



PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

PEDESTALES DE ESTRUCTURAS METALICAS

AICE-PRC-005-0

Revisión 0

VIGENCIA 23 DE ABRIL DE 2015




ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES
COMITÉ TÉCNICO DE MINERÍA E INDUSTRIAS

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

PEDESTALES EN ESTRUCTURAS METALICAS

Rev.	Fecha	Emitido Para	Por	Revisor	CTMI	Presidente AICE
A	30-09-2013	Revisión CTMI	P. Pineda R. Montecinos	R. Boroschek J. Lindenberg	P. Pineda R. Montecinos	René Lagos
B	09-07-2014	Revisión Socios AICE	P. Pineda R. Montecinos	R. Boroschek J. Lindenberg	P. Pineda R. Montecinos	René Lagos
0	23-04-2015	Difusión y Aplicación	P. Pineda R. Montecinos	R. Boroschek J. Lindenberg	P. Pineda R. Montecinos	René Lagos

	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO PEDESTALES DE ESTRUCTURAS METÁLICAS	
		AICE-PRC-005-0	Página 3 de 14


PREFACIO

El presente procedimiento de diseño – Pedestales de Estructuras Metálicas – está orientado a proveer a los ingenieros civiles estructurales de procedimientos y prácticas para la ingeniería estructural en el área Minera e Industrial.

Este procedimiento tiene carácter general, por lo tanto, contiene estándares mínimos y en algunos casos no detallados, según las condiciones geotécnicas, sísmicas, estructurales, disposiciones de equipos, instalaciones y características de cada proyecto en particular.


Estos documentos no tienen carácter normativo, de criterios de diseño o especificaciones, por lo que su aplicación es un complemento a las disposiciones definidas en cada proyecto.

Este procedimiento de diseño ha sido elaborado por el Comité Técnico de Minería e Industrias de AICE y solo puede ser modificado por este.

	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO	
		PEDESTALES DE ESTRUCTURAS METÁLICAS	
		AICE-PRC-005-0	Página 4 de 14

ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
1. ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN.....	5
2. DEFINICIONES.....	5
3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA.....	5
3.1 Normas y Códigos Nacionales.....	5
3.2 Normas y Códigos Internacionales.....	6
3.3 Guías de Diseño.....	6
4. DISEÑO SÍSMICO DE PEDESTALES.....	7
4.1 Filosofía del Diseño.....	7
4.2 Geometría.....	8
4.3 Detallamiento de Armadura.....	8
4.4 Criterios Especiales.....	11
4.5 Mortero de Nivelación.....	13

	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO PEDESTALES DE ESTRUCTURAS METÁLICAS	
		AICE-PRC-005-0	Página 5 de 14

1. ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN

Este procedimiento indica las prácticas usuales para el diseño de pedestales de estructuras metálicas de proyectos industriales y mineros, expuestos en generalmente a fuerzas de gran magnitud, sobre 5 toneladas, provenientes de la operación y eventuales sismos.

Los criterios descritos en este documento se complementan con las disposiciones de diseño de los códigos ACI318, ACI349, AISC360, AISC341 y NCh2369.Of2003.

Se incorporan criterios de detallamiento y lecciones aprendidas de estructuras en operación durante terremoto de Chile el 27 de Febrero de 2010.

2. DEFINICIONES

Pedestal. Elemento estructural cuya razón entre su altura libre y su lado menor no supera 3.0, y cuya función principal es transmitir esfuerzos de compresión, flexión y corte a la fundación. En caso de pedestales de sección variable, el lado menor se considera como el promedio de las dimensiones menores de las secciones superior e inferior.


3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

La lista de documentos que se presenta a continuación no pretende cubrir todos los aspectos del diseño. Estándares adicionales que formen parte de los documentos del Proyecto o especificaciones del Cliente, también deben ser considerados durante el proceso de diseño.

3.1 Normas y Códigos Nacionales

A continuación se listan los códigos nacionales normalmente empleados en el diseño de estructuras industriales. Notar que el presente listado no constituye el total de normas aplicables a la práctica chilena.

NCh1537	Diseño estructural de edificios - Cargas permanentes y sobrecargas de uso
NCh2369	Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales
NCh3171	Diseño estructural - Disposiciones generales y combinaciones de cargas

	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO PEDESTALES DE ESTRUCTURAS METÁLICAS	
		AICE-PRC-005-0	Página 6 de 14

3.2 Normas y Códigos Internacionales


Los códigos de diseño empleados como complemento a las normas nacionales son los siguientes:

- ACI 315-99 Details and Detailing of Concrete Reinforcement
- ACI 318-11 Building Code Requirements for Structural Concrete
- ACI 349-06 Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures
- AISC 341-10 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings
- AISC 360-10 Specifications for Structural Steel Buildings
- ASCE 7-10 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures

3.3 Guías de Diseño.

A continuación se indica una serie de guías de diseño que pueden ser empleadas como referencia para el análisis y diseño de estructuras de acero y hormigón.

