

Nuevas disposiciones de diseño en actualización de NCh2369, Capítulo 8 “Disposiciones para estructuras de acero”. Origen e implementación

C. Pena (1), C. Urzúa (2)

(1) Ingeniero Civil, M. Eng., Ph.D.© , P&M Structural/Seismic Engineering, carlos.pena@pymse.com

(2) Ingeniero Civil, M. Sc., cruczua@gmail.com

Resumen

El presente artículo expone los cambios conceptuales propuestos al Capítulo 8 “Disposiciones para estructuras de acero” de NCh2369, dentro del marco de la actualización normativa impulsada por el Instituto Nacional de Normalización (INN). Dado que una amplia mayoría de las estructuras industriales chilenas se construyen en acero, y por ende su diseño se rige según las disposiciones del Capítulo 8 de NCh2369, es razonable esperar que cambios en los requisitos normativos puedan generar impactos significativos dentro de la práctica nacional. Los autores, quienes participaron en la redacción de las nuevas disposiciones y en las discusiones correspondientes, exponen las razones técnicas fundamentales que llevaron a reconocer la necesidad de implementar mejoras; aun cuando existe pleno consenso en la comunidad profesional acerca de que las estructuras diseñadas según NCh2369 han tenido un desempeño satisfactorio frente a los eventos sísmicos a los que han sido expuestas desde el año 2003. La actualización del Capítulo 8 no pretende modificar la filosofía de diseño sismorresistente industrial, la cual se basa en proveer a las estructuras de alta sobrerresistencia y moderada ductilidad, sino más bien garantizar que el desempeño esperado de continuidad operacional, efectivamente se produzca.

Palabras-Clave: NCh2369, Diseño en Acero, Estructuras Industriales

Abstract

This paper presents the proposed conceptual changes to Chapter 8 "Provisions for steel structures" of NCh2369, within the framework of the code update impelled by the National Institute of Normalization (INN). Given that a large majority of Chilean industrial structures are built in steel, and therefore their design is based on provisions of Chapter 8 of NCh2369, it is reasonable to expect that changes in design requirements may generate a significant impact in the Chilean practice. The authors, who participated in the drafting of the new provisions and in the corresponding discussion, expose the fundamental technical reasons behind the need to implement improvements; even though there is wide consensus in the professional community that structures designed according to NCh2369 have had a satisfactory performance against the seismic events to which they have been exposed since 2003. The update of Chapter 8 does not intend to modify the industrial seismic design philosophy, which is based on providing structures with high overstrength and moderate ductility, but rather ensuring that the expected performance of operational continuity, effectively occurs.

Keywords: NCh2369, Steel Design, Industrial Structures

1 Introducción

La norma chilena NCh2369, “Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales”, oficializada el año 2003 por el Decreto N° 178, recoge la experiencia acumulada en los diversos Criterios de Diseño elaborados para proyectos industriales específicos desde el año 1970 a 2000. El esfuerzo visionario de Elías Arze L. de recopilar dichas disposiciones en un código de diseño unificado, permitió la redacción de la primera norma de diseño sísmico particular para estructuras e instalaciones industriales del mundo.

Considerando la importancia de la actividad industrial como motor económico del país, la norma NCh2369 persigue un nivel de desempeño superior al esperado en estructuras habitacionales o comerciales, el cual consiste en la continuidad de operación durante el evento sísmico de diseño; reduciendo a un mínimo la paralización de la industria producto de inspecciones y reparaciones post sismo.

En particular, el diseño sísmico de estructuras de acero se rige según las disposiciones del Capítulo 8 de esta norma, y si bien se reconoce que el comportamiento de estructuras metálicas bajo eventos sísmicos severos pasados ha sido adecuado, se tiene consciencia de que se requieren ajustes a las disposiciones del capítulo de modo de garantizar de manera más directa el principio de continuidad de operación.

A continuación se presenta por tópico las razones detrás de las modificaciones propuestas en la actualización de NCh2369.

