CRITERIOS DE DISEÑO CIVIL

ÍNDICE

1. [OBJETIVO Y ALCANCE 5](#_bookmark0)
2. [NORMATIVA APLICABLE y documentos de consulta 5](#_bookmark1)
   1. [NORMATIVA NACIONAL 5](#_bookmark2)
   2. [NORMATIVA INTERNACIONAL 6](#_bookmark3)
   3. [DOCUMENTOS DE CONSULTA 7](#_bookmark4)
3. [DEFINICIONES 7](#_bookmark5)
   1. [FISCALIZACIÓN 7](#_bookmark6)
   2. [ESPECIFICACIONES TÉCNICAS 7](#_bookmark7)
   3. [LIBRO DE OBRA 7](#_bookmark8)
4. [CRITERIOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS 8](#_bookmark9)
   1. [MATERIALES 8](#_bookmark10)
      1. [ACERO ESTRUCTURAL 8](#_bookmark11)
      2. [PERNOS DE CONEXIÓN 8](#_bookmark12)
      3. [TUERCAS 8](#_bookmark13)
      4. [SOLDADURAS 8](#_bookmark14)
      5. [PERNOS DE ANCLAJE 9](#_bookmark15)
      6. [PERNOS QUÍMICOS 9](#_bookmark16)
   2. [SOLICITACIONES 9](#_bookmark17)
      1. [ESTRUCTURAS BAJAS DE PATIO 9](#_bookmark18)
      2. [ESTRUCTURAS ALTAS DE PATIO 10](#_bookmark19)
      3. [SOLICITACIONES DE MONTAJE Y MANTENIMIENTO 11](#_bookmark20)
   3. [METODOLOGÍA DE CÁLCULO 11](#_bookmark21)
      1. [ESTRUCTURAS BAJAS DE PATIO 11](#_bookmark22)
      2. [ESTRUCTURAS ALTAS DE PATIO 12](#_bookmark23)
   4. [DISEÑO DE ESTRUCTURAS 12](#_bookmark24)
      1. [MIEMBROS A COMPRESIÓN 12](#_bookmark25)
      2. [MIEMBROS A TRACCIÓN 13](#_bookmark26)
   5. [DISPOSICIONES DE DISEÑO 13](#_bookmark27)
      1. [ESPESORES MÍNIMOS 13](#_bookmark28)
      2. [CONEXIONES 14](#_bookmark29)
      3. [DISTANCIAS MÍNIMAS A BORDE 14](#_bookmark30)
      4. [VERIFICACIÓN DESPLAZAMIENTO MÁXIMO 15](#_bookmark31)
   6. [REFUERZO DE ESTRUCTURAS EXISTENTES 15](#_bookmark32)
5. [CRITERIOS DE DISEÑO DE FUNDACIONES EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS 15](#_bookmark33)
   1. [MATERIALES 15](#_bookmark34)
      1. [HORMIGÓN 15](#_bookmark35)
      2. [ACERO DE REFUERZO 16](#_bookmark36)
   2. [MECÁNICA DE SUELOS 16](#_bookmark37)
   3. [REQUISITOS GEOMÉTRICOS 17](#_bookmark38)
   4. [DISEÑO DE FUNDACIONES 18](#_bookmark39)
      1. [FUNDACIONES DE ESTRUCTURAS BAJAS 19](#_bookmark40)
      2. [FUNDACIONES DE ESTRUCTURAS ALTAS 19](#_bookmark41)
      3. [TIPOS DE FUNDACIÓN 19](#_bookmark42)
      4. [PERNOS DE ANCLAJE 19](#_bookmark43)
6. [DISEÑO SÍSMICO 20](#_bookmark44)
   1. [INTENSIDAD SÍSMICA DE DISEÑO 20](#_bookmark45)
   2. [ESPECTRO DE DISEÑO 20](#_bookmark46)
   3. [PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS 23](#_bookmark47)
      1. [EXCITACIÓN SÍSMICA DE DISEÑO 23](#_bookmark48)
      2. [AMORTIGUAMIENTO 23](#_bookmark49)
      3. [ORDENADA ESPECTRAL MÁXIMA 23](#_bookmark50)
      4. [COEFICIENTE SÍSMICO 24](#_bookmark51)
      5. [NIVEL BASAL Y CORTE BASAL 24](#_bookmark52)
      6. [DISTRIBUCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS HORIZONTALES SEGÚN LA ALTURA 24](#_bookmark53)
      7. [CORTES Y MOMENTOS 25](#_bookmark54)
      8. [ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE EQUIPOS PESADOS 25](#_bookmark55)
7. [OTRAS OBRAS CIVILES 25](#_bookmark56)
   1. [EDIFICACIONES 25](#_bookmark57)
      * 1. [Sala de Control 25](#_bookmark58)
   2. [PLATAFORMA 26](#_bookmark59)
      1. [GENERAL 26](#_bookmark60)
      2. [PROYECTO DE EXCAVACIONES 26](#_bookmark61)
      3. [PROYECTO DE RELLENOS 26](#_bookmark62)
      4. [ESPECIFICACIONES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS 26](#_bookmark63)
      5. [DRENAJES 26](#_bookmark64)
   3. [DISEÑO DE CAMINOS 27](#_bookmark65)

# OBJETIVO Y ALCANCE

El presente documento tiene por alcance establecer los criterios de diseño estructural que se deberán considerar en el cálculo de las estructuras, fundaciones y cualquier obra civil.

# NORMATIVA APLICABLE Y DOCUMENTOS DE CONSULTA

Todos los diseños se realizarán empleando las normas que se listan más adelante, las que deberán aplicarse usando su última revisión.

