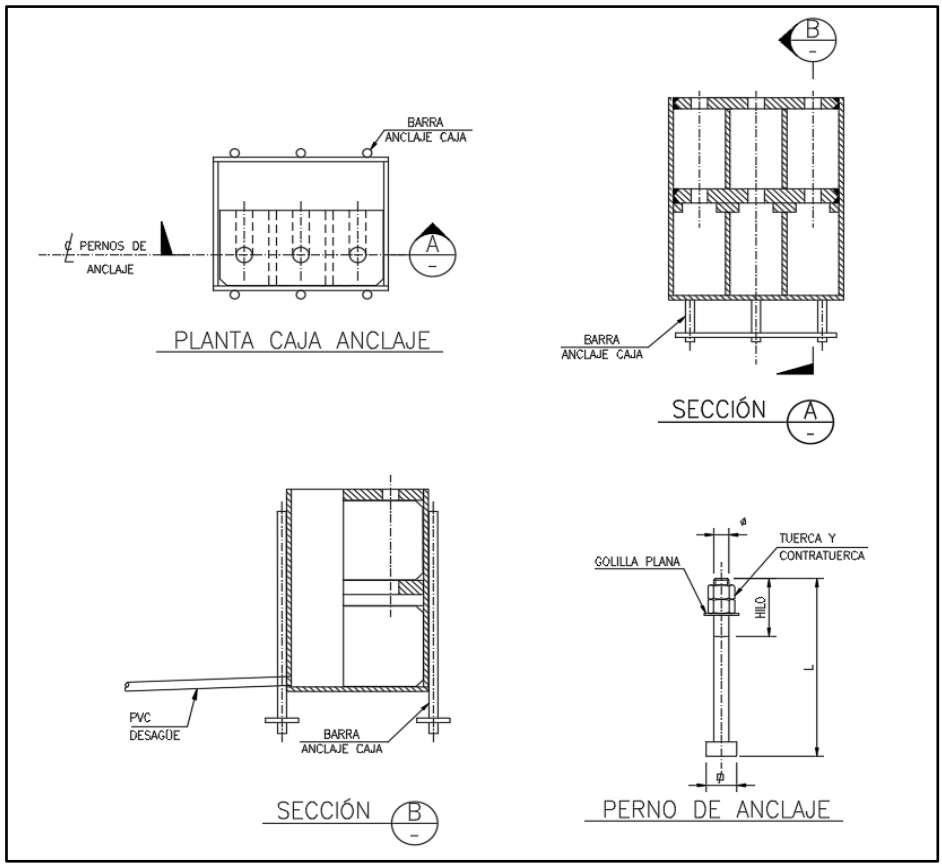

Figura 13: Esquema ilustrativo de caja de anclaje

Artículo 134 Llaves de corte

1. Las llaves de corte son elementos estructurales de acero embebidos en la fundación que permiten transmitir directamente el corte desde una columna o tope sísmico hacia la fundación.

2. Las llaves de corte deberán considerar en su diseño una placa base a nivel del hormigón, con las dimensiones necesarias, de modo que permita la soldadura en terreno de la placa base de la columna de la estructura o de la placa base del tope sísmico. Para anclajes que no correspondan a los equipos o estructuras de soporte de los equipos a que se refiere este Anexo, se permitirá que las llaves de corte sean parte de la estructura que viene de maestranza, instalándolas en recesos rellenos con grout una vez montado y nivelado el elemento.

3. El diseño de las llaves de corte se deberá realizar considerando que el 100% del corte es transferido por ellas a la fundación mediante el aplastamiento de la llave de corte contra el hormigón en la dirección considerada del sismo.

4. Los modos de falla del hormigón se deberán verificar de acuerdo con los requisitos correspondientes al Capítulo de "Anclajes al Hormigón" de la norma ACI- 318.

5. La ubicación de las llaves de corte deberá ser consistente con la ubicación de los elementos diseñados para el traspaso de las cargas de corte en el Equipo, o estructura de soporte que se está anclando a la fundación (columnas de la estructura o placa base del tope sísmico).

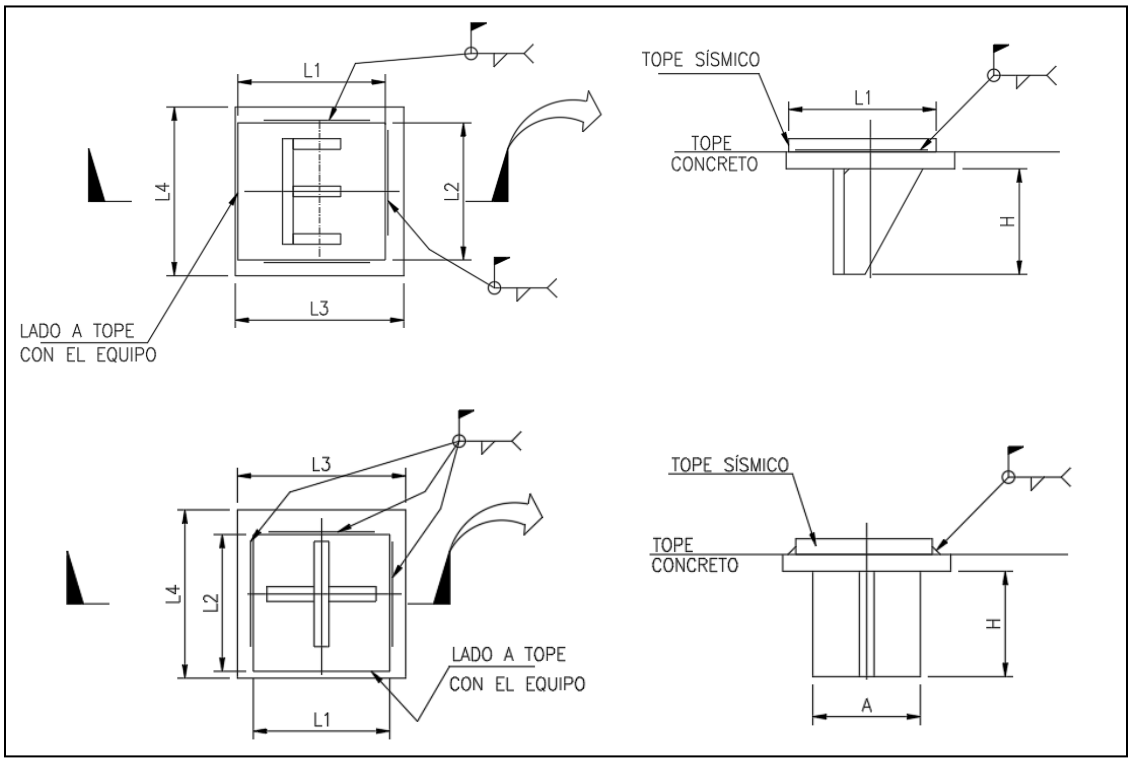

Figura 14: Esquema ilustrativo de llaves de corte y topes sísmicos

Artículo 135 Topes sísmicos

1. Los topes sísmicos corresponden a elementos estructurales de acero colocados sobre la fundación, que permiten restringir el desplazamiento lateral del Equipo o estructura.

2. El diseño de los topes sísmicos se deberá realizar considerando que el 100% del corte es transferido por ellos a la fundación en la dirección considerada del sismo.

3. La ubicación de los topes sísmicos deberá ser consistente con la ubicación de los elementos diseñados para el traspaso de las cargas de corte en el Equipo o estructura de soporte que se está anclando a la fundación.

4. El diseño de los topes sísmicos deberá tener en cuenta las dimensiones de altura y longitud, así como la rigidez necesaria para garantizar que el Equipo o estructura no tendrá desplazamientos laterales.

5. Los topes sísmicos deberán ser instalados en terreno, después de montado el Equipo o estructura en la fundación de manera que se garantice que el tope funcione como tal y tomando en cuenta los efectos de dilatación térmica sobre el Equipo o estructura, cuando corresponda.

6. Los topes sísmicos deberán ser anclados a la fundación mediante la soldadura de la placa base del tope sísmico a la placa superior de la llave de corte embebida en el hormigón, de acuerdo con el número 2 del Artículo 134. La solicitación sísmica para el diseño de la soldadura deberá ser con R=1 de acuerdo con lo señalado en el Artículo 137.

7. El anclaje de los topes sísmicos mediante pernos estará restringido a situaciones debidamente justificadas y aprobadas previamente por el Propietario. En este caso, el diseño se deberá realizar con la fuerza sísmica sin reducir, es decir considerando un Factor de Modificación de la Respuesta de R=1.

Artículo 136 Pernos de anclaje post instalados

Los pernos de anclaje post instalados podrán ser del tipo químico o mecánico y se deberán diseñar de acuerdo con los siguientes requisitos:

1. El tipo de perno de anclaje post instalado que se defina deberá estar certificado para Zonas Sísmicas E y F de acuerdo con los procedimientos señalados en la norma ACI 318, ACI 355.2 y ACI 355.4, según corresponda.

2. Los pernos de anclaje post instalados deberán garantizar el buen comportamiento mecánico y dinámico, de acuerdo con las exigencias de temperatura definidas para el proyecto, en particular, si se utilizan en zonas de bajas temperaturas o en zonas con riesgo de incendio.

3. Los vástagos de los pernos de anclaje deberán cumplir con los mismos requisitos definidos en el Artículo 130, y en el Artículo 132.

4. Lo señalado en el número 1 precedente, en ningún caso permitirá la utilización de un Factor de Modificación de la Respuesta **"R"** mayor al señalado en la Tabla 4. El cálculo de la resistencia de diseño del perno de anclaje post instalado se deberá realizar considerando que el hormigón está fisurado.

5. El procedimiento de instalación del perno de anclaje post instalado deberá ser el adecuado para hormigón fisurado, para el tipo de anclaje diseñado y deberá ser ejecutado en terreno por un profesional calificado y de acuerdo con las instrucciones del Proveedor del Sistema de Anclaje.

6. Los pernos de anclaje que se instalen en terreno deberán ser iguales a los que fueron aprobados en los reportes de calificación sísmica señalados en el número 1 precedente. No se aceptarán reemplazos de pernos post-instalados como tampoco de alguno de sus componentes.

Artículo 137 Sistemas de Anclaje a la fundación mediante soldaduras a placas embebidas a la fundación (sin pernos de anclaje)

Cuando el Equipo se ancla directamente a la fundación y el Sistema de Anclaje se realice utilizando algún medio o dispositivo que no considere pernos de anclaje para el traspaso de las solicitaciones de tracción, o traspaso de la solicitación combinada de tracción-corte según lo señalado en el número 4 del Artículo 129, como es el caso de soldadura en terreno de partes de Equipo a placas embebidas a la fundación, el Diseñador del Equipo deberá someter a aprobación del Revisor Sísmico todos los documentos necesarios que demuestren que el Sistema de Anclaje propuesto cumple con ser consistente con el comportamiento sísmico que el Equipo demostró cumplir y con los siguientes requisitos mínimos:

1. El diseño se ha realizado con las fuerzas sísmicas sin reducir, es decir, considerando un Factor de Modificación de la Respuesta de R=1.

2. Se han diseñado todos los elementos necesarios para el anclaje, incluyendo: espesor de la soldadura, calidad del electrodo, procedimiento para la soldadura en terreno y dimensiones y calidad de la placa a la que se deberá soldar el Equipo y que corresponde a la que quedará embebida en la fundación.

Los documentos que respaldan el Sistema de Anclaje propuesto por el Diseñador del Equipo deberán ser a lo menos los siguientes:

i. Memoria de cálculo que incluya los criterios de diseño utilizados y los cálculos realizados.

ii. Plano de disposición de anclajes y de todos los elementos que deberán quedar embebidos en la fundación indicando claramente: posición, materiales, dimensiones y responsabilidad del suministro.

iii. Procedimiento en terreno para el anclaje del Equipo.

Es responsabilidad del Proveedor del Equipo, el montaje del Equipo y sus Sistemas de Anclajes teniendo presente, entre otros requisitos, que las soldaduras deberán ser ejecutadas por un Soldador Calificado.

En este caso, la responsabilidad del Diseñador de la Fundación respecto del Sistema de Anclaje se limita a:

i. Incluir como parte de los planos de la fundación, el plano de Disposición de los Sistemas de Anclajes suministrado por el Proveedor del Equipo.

ii. Diseñar los elementos que quedarán embebidos a la fundación, de modo de asegurar el correcto traspaso de las solicitaciones de tracción o la solicitación combinada tracción – corte, según corresponda, entre la placa definida por el Diseñador del Equipo y los insertos en el hormigón.

iii. Realizar las verificaciones que muestran que el comportamiento de los modos de falla en el hormigón del Sistema de Anclaje es consistente con los requisitos de comportamiento establecidos en el presente Anexo.

Artículo 138 Diseño

1. El diseño de los Sistemas de Anclaje podrá realizarse por el Método de Tensiones Admisibles o por un método basado en Estados Límites Últimos, considerando las solicitaciones, combinaciones de carga y los factores de mayoración señalados en el Artículo 121, y de acuerdo con la normativa de diseño correspondiente a su materialidad y estructuración. Los factores de Modificación de la Respuesta deberán ser los definidos en el presente Anexo, siempre y cuando el tipo de material, la estructuración y el detallamiento del elemento permiten disipar energía y los requisitos de diseño del presente Anexo lo acepten.

2. El diseño de los pernos de anclaje se deberá realizar por un método basado en Estados Límites Últimos, de acuerdo con lo señalado en la norma ACI 318 y los factores de mayoración señalados en el Título VI.