2 Referencias normativas

En la versión 2003 de NCh2369 el diseño sísmico de estructuras de acero se deriva a las disposiciones de Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, Part 1: Structural Steel Buildings, 1999, de AISC. Alternativamente, el código permite el uso de las disposiciones de su Capítulo 8 y de su Anexo B para el diseño sismorresistente. Este enfoque presenta complejidades en términos de la compatibilidad que existe entre las filosofías de diseño de AISC y del Capítulo 8 de NCh2369. Primero, las Seismic Provisions de AISC consideran que las estructuras presentarán una incursión inelástica importante durante el sismo de diseño, lo que se traduce en menores límites de compacidad local y límites superiores más permisivos de esbeltez global en elementos arriostrados (principal sistema sismorresistente chileno) en comparación con los requerimientos de NCh2369. Segundo, AISC considera que la plastificación de la estructura se presentará ampliamente distribuida en altura, lo que en la práctica chilena raramente ocurre, debido a que se suele uniformar las tipologías de perfiles empleados en arriostramientos en altura, lo que naturalmente induce un mecanismo de piso blando en el primer nivel. Sin embargo, este efecto se compensa dotando a las estructuras de amplia sobrerresistencia, lo que demanda menor ductilidad local y global (lo que es consistente con la exigencia de límites de compacidad local más permisivos), y utilizando un mecanismo de disipación temprana de energía sísmica por medio de la plastificación de los pernos de anclaje a la fundación (cuando los pernos de anclaje han sido correctamente dimensionados).

Debido a lo anterior, en la actualización de NCh2369 el diseño sismorresistente en acero es auto contenido, siendo el Capítulo 8 la fuente exclusiva de disposiciones de diseño para las tipologías estructurales indicadas en la Tabla 5.6 de la norma. No obstante, la actualización permite el uso de tipologías estructurales diferentes a las indicadas en la Tabla 5.6, siempre y cuando el diseño sísmico se apege a disposiciones ampliamente reconocidas por la práctica y se restrinja el factor de

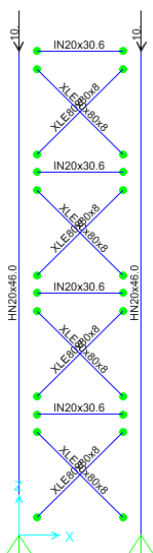
modificación de la respuesta (R) a un valor máximo de 5 y la razón de amortiguamiento (ξ) a un valor máximo de 5%.

2 Métodos de análisis

La actualización de NCh2369 toma como referencia para el diseño sismorresistente los requisitos indicados en la norma chilena NCh427/1:2016, “Construcción – Estructuras de acero – Parte 1: Requisitos para el cálculo de estructuras de acero para edificios”. NCh427/1 requiere el uso del Método de Análisis Directo, u otro equivalente, para el análisis de estabilidad de elementos en compresión, lo que se traduce en reducciones de rigidez y la incorporación de efectos de segundo orden (P- Δ y P- δ) junto con cargas laterales secundarias que representan la eventual pérdida de verticalidad que la estructura puede presentar. Si bien el uso de este método es adecuado para estructuras sometidas a solicitaciones de viento u otras cuya magnitud y sentido son fundamentalmente independientes de la respuesta dinámica de la estructura, la evaluación de efectos de segundo orden en el contexto de análisis modales espectrales bajo espectro reducido no tiene mayor sentido físico. Esto, debido a que el método modal espectral en si es lineal y que el uso de una carga sísmica lateral reducida hace innecesario reproducir el estado tensional de la estructura en ese grado de detalle, producto que la reducción de corte basal se genera justamente por la plastificación de una serie de elementos (detallados para plastificar de manera estable) que no está siendo considerada de manera explícita. Segundo, la aplicación de los métodos de estabilidad indicados en NCh427/1 implica la reducción de rigidez de los elementos estructurales, lo que se traduce en una flexibilización de la estructura y una consecuente reducción de las fuerzas laterales actuantes.

A modo de ejemplo, en la Figura 2.1 se muestra este efecto en un marco arriostrado de 4 niveles con 20 tonf de peso en su nivel superior. Se observa que el uso del Método de Análisis Directo resulta en un aumento de un 12% en el periodo fundamental y una reducción de un 7% en el corte sísmico basal (considerando Zona Sísmica 3, Suelo Tipo II, I=1.0, R=5 y $\xi=0.03$).