## NORMATIVA NACIONAL

* NCh163 Áridos Para Morteros y Hormigones.
* NCh170 Hormigón Requisitos Generales.
* NCh203 Acero para uso estructural. Requisitos.
* NCh204 Acero- Barras Laminadas en Caliente para Hormigón Armado.
* NCh206 Acero laminado en barras para pernos corrientes.
* NCh208 Acero laminado en barras para tuercas corrientes.
* NCh209 Acero - Planchas gruesas para usos generales y de construcción mecánica. Especificaciones.
* NCh211 Barras con Resaltes en Obras de Hormigón Armado.
* NCh217 Acero - Planchas delgadas para usos estructurales.
* NCh218 Acero- Mallas Electro Soldadas de Alambres para Hormigón Armado – Especificaciones.
* NCh219 Construcción – Mallas de Acero de Alta Resistencia – Condiciones de Uso en el Hormigón Armado.
* NCh301 Pernos de acero con cabeza y tuerca hexagonal.
* NCh304 Electrodos para soldar al arco manual. Terminología y clasificación.
* NCh305 Electrodos para soldar al arco manual aceros al carbono y aceros de baja aleación. Códigos de designación e identificación.
* NCh306 Electrodos revestidos para soldar al arco aceros al carbono y aceros de baja aleación. Prescripciones.
* NCh308 Examen de soldadores que trabajan con arco eléctrico.
* NCh348 Prescripciones generales acerca de la seguridad de los andamios y cierros provisionales.
* NCh427 Especificaciones para el Cálculo de Estructuras de Acero para Edificios.
* NCh428 Ejecución de Estructuras de Acero.
* NCh430 Hormigón Armado – Requisitos de Diseño y Cálculo.
* NCh431 Diseño Estructural – Sobrecargas de Nieve.
* NCh432 Diseño Estructural – Cargas de Viento.
* NCh433 Diseño Sísmico de Edificios.
* NCh434 Barras de acero de Alta Resistencia en Obras de Hormigón Armado.
* NCh 730 Acero - Perfiles estructurales soldados al arco sumergido.
* NCh 776 Electrodos desnudos para soldar al arco sumergido.
* NCh1537 Diseño Estructural– Cargas Permanentes y Cargas de Uso.
* NCh1928 Albañilería Armada – Requisitos para el Diseño y Cálculo.
* NCh2123 Albañilería Confinada – Requisitos para el Diseño y Cálculo.
* NCh2369 Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales.
* NCh3171 Diseño Estructural - Disposiciones Generales y Combinaciones de Carga.
* NTSyCS Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio
* NSEG 5 Electricidad. Instalaciones Eléctricas de Corrientes.
* Manual de Carreteras.

## NORMATIVA INTERNACIONAL

* ACI 318 Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentarios.
* ASTM A6: General requirements for rolled structural steel bars.
* ASTM A36 Structural Steel.
* ASTM A123: Standard Specification for Zinc (Hot Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products.
* ASTM A143: Standard Practice for Safeguarding Against Embrittlement of Hot Dip Galvanized Structural Steel Products and Procedure for Detecting Embrittlement.
* ASTM A153: Standard Specification for Zinc Coating (Hot Dip) on iron and Steel Hardware.
* ASTM A193 Standard Specification for Alloy Steel and Stainless bolting materials for High temperature service.
* ASTM A325 High – strength bolts for structural steel joints.
* ASTM A394 Steel transmission towers bolts zinc coated.
* ASTM A572 High – strength low-alloy structural Steel.
* ANSI/AWS D1.1 Structural Welding Code.
* IEEE 691 Guide for Transmission Structure Foundation Design and Testing
* IEEE 693 Recommended Practice for Seismic Design of Substations
* ASCE 113 Substation Structural Guide Design.
* ASCE 10-15 Design of Latticed Steel Transmission Structures.
* AISC Manual of Steel Construction Allowable Stress Design.
* AISC 360 Specifications for Structural Steel Building - Allowable Stress Design and Plastic Design.

## DOCUMENTOS DE CONSULTA

* ETG-A.0.10 Estudio de Mecánica de Suelos para Fundaciones de Líneas de Transmisión y de Subestaciones.
* ETG A.0.20Especificaciones de diseño sísmico de instalaciones eléctricas de alta tensión.
* ETG A.0.21Solicitaciones Sísmicas sobre Estructuras y Fundaciones de subestaciones.
* ETG A.1.03Criterios de Diseño de Estructuras Metálicas y Fundaciones para Subestaciones.
* Ley General de Urbanismo y Construcciones.
* Manual de Vialidad Urbana REDEVU – MINVU.
* Instructivos Técnicos y Procedimientos de Trabajo del Grupo del PROPIETARIO.
* COOR-DID-SE-TEC-ET-DIS-AIS-k-00001 Especificación Técnica General y Diseño de Subestaciones. Publicado por el Coordinador Eléctrico Nacional.

# DEFINICIONES

## FISCALIZACIÓN

Conjunto de actividades y procedimientos de verificación y control, realizado por funcionarios, en representación del Propietario, para cautelar el cabal cumplimiento de compromisos contractuales con terceros, con el fin de resguardar los intereses del Propietario.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Conjunto de características que deberán cumplir las obras, motivo del contrato, incluyendo normas sobre procedimiento de elaboración, exigencias a que quedan sometidos los materiales y pruebas de control que deben superar las diferentes etapas de fabricación.

## LIBRO DE OBRA

Se entenderá por Libro de Obra al medio de comunicación oficial entre ITO y Adjudicatario. El libro será un documento con páginas numeradas y triplicadas el cual formará parte del expediente oficial de la obra. El Libro de Obras se mantendrá en ésta durante su desarrollo, y en él se consignarán las instrucciones y observaciones a la obra formuladas por los profesionales competentes, los instaladores autorizados, la ITO e inspectores de Dirección de Obras Municipales o de los organismos que autorizan las instalaciones.

# CRITERIOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

Los siguientes criterios de diseño deberán aplicarse en el desarrollo del diseño estructural de las estructuras metálicas para soportar conductores (estructuras altas) y para soportar equipos (estructuras bajas) en subestaciones eléctricas.

Las estructuras metálicas serán del tipo enrejado de perfiles laminados o plegados de acero galvanizado en caliente con uniones apernadas.

## MATERIALES

## ACERO ESTRUCTURAL

Los aceros para perfiles y planchas tendrán que cumplir con las calidades indicadas en planos de fabricación y montaje.

El acero estructural deberá cumplir con las siguientes normas:

* + - * NCh 203, calidades A270ES y A345ES.
      * ASTM A36 y A575 Gr50.

Las planchas serán del tipo ASTM A36 o A240ES.

El material que emplear deberá estar sin óxido suelto o escamas, sin grasa ni otras suciedades.