   No será necesario amplificar la solicitación sísmica por un factor Ω_0 de acuerdo con lo indicado en la norma ACI 318, debido a que para pernos diseñados con R=1 no es necesario y para pernos diseñados con R>1 ya está considerado en el número 3 del Artículo 131.

3. Los planos de construcción de fundaciones deberán incluir todas las notas necesarias correspondientes a los Sistemas de Anclaje, tales como:

   i. Materiales.
   ii. Torque que se deberá dar a los pernos.
   iii. Requisitos especiales para soldadura en terreno.
   iv. Exigencias de instalación del Proveedor para el caso pernos de anclaje post instalados.
   v. Otras.

Artículo 139 Información requerida por parte del Proveedor del Equipo cuando éste se ancla directamente a la fundación

Cuando el Equipo se ancla directamente a la fundación, previo al diseño de las fundaciones y los Sistemas de Anclaje, el Proveedor del Equipo deberá entregar un plano de disposición con, a lo menos, la siguiente información:

1. Ubicación, calidad y dimensiones del Sistema de Anclaje del Equipo. Si el anclaje se realiza mediante pernos pre-instalados (embebidos en el hormigón), no será necesario definir su longitud.

2. Ubicación y dimensiones de los elementos que traspasan el corte cuando corresponda.

3. Las reacciones del Equipo sobre sus puntos de apoyo para las distintas solicitaciones que actúan sobre el Equipo, de acuerdo con lo señalado en el Título VI.

En este caso, la responsabilidad del Diseñador de la Fundación respecto del Sistema de Anclaje se limita a:

i. Incluir como parte de los planos de la fundación, el plano de Disposición de los Sistemas de Anclajes suministrado por el Proveedor del Equipo. En el caso de pernos de anclaje pre-instalados, deberá definir su longitud.

ii. Realizar las verificaciones que muestran que, el comportamiento de los modos de falla en el hormigón del Sistema de Anclaje, es consistente con los requisitos de comportamiento establecidos en el presente Anexo.

TÍTULO XXXI REQUISITOS DE DISEÑO PARA FUNDACIONES

Artículo 140 Alcances

Los requisitos para el diseño establecidos en el presente Título aplican a las fundaciones, para cualquier Elemento perteneciente a las instalaciones Eléctricas establecidas en el primer inciso del Artículo 3, tales como:

1. Equipos señalados explícitamente en el presente Anexo, así como a otros Equipos cuyo comportamiento sísmico pueda considerarse como asimilable a alguno de estos Equipos.

2. Estructuras de Soporte de Equipos.

3. Estructuras Altas de Subestaciones.

4. Estructuras de Soporte de Líneas de Transmisión.

5. Estructuras de Soporte de Antenas.

6. Obras Civiles de subestaciones señaladas en el Título XXXV.

En los Títulos siguientes se definen requisitos particulares para las fundaciones de algunos Equipos, según corresponda.

Artículo 141 Requisitos generales

1. Las fundaciones podrán ser: dados y zapatas aisladas, dados y zapatas corridas, losas de fundación, pilas, pilotes, micropilotes, ancladas en roca, parrillas metálicas, otros.

2. El diseño de las fundaciones se deberá realizar de acuerdo con los parámetros de diseño y recomendaciones señalados en el Informe de Mecánica de Suelos correspondiente al proyecto o instalación.

3. El diseño de las fundaciones se deberá realizar de acuerdo con las reacciones que se obtengan del diseño de los respectivos Equipos, estructuras u obras civiles a las cuales soportan, considerando las siguientes solicitaciones y sus combinaciones, según corresponda:

   i. Compresión, corte, volcamiento uniaxial, volcamiento biaxial.

   ii. Tracción, corte, volcamiento uniaxial, volcamiento biaxial.

4. Fundaciones en cuyo diseño se considera que el suelo alrededor colabora en la estabilidad de ésta (cono de arranque, colaboración lateral, entre otros), se deberán construir respetando las consideraciones utilizadas en el diseño, para asegurar que se desarrolla dicha colaboración del suelo. En los planos de construcción de estas fundaciones se deberán indicar las especificaciones técnicas necesarias para ejecutar las excavaciones, el hormigonado y los rellenos correspondientes.

5. El diseño de las fundaciones deberá considerar los desplazamientos totales, desplazamientos relativos, giros y/o asentamientos máximos que permiten la estructura y/o el Equipo para su normal funcionamiento u operación. Para el caso sísmico, estos desplazamientos, giros y/o asentamientos corresponden a los calculados considerando la fuerza sísmica sin reducir, es decir considerando un Factor de Modificación de la Respuesta de R=1.

Artículo 142 Requisitos de operatividad

El diseño de las fundaciones deberá considerar los requisitos de operatividad propios de la estructura y/o Equipo que se está fundando, requisitos que eventualmente pueden ser más exigentes que los señalados en los Artículos siguientes para poder cumplir con los máximos desplazamientos totales, desplazamientos relativos, giros y/o asentamientos que requieren la estructura y/o el Equipo para su normal funcionamiento u operación.

Para el caso particular, de los reactores en aire, señalados en el Artículo 86, las fundaciones no pueden tener armaduras de acero magnético dentro de la zona que el Diseñador del Equipo lo prohíba. En estos casos, se deberá usar armaduras de fibra de vidrio.

Artículo 143 Otros requisitos de resistencia y/o estabilidad

Según sea el tipo de fundación a diseñar, deberán cumplir adicionalmente, otros requisitos de resistencia y/o estabilidad, requisitos que deberán estar definidos en el Informe de Mecánica de Suelos.

Artículo 144 Resistencia a la compresión

La tensión de compresión máxima en el suelo no deberá sobrepasar la tensión admisible, tanto para Combinaciones de Cargas correspondientes a solicitaciones normales, como a solicitaciones eventuales de acuerdo con lo señalado en el Artículo 32.

Se deberá verificar este cumplimiento tanto para las tensiones de compresión verticales como para las horizontales, según corresponda al tipo de fundación que se diseñe.

Artículo 145 Resistencia al arrancamiento para fundaciones diseñadas con la colaboración del cono de suelo.

La solicitación de diseño al arrancamiento deberá ser mayor o igual a 1,1 veces la solicitación de arrancamiento, obtenida para las Combinaciones de carga utilizadas en el diseño del Sistema Estructural, amplificadas por los factores de mayoración (o factores de sobrecarga) correspondientes.

Artículo 146 Estabilidad al volcamiento

1. Fundaciones tipo zapatas y fundaciones tipo monobloques diseñadas sin colaboración lateral del suelo, deberán cumplir con que el área de apoyo comprimida de la fundación sea de:

i. 100% para combinaciones de carga que consideran solicitaciones normales.

ii. 80% mínimo para combinaciones de carga que incluyen solicitaciones eventuales.

Este requisito también aplica a las fundaciones diseñadas considerando la colaboración del cono de suelo para equilibrar el momento volcante, de acuerdo con el Método X-Y Modificado descrito en el Anexo 2 de la publicación de CIGRE Chile "Recomendación de Requisitos Sísmicos para Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión".

2. Fundaciones diseñadas con colaboración lateral del suelo (diseño conocido como Método de Sulzberger) deberán cumplir con que el ángulo de giro de la fundación **"ε"**, sea tal que tg(ε) < 0,01 salvo que, el Informe de Mecánica de Suelos señale un valor más restrictivo.

   El diseño de fundaciones con colaboración lateral del suelo podrá realizarse cuando, la fundación sea del tipo monobloque hormigonada contra terreno, o para fundaciones prefabricadas confinadas en un relleno estructural ejecutado de forma compactada y controlada, según se señale en el Informe de Mecánica de Suelos.

   El Informe de Mecánica de Suelos deberá señalar explícitamente que se puede considerar la colaboración lateral del suelo y, deberá incluir todos los parámetros necesarios para el diseño de las fundaciones y del relleno estructural, cuando corresponda.

3. Para otro tipo de fundaciones, el Informe de Mecánica de Suelos deberá definir los requisitos de estabilidad al volcamiento, según el tipo de fundación a diseñar.

Artículo 147 Estabilidad al deslizamiento

1. Para fundaciones tipo zapatas la resistencia total al deslizamiento, minorada por los Factores de Seguridad (FS) que se señalan a continuación, deberá ser mayor o igual a la solicitación deslizante de diseño.

Fuerza Resistente	Combinaciones Normales FS	Combinaciones Eventuales FS
Fricción o Roce	1,5	1,3
Cohesión	4,0	3,0
Empuje Pasivo	4,0	3,0

Tabla 17: Factores de Seguridad para resistencia al deslizamiento

El Informe de Mecánica de Suelos del proyecto deberá señalar los parámetros geotécnicos y, las condiciones necesarias para considerar la real colaboración de las fuerzas resistentes indicadas.

Para el cálculo de la Fuerza Resistente de Roce, no será necesario considerar el sismo vertical, debido a que la trabazón mecánica de partículas entre la fundación y el suelo, que se ha producido por la carga axial permanente, se mantiene durante el sismo.

2. Fundaciones diseñadas considerando colaboración lateral del suelo según definición en el número 2 del Artículo 146, no requieren de verificar deslizamiento.

3. Para otro tipo de fundaciones, el Informe de Mecánica de Suelos deberá definir los requisitos de estabilidad al deslizamiento, según el tipo de fundación a diseñar. Estos requisitos de estabilidad deberán ser equivalentemente mayores o iguales a los señalados en el número 1 precedente.

Artículo 148 Diseño de fundaciones tipo dado o zapata

El diseño de las fundaciones tipo dado o zapata deberá cumplir con los requisitos de resistencia y estabilidad definidos desde el Artículo 144 hasta el Artículo 147, y el cumplimiento deberá ser conforme al Método de Tensiones Admisibles.

En caso de diseñar fundaciones conectadas por vigas de amarre, el diseño deberá considerar que la fundación corresponde al sistema completo.

En caso de diseñar una losa de fundación común para distintos Equipos Eléctricos, se deberán considerar las cargas provenientes de todos los Equipos instalados sobre ella en las direcciones y sentidos que sean más desfavorables.

Artículo 149 Diseño de fundaciones con micropilotes/barras helicoidales

Los requisitos de diseño que se señalan desde el Artículo 150 hasta el Artículo 154, corresponden a los requisitos mínimos a tomar en cuenta en el diseño de fundaciones con micropilotes, y en el diseño de fundaciones con barras helicoidales. Para efectos del presente Título se deberá considerar que donde se mencione "micropilote" también se incluye a las "barras helicoidales".

El Diseñador de las Fundaciones deberá evaluar la necesidad de incorporar otros requisitos de diseño, según las particularidades del proyecto.

Artículo 150 Requisitos de diseño generales para fundaciones con micropilotes

Las fundaciones con micropilotes estarán conformadas por un cabezal y barras normalmente inclinadas, de manera tal que cada micropilote esté siempre solicitado principalmente por carga axial.

Para el caso de fundaciones de los Equipos Eléctricos a los que se refiere este Anexo, la fundación deberá tener un cabezal de hormigón armado y un mínimo de 4 micropilotes.

El diseño de la fundación se deberá realizar considerando las solicitaciones obtenidas de las Combinaciones de cargas utilizadas en el diseño del Sistema Estructural, amplificadas por un factor de 1,1, y los parámetros de diseño definidos en el Informe de Mecánica de Suelos del proyecto, parámetros que deberán ser confirmados mediante ensayos de arrancamiento realizados en el lugar de ubicación del proyecto

Estas Combinaciones de carga serán de servicio o últimas, según sea la norma que se considere en el diseño de la fundación.

Artículo 151 Determinación de esfuerzos en cada micropilote

Se deberá realizar un análisis estructural, modelo y procedimiento, de la fundación con micropilotes tal que permita determinar los esfuerzos internos que se solicitarán a cada uno de ellos.

Los elementos uniaxiales, normalmente disponibles en los modelos de análisis de softwares comerciales, consideran que en cada elemento modelado existen todas las deformaciones y esfuerzos internos posibles (M1, M2, T, V1, V2, N). Por lo tanto, salvo que se usen artificios especiales de modelación (liberación de grados de libertad individuales o "releases"), todos los esfuerzos tendrán valores distintos de cero.

La disposición de micropilotes que se defina deberá estar correctamente reflejada en el modelo de análisis, de modo que los micropilotes estén solicitados principalmente por carga axial. Además, deberán garantizar que los esfuerzos secundarios de corte y momento sobre los micropilotes sean mínimos. El Diseñador de la Fundación deberá evaluar qué es lo que significa "mínimos" en cada caso.

Independiente de lo anterior, los micropilotes igualmente deberán ser verificados para resistencia a corte y a momento con las solicitaciones obtenidas del modelo.

Artículo 152 Verificación de los desplazamientos en la fundación con micropilote

Se deberá verificar que los desplazamientos de la fundación, es decir, del conjunto cabezal + micropilotes, cumplen con los valores de desplazamientos admisibles para la operatividad de la estructura y/o Equipo según lo señalado en el Artículo 142, correspondiente a los Requisitos de Operatividad.

Artículo 153 Diseño del micropilote

Para el diseño del micropilote se deberán considerar a lo menos las siguientes verificaciones, las que deberán realizarse de acuerdo con los criterios técnicos establecidos en normativas reconocidas internacionalmente:

1. Verificación de la resistencia interna.

   Se deberá verificar que la resistencia del acero del micropilote resiste las solicitaciones de diseño.