- AISC Base Plate and Anchor Rod Design (Second Edition)
- SSEC Practical Design and Detailing of Steel Column Base Plates
- SSEC Seismic Behavior and Design of Base Plates in Braced Frames

	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO PEDESTALES DE ESTRUCTURAS METÁLICAS	
		AICE-PRC-005-0	Página 7 de 14

4. DISEÑO SÍSMICO DE PEDESTALES

Los pedestales de hormigón armado sobre los que se apoyan las columnas de las diferentes estructuras de acero son elementos críticos tanto por ser los encargados de la transferencia de todas las reacciones de las estructuras a las fundaciones, como por su desempeño deficiente en los últimos sismos. En efecto, el número de pedestales que reportaron fallas parciales y totales durante el sismo del 27 de Febrero de 2010 es significativo, lo que afectó considerablemente a la industria de la zona cercana al epicentro.


Por otro lado, desde el punto de vista de su impacto económico, los pedestales representan entre el 5% y el 10% del volumen total de las fundaciones por lo que las economías que eventualmente se puedan realizar en su diseño o los incrementos por aumento de su seguridad, no se traducen en montos significativos.

En este procedimiento de diseño se entregan criterios para pedestales que han resultado efectivos y que subsanan los problemas detectados en los sismos.

4.1 Filosofía del Diseño

En un número importante de proyectos industriales, los pedestales de estructuras metálicas son dimensionados para resistir las acciones de diseño y armados para cumplir con las disposiciones del Capítulo 21 del código ACI318. Sin embargo, tal criterio de diseño no asegura el cumplimiento del objetivo de desempeño de los pedestales de estructuras metálicas, el cual consiste en permanecer 100% operativos luego de un sismo (i.e. grado de fisuración limitado de acuerdo a los requisitos de recuperación del sistema). Por tal razón, es importante que los pedestales sean capaces de resistir las fuerzas efectivas que los sistemas sismo-resistentes posiblemente desarrollen en caso de incursión en el rango inelástico, las que son considerablemente superiores a las resistencias requeridas por diseño. Esto se debe básicamente a que los factores de uso son menores a uno y a que los límites de fluencia especificados para los materiales corresponden a valores mínimos, y no a los reales.

En la medida en que se estime adecuadamente la resistencia esperada del límite físico de las fuerzas que son transmitidas al pedestal, que bien puede estar dado por llaves de corte, anclajes, topes sísmicos, diagonales o columnas, será posible limitar el daño en el hormigón y asegurar que la disipación de energía ocurra en aquellos elementos del sistema sismo-resistente diseñados para tal propósito.

	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO	
		PEDESTALES DE ESTRUCTURAS METÁLICAS	
		AICE-PRC-005-0	Página 8 de 14

4.2 Geometría.

La sección del pedestal queda en general determinada por las dimensiones de la placa base, debiendo ser generosamente mayor que ella.

Como criterios generales, la sección de los pedestales debe cumplir lo siguiente:

- i. Sea a lo menos 100 a 150 mm mayor que la placa base por cada lado.
- ii. A lo menos 100 a 150 mm de hormigón entre el borde del pedestal y cualquier punto de los pernos de anclaje.
- iii. Cualquier plano a 35° con la horizontal por el extremo inferior de la llave de corte, pase por la cara superior del pedestal.

4.3 Detallamiento de Armadura.

Los siguientes requisitos apuntan a que la armadura de pedestales que deben resistir cargas sísmicas, permitan alcanzar los objetivos de desempeño normalmente aceptados para instalaciones industriales:

- i. Verificar que las barras longitudinales (con o sin gancho) se desarrollen por debajo y sobre un plano inclinado 35° con respecto a la horizontal que pasa por la cara superior de la placa de retención o cabeza del perno, que se intersecta con el eje del perno (Figura 4.5-1).
- ii. Armar longitudinalmente los pedestales con una cuantía mínima del 1% de su sección transversal y no menos que el área total de los pernos de anclaje.
- iii. Preferir usar un mayor número de barras de menor diámetro a pocas barras de gran diámetro.
- iv. Detallar las barras longitudinales de manera que a lo menos una fracción de ellas, cuya sección iguale la del total de pernos de anclaje, tenga ganchos superiores.
- v. Se recomienda que las barras longitudinales estén provistas de gancho inferior.
- vi. La armadura longitudinal que debe considerarse como efectiva en transmitir la tracción del perno al resto del pedestal, es aquella que se encuentra a menos de $0.5h_{ef}$ del eje del perno de anclaje (Figura 4.3.1).