Por lo tanto, la actualización de NCh2369 no permite el uso ningún tipo de reducción de rigidez en los elementos estructurales producto de la aplicación de algún método de diseño por estabilidad indicado en NCh427 Parte I, al momento de evaluar los efectos sísmicos sobre las estructuras.



	Tn [s]	Sx [tonf]
Sin reducción de rigidez	0.399	4.22
Con Análisis Directo	0.446	3.91
Razón	1.12	0.93

Fig. 1 – Periodo fundamental y corte basal sin y con uso del Método de Análisis Directo en SAP2000.

Por otra parte, el sismo del 27 de febrero de 2010 mostró que si bien el espectro de diseño contenido en NCh2369 fue capaz de proveer de resistencia adecuada a las estructuras diseñadas según la norma, presentó dificultades para hacer predicciones razonables de deformación lateral en las estructuras. Considerando esto, la actualización de NCh2369 requiere el uso del espectro de la norma NCh2745 “Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica” para la estimación de deformaciones. Cabe notar que esto impone una inconsistencia en términos de la compatibilidad de esfuerzos y deformaciones, la que queda pendiente para la próxima revisión de la norma.

3 Capacidad esperada

La norma NCh2369 hace referencia al concepto de capacidad en su punto 8.5.2, cuando requiere el diseño de conexiones de diagonales sísmicas para el 100% de la capacidad en tracción de la sección bruta de estas. Este requerimiento, además de obviar el diseño por compresión, u otros esfuerzos según corresponda para la conexión, presenta ambigüedades en términos de que no define explícitamente el valor de la capacidad. El diseño de componentes en los cuales se deba garantizar su integridad hasta que otro predefinido plastifique, requiere la consideración de propiedades de materiales esperadas (en general bastante superiores a las propiedades mínimas especificadas), lo que a su vez demanda la necesidad de definir una capacidad esperada para un nivel LRFD y ASD separadamente (dado que la plastificación es un estado último y el diseño ASD corresponde sólo a una equivalencia matemática). La actualización resuelve esta problemática definiendo capacidades esperadas para los diferentes tipos de esfuerzo a un nivel LRFD y relacionando el nivel ASD como una reducción de un 33% de las capacidades esperadas últimas.

Además, se incorpora el concepto de máxima carga que el sistema puede transferir a un elemento o conexión, lo cual es el reconocimiento de que un elemento o conexión no puede ser cargado más allá de la carga que elementos contiguos le puedan entregar antes de fallar.

Lo anterior se traduce en las siguientes definiciones:

Método LRFD

- Capacidad en tracción esperada: $T_{ye} = R_y F_y A_g$
- Capacidad en compresión esperada: $P_{ne} = 1.14 F_{cre} A_g$
- Capacidad residual en compresión esperada: $0.3 P_{ne}$
- Capacidad flexural esperada: $M_{pe} = R_y F_y Z$

Donde,

F_{cre} corresponde a la evaluación de F_{cr} considerando la tensión de fluencia esperada ($F_{ye}=R_y F_y$) en lugar de la tensión de fluencia nominal.

La capacidad flexural esperada de los elementos cargados axialmente puede reducirse por efecto de la carga axial. Se permite el uso de la siguiente expresión simplificada:

Capacidad flexural reducida esperada: $M_{pe}^* = M_{pe} (1 - |P| / T_{ye})$

Donde P corresponde a la máxima carga axial obtenida de las combinaciones de cargas definidas en la sección 4.5 de NCh2369.

Método ASD

Corresponde a las capacidades esperadas definidas anteriormente para el método LRFD divididas por 1,5.