2. Verificación de la resistencia externa.

   Se deberá verificar que la resistencia por fuste del micropilote inyectado resiste las solicitaciones de diseño.

3. Verificación al pandeo.

   Se deberá verificar la resistencia al pandeo del micropilote inyectado sometido a compresión en un suelo cohesivo de consistencia blanda.

4. Verificación de deformación axial total

   Se deberá verificar que la deformación axial total del micropilote es menor que los valores admisibles señalados en la norma de diseño elegida.

5. Verificación de corte y momento

   Se deberá verificar que el micropilote resiste las cargas de corte y momento que se obtuvieron del análisis.

Artículo 154 Pruebas de carga para fundaciones con micropilote

El ensayo de tracción o arrancamiento señalado en el Artículo 150, se deberá realizar a los diferentes tipos de micropilotes a utilizar en el proyecto, y en los distintos tipos de suelo donde se coloquen, obteniendo la relación carga versus deformación. El ensayo se deberá realizar para una carga mínima correspondiente a la carga de diseño, es decir, 1,1 veces la carga solicitante de acuerdo con lo señalado en el Artículo 150.

La prueba de carga deberá realizarse, a lo menos, hasta que la curva carga versus deformación muestre el cambio de pendiente que indica el inicio de falla por arrancamiento del sistema de fundación, carga que corresponde a la "Carga de Fluencia".

El Ingeniero Geotécnico responsable del Informe de Mecánica de Suelos del proyecto deberá definir, en conjunto con el Diseñador de la Fundación, la eventual necesidad de realizar otras pruebas de carga que validen o modifiquen los parámetros de diseño definidos en el Informe de Mecánica de Suelos, según sea el tipo de suelo encontrado en la exploración.

Las pruebas adicionales que podrían ser necesarias realizar son las siguientes:

1. Ensayos de carga lateral de una fundación con micropilotes para determinar sus desplazamientos.

2. Ensayos de compresión.

Artículo 155 Diseño de fundaciones tipo pilas

Los requisitos de diseño que se señalan desde el Artículo 156 hasta el Artículo 161, corresponden a los requisitos mínimos a tomar en cuenta en el diseño de fundaciones tipo pilas.

El Diseñador de las Fundaciones deberá evaluar la necesidad de incorporar otros requisitos de diseño, según las particularidades del proyecto, como por ejemplo debido al tipo de suelo donde se realiza la fundación.

Artículo 156 Requisitos de diseño generales para fundaciones tipo pilas

Las fundaciones tipo pilas deberán ser de hormigón armado.

El diseño de la fundación deberá realizarse considerando las solicitaciones obtenidas de las Combinaciones de cargas utilizadas en el diseño del Sistema Estructural amplificadas por un factor de 1,1 y, los parámetros de diseño definidos en el Informe de Mecánica de Suelos del proyecto, parámetros que deberán ser confirmados mediante pruebas de carga realizadas en el lugar de ubicación del proyecto.

Estas Combinaciones serán de servicio o últimas según sea la norma que se considere en el diseño de la fundación.

Para aquellos casos especiales en que la realización de Pruebas de Carga no sea factible, el diseño de las pilas se deberá realizar para un factor de amplificación de 1,2 en lugar del valor señalado en el primer párrafo del presente Artículo.

Artículo 157 Factor de rigidez para pila

Para el diseño de la pila es necesario determinar si su comportamiento es Rígido o Flexible. Para esto, se deberá determinar un factor de rigidez que depende de la interacción de las rigideces de la fundación y, del suelo de acuerdo con lo señalado en el presente Artículo, salvo que el Ingeniero Geotécnico señale algo diferente.

1. Factor de rigidez en suelos tipo Arcilla Pre-Consolidadas (Arcillas OC).

   En el caso de arcillas pre-consolidadas se define un factor de rigidez **"R_{pila}"** que se calcula como sigue:

$$R_{pila} = \sqrt[4]{\frac{E * I}{k * B}}$$

   Donde:

   E: Módulo de elasticidad de la pila (kg/cm^2).

   I: Inercia de la Sección (cm^4).

   k: Coeficiente de balasto horizontal (kg/cm^3).
   Este coeficiente se puede obtener a partir de ensayos de placa de carga o de relaciones obtenidas a partir de las propiedades elásticas del suelo y de la geometría de la pila.

B: Diámetro de la pila (cm).

2. Factor de rigidez en suelos tipo Arcilla Normalmente Consolidadas (Arcillas NC), limos y suelos granulares.

   En el caso de arcillas normalmente consolidadas, limos y de suelos granulares se define un factor de rigidez **"T_{pila}"** que se calcula como sigue:

$$T_{pila} = \sqrt[5]{\frac{E * I}{n_h}}$$

   Donde:

   E: Módulo de elasticidad de la pila (kg/cm^2).

   I: Inercia de la Sección (cm^4).

   n_h: Coeficiente de variación del balasto horizontal (kg/cm^3).
   Este coeficiente se puede obtener a partir de ensayos de placa de carga, de relaciones obtenidas a partir de las propiedades elásticas del suelo y de la geometría de la pila, o de relaciones empíricas definidas a partir de la compacidad o consistencia del suelo.

3. Evaluación de la rigidez

   Una vez calculado el factor de rigidez **"R_{pila}"** o **"T_{pila}"**, el requisito de comportamiento como bloque rígido o pila flexible se relaciona con la longitud de enterramiento L (cm) como sigue:

Tipo de Pila	Suelos granulares Limos Arcillas NC	Arcillas OC
Rígida	$L \leq 2 * T_{pila}$	$L \leq 2 * R_{pila}$
Flexible	$L \geq 4 * T_{pila}$	$L \geq 3{,}5 * R_{pila}$

Tabla 18: Rigidez de las Pilas

Artículo 158 Diseño de fundaciones controladas por carga axial para fundaciones tipo pila

Para el diseño de las pilas se deberán considerar a lo menos las siguientes verificaciones, las que deberán realizarse de acuerdo con los criterios técnicos establecidos en normativas reconocidas internacionalmente:

1. Verificación al arrancamiento.

   La verificación al arrancamiento se deberá realizar considerando a lo menos la adherencia de la interfaz suelo-fundación.

2. Verificación a la compresión.

   La verificación a la compresión se deberá realizar por alguno de los siguientes métodos:

   i. Verificación de la capacidad última a la compresión.

   ii. Verificación de tensiones admisibles a la compresión.

Artículo 159 Diseño de fundaciones controladas por carga lateral y/o momento basal para fundaciones tipo pila

La verificación a la estabilidad y tensiones admisibles se deberá realizar de acuerdo con los criterios técnicos establecidos en normativas reconocidas internacionalmente, mediante un modelo de elementos finitos que incluya la representación del suelo o utilizando alguno de los siguientes métodos:

1. Para pilas rígidas.

   i. Colaboración lateral del suelo.

   ii. Resistencia lateral última.

2. Para pilas flexibles.

   i. Resistencia lateral última.

Artículo 160 Verificación de los desplazamientos en la fundación tipo pila

Se deberá verificar que los desplazamientos en la cabeza de la pila cumplen con los valores de desplazamientos admisibles para la operatividad de la estructura y/o Equipo, según lo señalado en el Artículo 142, correspondiente a los requisitos de operatividad.

Artículo 161 Pruebas de carga para fundaciones tipo pila

De acuerdo con lo señalado en el Artículo 156, es obligatorio realizar ensayos de tracción para determinar la adherencia entre la interfaz suelo-fundación.

El Ingeniero Geotécnico responsable del Informe de Mecánica de Suelos del proyecto deberá definir, en conjunto con el Diseñador de la Fundación, la eventual necesidad de realizar otras pruebas de carga que validen o modifiquen los parámetros de diseño definidos en el Informe de Mecánica de Suelos, según sea el tipo de suelo encontrado en la exploración.

Las pruebas adicionales que podrían ser necesarias realizar son las siguientes:

1. Ensayo de carga lateral para determinar la resistencia lateral de la pila y evaluar su desplazamiento.

2. Ensayo de Compresión.

Para aquellos casos especiales en que la realización de Pruebas de Carga no sea factible, el diseño de las pilas se deberá realizar considerando el factor de amplificación señalado en el Artículo 156. La no factibilidad de ejecutar la prueba debe estar debidamente respaldada y deberá contar con la aprobación del Ingeniero Geotécnico.

TÍTULO XXXII REQUISITOS SÍSMICOS PARTICULARES PARA SISTEMAS DE ANCLAJE Y FUNDACIONES DE EQUIPOS GIS Y EQUIPOS DE COMPENSACIÓN SERIE

Artículo 162 Alcance

En el presente Título se señalan los requisitos particulares de diseño de los Sistemas de Anclaje y las fundaciones para Equipos GIS y para Equipos de compensación serie, los que también son aplicables a otros Equipos, cuyo comportamiento sísmico es similar al de los Equipos mencionados, tales como:

1. Similares a Equipos GIS: Equipos compactos aislados en gas SF6, también conocidos como Equipos híbridos.
2. Similares a Equipos de compensación serie: Banco de condensadores en derivación o bancos shunt.

Desde el Artículo 163 hasta el Artículo 166, se definen los requisitos particulares para los Equipos GIS y desde el Artículo 167 hasta el Artículo 169, se definen los requisitos particulares para los Equipos de compensación serie.

Artículo 163 Interacción de la fundación y las características del suelo en el comportamiento sísmico del Equipo GIS.

Los Equipos GIS son sensibles a los desplazamientos relativos entre sus distintos componentes, por lo que el comportamiento sísmico del Equipo está interrelacionado con su fundación, y con el comportamiento sísmico del suelo donde se ubica la instalación, por lo que se requiere necesariamente de la correcta y oportuna coordinación entre el Diseñador del Equipo y el Diseñador de la Fundación, con el fin de obtener un diseño conjunto que permita el correcto comportamiento del Equipo durante y después del Sismo de Diseño. Esta correcta y oportuna coordinación es responsabilidad del Propietario.

En el diseño de la fundación se deberán evaluar los desplazamientos relativos entre los diferentes puntos de anclaje de la GIS y sus ductos GIL, verificando que dichos desplazamientos y los que se generen en el Equipo, se encuentren entre los límites establecidos por el Fabricante. Estos desplazamientos se deberán calcular considerando el efecto de la propagación de la onda sísmica superficial, las reacciones generadas por el movimiento del Equipo, la interacción fundación-suelo o fundación-foso (donde van los cables de poder), entre otros y según corresponda.

Artículo 164 Metodología para el diseño independiente entre el Equipo GIS y su fundación

Para que el comportamiento sísmico del Equipo GIS sea el esperado, la Metodología para el diseño independiente del Equipo y su fundación deberá ser la siguiente:

1. El diseño del Equipo se deberá realizar de acuerdo con los requisitos señalados en el Título XVII.

2. El Diseñador del Equipo deberá entregar las reacciones separadas por cada Estado de Carga de diseño del Equipo y, para cada uno de los apoyos de las diferentes estructuras de soporte sobre la fundación.

3. El Diseñador del Equipo deberá entregar los desplazamientos horizontales y verticales relativos máximos admisibles que permite el Equipo, entre los mismos puntos de apoyo para los que entrega las reacciones.

4. El análisis y diseño de la fundación se deberá realizar de acuerdo con lo señalado en el Artículo 165, considerando las reacciones del Equipo sobre ella y todas las solicitaciones sísmicas y no sísmicas simultáneas con el Sismo de Diseño, debido a las características propias de su lugar de instalación.

Es responsabilidad del Propietario asegurar la correcta y oportuna coordinación entre el Diseñador de la Fundación y el Diseñador del Equipo, con el fin de obtener un diseño conjunto que permita el correcto comportamiento del Equipo durante y después del Sismo de Diseño. En particular, se deberá prestar atención a la dificultad que pueda tener el cumplimiento de los desplazamientos máximos admisibles por el Equipo, según sean las condiciones propias del proyecto en el lugar de ubicación de la fundación del Equipo GIS.

Artículo 165 Requisitos para el diseño de la fundación del Equipo GIS

1. El diseño de la fundación podrá realizarse mediante un análisis por fuerzas estáticas equivalentes, teniendo especial cuidado en representar correctamente las condiciones más desfavorables de cargas o esfuerzos internos máximos, determinados por el análisis sísmico efectuado para el diseño del Equipo GIS.

2. Para el diseño o verificación de la losa de la fundación del Equipo GIS, se deberán considerar las cargas que provienen del Equipo GIS entregadas por el Fabricante.

   En la mayoría de los casos los valores de las fuerzas en los apoyos de los Equipos entregadas por el Fabricante, corresponden a los máximos individuales de las distintas componentes de fuerza que provienen de un análisis dinámico por superposición modal espectral y, por lo tanto, son todos valores positivos. En consecuencia, el Diseñador de la Fundación deberá ajustar los signos algebraicos de las distintas componentes de fuerza (tracción y compresión) de manera que representen un set de cargas estáticas equivalentes que sea consistente con la acción sísmica global, respetando el sentido físico que las cargas deberían tener, de modo de representar correctamente las solicitaciones de corte y momento sobre la fundación, así como la interacción entre Equipos conectados entre sí.

3. El diseño de la fundación del Equipo GIS se deberá realizar de acuerdo con las reacciones obtenidas del modelo utilizado en el diseño del Equipo GIS, las limitaciones de desplazamientos sobre el Equipo que señale el Fabricante, las solicitaciones sísmicas y no sísmicas simultáneas con el Sismo de Diseño para la fundación, los parámetros de suelo definidos en el Informe de Mecánica de Suelos del proyecto y, deberá cumplir con los requisitos de resistencia y estabilidad definidos en el Título XXXI.