## PERNOS DE CONEXIÓN

Los pernos serán de cabeza hexagonal, con tuercas hexagonales con sus bordes redondeados en ambas caras, con dimensiones según ASTM A394, Tipo 1 para pernos de conexión de estructuras.

Se considerará que los pernos llevarán arandelas a presión según la Norma ANSI B18.21.1, y en los casos que sean necesarios, cuando el hilo del perno no llega a la plancha, arandela plana circular según Norma ASTM F436.

Los peldaños para trepado serán pernos de diámetro 5/8” o 16mm, con cabeza y tuercas

hexagonales y calidad ASTM a394 tipo 0.

## TUERCAS

Las dimensiones mínimas de las tuercas hexagonales estarán dadas según ASTM A563.

## SOLDADURAS

Se soldarán planchas de conexión, de ser necesario, en uniones de estructuras de soporte de equipos, donde los electrodos deberán cumplir con la norma AWS.

## PERNOS DE ANCLAJE

Los pernos de anclaje se fabricarán con acero ASTM A193 tipo B7 para garantizar que la resiliencia, medida en ensayo de impacto según Charpy V-Notch a -20°C, no sea inferior a 27 Joules.

La realización del ensayo Charpy V-Notch se realizará de acuerdo con la Norma ASTM A370. El proveedor deberá entregar certificados de estos ensayos.

Los pernos deberán ser galvanizados por inmersión en caliente según lo estipulado en la Norma ASTM A153 y deberán suministrarse con todas sus tuercas colocadas.

El diámetro mínimo para pernos de anclaje corresponde a 19 mm (3/4”).

## PERNOS QUÍMICOS

Cuando los planos lo indiquen y con la previa autorización de la ITO se podrá utilizar pernos químicos para fijar estructuras.

## SOLICITACIONES

## ESTRUCTURAS BAJAS DE PATIO

Las solicitaciones para considerar en el diseño de las estructuras bajas de soporte de equipos son las siguientes:

* + - * PPE: Peso propio de las estructuras.
      * PPEq: Peso propio equipo
      * VE: Viento máximo sobre la estructura. Para la fuerza del viento se debe considerar el área proyectada de los elementos de las caras que golpea el viento perpendicularmente. Para este cálculo no se considera variación de la presión de viento con la altura, ni efecto de ráfaga. Presión dinámica de viento de 80kgf/m2.
      * Veq: Viento sobre equipos. Presión dinámica de viento de 80kgf/m2.
      * S: Sismo sobre conjunto equipo – estructura – fundación.
      * Co: Solicitaciones generadas por la operación del equipo, las que deben ser definidas por el fabricante, incluye:
        + Efectos térmicos debidos a condiciones de operación en régimen permanente;
        + Presión interna en elementos que contengan gases o aire. Para el caso de interruptores de poder la presión interna corresponderá a la presión máxima de trabajo cuando se efectúa la interrupción de la corriente nominal de cortocircuito;
        + Solicitación de cortocircuito cuando sea aplicable, el nivel de cortocircuito a ser considerado corresponderá al de diseño de la instalación;
        + Otros esfuerzos de servicio (por ejemplo, los originados por la operación de mecanismos oleo neumáticos de interruptores de poder).
      * T: Tirón en terminales del equipo: se supondrá la dirección que origine la combinación más desfavorable con un valor de:
        + 100 kg para equipos de tensión nominal igual o inferior a 245 kV.
        + 175 kg para equipos de tensión nominal superior a 245 kV. Las combinaciones de carga son:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| * Condición normal de operación | PPE + PPEq + Co + T | Normal |
| * Viento máximo | PPE + PPEq + VE + Veq + Co + T | Normal |
| * Sismo | PPE + PPEq + S + Co + T | Eventual |

Los factores de sobrecarga que deben considerarse son:

* + - * 1.7 Caso Normal
      * 1.3 Caso Eventual

## ESTRUCTURAS ALTAS DE PATIO

Las solicitaciones para considerar en el diseño de las estructuras altas de patio son las siguientes:

* + - * PPE: Peso propio de la estructura.
      * PPC: Peso propio conductores, cables de guardia, aisladores, trampas de ondas y otro accesorio que cargue la estructura.
      * VE(T,L): Viento máximo sobre la estructura, actuando en sentido transversal o longitudinal de la estructura, según corresponda. Presión dinámica de viento de 80 kgf/m2.
      * VC(T,L): Viento máximo sobre conductores, cables de guardia, aisladores, accesorios, actuando en sentido transversal o longitudinal de la estructura, según corresponda. Presión dinámica de viento de 40kgf/m2.
      * TC(T,L): Tensión máxima de conductores, actuando en sentido transversal o longitudinal de la estructura, según corresponda.
      * TCG(T,L): Tensión máxima del cable de guardia, actuando en sentido transversal o longitudinal de la estructura, según corresponda.
      * DESEQ(T,L):Desequilibrio longitudinal, actuando en sentido transversal o longitudinal de la estructura, según corresponda.
      * M: Montaje, se considera una carga vertical, de 113 kg aplicada en las barras horizontales o con una inclinación menor a 45º con la horizontal.
      * FANG: Fuerza transversal debido a la llegada en ángulo de la línea.

Las combinaciones de carga son:

* + - * Viento máximo transversal PPE+ PPC+ VE(T)+ VC+ TC+ TCG Normal
      * Viento máximo longitudinal PPE+ PPC+ VE(L)+ VC/4+ TC+ TCG Normal
      * Viento máximo transversal con ángulo línea

PPE+ PPC+ VE(T)+ VC+ TC+ TCG+ FANG Normal

* + - * Viento máximo longitudinal con ángulo línea

PPE+ PPC+ VE(L)+ VC/4 +TC +TCG +FA Normal

* + - * Viento transversal medio con sobrecarga vertical

PPE+ 2PPC +VE(T)/2 +VC/2 +TC +TCG Eventual

* + - * Montaje

PPE+ PPC+ VE(T)/4+ VC/4+ TC+ TCG+ M Eventual

Los factores de sobrecarga que deben considerarse son:

* + - * 1.7 Caso Normal
      * 1.3 Caso Eventual

## SOLICITACIONES DE MONTAJE Y MANTENIMIENTO

Según el ASCE 10-15 todos aquellos perfiles de la estructura que tengan un ángulo de inclinación con respecto a la horizontal menor o igual a 45º, deberán ser verificados a flexión.