4 Máxima carga esperada

Si bien el diseño por sobrerresistencia ya estaba considerado en algunos pasajes de NCh2369 en diversas formas (amplificando las cargas sísmicas reducidas por 0.5R, 0.7R, 1.5, 2, etc.), la actualización busca uniformar el criterio de diseño por sobrerresistencia para el Capítulo 8, estableciendo un valor único para todos los casos en que dicho criterio deba ser aplicado. El diseño por sobrerresistencia hace referencia a que si bien un diseño ideal debe concentrar la plastificación en ciertos elementos fusibles del sistema estructural y el resto de los elementos debe permanecer elástico frente a esta condición de falla local o global; en la práctica este enfoque no es siempre factible, o necesariamente correcto. Primero, como se mencionó anteriormente, la distribución de plastificación en altura en estructuras industriales está concentrada en los niveles inferiores, y segundo, la plastificación de pernos de anclaje (cuando han sido correctamente dimensionados) alivia considerablemente este efecto de piso blando. Lo anterior se traduce, por ejemplo, en que diseñar columnas considerando la plastificación o pandeo, según corresponda, de todas las diagonales vinculadas con la columna, es irracionalmente conservador. Lo mismo ocurre para otros casos, que se indican más adelante, donde el diseño por equilibrio plástico de secciones vinculadas a otras que han sido dimensionadas por criterios de compacidad local o esbeltez global, y no por demanda de resistencia, puede resultar en secciones innecesariamente pesadas.

Dicho lo anterior, no se requiere diseñar elementos estructurales, o conexiones de estos, para una carga superior a la máxima carga que el sistema puede experimentar considerando un comportamiento cuasi elástico. Dicha carga se propone como una amplificación de las cargas sísmicas reducidas de diseño por un factor de $0.7R_1 \geq 2.0$, de modo de considerar adecuadamente las amplificaciones artificiales del corte basal producto de la imposición de un corte mínimo.

5 Carga para diseño de columnas

La norma NCh2369 sólo requiere el diseño por sobrerresistencia de columnas para el caso de columnas de marcos rígidos con compresión predominante ($P_u/\phi P_n$ o $\Omega P_a/P_n > 0.4$). Sin embargo, limita la utilización de arriostramientos verticales, en el caso de marcos arriostrados concéntricos, a un máximo de un 80%. Esta inconsistencia se traduce en que muchos diseños presenten columnas con demandas de resistencia superiores a las de los arriostramientos a los que se vinculan, lo que empeora si se considera que arriostramientos verticales suelen ser dimensionados frecuentemente por criterios de compacidad local y esbeltez global, lo que les proporciona amplia sobrerresistencia, aun cuando dichos arriostramientos están vinculados a columnas que se encuentran ostensiblemente más solicitadas. Lo anterior fomenta el colapso estructural, debido a que la reducción de fuerza sísmica esperada no se producirá por el pandeo estable de arriostramientos, demandando a la estructura a niveles más cercanos al sismo elástico, y consecuentemente, llevando al límite a las columnas que se encuentran erróneamente sobre exigidas.

Considerando lo anterior, la actualización requiere la verificación de todas las columnas para cargas sísmicas amplificadas por $0.7R_1 \geq 2.0$ (basado en lo expuesto en el punto 4), de modo de proteger el sistema gravitacional de la estructura. Consistentemente, se libera a los arriostramientos de una

utilización máxima del 80%, de modo de proteger a las columnas y proveer mayor ductilidad global al sistema.

6 Requisitos mínimos para conexiones

La actualización de NCh2369 requiere que todas las conexiones estructurales sean revisadas, en términos del grado de responsabilidad que puedan tener en la transferencia de cargas sísmicas al suelo de fundación. Muchas veces, elementos que a simple vista aparecen como secundarios, poseen gran responsabilidad en la transmisión de cargas sísmicas, debido a las irregularidades verticales u horizontales que presenta el sistema sismorresistente. Dado que las disposiciones presentes en la actualización para diseño de conexiones sísmicas de sistemas específicos (marcos concéntricamente arriostrados o marcos rígidos) no son capaces de detectar este tipo de anomalías, se establecen requisitos generales para conexiones dependientes de la carga sísmica presente en ellas, las que se limitan a la demanda de resistencia físicamente posible, pero manteniendo un mínimo equivalente al utilizado normalmente en proyectos para el dimensionamiento de conexiones generales.

En términos generales, los requisitos mencionados se presentan de la siguiente manera:

La resistencia requerida de las conexiones debe ser determinada utilizando las combinaciones de cargas definidas en la sección 4.5 de NCh2369, en las cuales el estado de carga sísmico ha sido amplificado por $0.7R_1 \geq 2.0$.