4. El diseño de la fundación deberá incluir en el análisis de tensiones, deformaciones y desplazamientos, la flexibilidad propia del suelo de fundación, considerando valores adecuados del coeficiente de balasto para cargas permanentes y para cargas dinámicas de corta duración, según lo especificado en el Informe de Mecánica de Suelos del proyecto.

5. El diseño de la fundación deberá tomar en cuenta el efecto de la propagación de las ondas sísmicas superficiales, efecto que pasa a ser relevante según sea la dimensión de la fundación y las características del suelo y, que se deberá calcular de acuerdo a lo siguiente:

$$u(x,t) = d * sen(k \cdot x + \omega \cdot t)$$

Donde:

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ Número de Onda.

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ Frecuencia angular.

$T = \frac{\lambda}{Cs}$ Periodo de la Onda.

u: Desplazamiento.

x: Distancia.

t: Tiempo.

En la Tabla 19 siguiente se presentan valores característicos de parámetros según el Tipo de Suelo, de acuerdo con el Artículo 19:

Suelo	C_s [m/s]	T [s]	λ [m]	d [cm]
A	900	0,1	90	2,68
B	600	0,2	120	3,80
C	400	0,4	160	5,88
D	200	0,6	120	4,78

Tabla 19: Parámetros representativos según tipo de suelo

Donde:

$\lambda = C_s * T$ en que λ es la longitud de onda.

C_s = velocidad de propagación de la onda.

T = el período de la onda ($\frac{2\pi}{\omega}$).

d = amplitud de la onda.

Para tipos de suelos no incluidos en la Tabla 19, el Estudio Sísmico que se deberá realizar para definir el Espectro de Diseño de acuerdo con lo señalado en el Artículo 19, deberá incluir también los parámetros recomendados para definir la onda sísmica.

6. Cuando la fundación se diseña de manera independiente de la fundación de un Equipo GIS adyacente, se deberá incluir explícitamente esta situación como uno o más estados de carga adicionales asociados a los posibles desplazamientos relativos entre las fundaciones individuales. Esta situación será adicional a lo señalado en el número 5 precedente.

7. Cuando la fundación se diseña monolítica con respecto de la fundación de un Equipo GIS existente, se modifica la rigidez de la fundación existente, por lo que el análisis de la onda sísmica superficial señalado en el número 5 precedente, deberá ser realizado para el conjunto de todas las fundaciones y Equipos que se encuentran unidos monolíticamente (incluyendo la nueva fundación). Lo anterior, a fin de verificar si los nuevos desplazamientos en los Equipos existentes cumplen o no con los límites establecidos por el Fabricante de la GIS existente.

   En caso de que los nuevos desplazamientos no cumplan con los límites establecidos para los Equipos existentes, la nueva fundación se deberá diseñar de manera independiente.

8. El diseño propiamente tal de la fundación se deberá realizar como sigue:

   i. Para el diseño por resistencia de la fundación, se considera aceptable utilizar las reacciones del modelo de análisis del Equipo, considerando un Factor de Modificación de la Respuesta de R=3 a la fuerza sísmica horizontal.

   ii. La verificación del cumplimiento de que los desplazamientos máximos satisfacen los requisitos del Diseñador del Equipo, en todas las posiciones que corresponden a componentes sensibles a deformaciones (compensadores, juntas de expansión, conexiones, entre otras), de acuerdo con la información entregada por el Fabricante, según lo solicitado en el Artículo 164, se deberá realizar para la fuerza sísmica sin reducir, es decir considerando un Factor de Modificación de la Respuesta de R=1.

   iii. No es necesario considerar las fuerzas de inercia propias de la losa de fundación.

9. Cuando en el diseño de la fundación no sea factible cumplir con los desplazamientos máximos definidos por el Diseñador del Equipo, se deberá coordinar con dicho Diseñador los eventuales cambios que deberá tener el Equipo de modo de poder realizar un diseño conjunto Equipo y fundación que permita el correcto comportamiento del Equipo durante las solicitaciones sísmicas. La responsabilidad de la correcta y oportuna coordinación entre el Diseñador de la Fundación y el Diseñador del Equipo es responsabilidad del Propietario.

Artículo 166 Diseño de los Sistemas de Anclaje del Equipo GIS

El diseño de los Sistemas de Anclajes del Equipo GIS a la fundación, incluyendo los pernos de anclaje, es responsabilidad del Diseñador del Equipo y se deberá realizar de acuerdo con los requisitos señalados en el Artículo 65.

En este caso, la responsabilidad del Diseñador de la Fundación respecto del Sistema de Anclaje se limita a:

1. Incluir como parte de los planos de la fundación, el plano de disposición de los Sistemas de Anclajes suministrado por el Proveedor del Equipo.
2. Diseñar los elementos que deberán quedar embebidos en el hormigón que permitan el correcto anclaje del Equipo a la fundación. En el caso de que los pernos de anclaje sean pre-instalados, deberá definir su longitud.
3. Realizar las verificaciones que muestran que el comportamiento de los modos de falla en el hormigón del Sistema de Anclaje es consistente con los requisitos de comportamiento establecidos en el presente Anexo.

Artículo 167 Aspectos generales de fundaciones para Equipos de compensación serie

El Equipo Compensación Serie, está conformado por varios Equipos sobre una plataforma en altura, la estructura que soporta la plataforma (estructura que cumple la doble función de ser soporte estructural y de aislación eléctrica) y el Sistema de Anclaje a la fundación.

El diseño del Equipo compensación serie se deberá realizar mediante un modelo integrado de todos los Elementos señalados en el párrafo anterior y de acuerdo con los requisitos definidos en el Título XVIII.

Desplazamientos relativos de las fundaciones de las columnas que soportan la plataforma pueden ser relevantes en el diseño del Equipo compensación serie, por lo que es necesario que ambos diseños se realicen de manera coordinada.

Cuando el diseño del Equipo compensación serie no se realice mediante un modelo que integre el diseño de la fundación, se requiere necesariamente de la correcta y oportuna coordinación entre el Diseñador del Equipo y el Diseñador de la Fundación, con el fin de obtener un diseño conjunto que permita el correcto comportamiento del Equipo compensación serie durante y después del sismo. Esta correcta y oportuna coordinación es responsabilidad del Propietario.

Artículo 168 Diseño de la fundación del Equipo compensación serie

El diseño de la fundación del Equipo compensación serie se deberá realizar de acuerdo con las reacciones obtenidas del modelo integrado utilizado en el diseño del Equipo según lo señalado en el Título XVIII, las limitaciones de desplazamientos que señale el Fabricante en los puntos donde se apoya el Equipo a la fundación, los parámetros de suelo definidos en el Informe de Mecánica de Suelos del proyecto y lo señalado en el Artículo 165 para la fundación del Equipo GIS.

Artículo 169 Diseño de los Sistemas de Anclaje del Equipo compensación serie

El diseño de los Sistemas de Anclajes del Equipo compensación serie a la fundación, incluyendo los pernos de anclaje, es responsabilidad del Diseñador del Equipo y se deberá realizar de acuerdo con los requisitos señalados en el Artículo 67.

En este caso, la responsabilidad del Diseñador de la Fundación respecto del Sistema de Anclaje se limita a:

1. Incluir como parte de los planos de la fundación, el plano de Disposición de los Sistemas de Anclajes suministrado por el Proveedor del Equipo.
2. Diseñar los elementos que deberán quedar embebidos en el hormigón que permitan el correcto anclaje del Equipo a la fundación. En el caso de que los pernos de anclaje sean pre-instalados, deberá definir su longitud.
3. Realizar las verificaciones que muestran que, el comportamiento de los modos de falla en el hormigón del Sistema de Anclaje, es consistente con los requisitos de comportamiento establecidos en el presente Anexo.

TÍTULO XXXIII REQUISITOS PARA LA REUTILIZACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE Y/O FUNDACIONES EXISTENTES

Artículo 170 Requisitos para la reutilización de Estructuras de Soporte y fundaciones existentes

Las estructuras y fundaciones existentes en una subestación que se quiera reutilizar para la instalación de un Equipo diferente al que fue considerado en sus respectivos diseños, igualmente deberán cumplir con los requisitos de diseño definidos en el presente Anexo para el nuevo Equipo al cual soportarán. Se entiende como "nuevo Equipo" al Equipo que es diferente eléctricamente o sísmicamente (geometría, peso, altura, componentes sensibles, entre otros) al que fue considerado en el diseño.

Cuando el análisis se realice mediante el Método Estático Civil definido en el Título XXVII, y se concluya que la estructura y/o fundación existente no cumple con los requisitos definidos en el presente Anexo, se podrá realizar el análisis mediante el Método de Análisis Dinámico definido en el Título XXVIII. En tal caso, la estructura y/o fundación existente cumplirá con los requisitos establecidos en el presente Anexo cuando se cumplen las siguientes condiciones:

1. Condición 1.

   Los resultados del análisis dinámico para el nuevo Equipo sobre la estructura de soporte y/o fundación existente cumple con los criterios de aceptación señalados en el Artículo 113.

   De no cumplirse con la Condición 1, la Estructura de Soporte y/o la fundación no cumplen con las condiciones establecidas en el presente Anexo para aceptar su utilización como soporte del nuevo Equipo y, deberán ser reforzadas o reemplazadas según corresponda.

2. Condición 2.

   Cumpliéndose la Condición 1, la estructura de soporte deberá cumplir con lo señalado en cada una de las siguientes secciones:

   i. Título XXVI: Solicitación Sísmica sobre Estructuras y Fundaciones del Sistema de Transmisión.

   ii. Título XXIX: Requisitos Sísmicos para Estructuras de Soporte.

   iii. Título XXX: Requisitos Sísmicos para los Sistemas de Anclaje a la Fundación.

   De no cumplirse la Condición 2, la Estructura de Soporte no cumple con las condiciones establecidas en el presente Anexo para aceptar su utilización como soporte del nuevo Equipo y, deberá ser reforzada o reemplazada según corresponda.

3. Condición 3.

   Cumpliéndose la Condición 1, la fundación deberá cumplir con lo señalado en cada una de las siguientes secciones:

   i. Título XXX: Requisitos Sísmicos para los Sistemas de Anclaje a la Fundación.

   ii. Título XXXI: Requisitos de Diseño para Fundaciones.

   De no cumplirse la Condición 3, la fundación no cumple con las condiciones establecidas en el presente Anexo para aceptar su utilización como soporte del nuevo Equipo y, deberá ser reforzada o reemplazada según corresponda.

TÍTULO XXXIV REQUISITOS SÍSMICOS PARA ESTRUCTURAS ALTAS Y PARA ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE ANTENAS

Artículo 171 Alcance

En el presente Título se definen los requisitos símicos para el diseño de Estructuras Altas de Subestaciones con conductores flexibles, estructuras de líneas de transmisión y Estructuras de Soporte de Antenas de acuerdo con las definiciones señaladas en el Artículo 7. Los requisitos aquí definidos no son aplicables para barras rígidas.

En general, las solicitaciones que controlan el diseño de las estructuras a las que se refiere el presente Título, son las propias debido a su funcionalidad y, por lo tanto, son diseñadas de acuerdo con las solicitaciones y requisitos de diseño definidos en sus propias normativas particulares.

Para este tipo de estructuras, tanto la experiencia a nivel nacional como internacional ha demostrado a la fecha que, cuando éstas corresponden a estructuras reticuladas de acero y han sido diseñadas considerando marcos rígidos horizontales, tal como lo recomiendan sus respectivas normas de diseño estructural, la solicitación sísmica no es una solicitación que condicione el diseño de algún elemento/componente de la estructura. Lo anterior, debido a que estas solicitaciones sísmicas son considerablemente menores que las solicitaciones debido a la tensión mecánica de los conductores, razón por la cual, no es necesario incluir las solicitaciones sísmicas en el diseño de estas estructuras ni en el diseño de sus fundaciones.

Sin embargo, en aquellas situaciones en que sobre ellas se coloquen Equipos Eléctricos, que deban cumplir las exigencias sísmicas del presente Anexo, deberán considerar la solicitación sísmica en el diseño de estas estructuras, de acuerdo con los requisitos señalados en el presente Título.

En estas situaciones, el diseño de estos Equipos deberá cumplir copulativamente con lo señalado en su Título respectivo, lo señalado en el Título XXII, y lo señalado en Artículo 175.

Artículo 172 Consideraciones generales

1. Debido a que la funcionalidad de este tipo de estructuras no es ser soporte de Equipos Eléctricos, como sí lo son las Estructuras Bajas, no le son aplicables las exigencias de rigidez global definida en el Artículo 122.

2. En este caso, es el Equipo el que deberá ser diseñado para las aceleraciones sísmicas amplificadas que tendrá en esta situación con respecto a la Aceleración Basal **"A_0"**, de acuerdo con lo señalado en el Título XXII.

3. La solicitación sísmica sobre el Equipo, para el diseño de la Estructura Alta, se deberá calcular de acuerdo a lo señalado en el Título correspondiente al Equipo más los Factores de Amplificación **"Kh"** y **"Kv"** señalados en el Artículo 82:

   i. Kh = 3,0.

   ii. Kv depende de la rigidez en vertical del elemento donde se instala el Equipo:

a. 1,4 para Equipos instalados sobre elementos horizontales, tales como las vigas del Parrón, crucetas y otros similares.

b. 1,0 para Equipos de disposición vertical instalados directamente sobre elementos verticales tales como: pilares, cuerpos de torres y otros similares.