Se debe considerar que estos elementos, están expuestos a una carga axial proveniente de la envolvente de cargas y por una carga de montaje de 113 kgf, ubicada en el centro del elemento.

## METODOLOGÍA DE CÁLCULO

## ESTRUCTURAS BAJAS DE PATIO

Todas las cargas (Tirón, corto circuito, sismo, peso propio, viento) que actúan sobre el conjunto equipo, estructura de soporte y fundación serán aplicadas adecuadamente en los centros de masa de cada elemento, según corresponda, con el fin de encontrar los esfuerzos máximos.

En el cálculo de las solicitaciones, debido a movimientos sísmicos sobre las estructuras de soporte, se considera la determinación del corte basal del sistema, la distribución de fuerzas sísmicas horizontales y verticales del sismo, basados en la intensidad sísmica del diseño de acuerdo con la sismicidad del lugar.

El diseño de la estructura de soporte deberá tener una rigidez tal que la frecuencia de la estructura, considerando sólo la masa del equipo, sea mayor o igual a 30Hz o 4 veces la frecuencia fundamental del equipo.

## ESTRUCTURAS ALTAS DE PATIO

Las estructuras altas se representarán por un modelo compuesto de miembros interconectados por nodos y barras que sólo resisten esfuerzo axial, sometidos a un análisis tridimensional, para el cual se usará un software de diseño estructural.

Los rellenos pueden ser omitidos del análisis, pero no así el efecto que estos van a producir con la longitud efectiva de los elementos donde vayan a ser conectados en la estructura definitiva.

El software computacional se utilizará solo para obtener los esfuerzos (compresión y tracción) sobre los elementos principales.

La verificación del dimensionamiento de los elementos y sus porcentajes de utilización se calcularán en forma independiente al software a través de una planilla de cálculo.

## DISEÑO DE ESTRUCTURAS

Los diseños de perfiles y conexiones se basarán en el manual ASCE 10-15 Design of Latticed Steel Transmission Structures.

## MIEMBROS A COMPRESIÓN

Para el diseño a la compresión se emplean las curvas de pandeo definidas en el manual ASCE 10-15 Design of Latticed Steel Transmission Structures.

En el caso de los rellenos, estos se calculan a compresión considerando que deben resistir al menos el 2.5% del esfuerzo del elemento principal que arriostran.

Las esbelteces máximas por considerar, según la normativa ASCE/SEI 10-15 son: Tabla 1. Límite de esbeltez SSEE

|  |  |
| --- | --- |
| Tipo de Perfil | Límite de Esbeltez |
| Montantes de esquina y cuerdas de vigas y crucetas | 150 |
| Diagonales y marcos | 200 |
| Barras auxiliares y elementos en tracción | 250 |

## MIEMBROS A TRACCIÓN

* + - * Perfiles conectados a ambas caras (cantoneras).

Considerando que el diseño se hace con cargas mayoradas, para el diseño a tracción, la tensión del área efectiva deberá ser menor a:

* + - * + La tensión de fluencia.
        + 0.75 veces la tensión de rotura.
      * Perfiles conectados a una cara (diagonales).

Considerando que el diseño se hace con cargas mayoradas, para el diseño a tracción, la tensión del área efectiva deberá ser menor a:

* + - * + 0.9 veces la tensión de fluencia.
        + 0.75 veces la tensión de rotura.

Para el cálculo del área neta de la sección se considerará un diámetro de perforación igual al diámetro nominal del perno más 3.2 mm.

El área neta efectiva en perfiles ángulos conectados por sus dos alas se obtendrá de acuerdo con la siguiente fórmula:

𝑠2

𝐴𝑛𝑒𝑓 = 𝐴𝑏𝑟𝑢𝑡𝑎 − 𝑒 × (𝜑 + 3.2𝑚𝑚) × 𝑛 + 𝑒 × ∑ 4𝑔

* + - * e: espesor del perfil
      * n: número de perforaciones
      * s: distancia entre perforaciones en el sentido paralelo a la fuerza
      * g: distancia entre perforaciones en el sentido perpendicular a la fuerza
      * ø: diámetro del perno

En perfiles conectados por un ala también se deberá realizar verificación de bloque de corte cuando el elemento tiene 2 o más pernos, según la siguiente fórmula:

Pn = 0.6 · Fu · Anv + Fy · Ant

* + - * + Anv: área neta resistente al corte, en la dirección de la fuerza
        + Ant: área neta resistente en tracción, en dirección perpendicular a la fuerza

## DISPOSICIONES DE DISEÑO

## ESPESORES MÍNIMOS

Los espesores mínimos por emplear, según la norma ASCE 10-15 son:

* + - * 4mm para perfiles
      * 5mm para placas de conexión y perfiles que se empleen en cantoneras y en las cuerdas inferiores de las crucetas.

## CONEXIONES

Las conexiones de terreno serán apernadas con pernos de alta resistencia y diámetro 5/8”. Los pernos serán del tipo aplastamiento con el hilo excluido en el plano de corte y con un largo suficiente como para dejar al menos 3 hilos del perno libres una vez aplicado el torque de apriete.

Las conexiones en taller, por lo general serán soldadas. En algunos casos éstas podrán ser apernadas y los elementos serán montados en taller de acuerdo con lo que se indique en los planos.

El dimensionamiento, la ejecución e inspección de soldaduras se regirá por la norma AWS D1.1.

## DISTANCIAS MÍNIMAS A BORDE

Las distancias mínimas a borde para los pernos A394 tipo 1, son:

Tabla 2. Distancias mínimas a borde SSEE

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Diámetro del  perno | Distancia mínima  entre pernos (mm) | Distancia mínima al borde | |
| Borde laminado (mm) | Borde cortado (mm) |
| 5/8” | 42 | 22 (\*) | 28 |
| ¾” | 50 | 25 | 32 |

(\*) Excepto en perfiles de 40 mm de ala en que será 19 mm.