La resistencia requerida no necesita ser mayor que el menor valor entre:

- a) La capacidad esperada del elemento a conectar.
- b) La máxima carga que el sistema puede transferir a la conexión.

La resistencia requerida no debe ser menor que la mitad de la capacidad esperada del elemento.

Otros requisitos sobre conexiones como empalmes u otros, se modifican en concordancia con lo expuesto anteriormente.

El requisito anterior no es aplicable a bases de columnas, sin embargo, cabe destacar que si bien los requisitos originales de NCh2369 de detallamiento dúctil de bases de columnas se mantienen, estudios recientes (Ref. [1]) muestran que estos requisitos por si solos no son suficientes para asegurar que el anclaje cumpla el rol de fusible sísmico temprano que se le atribuye. Disposiciones para el correcto dimensionamiento de pernos de anclaje, que eviten secciones demasiado grandes que induzcan un comportamiento elástico de los pernos, o demasiado pequeñas que resulten en el corte de los pernos, quedarán pendientes hasta una nueva revisión de la norma.

7 Requisitos para marcos arriostrados concéntricamente

7.1 Configuraciones de arriostramientos en X

La norma NCh2369 no presenta requisitos especiales para las vigas o puntales horizontales que unen los extremos de diagonales. Bajo un análisis sísmico elástico, estos elementos presentarán cargas de magnitudes pequeñas, dado que el equilibrio de fuerzas desprecia el hecho que la reducción de demanda sísmica ($R \gg 1$) se produce por la plastificación o pandeo, según corresponda, de las diagonales. Cuando este hecho físico se considera, se tiene que la fuerza sobre la viga o puntal será la

obtenida de un equilibrio plástico (no elástico). En esta condición, la compresión actuante es considerable, lo que debe ser tomado en cuenta en el diseño del puntal.

De acuerdo a lo anterior, la actualización requiere el diseño de la viga o puntal por equilibrio plástico, asumiendo que las diagonales comprimidas presentan su capacidad residual y que las diagonales traccionadas presentan su capacidad esperada. La tracción en las diagonales no necesita ser mayor que aquella determinada utilizando las combinaciones de cargas definidas en la sección 4.5 de NCh2369, en las cuales el estado de carga sísmico ha sido amplificado por $0.7R_1 \geq 2.0$, o que la máxima carga que el sistema puede transferir al puntal.

En la Fig. 2 se presenta un diagrama de cuerpo libre del puntal bajo equilibrio plástico, indicando las fuerzas que se deben considerar en el diseño del puntal. En caso de aplicar, a estas fuerzas se deben agregar los esfuerzos producidos por cargas gravitacionales sobre el puntal.

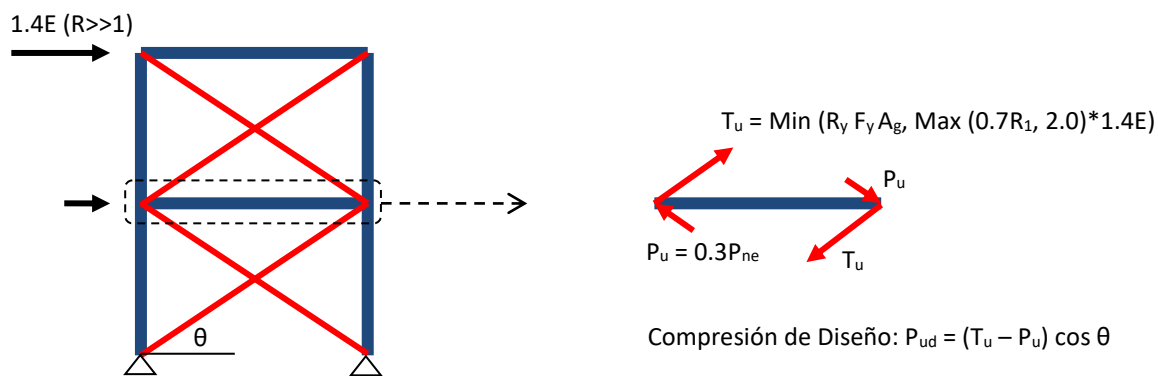


Fig. 2 – Equilibrio plástico (LRFD) sobre una viga puntal en un marco concéntricamente arriostrado.