4. En este caso, el Diseñador de la Estructura Alta es el responsable de diseñar una sección local para la fijación del Equipo a esta estructura de modo que se cumpla que:

$$Kh = \frac{A'_0}{(A_0 = 0{,}5g)} \leq 3$$

Donde:

A'_0: Aceleración sísmica en la base del Equipo ubicado en altura de acuerdo con el Artículo 173.

$A_0 = 0{,}5g$: ZPA.

5. En el caso de instalar Equipos sobre Estructuras Altas existentes que no han sido diseñadas para esta condición, será responsabilidad del Propietario evaluar en etapas tempranas del proyecto la factibilidad de modificar la estructura existente, para que cumpla con lo señalado en el Artículo 174.

   De no ser factible esta modificación, el diseño de los refuerzos deberá ser consistente con el valor de **"Kh"** definido para especificar el Equipo, de acuerdo con lo señalado en el numeral 2 del Artículo 82, valor que en ningún caso será menor a 3,0.

Artículo 173 Solicitación sísmica "A'_0" en la base del Equipo

La aceleración sísmica **"A'_0"** en la base de un Equipo ubicado en el Nivel **"K"** es la aceleración **"A_k"** correspondiente al Nivel de Altura **"K"** amplificada por el factor **"K_p"** correspondiente a la amplificación dinámica sobre el Equipo debido a la sección local de la estructura donde se fija el Equipo:

$$A'_0 = A_k \cdot K_p$$

Donde:

A'_0: Aceleración sísmica en la base del Equipo ubicado en altura.

A_k: Aceleración en el nivel de altura **"K"**.

K_p: Factor de Amplificación dinámica sobre el Equipo debido a la sección local de la estructura donde se fija el Equipo.

1. Aceleración en el nivel de altura **"K"** de la estructura.

   La aceleración en el Nivel **"K"** de la estructura se calcula como:

$$A_k = 1{,}2 * A_0 * \left(1 + 2\,\frac{Z_k}{H}\right)$$

   Donde:

   A_0: Aceleración Basal del suelo según zonificación sísmica correspondiente a la instalación, de acuerdo con el Artículo 101.

   Z_k: Altura del elemento particular donde se ubica el Equipo, medido desde el nivel de terreno hasta la base del Equipo.

   H: Altura hasta el elemento más alto de la estructura que aporta al peso sísmico total.

   Para Estructuras Altas de Subestaciones, **"H"** corresponde a la altura de la viga más alta.

2. Factor de Amplificación dinámica **"K_p"** sobre el Equipo

   Se deberá considerar un Factor de Amplificación dinámica sobre el Equipo "$K_p \geq 1$" que tome en cuenta la interacción entre el Equipo y la sección local de la estructura donde éste se fija.

Artículo 174 Diseño de la sección local de la Estructura Alta donde se fija el Equipo

El Diseñador de la Estructura Alta deberá diseñar la sección local donde se fija el Equipo de acuerdo con lo siguiente:

1. La fuerza sísmica sobre el Equipo señalada en el número 3 del Artículo 172, sin reducir, es decir, considerando un Factor de Modificación de la Respuesta de R=1 y la Razón de Amortiguamiento **"ξ"** propios del Equipo.

2. Todas las solicitaciones simultáneas con el sismo sobre el Equipo de acuerdo con lo señalado en el Título VI.

3. Todas las solicitaciones simultáneas con el sismo sobre la Estructura Alta de acuerdo con lo definido en el Artículo 180.

El Diseñador de la Estructura Alta deberá considerar en su diseño:

1. Todas las otras solicitaciones no sísmicas que deba soportar el Equipo, y que eventualmente puedan controlar el diseño de la sección local donde se fija el Equipo.

2. Todos los elementos necesarios que permitan mantener las tolerancias horizontales, verticales y de giro necesarias para la correcta operatividad del Equipo.

El valor del Factor de Amplificación dinámica "K_p" será 1 cuando la frecuencia de la estructura en la sección local donde se fija el Equipo es a lo menos 4 veces la Frecuencia Fundamental del Equipo, con un mínimo de 15 Hz; en caso contrario, el valor de "K_p" será 2,2.

Se podrá utilizar un valor de "K_p" menor a 2,2 siempre y cuando se demuestre mediante un procedimiento fundamentado que no hay resonancia, entre la frecuencia de la sección local de la estructura y la frecuencia del equipo, procedimiento que debe ser validado por el Revisor Sísmico correspondiente.

Es responsabilidad del Propietario informar oportunamente al Diseñador de la Estructura Alta de las limitaciones de desplazamientos, giros, deformaciones u otras restricciones que pueda requerir el Equipo que se instala en la Estructura Alta para su correcta operatividad.

Artículo 175 Consideraciones generales para el diseño de Estructuras Altas de Subestaciones

El diseño sísmico de las Estructuras Altas de Subestaciones deberá tomar en cuenta las solicitaciones debido a:

1. Peso propio de la estructura y todos los elementos que se encuentran sobre ella.

2. La tensión mecánica de conductores, de acuerdo con las exigencias meteorológicas definidas en los Pliegos RPTD N°10 y RPTD N°11.

3. Las conexiones con otras estructuras, altas o bajas, dentro de la subestación.

4. Otras solicitaciones según proyecto.

Artículo 176 Solicitación Sísmica (E) para el diseño de Estructuras Altas de Subestaciones

Si el peso de los Equipos, y todos sus accesorios es menor al 25% del peso total combinado de la Estructura Alta y los Equipos, no será necesario realizar un análisis sísmico del conjunto "Equipo + estructura", pudiendo diseñarse la Estructura Alta mediante análisis estático de acuerdo con lo señalado en el Artículo 178.

De ser el peso de los Equipos, y todos sus accesorios, mayor o igual al 25% del peso total combinado, la Estructura Alta se deberá diseñar mediante un análisis dinámico del conjunto "Equipo + estructura" de acuerdo con lo señalado en el Artículo 179.

Artículo 177 Nivel Basal para el diseño de Estructuras Altas de Subestaciones

Para el Diseño Sísmico de la Estructura Alta, el Nivel Basal será en general el nivel superior del terreno.

El Diseñador deberá evaluar si la rigidez del vástago de la fundación, que está por sobre el nivel de terreno, permite despreciar o no las fuerzas de inercia sísmicas. De no existir fuerzas de inercia relevantes, se podrá considerar que el Nivel Basal para el Diseño Sísmico de la Estructura Alta es el coronamiento de la fundación.

Artículo 178 Fuerza sísmica de diseño de Estructuras Altas de Subestaciones para peso de Equipos menores al 25% del peso total combinado

En este caso, es suficiente con considerar para la definición del Estado de Carga Sísmica **"E"** lo siguiente:

1. Aceleración Basal del suelo **"A_0"** según zonificación sísmica correspondiente a la instalación, de acuerdo con el Artículo 101.

2. Fuerza sísmica estática sobre el Equipo, de acuerdo a lo señalado en el Artículo 173, considerando el Factor de Modificación de la Respuesta **"R"** y la Razón de Amortiguamiento **"ξ"** propios de la Estructura Alta según Tabla 4 y según Tabla 5 respectivamente.

3. Factor de Importancia **"I_E"** del Equipo según Tabla 4.

4. Fuerza sísmica estática sobre la Estructura Alta, de acuerdo con lo definido en el Título XXVII sin verificación de la Frecuencia Fundamental.

Para el caso particular de Estructuras Altas reticuladas de acero, alternativamente a lo señalado en el numeral 4 precedente, cuando se consideren las fuerzas sísmicas debido al Equipo, señaladas en el numeral 2 precedente, sin reducir, es decir con Factor de Modificación de la Respuesta de R=1, y una Razón de Amortiguamiento de 2%, no será necesario incluir la solicitación sísmica sobre la Estructura Alta en el diseño.

Artículo 179 Fuerza sísmica de diseño de Estructuras Altas de Subestaciones para peso de Equipos mayores o igual al 25% del peso total combinado

En este caso, el Estado de Carga Sísmica **"E"** se deberá calcular para el conjunto "Equipo + estructura" de acuerdo con lo siguiente:

1. Aceleración Basal del suelo **"A_0"** según zonificación sísmica correspondiente a la instalación de acuerdo con el Artículo 101.

2. Fuerza sísmica dinámica definida en el Título XXVIII, Factor de Modificación de la Respuesta **"R"** y Razón de Amortiguamiento **"ξ"** propios de la Estructura Alta según Tabla 4 y según Tabla 5 respectivamente.

3. Factor de Importancia **"I_E"** del Equipo, según Tabla 4.

4. Peso de la Estructura Alta con todos sus accesorios más la suma del peso de todos los Equipos, y sus accesorios, que se coloquen sobre ella.

Artículo 180 Solicitaciones propias de la Estructura Alta de Subestaciones simultáneas con el Sismo de Diseño

El Sismo de Diseño se deberá considerar actuando simultáneamente con la condición normal de operación de la instalación de acuerdo con lo siguiente:

1. Conductores a tensión mecánica normal, donde la tensión mecánica normal es la que le corresponde según la definición propia del Proyecto.

2. Condiciones meteorológicas correspondientes a la definición de tensión mecánica normal del proyecto, solicitaciones CAs definida en el Artículo 30.

3. Viento mínimo, correspondiente a la condición de "0,25 veces la presión de viento máxima" (25%) definida para dicho proyecto, cuando el viento correspondiente a la condición señalada en el numeral 2 precedente sea menor. La presión de viento máximo es parte de las definiciones del proyecto de acuerdo con las cláusulas 5.16.5 del Pliego RPTD N°10 y 5.8 del Pliego RPTD N°11.

Artículo 181 Combinaciones de carga para el diseño de Estructuras Altas de Subestaciones:

Las combinaciones de carga a considerar son las propias de la funcionalidad de la Estructura Alta, para condición normal de operación más la condición sísmica.

Las combinaciones de carga que se señalan a continuación son las equivalentes a las definidas en el Artículo 32, para esta situación:

1. Método de Diseño por Tensiones Admisibles

$CS3$: $CP + E + COs + T + 0{,}6 * FC + CAs + CNOP$

2. Método de Diseño por Estados Límites Últimos

$CU3$: $1{,}2 * CP + 1{,}4 * E + 1{,}2 * COs + 1{,}2 * T + 1{,}2 * 0{,}6 * FC + 1{,}6 * CAs + 1{,}2 * CNOP$

$CU5$: $1{,}0 * CP + 1{,}4 * E + 1{,}2 * COs + 1{,}2 * T + 1{,}2 * 0{,}6 * FC + 1{,}6 * CAs + 1{,}2 * CNOP$

Donde:

CP: Carga Permanente debido al Equipo y sus accesorios y, debido a la Estructura Alta.

E: Solicitación Sísmica sobre el Equipo según Artículo 173 + Solicitación Sísmica sobre la Estructura Alta según Artículo 178, o Solicitación Sísmica sobre el conjunto "Equipo + Estructura Alta" según Artículo 179, según corresponda.

COs: Solicitación sobre el Equipo debido a las cargas de operación simultáneas con el Sismo de Diseño según Artículo 27.

T: Solicitación sobre el Equipo debido a las cargas de conexiones simultáneas con el Sismo de Diseño ("Tirón") según Artículo 28.

FC: Solicitación sobre el Equipo debido a las cargas de cortocircuito según Artículo 29.

$CNOP$: Cargas debido a los conductores en la Estructura Alta para la condición normal de operación según Artículo 180.

CAs: Condición meteorológica sobre el Equipo y la Estructura Alta, correspondiente a la condición normal de operación según Artículo 180.

La condición normal de operación de CNOP, es una solicitación normal. El factor de 1,2 señalado para CNOP, corresponde al factor definido para cargas eventuales en el Pliego RPTD N°11 debido a la eventualidad de la Solicitación Sísmica. Sin embargo, el valor de 1,2 deberá ser mayor si la definición de cargas eventuales que tenga el proyecto en particular así lo señale.

Artículo 182 Diseño de la Estructura Alta de Subestaciones

El diseño de las Estructuras Altas de Subestaciones se deberá realizar de acuerdo con los mismos criterios y exigencias de diseño de las estructuras de líneas de transmisión, considerando como estado de carga adicional la combinación sísmica definida en el Artículo 181, y los siguientes requisitos:

1. Sección local donde se fija el Equipo.

   El diseño particular de la sección local donde se fija el Equipo se deberá realizar de acuerdo con lo señalado en el Artículo 174.

2. Desplazamientos máximos.

   Para el estado de carga de sismo, los desplazamientos máximos en la Estructura Alta correspondientes a la fuerza sísmica sin reducir, es decir considerando un Factor de Modificación de la Respuesta de R=1, deberán cumplir con las siguientes exigencias:

Tipo de Elemento	Desplazamiento	Elemento donde se ubican Equipos	Elemento donde solo llegan conductores
Vertical	Horizontal	H / 100	H / 50
Horizontal	Horizontal	L / 200	L / 100
	Vertical	L / 200	L / 100

Tabla 20: Desplazamientos máximos para estado de carga de sismo

Donde:

H: Altura del elemento vertical (pilar, columna, otro similar) por sobre la fundación y hasta el nivel que se requiere evaluar (nivel del elemento horizontal).

L: Distancia libre del elemento horizontal (viga, cruceta, otro similar) entre los puntos de fijación al soporte vertical.