* + - * El detalle de las uniones debe hacerse de modo de no tener excentricidades o reducirlas al mínimo.
      * Los pernos deberán llevar arandela de presión y eventualmente, cuando el hilo del perno no llega a la plancha, arandela plana.
      * El largo de los pernos se dimensionará de modo que no se produzcan esfuerzos de cortadura en la zona con hilo y que los pernos sobresalgan tres hilos más allá de la tuerca. Si es necesario se puede usar arandelas planas para asegurar el apriete del perno.
      * En las estructuras altas de SS/EE se debe considerar la instalación de peldaños para trepado.
      * Los planos deben incluir todos los elementos necesarios para la fijación de conductores, cables de guardia o equipos eléctricos.
      * Para cada estructura se deberá entregar un listado de materiales indicando todos los elementos de la estructura, sus marcas, dimensiones, pesos, calidad de acero, diámetro, largo y cantidad de cada tipo de perno, pernos de anclaje, etc.
      * Deberán ejecutarse agujeros normales en las uniones de barra con barra, a menos que el ingeniero apruebe agujeros holgados, ovalados cortos u ovalados largos en uniones apernadas.

## VERIFICACIÓN DESPLAZAMIENTO MÁXIMO

La deformación horizontal máxima permisible de una estructura alta, considerando cargas aplicadas sin los factores de sobrecarga, será:

∆máx=H/150 Donde H corresponde a la altura de la estructura.

## REFUERZO DE ESTRUCTURAS EXISTENTES

En el caso de estructuras existentes que deban ser reforzadas, éstas deberán ser diseñadas de acuerdo con las mismas condiciones que se exigen a las estructuras nuevas.

En caso de que no se disponga de los planos de fabricación originales de las estructuras que se reforzarán, se deberá realizar un levantamiento detallado de todos los perfiles, empalmes y placas bases que forman parte de la estructura. Luego, con esta información se deberá realizar un análisis tridimensional usando un programa de cálculo estructural, para el cálculo de esfuerzos de cada elemento de la estructura.

El diseño de las estructuras deberá tener en consideración las condiciones de carga durante la construcción. Se deberá tener especial atención cuando sea necesario retirar algunas barras de manera provisoria, y al mismo tiempo se mantengan las condiciones de carga sobre la estructura.

No se aceptará el uso de soldadura en el refuerzo de estructuras existentes.

No se aceptará la reutilización de pernos que hayan sido soltados debido a la instalación de los refuerzos. Los pernos soltados deberán ser reemplazados por pernos nuevos.

# CRITERIOS DE DISEÑO DE FUNDACIONES EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

Los siguientes criterios de diseño deberán aplicarse en el desarrollo del diseño de las fundaciones de las estructuras metálicas para soportar conductores (estructuras altas) y para soportar equipos (estructuras bajas) en subestaciones eléctricas.

## MATERIALES

## HORMIGÓN

Se establecen las siguientes clases de hormigón para ser utilizadas en el proyecto:

* + - * Hormigón estructural: Se utiliza hormigón grado G20 según NCh170, con resistencia

de probeta cilíndrica de f’c=200kgf/cm2, con un nivel de confianza del 90%.

* + - * Hormigón pobre: Se utilizará hormigón pobre para emplantillados y rellenos. Se usará hormigón grado G05 según NCh170.

## ACERO DE REFUERZO

Las barras de acero de refuerzo para hormigón armado serán A630-420H con resaltes y deberán cumplir con las prescripciones de las normas mencionadas en el punto 3 de este documento.

Para hormigones en masa o radieres se podrá utilizar malla de alambre electrosoldadas de acero de alta resistencia AT56-50H, cumpliendo las normas chilenas vigentes NCh218 y NCh1173.

## MECÁNICA DE SUELOS

El Adjudicatario deberá ejecutar, para las zonas de las obras del Contrato, los estudios geotécnicos y ensayos de laboratorio de muestras de suelo que aseguren el correcto desarrollo de la ingeniería de diseño y de la construcción.

Se utilizarán las normas ASTM o NCh para los controles o ensayos asociados al suelo natural y rellenos.

El dimensionamiento estructural de los elementos de hormigón armado se realizará de acuerdo con la norma ACI 318.

En el estudio de suelos, se recomendará la tipología de cimentación a ser utilizada (fundación única, fundaciones aisladas, etc.).

El Adjudicatario deberá definir la cantidad, ubicación y profundidad de los pozos de exploración o calicatas, de modo de representar en forma completa las características geológicas y geotécnicas del subsuelo, dentro del perímetro de las obras.

El Adjudicatario deberá presentar un Informe de Mecánica de Suelos que entregue al menos los siguientes antecedentes:

* Características geomorfológicas del área.
* Origen geológico de los suelos existentes en el área.
* Estratigrafía de los suelos existentes en el sitio entregando para cada tipo de suelo su granulometría, sus límites de Atterberg y su peso específico.
* Valores de los parámetros geomecánicos de los suelos existentes en el sitio. Se debe entregar un valor de los siguientes parámetros:
  + Ø = Angulo de fricción interna.
  + c = Cohesión.
  + γ = Peso unitario natural.
  + E = Módulo de elasticidad.
  + ν = Módulo de Poisson.
  + kV = Constante de balasto vertical para una placa de 30 x 30 cm.
  + kH = Constante de balasto horizontal para una placa de 30 x 30 cm.
* Profundidad de la napa freática.
* Para el diseño de las fundaciones se debe entregar los siguientes antecedentes geotécnicos:
  + Profundidad mínima de sello de fundación.
  + Tensión vertical admisible de contacto normal.
  + Tensión vertical admisible de contacto eventual.
  + Tensión horizontal admisible de contacto normal.
  + Tensión horizontal admisible de contacto eventual.
  + Peso unitario natural del suelo sobre napa.
  + Peso unitario natural del suelo bajo napa.
  + Profundidad a la cual se debe considerar el nivel de la napa.
  + Especificaciones de excavaciones.
  + Especificaciones de agotamiento.
  + Especificaciones de relleno de confinamiento de las fundaciones, especificando lo siguiente:
    1. Material
    2. Colocación
    3. Compactación
    4. Control
* Peso unitario del material de relleno bajo napa y sobre napa.
* Coeficiente de roce entre suelo y fundación.
* Diagramas de empuje activo, pasivo y en reposo.
* Ángulo del cono de arrancamiento con respecto a la vertical.
* Clasificación del suelo existente en el sitio según Norma Chilena NCh 2369 y según ETG-A.0.10.