7.2 Configuraciones de arriostramientos en V o V invertida

La norma NCh2369 presenta disposiciones para vigas de marcos arriostrados en V o V invertida que, por un lado, requieren el diseño de la viga despreciando el apoyo que las diagonales pueden otorgarle, y por otro, requieren el diseño de la viga para cargas obtenidas de un equilibrio elástico con cargas sísmicas reducidas amplificadas por 1.5. Al igual que en el caso explicado anteriormente, la reducción de carga sísmica se producirá una vez que los arriostramientos plastifiquen o pandeen según corresponda, lo que genera que las fuerzas sobre la viga sean el resultado de un equilibrio plástico (no elástico). En este caso la flexo – compresión inducida por el equilibrio plástico es considerable, lo que debe ser tomado en cuenta en el diseño de la viga.

De acuerdo a lo anterior, la actualización requiere que la viga se considere continua en la conexión con las diagonales y que las diagonales no constituyen un apoyo vertical para cargas gravitacionales. Además, requiere el diseño de la viga o puntal por equilibrio plástico, considerando que la diagonal comprimida presenta su capacidad residual y la diagonal traccionada presenta su capacidad esperada. La tracción en la diagonal no necesita ser mayor que aquella determinada utilizando las combinaciones de cargas definidas en la sección 4.5 de NCh2369, en las cuales el estado de carga sísmico ha sido amplificado por $0.7R_1 \geq 2.0$, o que la máxima carga que el sistema puede transferir a la viga.

En la Fig. 3 se presenta un diagrama de cuerpo libre de la viga bajo equilibrio plástico, indicando las fuerzas que se deben considerar en el diseño de la viga. En caso de aplicar, a estas fuerzas se deben agregar los esfuerzos producidos por cargas gravitacionales sobre el puntal.

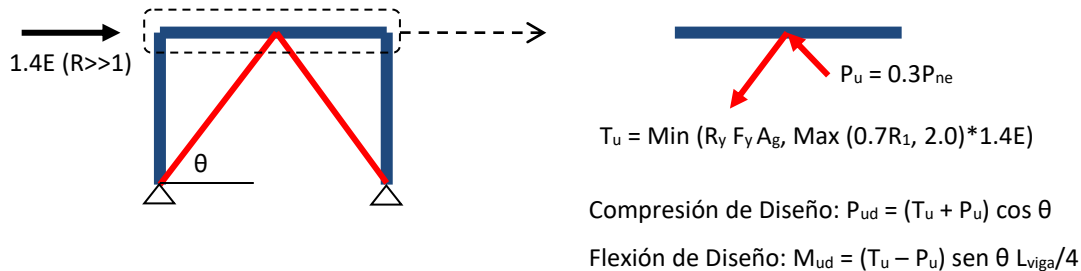


Fig. 3 – Equilibrio plástico (LRFD) sobre una viga en un marco en V invertida.

La actualización también permite leves excentricidades del sistema, mientras se mantenga su filosofía de trabajo. De acuerdo a esto, la separación entre los puntos de trabajo de las diagonales, medida en el eje de la viga, puede ser menor o igual a 2 veces la altura de la viga, siempre que el modelo de análisis sea consistente con esta configuración.

Adicionalmente, la viga se debe diseñar para resistir una carga transversal (dirección fuera del plano de las diagonales) ubicada en el punto de unión con la diagonal comprimida, igual al 2% de la capacidad esperada en compresión de dicha diagonal y la conexión que une la viga a la columna debe ser diseñada para resistir simultáneamente los esfuerzos generados por la condición que controla el diseño de la viga.

7.3 Conexiones de puntales y diagonales sísmicos

Como se mencionó anteriormente, la norma NCh2369 no define explícitamente el concepto de capacidad, dejándolo a total juicio del ingeniero a cargo del diseño. Para corregir esto, la actualización de NCh2369 requiere que las conexiones de puntales y diagonales sísmicos se diseñen para resistir tanto la capacidad esperada en tracción como la capacidad esperada en compresión del elemento, de acuerdo a las definiciones anteriores de capacidad esperada. La resistencia requerida en la conexión no necesita ser mayor que aquella determinada utilizando las combinaciones de cargas definidas en la sección 4.5 de NCh2369, en las cuales el estado de carga sísmico ha sido amplificado por $0.7R_1 \geq 2.0$, o que la máxima carga que el sistema puede transferir a la conexión.