La exigencia de cumplimiento de estos desplazamientos máximos es complementaria a la exigencia de cumplimiento de desplazamientos máximos definidos en las normativas propias de diseño de las Estructuras Altas.

Independiente de lo señalado en el presente Artículo, es responsabilidad del Propietario informar oportunamente al Diseñador de la Estructura Alta de las limitaciones de desplazamientos, giros, deformaciones u otros que pueda requerir el Equipo que se instala en la Estructura Alta, para su correcta operatividad de acuerdo con lo señalado en el Artículo 174.

3. Diseño de los Sistemas de Anclaje a la fundación.

   Para el estado de carga de sismo, el diseño de los Sistemas de Anclaje de la estructura a la fundación deberá cumplir con lo siguiente:

   i. Los requisitos señalados en el Título XXX.

   ii. Solicitación sísmica reducida considerando un Factor de Modificación de la Respuesta **"R"** de:

      a. R = 2, cuando el Factor R de la Estructura Alta es R ≥ 2.

      b. R de la Estructura Alta, cuando el Factor es R < 2.

      c. R = 1, cuando el Sistema de Anclaje sea con pernos post-instalados.

Artículo 183 Diseño de Estructuras Altas de Subestaciones con Equipos suspendidos o colgados

De acuerdo con el Artículo 84, se entiende por Equipos suspendidos o colgados a aquellos Equipos que cuelgan libremente de la parte inferior de las vigas de las Estructuras Altas de Subestaciones y estructuras similares, mediante Elementos Flexibles que permiten el movimiento libre del Equipo.

Dependiendo de la flexibilidad o rigidez del Sistema de Fijación del Equipo a la viga y, de la cantidad y peso del Equipo con respecto a la Estructura Alta, el comportamiento sísmico natural de la Estructura Alta (sin Equipos) puede ser modificado, con lo cual, el diseño de la Estructura Alta deberá ser diferente:

1. Si el sistema de fijación es flexible y el peso de los Equipos colgados es menor al 25% del peso total combinado de la Estructura Alta y los Equipos, bastará con diseñar la Estructura Alta de acuerdo con sus propias solicitaciones y criterios de diseño, considerando solo el peso adicional del Equipo sobre la viga, así como otras cargas no sísmicas sobre el Equipo.

2. Si el sistema de fijación es flexible y el peso de los Equipos es mayor o igual al 25% del peso total combinado de la Estructura Alta y los Equipos, el Diseñador de la Estructura Alta deberá evaluar si esta condición puede o no modificar el comportamiento sísmico natural que tiene la Estructura Alta sin Equipos.

   i. Si no hay modificación del comportamiento sísmico natural, el diseño de la Estructura Alta se puede realizar de acuerdo con lo señalado para el caso 1 precedente.

   ii. Si hay modificación del comportamiento sísmico natural, el diseño de la Estructura Alta se deberá realizar considerando la solicitación sísmica de acuerdo con lo señalado en Artículo 179.

3. Si el sistema de fijación es rígido, entonces el Equipo no está suspendido. En tal caso, el diseño de la Estructura Alta se deberá realizar de acuerdo con lo señalado en los Artículos precedentes del presente Título.

La ubicación del Equipo colgado en la Estructura Alta deberá tener en cuenta el desplazamiento de éste durante la solicitación sísmica, producto de la flexibilidad de su sistema de fijación, limitando sus desplazamientos mediante los chicotes de conexión eléctrica, en caso de ser necesario, para cumplir con las distancias eléctricas que corresponda.

Artículo 184 Diseño de estructura de líneas de transmisión

El diseño de las estructuras de líneas de transmisión deberá tener en cuenta las solicitaciones debido al peso y tensión mecánica de conductores, según las exigencias meteorológicas, tipo de solicitaciones, y criterios de diseño definidos en el Pliego RPTD N°11.

Cuando sobre una estructura de línea de transmisión se instalen Equipos Eléctricos, que estén sujetos a las exigencias sísmicas descritas en este Anexo, tanto el diseño del Equipo como el diseño de la estructura de línea se deberá realizar de acuerdo con lo señalado para Estructuras Altas de Subestaciones, descrito en los Artículos precedentes de este mismo Título.

Independiente de lo anterior, para el caso de estructuras especiales, aun cuando sobre éstas no se instalen Equipos, el Diseñador deberá evaluar si la solicitación sísmica puede o no ser una solicitación de diseño según sean las particularidades de la estructura especial.

Además de lo señalado en los incisos anteriores, en la definición del trazado de la línea y en la ubicación de sus estructuras, se deberán considerar otros efectos debido al Sismo de Diseño que puedan afectar la seguridad de la Línea, tales como, deslizamientos de suelo, rodados y licuefacción de suelos, entre otros.

Artículo 185 Diseño de estructura de soporte de antenas

En el diseño de Estructuras de Soporte de Antenas y otras estructuras de comunicaciones similares, la solicitación sísmica podrá o no ser relevante según sean las características propias de la estructura, la condición meteorológica de diseño, los Equipos que deba o no soportar y/o su lugar de ubicación, lo que deberá ser analizado por el Diseñador.

Para este tipo de estructuras, la solicitación sísmica definida en el presente Título se deberá considerar solamente si, los Equipos que tiene instalados la estructura corresponden a los Equipos del tipo que deberán cumplir con las exigencias sísmicas definidas en el presente Anexo.

Independiente del Espectro de Diseño que se defina para este tipo de estructuras, el Diseño Sísmico deberá considerar que los desplazamientos máximos, calculados con las fuerzas sísmicas sin reducir, no comprometan el funcionamiento de los sistemas de comunicaciones, especialmente para aquellos casos que deberán mantener la comunicación operativa durante el Sismo de Diseño.

Cuando el sistema de comunicaciones requiere estar operativo durante o inmediatamente después del Sismo de Diseño, entonces las solicitaciones para el Diseño

Sísmico de la torre de antena deberán corresponder también a la fuerza sísmica sin reducir, es decir, considerado un Factor de Modificación de la Respuesta de R=1.

Las antenas y otros Equipos de comunicaciones que se ubican sobre estas estructuras, no forman parte de los Equipos que deberán cumplir las exigencias sísmicas del presente Anexo. De lo anterior, salvo que las Especificaciones Particulares del Proyecto señalen otra cosa, de tener que considerarse la solicitación sísmica sobre este tipo de estructuras, será suficiente considerar el Espectro de Diseño de la norma NCh 2369, para un Factor de Importancia I=1,2 y los valores de Factor de Modificación de la Respuesta **"R"** y la Razón de Amortiguamiento **"ξ"** señalados en la Tabla 4 y Tabla 5 respectivamente.

La determinación de la solicitación sísmica para las Estructuras de Soporte de Antenas se deberá realizar con el mismo criterio señalado para las Estructuras Altas de Subestaciones, es decir, Sismo de Diseño sobre la estructura en Condición Normal de Operación (CNOP), considerando la combinación de cargas como eventual. En tal caso, el Factor de Mayoración para CNOP señalado en el Artículo 181, para Diseño por Estados Límites Últimos se deberá reemplazar por el que se defina para el proyecto.

Artículo 186 Diseño de fundaciones

El diseño de las fundaciones deberá cumplir con los requisitos de resistencia y estabilidad definidos en el Título XXXI, ya sean Estructuras Altas de Subestaciones, estructuras de líneas o Estructuras de Soporte de Antenas, independiente de si la solicitación sísmica definida en el presente Título es una solicitación que controle el diseño o no.

TÍTULO XXXV REQUISITOS SÍSMICOS PARA OTRAS OBRAS CIVILES DENTRO DE SUBESTACIONES

Artículo 187 Alcance

El alcance de este título comprende el Diseño Sísmico de obras civiles de subestaciones eléctricas, tales como: salas de mando, salas y casetas de control, salas y casetas de baterías/celdas/BESS, salas GIS, muros cortafuego, tanques y otras obras civiles incluyendo sus respectivas fundaciones.

Se excluyen de este Título las fundaciones de Equipos, las de Estructuras de Soporte de Equipos y las de Estructuras Altas, fundaciones cuyos Requisitos Sísmicos están señalados en otros Artículos del presente Anexo.

Las obras civiles a las que se refiere esta sección se deberán diseñar sísmicamente de acuerdo con los requisitos del presente Artículo y lo señalado en los siguientes documentos cuando aplique:

1. Norma NCh 2369 para el diseño de las obras civiles.

2. Manual de Carreteras Volumen 3, para la determinación de las solicitaciones debido al empuje del suelo en el diseño de obras subterráneas tales como muros, túneles, canaletas y similares.

Estas obras civiles podrán ser de albañilería, hormigón armado, elementos prefabricados, estructura metálica u otros tipos de materiales, de modo que cumplan el propósito funcional requerido y soporten adecuadamente todas las solicitaciones a las que se verán sometidas.

El diseño de estas obras civiles deberá cumplir con los requisitos sísmicos señalados en este Título, además de los requisitos establecidos en otras normas, nacionales y/o internacionales, propias de este tipo de instalaciones, los que podrán tener exigencias de diseño mayores que las señaladas en el presente Artículo.

El Diseño Sísmico de las obras civiles a las que aplica el presente Título deberán ser aprobados por el Revisor Sísmico definido en el presente Anexo.

Artículo 188 Solicitación sísmica de diseño

El Diseño Sísmico de estas obras civiles se realizará de acuerdo con los parámetros particulares correspondientes al proyecto y los siguientes requisitos:

1. Aceleración Basal del suelo según lugar de ubicación de la subestación y la zonificación de la norma NCh 2369.

2. Tipo de suelo, según clasificación de la norma NCh 2369, que se señale en el Informe de Mecánica de Suelos del proyecto.

3. Espectro de Respuesta y aceleración vertical según lo definido en la norma NCh 2369.

4. Razón de Amortiguamiento **"ξ"**, señalado en la norma NCh 2369, según el tipo de estructuración y/o material con que se diseñe la obra civil.

5. Factor de Importancia **"I"** definido en el Artículo 189 del presente Anexo.

6. Factor de Modificación de la Respuesta **"R"** definido en el Artículo 190 del presente Anexo.

7. Empuje Sísmico sobre estructuras u obras subterráneas según el Manual de Carreteras Volumen 3, cuando corresponda.

8. Tipo de análisis según lo definido en la norma NCh 2369.

Artículo 189 Factor de Importancia "I"

La siguiente tabla define los valores de Factor de Importancia **"I"** para ser utilizados en la determinación de la solicitación sísmica de las obras civiles correspondientes al presente Título.

Obra Civil		"I"
1	Salas de comando, salas y casetas de control, salas GIS, salas eléctricas y otras similares	1,2
2	Muros cortafuegos Sin Equipos en su parte superior Con Equipos en su parte superior	 1 1,2
3	Tanques de agua del sistema contra incendio	1,2
4	Foso recolector de aceite, foso separador agua-aceite, pileta recolectora.	1
5	Canalizaciones eléctricas (trincheras, canaletas y similares)	1
6	Túneles para cables de poder y muros de contención	1,2

*Tabla 21: Factores de Importancia **"I"** para obras civiles*

Los factores de Importancia **"I"** para otras obras civiles deberán ser definidos por el Diseñador, pero en ningún caso podrán ser menores que los que se señalen en la norma NCh 2369 para obras civiles similares, ni menores a I=1.

Artículo 190 Factor de Modificación de la Respuesta "R"

La elección del Factor de Modificación de la Respuesta **"R"**, que se utilizará para reducir la solicitación sísmica en el diseño de estas obras civiles, deberá tomar en cuenta a lo menos las siguientes condiciones:

1. Capacidad de disipación de la energía sísmica del material elegido.

2. Capacidad de disipación de la energía sísmica de la estructuración definida.

3. Capacidad de disipación de la energía sísmica de las uniones de la obra civil (uniones viga/muro, viga/columna, losa/muro, losa/columna, entre otros.)

4. La necesidad de operatividad de la obra civil inmediatamente después del Sismo de Diseño.

Las obras civiles que requieran de continuidad de operación inmediatamente después de ocurrido el Sismo de Diseño se deberán diseñar con un Factor $R \leq 3$.

Las obras civiles que no requieran de continuidad de operación inmediatamente después de ocurrido el Sismo de Diseño podrán diseñarse con factores **"R"** mayores a 3, pero en ningún caso mayores a los señalados en la norma NCh 2369, siempre y cuando se cumplan copulativamente los siguientes requisitos:

1. La obra civil tiene redundancias de resistencia sísmica.
2. La eventual falla de la obra civil no compromete la operatividad de alguna parte esencial de la subestación.
3. Las faenas de reparación de la obra civil no comprometen la operatividad de la subestación o parte de ella.
4. El tiempo en que la obra civil estará fuera de servicio no comprometen la operatividad de la subestación o parte de ella.

Para efectos de la elección de los Factores **"R"**, se deberá tener en consideración la ubicación de las subestaciones, dado que estas pueden estar alejadas de centros urbanos, por lo que se deberá tener en cuenta estas situaciones particulares para la evaluación de la real factibilidad de reparación y del tiempo de reparación de la obra civil, en la elección de los factores **"R"** de Diseño Sísmico.

Artículo 191 Requisitos de diseño

El Diseño Sísmico para este tipo de obras civiles se deberá realizar de acuerdo con el Factor de Importancia definido en el Artículo 189 precedente, el Factor de Modificación de la Respuesta **"R"** definido en el Artículo 190 precedente y las condiciones de diseño señaladas en la norma NCh 2369, incluyendo sus exigencias de ductilidad cuando corresponda, independiente del valor del Factor **"R"** que se haya elegido para el diseño.