El Adjudicatario definirá la necesidad de colocar plataformas de suelos controlados para el emplazamiento de las obras y establecerá las características de los materiales a usar en las plataformas, definiendo la banda granulométrica más recomendable, las condiciones de colocación, compactación, preparación del terreno, los escarpes necesarios y los estudios de protección y drenaje.

## REQUISITOS GEOMÉTRICOS

El tope superior de las fundaciones en subestaciones deberá quedar, como mínimo, 20 cm por sobre el nivel superior de la gravilla de terminación de la plataforma.

En el caso de losas de fundación, el extremo superior de las fundaciones de hormigón deberá quedar no más de 5 cm medidos por sobre el nivel de gravas de patio instaladas, además su parte superior deberá tener la pendiente suficiente para que no se acumule agua en torno al montante o pieza de fundación.

Para las losas de fundación se tendrá como objetivo conducir el diseño para tener el menor volumen de excavación posible.

## DISEÑO DE FUNDACIONES

En general, el diseño de fundaciones se regirá por la normativa establecida en la NT SyCS de la Comisión Nacional de Energía, la cual indica textualmente que para asegurar la calidad asísmica de las instalaciones se deberá aplicar normativa internacional de organismos tales como la IEEE.

Al no existir una normativa chilena específica para el diseño se considera la opción de diseño en base a los estándares IEEE-691-2001 Guide for Transmission Structure Foundation Design and Testing e IEEE-693-2005 Recommended Practice for Seismic Design of Substations.

Otra opción de diseño corresponde al diseño en base a la ETG 1020 de Endesa.

El tipo de fundaciones a diseñar serán del tipo superficiales, losas de fundación, conjuntas o individuales.

Para el análisis de estabilidad de las fundaciones se debe considerar el sismo horizontal y vertical simultáneamente, en ambas direcciones separadamente. Esto no se utiliza en fundaciones para estructuras altas, ya que éstas, quedan diseñadas por las solicitaciones de viento y no de sismo.

Se deberán realizar como mínimo las siguientes verificaciones geotécnicas:

* Presión de contacto: La tensión de contacto deberá ser menor o igual a la tensión de contacto admisible definida en el informe geotécnico.
* Volcamiento: Se deberá verificar que la fundación no vuelque, cumpliendo con un mínimo de 80% del área base de la fundación en compresión, para combinaciones de carga que consideren algún tipo de solicitación eventual. Mientras que, para combinaciones de carga normales, el área comprimida deberá ser igual al 100%.
* Deslizamiento: La fuerza solicitante deberá ser menor que la fuerza resistente. Para la verificación al deslizamiento de la fundación debido a las solicitaciones eventuales se deberán usar los siguientes factores de minoración de las resistencias:
  + Resistencia por Fricción 0.77
  + Resistencia por cohesión 0.33
  + Resistencia por Empuje pasivo 0.33

El diseño estructural del hormigón armado, en cuanto a la definición de secciones brutas y cuantías de acero de refuerzo, se regirá por lo indicado en el ACI 318.

## FUNDACIONES DE ESTRUCTURAS BAJAS

Las fundaciones para estructuras bajas de subestaciones deberán diseñarse de acuerdo con las solicitaciones resultantes del diseño sísmico de estructuras de subestaciones que se indican en los presentes criterios, para estructuras con amplificaciones dinámicas importantes.

## FUNDACIONES DE ESTRUCTURAS ALTAS

Las fundaciones de estructuras altas deberán diseñarse según lo indicado en las presentes especificaciones y considerando los tipos de suelo según el informe geotécnico que deberá efectuar el Adjudicatario.

Las cargas de diseño a aplicar sobre las fundaciones serán determinadas de acuerdo con los parámetros indicados en las ETG A.0.21.

Los materiales tendrán la calidad definida en el punto 5.1.1 para los hormigones y aceros de refuerzo.

El recubrimiento de hormigón sobre las armaduras será el especificado según el ACI318, el cual es de 7.5 cm, para hormigones colocados contra el suelo y expuestos permanentemente a él.

## TIPOS DE FUNDACIÓN

En general las fundaciones de estructuras altas son del tipo conjuntas. Estas fundaciones corresponden a aquellas que están solicitadas por esfuerzos de corte, flexión y tracción o compresión, básicamente se utilizan en estructuras de patio, cuando dos o las cuatro patas de la estructura son parte de la misma fundación.

Para el caso de fundaciones tipo bloques proyectadas para hormigonarlas contra terreno, se utilizará para dimensionarlas el método de Sulzberger, que consiste en considerar la colaboración lateral del suelo para lograr la estabilidad de la fundación.

Para fundaciones diseñadas en base a pedestales y zapatas, se utilizará el método X-Y del “Transmisión Structures” del Bureau of Reclamation, o con el método tradicional (tensiones admisibles).

## PERNOS DE ANCLAJE

El diseño de los pernos de anclaje se realizará considerando la disminución de tracción admisible producto de la interacción con el corte asociado.

El diseño del sistema de anclaje deberá verificarse de acuerdo con el apéndice D del código ACI 318 en su más reciente edición.

Los equipos pesados deberán anclarse directamente a la fundación por medio de las cajas de anclaje. Para tomar el esfuerzo de corte sísmico, que es de consideración, se deberán diseñar llaves de corte o topes sísmicos.

En el caso de que para el diseño de la estructura y su fundación se utilice una Intensidad Sísmica menor que a=0.5 g, para el diseño de pernos de anclaje, placas de apoyo, llaves de corte y demás elementos de sujeción de la estructura a la fundación, se deberá emplear un coeficiente de reducción de la respuesta R = 2.25, es decir, las fuerzas de diseño de estos elementos debidas a la componente horizontal del sismo serán las especificadas anteriormente amplificadas por 1.33.

# DISEÑO SÍSMICO

A continuación, se establecen las condiciones generales de diseño sísmico que se deberán considerar para el diseño de las estructuras de soporte y fundaciones de equipos eléctricos de alta tensión para subestaciones eléctricas. Se excluye el diseño de las estructuras altas y sus fundaciones, ya que en éstas controlan las solicitaciones de viento y carga de los conductores.