Por otra parte, la actualización requiere que las diagonales sismorresistentes de marcos arriostrados presenten conexiones en sus extremos diseñadas para soportar los momentos flexurales o las rotaciones generadas por el pandeo del elemento. Para esto, deben cumplir una de las siguientes disposiciones:

- a) Resistencia flexural: La conexión debe ser diseñada para resistir la capacidad esperada flexural del elemento (flexión consistente con la dirección de pandeo de la diagonal).
- b) Capacidad de rotación: La geometría del gusset de conexión debe definirse de forma que este sea capaz de resistir y acomodar los giros plásticos derivados del pandeo de la diagonal sin

presentar fallas (rotación consistente con la dirección del pandeo de la diagonal). En la Fig. 4 se muestra un esquema del detallamiento de un gusset de conexión que permite la rotación plástica del extremo del arriostramiento inducida por el pandeo de este.

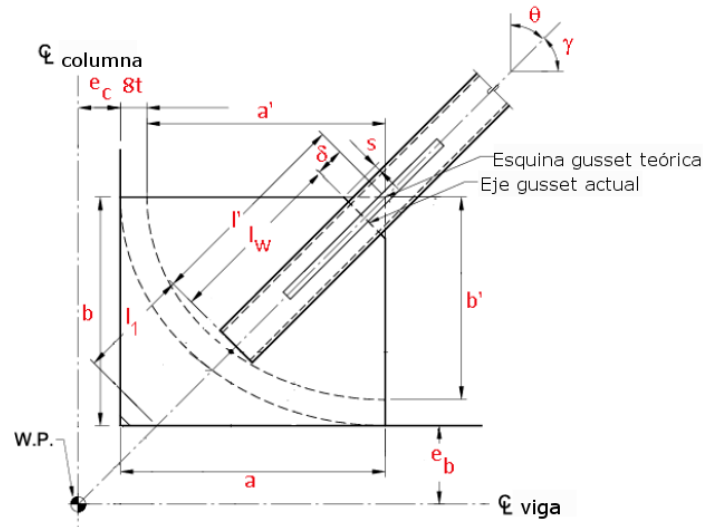


Fig. 4 – Esquema de rótula elíptica en conexión de arriostramiento.

8 Requisitos para marcos rígidos

8.1 Capacidad de vigas respecto a columnas

La actualización de NCh2369 modifica el requisito de capacidad de vigas respecto a las columnas a las que concurren, manteniendo el espíritu original, pero agregando la salida estándar por sobrerresistencia. El requisito modificado se indica a continuación:

En estructuras de varios niveles, la suma de las capacidades flexurales esperadas reducidas por carga axial de las columnas que concurren a un nudo debe ser mayor o igual a 1.2 veces la suma de las capacidades flexurales esperadas de las vigas conectadas en dicho nudo. Este requisito no es aplicable en nudos del nivel superior.

Se pueden exceptuar de esta exigencia aquellas columnas en que la resistencia requerida para todos los esfuerzos sea determinada utilizando las combinaciones de cargas definidas en la sección 4.5, en las cuales el estado de carga sísmico ha sido amplificado por $0.7R_1 \geq 2.0$. No es necesario cumplir con este requisito si el esfuerzo de corte sísmico de todas las columnas en que no se cumple la disposición anterior es menor que el 20% del esfuerzo de corte sísmico del piso correspondiente.