Para la determinación del empuje de suelo sobre obras subterráneas se deberá considerar lo señalado en el Manual de Carreteras Volumen 3.

Artículo 192 Requisitos generales para el diseño de obras civiles de subestaciones eléctricas

El diseño de las obras civiles de las subestaciones deberá tomar en cuenta, además de las cargas sísmicas y de las condiciones medio ambientales y/o meteorológicas, las solicitaciones propias del servicio que presta dicha obra en la subestación, como por ejemplo:

1. Peso de los Equipos, cables, celdas, sistemas de acondicionamiento de aire, sistemas de detección y/o extinción de incendio y otros servicios en el interior de las salas y casetas de control.

2. Sobrecarga de piso de 600 kg/m^2 simultánea con la solicitación sísmica de diseño para salas eléctricas y edificios. Para este valor de sobrecarga de piso se deberá considerar que el parámetro **"a"** de reducción de la sobrecarga de uso utilizado en la norma NCh 2369 es a = 0,50.

3. Las solicitaciones debido al peso de escalerillas y cables en el interior de túneles y trincheras.

4. Las solicitaciones debido al peso de los soportes de los cables de poder en túneles y trincheras.

5. Las solicitaciones debido al empuje de suelo en estructuras u obras subterráneas, según lo indicado en el Manual de Carreteras Volumen 3 cuando corresponda.

6. Las solicitaciones debido al peso y las cargas dinámicas del puente grúa. Para determinar estas solicitaciones se deberá utilizar la norma NCh 1537. Se podrá utilizar justificadamente otra normativa siempre que permita dar cumplimiento a los objetivos de este Anexo.

7. Las cargas debidas al peso y esfuerzos adicionales de los sistemas contra incendio y otras estructuras y/o Equipos apoyados en los muros cortafuego.

8. Otros.

Adicionalmente, para las pasadas de ductos, se deberán evaluar los desplazamientos relativos entre el ducto y el muro de modo de que no haya interferencia y/o definir la utilización de dispositivos absorbedores de desplazamientos según corresponda.

En el diseño de bancos de ductos y otras obras de hormigón que contengan cables eléctricos de fuerza se deberá evitar la conformación de lazos cerrados de enfierradura, con el propósito de impedir la circulación de corrientes eléctricas inducidas que puedan afectar la armadura.

Artículo 193 Combinaciones de carga

Se deberán considerar las combinaciones de carga definidas en la norma NCh 2369.

Sin perjuicio de lo anterior, se deberá tener presente que la solicitación sísmica es una carga eventual que no es necesario superponer a otras cargas eventuales. Para ubicaciones especiales, tales como, áreas montañosas y zonas altas, en que puede haber normalmente viento o nieve de gran magnitud y duración, el Diseñador deberá evaluar la magnitud de estas cargas que deberán considerarse simultaneas con la solicitación sísmica de diseño.

En aquellos casos en que las normativas nacionales vigentes no permitan determinar las solicitaciones debido a condiciones meteorológicas, será el Propietario quien deberá definirlas como parte de las condiciones de diseño del proyecto de acuerdo con lo señalado en los Pliegos RPTD N°10 y RPTD N°11.

Es responsabilidad del Diseñador establecer la lista de las combinaciones de cargas críticas para el diseño estructural, debiendo ellas ser siempre físicamente posibles y razonablemente probables.

Artículo 194 Diseño de muro corta fuego

El propósito del muro cortafuego es evitar la propagación de un eventual incendio en el banco de transformadores, banco de reactores o similares, a los Equipos o instalaciones vecinas.

El diseño del muro cortafuego deberá cumplir con el plano de disposición del proyecto, con las dimensiones mínimas señaladas en las especificaciones del proyecto, y deberá tomar en cuenta todas las solicitaciones de carácter permanente a las que puedan estar sometidos los muros, tales como:

1. Cañerías del sistema contra incendios.
2. Tableros de control.
3. Soporte de ductos de barra.
4. Pasadas de ductos de barra.
5. Otros similares.

En caso de considerar cañerías del sistema contra incendio apoyadas sobre los muros, se deberán considerar uniones flexibles en lugares adecuados para evitar eventuales daños al sistema contra incendio.

Independiente de si el muro cortafuego tiene o no Equipos, la solicitación sísmica para el diseño del muro deberá considerar que el Nivel Basal corresponde al nivel superior del terreno, es decir, la masa sísmica correspondiente a las secciones del muro y otros accesorios que estén sobre el nivel de terreno.

1. Limitación de desplazamientos.

   El desplazamiento del muro deberá cumplir con los siguientes requisitos:

   i. Parte superior del muro: $\Delta \leq 0{,}015 * H$

   ii. Parte del muro donde se ubica el Equipo: $\Delta 1 \leq 0{,}002 * H1 \leq 2{,}5$ [cm]

   Donde:

   H: Altura del muro por sobre la fundación.

   Δ: Desplazamiento horizontal en cualquier dirección.

   H1: Altura en el muro, por sobre la fundación, donde se ubica el Equipo.

   $\Delta 1$: Desplazamiento horizontal, en cualquier dirección, en el punto de apoyo del Equipo.

   Los desplazamientos debido a la solicitación sísmica corresponden a la fuerza sísmica sin reducir, es decir considerando un Factor de Modificación de la Respuesta de R=1.

2. Rigidez.

   Independiente de lo señalado en el número 1 precedente, en el caso que se proyecten ductos de barra que se apoyen en el muro cortafuego y/o que lo traspasen, el Fabricante de los ductos deberá informar las deformaciones admisibles y el Diseñador del muro cortafuego deberá considerar la rigidez que permita cumplir con esas deformaciones.

   En caso contrario, se deberá diseñar una estructura independiente para los ductos que se encuentre dilatada del muro cortafuego.

   Un análisis similar se deberá realizar para compatibilizar los desplazamientos sísmicos del muro y los de las uniones flexibles de las eventuales cañerías del sistema contra incendio que se apoyan en el muro.

3. Fundaciones.

   La fundación del muro cortafuego deberá cumplir con los requisitos de resistencia y estabilidad definidos en el Título XXXI.

4. Equipos montados sobre el muro cortafuego.

   De ser necesaria la colocación de Equipos por sobre la mitad de la altura del muro cortafuego, los Requisitos Sísmicos para ese Equipo son los definidos en el Título correspondiente, considerando un Factor de Amplificación Kh = 3,0.

   El diseño del muro para esta situación deberá considerar todas las solicitaciones simultáneas con el Sismo de Diseño que tiene el Equipo, definidas en el Título VI y deberá cumplir con el desplazamiento máximo señalado en el número 1 precedente.

Para el caso de subestaciones donde posteriormente se requiera instalar Equipos Eléctricos sobre muros cortafuegos existentes, de no cumplirse con el desplazamiento máximo señalado en el número 1 precedente, se deberá realizar un análisis para evaluar la amplificación de aceleraciones que tendrá el Equipo en esta situación, análisis que deberá definir el Factor de Amplificación **"Kh"**, el cual deberá ser como mínimo 3,0.

El diseño del Sistema de Anclaje del Equipo al muro se deberá realizar de acuerdo con lo señalado en el Título XXX considerando la solicitación sísmica amplificada que tendrá en esta condición.

Artículo 195 Diseño de salas eléctricas, casetas de control y otras edificaciones similares

El diseño de este tipo de instalaciones deberá tener presente las solicitaciones propias de su funcionalidad y todas las cargas permanentes y no permanentes de los Equipos que albergan.

Los materiales de este tipo de instalaciones deberán ser los adecuados para cumplir los requisitos impuestos por los Equipos instalados en su interior, tales como, impermeabilización, aislación térmica, aislación acústica, sellado, protección contra fuego, entre otros.

Cuando se considere la instalación de Equipos Eléctricos en niveles superiores al nivel de terreno dentro de este tipo de edificaciones, el diseño de estos Equipos y sus Sistemas de Anclaje se deberá realizar de acuerdo con lo siguiente:

1. Diseño del Equipo.

   Deberá utilizar la solicitación sísmica sobre el Equipo de acuerdo con lo señalado en el Título correspondiente y considerando que los Factores de Amplificación **"Kh"** y **"Kv"** son los señalados en el Título XXII. Será responsabilidad del Propietario la definición oportuna al Proveedor o al Fabricante del Equipo, según corresponda, de los Requisitos Sísmicos que deberá tener el Equipo y su Sistema de Fijación o Anclaje para esta situación.

2. Sistema de fijación o anclaje del Equipo.

   Deberá utilizar los requisitos del Artículo 124 si el Equipo se fija a una estructura de soporte o los requisitos del Título XXX si el Equipo se ancla a su fundación o a columnas/pedestales de hormigón armado.

3. Será responsabilidad del Diseñador del Equipo, el diseño del Sistema de Fijación o Anclaje de éste, ya sea del Equipo a la estructura de soporte (fijación) o del Equipo al piso o losa (anclaje), según corresponda.

4. Si el Equipo se ancla directamente a la fundación, el Diseñador del Equipo deberá definir cantidad, diámetro y calidad (definición de material) de los pernos de anclaje del Equipo a la fundación, así como cualquier otro elemento que sea necesario para el montaje del Equipo. Si los pernos de anclaje son pre-instalados (embebidos en el hormigón), no será necesario definir su longitud.

La responsabilidad del Diseñador de la Fundación respecto del Sistema de Anclaje se limita a incluir como parte de los planos de la fundación, el plano de disposición de los Sistemas de Anclajes suministrado por el Proveedor del Equipo, diseñar los elementos que deberán quedar embebidos en el hormigón, definir la longitud de los pernos de anclaje cuando estos son pre-instalados, y a realizar las verificaciones que muestran que el comportamiento de los modos de falla en el hormigón del Sistema de Anclaje son consistente con los requisitos de comportamiento establecidos en el presente Anexo.

5. Si el Equipo se apoya en una estructura de soporte, será responsabilidad del Diseñador de la Estructura de Soporte el diseño del Sistema de Anclaje de la estructura al piso o losa.

6. En el caso de Pisos Técnicos Elevados, ver Artículo 90.

7. En el caso de Equipos BESS, ver Artículo 89.

Independiente de lo señalado en el párrafo anterior, el Diseño Sísmico del edificio/sala/caseta deberá considerar el peso y el comportamiento sísmico de dichos Equipos Eléctricos, así como sus cargas de operación cuando corresponda, de acuerdo con los requisitos de diseño señalados en el Artículo 191 y en la norma NCh 2369.

Las fundaciones se deberán diseñar con las reacciones obtenidas del diseño del edificio/sala/caseta y deberán cumplir con los requisitos de resistencia y estabilidad definidos en el Título XXXI, o los requisitos señalados en el Capítulo de Fundaciones de la norma NCh 2369, lo que resulte más exigente.

Artículo 196 Diseño de salas para Equipos GIS interiores

La sala para los Equipos GIS interiores deberá proteger el Equipo contra las condiciones medio ambientales y meteorológicas propias del lugar de instalación, y deberá ser capaz de resistir las solicitaciones del puente grúa, cuando corresponda.

El diseño deberá tomar en cuenta todos los ductos y túneles necesarios para el correcto funcionamiento del Equipo GIS de acuerdo con la definición del plano de disposición del Proyecto.

Para evitar que se traspasen esfuerzos desde los muros de la sala a los ductos de la GIS, estos ductos deberán pasar en voladizo o apoyados en soporte deslizante y se sellarán con una junta elástica.

Cuando se considere la instalación de Equipos Eléctricos en niveles superiores al nivel de terreno dentro de este tipo de salas, el Diseño Sísmico de estos Equipos y el Diseño Sísmico de la sala GIS se deberá realizar como se indica en el Artículo 195. Las fundaciones se deberán diseñar con las reacciones obtenidas del diseño de la sala y deberán cumplir con los requisitos de resistencia y estabilidad definidos en el Título XXXI, o los requisitos señalados en el Capítulo de Fundaciones de la norma NCh 2369, lo que resulte más exigente.

La fundación de la Sala GIS deberá estar preferentemente dilatada con respecto a la fundación del Equipo GIS. En caso de que no sea factible el diseño dilatado, el diseño

completo de las fundaciones se deberá realizar de acuerdo con los requisitos para la fundación del Equipo GIS señalados en el Título XXXII.

Artículo 197 Diseño de sistemas colectores de aceite

El sistema colector de aceite tiene como propósito contener el aceite de autotransformadores, transformadores o reactores, en adelante "transformadores", para evitar filtraciones al terreno circundante.

El sistema colector puede constar de una o varias de las siguientes partes:

1. Pileta receptora de agua-aceite: su propósito es confinar el aceite y el agua proveniente del transformador y de su sistema contra incendio, para canalizarlo al foso separador-colector de agua/aceite.

2. Foso separador agua-aceite: su propósito es separar el aceite del agua antes de enviar el agua a los fosos de infiltración y el aceite al depósito de aceite respectivamente.

3. Foso recolector: su propósito es almacenar el agua y el aceite antes de su disposición final.

4. Ductos de canalización de líquidos.

5. Cámaras de inspección de líquidos.

Para cumplir con el propósito del sistema colector, el Diseño Sísmico de sus partes deberá cumplir con los siguientes requisitos generales:

1. Todas las superficies en contacto con líquido interior deberán ser estancas, incluso después del Sismo de Diseño. En el caso que las obras de hormigón armado no tengan revestimiento para estanqueidad en su interior, su diseño además deberá cumplir con lo señalado en el Artículo 199.