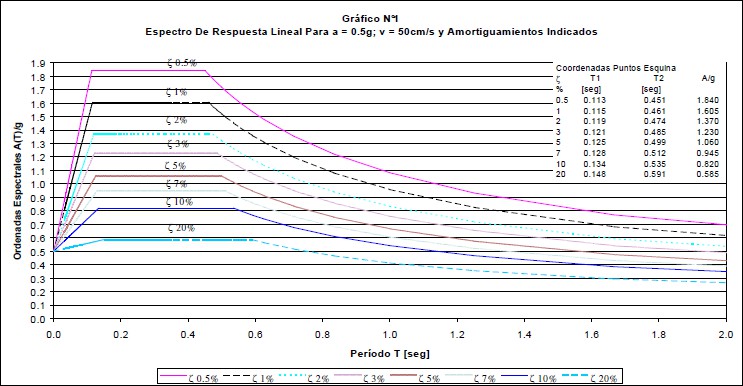
## INTENSIDAD SÍSMICA DE DISEÑO

La intensidad sísmica, es decir, la caracterización de los parámetros que representan los máximos valores de aceleración, de velocidad y de desplazamiento horizontal en la superficie del terreno, será la que le corresponde a la sismicidad del lugar y a las características del suelo de fundación, según la siguiente tabla:

|  |  |
| --- | --- |
| Zona I | a = 0.3 g |
| Zona II | a = 0.4 g |
| Zona III | a = 0.5 g |

## ESPECTRO DE DISEÑO

Se usará el espectro de respuesta lineal de aceleraciones establecido en el Gráfico siguiente.

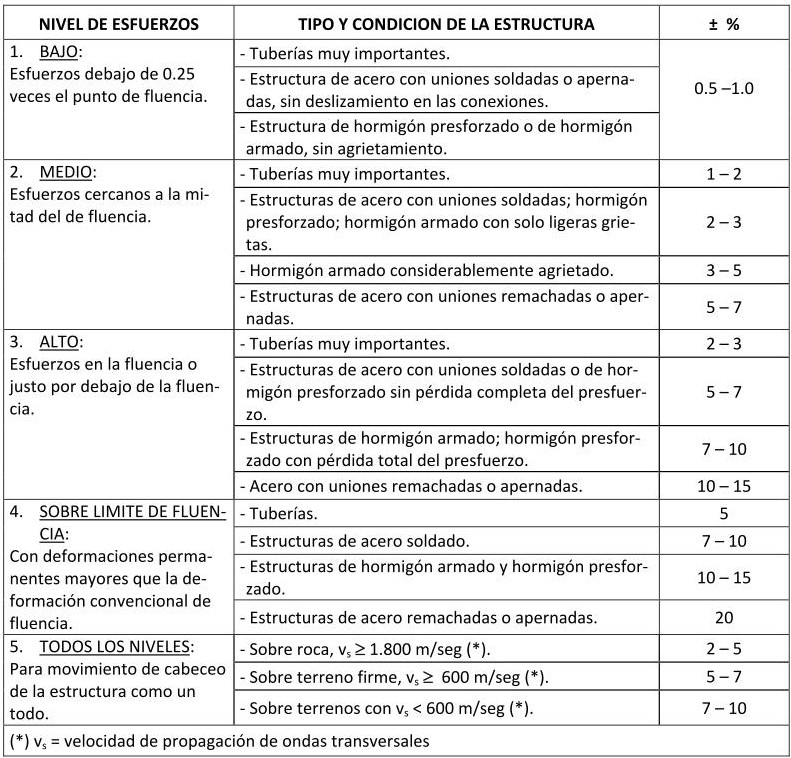


Las curvas del Gráfico son válidas para a=0.5g; para valores menores, a’, se deberá multiplicar

la ordenada espectral por la relación:

𝑎, 0.5𝑔

Se elegirá un valor de amortiguamiento de acuerdo con las características de la estructura. En la Tabla siguiente, se indican valores típicos de amortiguamiento.



Las ordenadas ζ (T) del espectro de diseño quedan dadas por las siguientes expresiones:

 (*T* )  *A*(*T* , ) ,

#### R

*T*  *T*1

 (*T* )  1 *T*   *a*  *T*





 (*T*1), 0  *T*  *T*1

Dónde:

 *T*1 *T*1

|  |  |
| --- | --- |
| a: | Aceleración horizontal máxima en la superficie del terreno en el lugar de la obra |
| T1: | Período correspondiente al punto final de la rama ascendente del espectro lineal de  aceleraciones |
| R: | Coeficiente de modificación de la respuesta |
| A(T,  ): | Ordenada del espectro de respuesta lineal para T y  . Ver Gráfico |

El coeficiente de modificación de la respuesta considera la ductilidad de la estructura, la existencia de más de un sistema de elementos resistentes y la experiencia acumulada acerca del comportamiento sísmico de obras similares analizadas.

En el caso de estructuras soportantes y fundaciones de equipos eléctricos que presentan comportamientos dúctiles por ser de acero u hormigón, se aplicará un factor igual a 3.

## PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

Se recomienda trabajar con modelos de análisis estático para estructuras con amplificaciones dinámicas importantes.

Cuando se trate de estructuras soporte y fundaciones de equipos eléctricos livianos, que presentan amplificaciones dinámicas de importancia, el procedimiento a seguir consiste en un análisis estático especial validado con resultados de un conjunto de análisis modales espectrales. El procedimiento por seguir es el siguiente:

## EXCITACIÓN SÍSMICA DE DISEÑO

El espectro de respuesta lineal será el indicado anteriormente, y las solicitaciones sísmicas corresponden a las siguientes:

* + - * En dirección horizontal: un movimiento del terreno cuya intensidad sísmica

corresponde a “a = 0.5 g”.

* + - * En dirección vertical: un campo de aceleraciones uniforme y constante de intensidad igual al 60 % de la aceleración horizontal máxima del terreno, indicada en el punto 2.01 d la ETG-A.0.21, dado por Cv=0.6Ch.
      * La verificación sísmica se hará para dos (2) direcciones horizontales separada e independientemente, eligiendo en cada caso la combinación más desfavorable de direcciones y sentidos de las acciones horizontales y verticales.