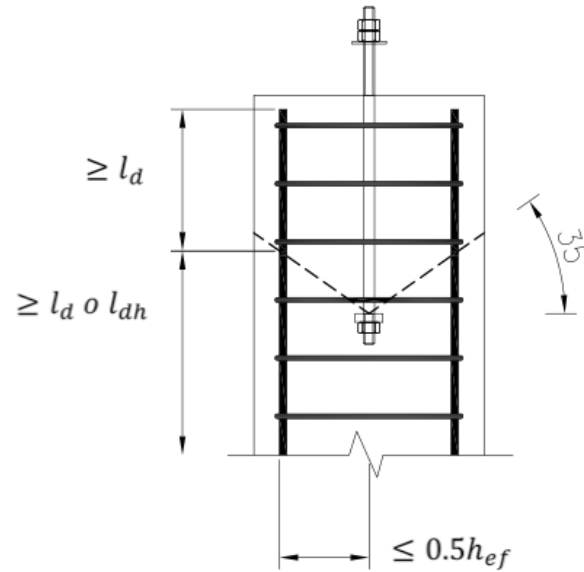


Figura 1. Desarrollo armadura de refuerzo.

- vii. La armadura requerida para tomar la fuerza de corte entregada por la llave de corte al pedestal deben desarrollarse a ambos costados la superficie definida por los planos en 45° que intersectan la o las cara libres del pedestal, y los bordes de la cara de la llave que se aplasta contra el hormigón (Figura 4.3.2).

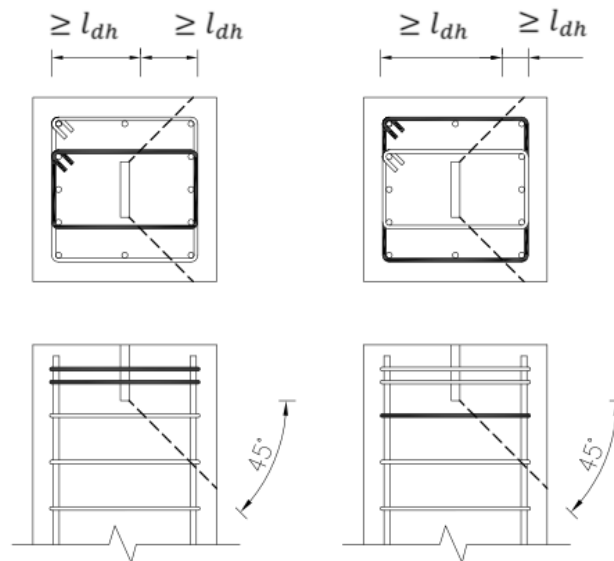




Figura 2. Desarrollo armadura de refuerzo llave de corte.

	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO	
		PEDESTALES DE ESTRUCTURAS METÁLICAS	
		AICE-PRC-005-0	Página 10 de 14

- viii. Disponer estribos que cumplan las exigencias establecidas en la sección 7.10.5 del código ACI 318 para elementos comprimidos. En especial, la distancia libre entre barras longitudinales no provistas de soporte lateral dado por una amarra o gancho con ángulo de no más de 135°, no debe exceder 150mm.
- ix. Adicionalmente, se recomienda que el diámetro de los estribos cumpla con lo siguiente:
 - a) 10mm para barras longitudinales de hasta 22mm.
 - b) 12mm para barras longitudinales de hasta 28mm.
 - c) 16mm para barras longitudinales mayores a 32mm, o paquetes de barras.
- x. Las barras de los estribos deben tener los siguientes diámetros mínimos:
 - a) Lado menor hasta 400 mm: barras de 10mm.
 - b) Lado menor entre 400 mm y 800 mm: usar barras de 12mm.
 - c) Lado menor mayor de 800 mm: usar barras de 16mm.
- xi. No espaciar los estribos más de 250 mm, de preferencia 200mm. Evitar el uso de estribos de diámetro superior a 18mm.
- xii. En los pedestales de gran tamaño, armar con dobles mallas por cada cara. Esta recomendación se aplica a pedestales de dimensión en planta mayor a 1500mm.
- xiii. Duplicar el número de estribos (o sea, reducir su espaciamiento a la mitad) en el extremo superior del pedestal y en una longitud igual al lado menor de éste.
- xiv. La cara horizontal superior del pedestal también debe llevar armadura:
 - a) Lado menor hasta 500mm: suficiente con los ganchos de las barras longitudinales.
 - b) Lado menor entre 500mm y 1500mm: usar malla de 10mm a 200mm como complemento de los ganchos de las barras longitudinales.
 - c) Lado menor mayor de 1500mm: usar barras de 12mm a 200mm como complemento de los ganchos de las barras longitudinales.
- xv. Revisar exhaustivamente que no existan interferencias entre pernos de anclaje, llave de corte y armaduras.