2. Todas las superficies expuestas al contacto con aceite deberán ser impermeabilizadas con pintura resistente al aceite a altas temperaturas.

3. Las conexiones de los ductos de entrada y salida deberán ser totalmente herméticas, y no se deberán producir filtraciones desde el terreno circundante hacia las piletas o fosos, ni desde el foso hacia el terreno.

En el caso particular de los fosos, el diseño deberá considerar la solicitación producto del empuje en reposo y del empuje sísmico sobre las paredes del foso, según lo indicado en el Manual de Carreteras Volumen 3. El diseño deberá considerar la situación con mayor probabilidad de ocurrencia simultánea con el Sismo de Diseño.

Artículo 198 Estanque de agua

El estanque de agua tiene como propósito disponer de un volumen suficiente de agua para el funcionamiento del sistema contra incendio, de acuerdo con las características definidas para el Proyecto.

El estanque de agua se deberá diseñar de acuerdo con lo señalado en el Capítulo de Estanques de la norma NCh 2369 y, deberá considerar que su superficie interior deberá ser estanca, incluso después del Sismo de Diseño.

En el caso que el estanque sea de hormigón armado y no tenga revestimiento para estanqueidad en su interior, su diseño además deberá cumplir con lo señalado en el Artículo 199.

En el caso de que el estanque sea enterrado, el empuje en reposo y el empuje sísmico sobre las paredes del estanque se deberá calcular de acuerdo con lo indicado en el Manual de Carreteras Volumen 3.

Artículo 199 Requisitos adicionales para obras de hormigón sin revestimiento para estanqueidad

En el caso de obras de hormigón armado cuya superficie interior no tenga revestimiento para estanqueidad, se deberán diseñar considerando un criterio de fisuración máxima de 0,3 mm en el cálculo de la armadura, fisuración que se deberá calcular considerando la fuerza sísmica sin reducir, es decir, considerando un Factor de Modificación de la Respuesta de R=1.

TÍTULO XXXVI DISPOSICIONES TRANSITORIAS

Artículo 200 Adecuaciones a las exigencias del Anexo Técnico

El presente Anexo entrará en vigor seis meses después de la fecha de publicación de su resolución exenta en el Diario Oficial, en aquellos ámbitos que corresponda, a fin de dar cumplimiento a lo establecido en el artículo 6 del Decreto N°316, del 07 de Julio de 2023, del Ministerio de Relaciones Exteriores. Para todos los demás ámbitos, este Anexo tendrá vigencia a partir de la fecha de publicación de su resolución exenta en el Diario Oficial, y aplicará a las instalaciones a las que se refiere su Artículo 2.

Para las instalaciones existentes a la fecha de publicación del presente Anexo no será necesario realizar adecuaciones derivadas de las exigencias del mismo. Tampoco deberán realizar adecuaciones derivadas de las exigencias de este Anexo, los siguientes proyectos:

1. Proyectos que cuenten con una solicitud de acceso abierto aprobada por el Coordinador en el proceso correspondiente, en conformidad a lo dispuesto en los artículos 79° y 80° de la Ley.

2. Las obras de expansión respecto de las cuales se haya efectuado el llamado a licitación.

3. Aquellas obras cuya ejecución se haya autorizado en conformidad al inciso segundo del Artículo 102° de la Ley, previo a la publicación del presente Anexo.

4. Las obras para las cuales el Coordinador ha emitido un Informe de Conexión Preliminar, respecto a una solicitud de conexión, con anterioridad a la entrada en vigencia del Anexo.

5. Las solicitudes de acceso abierto a instalaciones de los sistemas de transmisión dedicada, para las cuales el Coordinador hubiera emitido el Informe de Capacidad Técnica Disponible, con anterioridad a la entrada en vigencia del Anexo.

6. Los proyectos propios, por parte de los propietarios de instalaciones de los sistemas de transmisión dedicada, que tengan otorgada una consigna de fehaciencia, por parte del Coordinador, catalogando al proyecto como Clase A o B y, que tengan presentados los antecedentes de ingeniería por parte del propietario con una fecha anterior a la entrada en vigencia del presente Anexo.

Asimismo, las instalaciones señaladas en el segundo inciso de este Artículo, no estarán obligadas a entregar el Estudio Técnico establecido en el Artículo 201.

Artículo 201 Exención justificada a las exigencias del Anexo Técnico

Nuevas ampliaciones o nuevas modificaciones, realizadas a las instalaciones que se establecen en el inciso segundo del Artículo 200, les corresponde dar cumplimiento a todas las exigencias del presente Anexo conforme lo indica el Artículo 1 y Artículo 2.

Podrán excepcionalmente y de forma justificada, quedar exentas del cumplimiento de una o más disposiciones normativas establecidas en los Títulos anteriores, las nuevas ampliaciones o nuevas modificaciones señaladas en el inciso precedente en aquellos

casos que establece este artículo. Para ello, el Propietario de la instalación deberá presentar un Estudio Técnico que fundamente y justifique la imposibilidad de dar cumplimiento a las exigencias correspondientes.

Se consideran como casos debidamente justificados, aquellas ampliaciones o modificaciones que, para dar cumplimiento a las disposiciones del presente Anexo, requieran la ejecución de obras en estructuras de líneas o en la fundación de líneas y/o subestaciones existentes, siempre que dichas obras afecten a equipos distintos de los contemplados en el proyecto de ampliación o modificación.

En el caso de ampliaciones de instalaciones de transmisión destinadas a prestar servicio público eléctrico, conforme a lo establecido en el artículo 7° de la Ley, se considerarán como casos debidamente justificados aquellos en que, además de cumplir con la condición antes señalada, no se establezca explícitamente en los Decretos mencionados en el artículo 92° de la Ley que las obras de ampliación incluyen los trabajos necesarios para cumplir con el presente Anexo.

Para efectos de lo señalado en el inciso segundo del presente artículo, el Propietario deberá garantizar que las exigencias sísmicas de diseño para la nueva ampliación o modificación de la instalación sean, al menos, equivalente a las de la instalación previa a dichas obras, resguardando que no exista ningún deterioro de las características sísmicas de diseño de la instalación existente.

El Estudio Técnico, a que se refiere el inciso segundo de este artículo, deberá analizar los motivos justificados para no dar cumplimiento al presente Anexo y, comprobar que no se afecta las exigencias sísmicas de diseño de las instalaciones existentes. Además, deberá garantizar que las exigencias sísmicas de diseño de la ampliación o modificación sean, al menos, equivalentes a las de las instalaciones previas. Este estudio deberá ser validado por un Revisor Sísmico que deberá cumplir con los requisitos definidos en este Anexo, a excepción de lo dispuesto en los numerales 6 y 0 del Artículo 150.

Por último, el Estudio Técnico deberá ser enviado al Coordinador y a la Comisión Nacional de Energía para su revisión y elaboración de observaciones, si correspondiere.

La Comisión, en base a la información presentada por el Propietario, emitirá una resolución señalando las instalaciones que quedarán eximidas, parcial o totalmente, de dar cumplimiento al presente Anexo. La resolución deberá ser emitida de forma previa a la autorización de conexión a los sistemas de transmisión otorgada por el Coordinador, o autorización de uso de la capacidad técnica disponible en los sistemas de transmisión dedicada, según corresponda y de acuerdo con lo señalado en la Ley.

Artículo 202 Estudio del Estado de Situación de las instalaciones

Las instalaciones a las que se refiere el Artículo 2 y que son eximidas de dar cumplimiento al presente Anexo, conforme lo establecido el inciso segundo del Artículo 200 o el inciso segundo del Artículo 201, deberán presentar al Coordinador un Estudio del Estado de Situación de las instalaciones con respecto al cumplimiento del presente Anexo.

Dicho estudio deberá señalar explícitamente el grado de cumplimiento, respecto al presente Anexo, de los Equipos Eléctricos, las Estructuras de Soporte de Equipos, las Estructuras Altas, las fundaciones y las obras civiles correspondientes a las líneas y subestaciones eléctricas, que conforman las instalaciones identificadas en el Artículo 2.

La justificación de que la instalación o parte de ella cumple con las disposiciones del presente Anexo, deberá estar respaldada por la documentación señalada en el Artículo 203 y contar con la aprobación de un Revisor Sísmico. En este caso en particular, el Revisor Sísmico deberá cumplir con los requisitos definidos en este Anexo, a excepción de lo dispuesto en los numerales 6 y 0 del Artículo 15.

La responsabilidad y costo del Estudio del Estado de Situación será de los propietarios, arrendatarios, usufructuarios, o aquellos que exploten a cualquier título, la o las instalaciones. El estudio deberá realizarse de acuerdo con las exigencias señaladas en el presente Anexo y deberá ser presentado al Coordinador en los siguientes plazos, contados desde la entrada en vigencia establecida en el primer inciso del Artículo 200.

N°	Nivel de Tensión más elevada del Equipo	Instalación	Plazo [mes]
1	245 kV< "Um ≤ 550 kV	Todos los señalados en Artículo 2	24
2	170 kV ≤ "Um" ≤ 245 kV	STN	36
3	170 kV ≤ "Um" ≤ 245 kV	STZ	36
4	170 kV ≤ "Um" ≤ 245 kV	Otras	48
5	"Um" < 170 kV	Todos los señalados en Artículo 2	60

Tabla 22: Plazos para presentar Estudio del Estado de Situación.

El Coordinador tendrá un plazo de 12 meses para aceptar, solicitar complementar o rechazar fundadamente los estudios, desde la fecha en que son presentados por los Propietarios. Si el Coordinador realiza una solicitud de completitud al estudio, el Coordinado tendrá un plazo máximo de 6 meses para desarrollar dicha actividad. Posterior a la entrega del Estudio del Estado de Situación complementado, por parte del Coordinado, el Coordinador deberá aprobar o rechazar el estudio en un plazo máximo de 6 meses.

Artículo 203 Información de respaldo para el Estudio del Estado de Situación

Para la realización del Estudio del Estado de Situación de cada instalación, el Coordinado deberá disponer de la siguiente información de respaldo, la cual deberá ser entregada como Anexos al informe que corresponde al Estudio:

1. Memorias de cálculo correspondiente al Diseño Sísmico de los Equipos, incluyendo la identificación del método utilizado para determinar la solicitación sísmica de los Equipos.
2. Requisitos Sísmicos particulares para los cuales fueron diseñados los Equipos, cuando corresponda.

3. Memorias de cálculo correspondiente al Diseño Sísmico de estructuras de soporte que forman parte del diseño del Equipo, incluyendo el diseño de los anclajes a la fundación.
4. Estado de cumplimiento de las conexiones de los Equipos a la red.
5. Memorias de cálculo correspondiente al Diseño Sísmico de estructuras de soporte que no forman parte del diseño del Equipo, incluyendo el diseño de los anclajes a la fundación.
6. Memorias de cálculo correspondiente al Diseño Sísmico de las fundaciones de Equipos.
7. Modelos dinámicos del conjunto Equipo + estructura + fundación + suelo cuando la fundación no sea tradicional, incluyendo la evaluación de la interacción sísmica sobre el Equipo y sus conclusiones.
8. Listado de identificación de las Estructuras Altas y de las Estructuras de Soporte de Antenas de la instalación, identificando aquellas que tienen Equipos.
9. Memorias de cálculo correspondiente al Diseño Sísmico de las Estructuras Altas y/o de las Estructuras de Soporte de Antenas cuando corresponda.
10. Memorias de cálculo correspondiente al Diseño Sísmico de otras obras civiles dentro de la instalación.
11. Cualquier otro documento necesario para respaldar las conclusiones del Estudio.

Para aquellos casos en que parte de esta información no esté disponible, el documento correspondiente al Estudio del Estado de Situación lo deberá señalar claramente, identificando la instalación y el Elemento que no tiene documentación de respaldo para justificar su eventual cumplimiento.

Artículo 204 Instalaciones validadas mediante normativas extranjeras

Las instalaciones a las que aplica el Artículo 202, cuya totalidad o parte de ellas haya sido validada sísmicamente mediante otras normativas, ya sean nacionales o internacionales (IEEE 693, ETG 1.020 u otra), igualmente deberán realizar el Estudio del Estado de Situación señalado en este Anexo.

Artículo 205 Entrada en operación de proyectos eximidos de dar cumplimiento a las exigencias técnicas del presente Anexo

Los proyectos a los que hace referencia el inciso segundo del Artículo 200 y que aún no entrarán en operación a la fecha de publicación del presente Anexo, deberán presentar el Estudio del Estado de Situación previo a la entrada en operación del proyecto, solo la entrega del estudio permitirá dar cumplimiento a este requisito.

Si los proyectos indicados en el inciso anterior corresponden a ampliaciones o modificaciones, el Coordinado deberá presentar el Estudio del Estado de Situación de la instalación existente y de la ampliación o modificación que se está realizando, previo a la entrada en operación del proyecto.

Las solicitudes descritas en los incisos anteriores serán aplicables siempre que con ello no se vulnere, al alza o a la baja, los plazos establecidos en la Tabla 22.

Artículo 206 Entrada en operación de proyectos con exenciones

Todo proyecto que reciba una exención a las que se refiere el Artículo 201, deberán contar con un Estudio del Estado de Situación aprobado, previo a la entrada en operación del proyecto. Adicionalmente, el Coordinado deberá tener presentado el Estudio del Estado de Situación de la instalación existente.