## AMORTIGUAMIENTO

Para definir la ordenada espectral máxima que se utilizará en la determinación del coeficiente sísmico horizontal, se emplearán los siguientes valores de amortiguamiento expresados como un porcentaje del amortiguamiento crítico:

* + - * Estructuras soportantes con juntas soldadas = 3%
      * Estructuras soportantes con pernos de torque controlado = 5%

## ORDENADA ESPECTRAL MÁXIMA

La ordenada espectral máxima (A) se determinará con la ecuación:

𝐴

Dónde:

 = 3.21 − 0.68 × 𝑙𝑛( 𝜉)

𝑎

𝑎 = aceleración máxima del terreno.

= amortiguamiento expresado en %.

## COEFICIENTE SÍSMICO

El coeficiente sísmico se calculará mediante la fórmula:

##### C  A Rg

Dónde:

R = coeficiente de modificación de la respuesta

## NIVEL BASAL Y CORTE BASAL

El nivel basal corresponde al plano horizontal en el cual está aplicada la acción sísmica y donde se equilibran mutuamente las resultantes horizontales de las fuerzas de inercia y de las reacciones del suelo de fundación. Este nivel corresponde al sello de fundación.

El corte basal está dado por la ecuación:

Qb  CiWi

Donde C es el coeficiente sísmico horizontal y ∑ 𝑤 es la suma de los pesos de las partes del sistema situadas por encima del nivel basal, por lo tanto, incluye el peso del equipo, de la estructura, de la fundación y del suelo inmediatamente existente sobre la fundación.

## DISTRIBUCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS HORIZONTALES SEGÚN LA ALTURA

La fuerza de corte basal se distribuirá según la altura, descomponiéndola en fuerzas Fi aplicadas simultáneamente al nivel del centro de masas de cada una de las partes, todas dirigidas en el mismo sentido, en la dirección de análisis. La distribución se hará como se describe a continuación:

Se distribuirá Qb en proporción a los pesos Wi de las partes (distribución uniforme), obteniéndose así fuerzas Fi‘ dadas por la ecuación:

##### F'  Wi  Qb  *C*  W

i

i

iWi

Se distribuirá Qb en proporción a los productos hiWi (distribución triangular), obteniéndose

así fuerzas Fi’’ dadas por la ecuación:

F''  hi  Wi Qb

i

i

i

i h  W

Donde hi es la altura del centro de masas de la parte identificada con el índice i, por encima del nivel basal.

Se calculará Fi como promedio ponderado de Fi’ y Fi’’, según la ecuación:

F  1F'  2 F''

i 3 3 i

## CORTES Y MOMENTOS

Las fuerzas de corte serán las que resulten de la estática al aplicar Fi. Los momentos correspondientes a las fuerzas Fi se afectarán por un coeficiente de reducción J, dado por la relación:

ℎ

𝐽 = 0.8 + 0.2 × 

𝐻

En que h es la cota de la sección en la cual se desea evaluar el momento reducido y H es la altura de la parte más alta del sistema, ambas medidas desde el nivel basal.

## ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE EQUIPOS PESADOS

No aplica.

# OTRAS OBRAS CIVILES

## EDIFICACIONES

El diseño sísmico asociado a las edificaciones en general se realizará de acuerdo con:

* Norma NCh433.Of96 “Diseño Sísmico de Edificios”.
* Norma NCh2369.Of2003 “Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales”.
* D.S 60. “Reglamento que fija los requisitos de diseño y cálculo para el hormigón armado”.
* D.S 61. “Reglamento que fija el diseño sísmico de edificios”.

Mientras que las combinaciones de cargas serán según lo requerido por la NCh 3171. Cada edificio en particular contará con su propia Especificación Técnica de Arquitectura. El proyecto considera los siguientes edificios:

### Sala de Control

No aplica.

## PLATAFORMA

## GENERAL

La plataforma deberá tener las dimensiones adecuadas para soportar todas las estructuras y equipos del proyecto y empalmar adecuadamente con el camino de acceso. Deberá ser plana (sin desniveles) pero con una pendiente que asegure un buen drenaje de las aguas lluvias. Se debe considerar una pendiente mínima del 1%.

## PROYECTO DE EXCAVACIONES

Se deberá presentar un plano donde se indique el área a escarpar y al área a realizar excavaciones masivas. En este proyecto se presentarán plantas y perfiles que detallen de la mejor forma posible los trabajos a realizar. Se indicará la pendiente de los taludes de corte y el tratamiento del sello de excavación. Se deberá presentar un cuadro de cubicación de escarpe y excavación masiva.

## PROYECTO DE RELLENOS

Se presentará un plano donde se indique las áreas a rellenar. En este proyecto se incluirán plantas y perfiles que detallen de la mejor forma posible los trabajos a realizar. Se deberán indicar la pendiente de los taludes de rellenos y el tratamiento de éstos. Se deberá presentar un cuadro de cubicación de rellenos.

## ESPECIFICACIONES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS.

Se deberá presentar una especificación de movimiento de tierras que describa todos los procedimientos constructivos para la realización de la plataforma la cual contendrá al menos lo siguiente: replanteo topográfico, limpieza del terreno, escarpe, excavación masiva, tratamiento del sello de excavación, características de los materiales de relleno, exigencias de compactación, control de calidad, perfilado o terminación de la plataforma.

## DRENAJES.

Los drenajes deben asegurar la correcta evacuación de las aguas lluvias hacia cauces de agua naturales o hacia zonas que sean capaces de captar y trasladar dichas aguas.

Se considera como pendiente mínima de la plataforma un 1% para los drenajes de las aguas en una dirección, mientras que para los caminos se empleará un 3% de bombeo.

La construcción de las obras de drenaje de la plataforma y caminos se harán de acuerdo con los diseños, alineamientos, pendientes, dimensiones, cotas y sitios indicados en los planos de construcción.

La materialidad de los drenajes será la indicada en los planos respectivos del proyecto.

## DISEÑO DE CAMINOS

El diseño de los caminos se hará según el volumen 3 del Manual de Carreteras. La construcción de los caminos se hará de acuerdo con los diseños, alineamientos, pendientes, dimensiones, cotas y sitios indicados en los planos de construcción. La materialidad de los caminos será la indicada en los planos respectivos del proyecto.