	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO PEDESTALES DE ESTRUCTURAS METÁLICAS	
		AICE-PRC-005-0	Página 11 de 14


4.4 Criterios Especiales.

Los criterios de diseño descritos en los párrafos siguientes tienen por objeto asegurar un comportamiento satisfactorio del pedestal frente a las acciones de diseño definidas en NCh3171 y NCh2369 en conjunto con las especificaciones técnicas del proyecto. Adicionalmente, estos criterios se complementan con las exigencias normativas establecidas en NCh2369 y ACI318.

- i. La capacidad axial del pedestal debe ser mayor o igual a la menor fuerza axial (tracción o compresión) asociada a los siguientes estados límite:
 - a) Tracción creada por los pernos de anclaje cuando estos alcanzan un 120% de su resistencia nominal (N_{sa}), tal como se indica en ACI 318 D3.3.4.3.
 - b) Tracción y compresión determinadas de acuerdo a AISC341 D2.6b.

Nota: El área de pernos de anclajes requerida en un apoyo es normalmente establecida de acuerdo a las disposiciones del capítulo 8.6 de la norma NCh2369. No obstante, es muy posible que para un gran número de casos, tales disposiciones sean insuficientes para alcanzar los límites de resistencia establecidos en AISC341 D2.6a y D2.6c, los cuales están orientados a satisfacer los requerimientos de desempeño dúctil esperados del sistema estructural.


En estructuras de uno o dos niveles, diseñadas con factores de modificación de respuesta relativamente bajos (R menor o igual a 3.0) provistas de diagonales concéntricas y fundaciones aisladas, es posible que el sistema alcance su límite de estabilidad al vuelco (rocking) mucho antes de que las diagonales alcancen su resistencia esperada. Para tales casos, entre los cuales pueden encontrarse piperacks, y en general cualquier estructura menor en que el tamaño de las diagonales está determinado por requisitos de esbeltez en lugar de resistencia, la capacidad de los pernos de anclaje y llaves de corte no necesita exceder la fuerza asociada al levantamiento de la fundación. Por el contrario, para estructuras de varios niveles, en que el factor de modificación de respuesta es más alto (e.g., $R = 5.0$), y por lo tanto los desplazamientos asociados al rocking de las fundaciones exceden los límites de desplazamiento aceptables, los anclajes y llaves de corte debiesen ser provistos de una resistencia tal, que los elementos sismo-resistentes sean capaces de alcanzar su ductilidad esperada mucho antes de que la fundación alcance su límite de estabilidad.

	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO PEDESTALES DE ESTRUCTURAS METÁLICAS	
		AICE-PRC-005-0	Página 12 de 14

- ii. Cuando la tracción de los pernos indicada en ii) es tomada con armadura longitudinal, se debe asegurar que ésta sea provista de una longitud de desarrollo tal, que pueda alcanzar la fluencia. El cálculo de las longitudes de fluencia para barras rectas (l_{dh}), y con gancho (l_{dh}) se encuentra dado por las expresiones descritas en ACI318 12.2.3 y 12.3.2, respectivamente.
- iii. Se debe verificar que ninguno de los modos de falla asociados al hormigón, definidos en ACI318 D5.3 y D5.4, con la sola excepción del *break-out*, controle el diseño.
- iv. La resistencia al corte del pedestal debe ser mayor o igual al corte asociado al menor de los siguientes estados límite:
 - a) Capacidad esperada de la llave de corte asociada al tipo de acero, la que puede ser estimada empleando el factor de sobre-resistencia R_y definido en AISC341, Tabla A3.1.
 - b) El corte de diseño determinado de acuerdo a AISC341 D2.6b.
- v. Verificar que la capacidad al corte del pedestal proporcionada por los estribos (es decir, cuando $V_c = 0$) es suficiente para resistir la fuerza determinada de acuerdo a 4.5 iv).
- vi. Verificar que el aplastamiento generado por la fuerza en la llave de corte determinada de acuerdo a 4.5 iv) no exceda la capacidad de aplastamiento definida en ACI349 D4.6.2, en que $\phi = 0.65$ de acuerdo a D4.4.