8.2 Conexiones de momento en uniones viga columna

La actualización de NCh2369 elimina la referencia anterior de la norma a su Anexo B para el diseño de la zona panel, debido a que las disposiciones del anexo no contienen los conceptos de diseño por capacidad esperada y a que la amplificación por sobrerresistencia puede ser insuficiente para diseños basados en valores de la modificación de la respuesta (R) altos. Por claridad, la actualización presenta en el cuerpo del requisito todos los requerimientos de diseño necesarios para asegurar la ductilidad

de la conexión. El requisito modificado de acuerdo a lo anterior y concordante con los principios de capacidad esperada se presenta a continuación:

Las conexiones de momento de vigas a columnas de marcos rígidos sismorresistentes, los atiesadores de continuidad y la zona panel se deben diseñar para resistir la capacidad esperada en flexión de la viga y el esfuerzo de corte asociado. La resistencia requerida en la conexión no necesita ser mayor que aquella determinada utilizando las combinaciones de cargas definidas en la sección 4.5 de NCh2369, en las cuales el estado de carga sísmico ha sido amplificado por $0.7R_1 \geq 2.0$, o que la máxima sollicitación que el sistema puede transferir a la conexión.

8.3 Requisitos para vigas de marcos rígidos

Si bien la norma NCh2369 contiene requerimientos para el diseño de atiesadores laterales para las vigas de marcos rígidos, la actualización profundiza en los requerimientos, agregando disposiciones que regulan su posición, separación, resistencia y rigidez. Los requisitos se basan en las disposiciones para marcos especiales de momento de AISC341-10. Los requisitos actualizados se indican a continuación:

Las vigas de marcos rígidos deben satisfacer las siguientes condiciones:

- i. En zonas próximas a eventuales rótulas plásticas y en el tramo de la viga, ambas alas deben arriostrarse lateralmente o la sección transversal debe ser arriostrada torsionalmente.
- ii. Los arriostramientos deben estar separados a una distancia no mayor a $0.086 \cdot r_y E/F_y$.
- iii. La resistencia requerida de los arriostramientos laterales debe ser de $0.06 \cdot R_y F_y Z$ (LRFD) o $0.06 \cdot R_y F_y Z / 1.5$ (ASD).
- iv. La rigidez requerida de los arriostramientos laterales debe cumplir los requisitos del Anexo 6 de NCh427/1, considerando que la resistencia flexural requerida corresponde a la capacidad flexural esperada ($M_r = R_y F_y Z$ (LRFD) o $M_r = R_y F_y Z / 1.5$ (ASD)) y que la viga presenta momento uniforme ($C_b = 1.0$).

9 Conclusiones

Los nuevos requisitos incorporados en la actualización de la norma NCh2369 propician de manera más directa el cumplimiento del objetivo de desempeño (continuidad de operación) declarado en la versión 2003 de NCh2369, por lo que se espera generen estructuraciones con comportamientos globales igual de sobrerresistentes, pero de mayor ductilidad. Lo anterior se traduce en un nivel de seguridad mayor en el diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales.

La actualización de NCh2369 requiere la estimación de deformaciones sísmicas por medio del espectro de diseño indicado en la norma NCh2745. Esto genera una incompatibilidad de fuerzas y deformaciones que debe ser abordada en la siguiente revisión de la norma.

La actualización de NCh2369 no aborda suficientemente el adecuado dimensionamiento de los pernos de anclaje de manera que funcionen adecuadamente como un fusible sísmico temprano, evitando que se comporten de manera elástica o que se corten durante un sismo de diseño. Este punto queda pendiente para la siguiente revisión de la norma.

10 Referencias

- [1] C. Urzúa, R. Herrera. Comparison of the Seismic Behavior of Two Industrial Steel Structures Designed in Accordance with Chilean Practices and AISC Requirements. 16th World Conference on Earthquake Engineering.
- [2] Newsletter N°3. Chilean Seismic Design Provisions for Industrials Structures. 16th World Conference on Earthquake Engineering.
- [3] NCh427/1-2016. Construcción - Estructuras de acero - Parte 1: Requisitos para el cálculo de estructuras de acero para edificios.
- [4] Actualización NCh2369. Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales. Instituto Nacional de Normalización.
- [5] NCh2369-2003. Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales. Instituto Nacional de Normalización.
- [6] NCh2745-2013. Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica. Instituto Nacional de Normalización.
- [7] ANSI/AISC 341-10. Seismic Provisions for Structural Steel Buildings. American Institute of Steel Construction.
- [8] ANSI/AISC 360-10. Specification for Structural Steel Buildings. American Institute of Steel Construction.