Nota: en el cálculo de la presión de aplastamiento entre la llave de corte y el hormigón, el área de contacto debe ser determinada sin considerar el espesor del mortero de nivelación.
- vii. Verificar que el aplastamiento generado por la capacidad esperada de la llave de corte no exceda la capacidad de arrancamiento del pedestal, dada por una tensión uniforme definida en ACI349 D.11.2 actuando sobre el área de la proyección vertical de la superficie definida en 4.3 vii) menos el área de la porción embebida de la llave en el hormigón (i.e., profundidad de la llave de corte menos el espesor del mortero de nivelación), y donde $\phi = 0.80$ de acuerdo a D4.4.
- viii. Cuando la fuerza en la llave de corte determinada según 4.4 iv) exceda la capacidad de arrancamiento definida en ACI349 D11.2, se debe proveer estribos adicionales para “amarrar” la superficie de arrancamiento descrita en 4.3 vii), de modo tal que las barras efectivas sean aquellas que se desarrollen completamente a ambos lados de la superficie de falla.

Nota: Se han reportado casos experimentales en que el estado límite descrito en ACI349 D11.2 es anticipado por una grieta perpendicular al plano de la llave de corte y que se extiende hasta la cara libre del pedestal. Por tal motivo, se recomienda siempre proveer amarras adicionales cuya capacidad en tracción sea equivalente a la resistencia asociada al estado límite de arrancamiento, y que en ningún caso sea inferior a la capacidad esperada de la llave definida en 4.4 iv).

	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO PEDESTALES DE ESTRUCTURAS METÁLICAS	
		AICE-PRC-005-0	Página 13 de 14

- ix. La resistencia a la flexión del pedestal debe ser mayor o igual que el menor momento asociado a los siguientes estados límite:
- a) Máxima flexión que es capaz de transmitir la placa base al pedestal cuando los pernos de anclaje alcanzan la fuerza de diseño establecida en 4.4 i).
 - b) Momento de diseño determinado de acuerdo a AISC341 D2.6c.
- x. Bajo la acción de un sismo, es posible que las acciones máximas coincida, de modo que se recomienda chequear la interacción de las fuerzas esperadas en el pedestal.
- Nota:** En aquellos casos en que la compresión determinada según 4.4 i) se encuentra por debajo del punto de balance, la condición de carga que controla el diseño corresponderá a la tracción obtenida de 4.4 i) y el momento calculado a partir de iv) o ix) según sea aplicable.
- xi. Se recomienda nunca dejar los pedestales al límite ni en geometría ni en armadura. Desde un punto de vista de diseño, los pedestales no deben ser los fusibles del sistema estructural. Desde un punto de vista económico, el costo de los pedestales con respecto al costo total de las fundaciones es normalmente marginal.


4.5 Mortero de Nivelación

El mortero de nivelación cumple en teoría sólo la función geométrica de asegurar el pleno apoyo de la placa base sobre la cara superior del pedestal, sin responsabilidad en la transmisión del corte en la base, que queda enteramente entregado a la llave de corte de la placa base o a una fracción (generalmente dos) pernos de anclaje si la reacción de corte es baja.

Sin embargo la realidad física es diferente, ya que las propiedades de resistencia de los morteros de nivelación (grout) que se utilizan son elevadas y en particular la adherencia entre él y el hormigón asegura que en la práctica, la falla se produzca siempre en el sustrato de hormigón, por lo que existe una transmisión del corte por adherencia, que no depende de la compresión en la placa base, sino del área en contacto.

Lo anterior sumado a la alta rigidez del mortero determina que la transferencia de corte por adherencia es el primer mecanismo y una vez agotado, trabaja el aplastamiento de la llave de corte.

Como el agotamiento de la adherencia significa en la práctica la falla por cizallamiento local de la zona superior del pedestal, correspondiente más o menos al recubrimiento superior, la transmisión de la compresión de la columna también se ve afectada, lo que es una situación grave.

	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO PEDESTALES DE ESTRUCTURAS METÁLICAS	
		AICE-PRC-005-0	Página 14 de 14

Para reducir el efecto descrito, se recomienda que las dimensiones del mortero de nivelación se mantengan similares a las de la placa base con el objeto de reducir la superficie adherente y prohibir el relleno con mortero de la cara superior completa del pedestal.