

Optimización del diseño de conexiones para arriostramientos verticales en estructuras mixtas de hormigón-acero.



Autor: Lorca Lineros, Jonny.

Profesor guía: Carrasco Yefi, Manuel.

Universidad Andrés Bello, Facultad de Ingeniería.

Santiago de Chile, 2021.

Resumen: El documento se centra en evaluar las conexiones en arriostramientos verticales en estructuras mixtas, debido al diseño por capacidad que se exige en el acápite 8.5.2 de la NCh2369.Of2003. Considerando que Chile es un país sísmico, en donde, más de un 80% de las riostras son utilizadas para limitar la deformación de la estructura y su perfil no está definido por el esfuerzo que recibe, se presentan conexiones sobredimensionadas bajo el diseño que propone la normativa. Para abordar esta problemática, basado en información recopilada de papers, normas y verificaciones descritas en los códigos ANSI/AISC, se diseñaron conexiones para el esfuerzo que recibe el perfil y por capacidad, para una estructura en particular diseñada bajo un sistema sismorresistente mixto, en donde, se realizó una comparación de área, peso y gasto económico en las conexiones entre ambos diseños, para finalmente realizar una verificación a través de elementos finitos a cada conexión y ver cómo responden. Basado en los resultados se observó una disminución de área y peso en el diseño de las conexiones mayor al 60%, lo que representa en la estructura una diferencia de 10.817 kgf entre ambos diseños, reduciendo así el gasto económico en \$6.598.514. Teniendo en consideración lo mencionado y que todas las conexiones pasaron las verificaciones por elementos finitos, se puede concluir que el diseño más conveniente es considerando el esfuerzo último, debido a las ventajas de poder reducir el acero que se utilizará en un proyecto y el gasto económico que esto significa, evidenciando un sobredimensionamiento por parte del diseño por capacidad, al tener un perfil definido por el drift en estructuras mixtas.

Palabras claves: Arriostramiento vertical, Deriva entrepiso, Placa de conexión, Sistema sismorresistente mixto.

Abstract: The document focuses on evaluating the connections in vertical bracing in mixed structures, due to the capacity design required in section 8.5.2 of NCh2369.Of2003. Considering that Chile is a seismic country, where more than 80% of the bracing are used to limit the deformation of the structure and its profile is not defined by the stress it receives, consequently occur oversized connections under the design proposed by the normative. To address this problem, based on information collected from papers, normative and verifications described in the ANSI / AISC codes, connections were designed for the effort received by the profile and by capacity, for a particular structure designed under a mixed seismic-resistant system, where, a comparison of area, weight and economic expense was made in the connections between both designs, to finally carry out a verification through finite elements to each connection and see how they respond. Based on the results, a decrease in area and weight was observed in the design of the connections greater than 60%, which in the structure represents a difference of 10,817 kgf between both designs, thus reducing the economic expense by \$ 6,598,514. Taking into consideration the aforementioned and that all the connections passed the finite element verifications, it can be concluded that the most convenient design is considering the last effort, due to the advantages of being able to reduce the steel used in a project and the economic expense, evidencing an oversizing by capacity design, having a profile defined by the drift in mixed structures.

Keywords: Vertical bracing, Drift, Bracing connections, Mixed seismic-resistant system.

Introducción

Chile se caracteriza por ser un país sísmico, por lo que sus estructuras son en base a sistemas sismorresistentes, encontrándose sistemas arriostrados, rígidos o de momentos, de muros y mixtos. Especialmente en sistemas mixtos, como pueden ser centros comerciales, la incorporación de arriostramientos tiene como objetivo funcionar como fusibles para la estructura y a la vez limitar la deformación lateral de esta. Al enfocarnos en los arriostramientos verticales nos encontramos con los sistemas concéntricos (CBFs), los cuales resisten cargas laterales a través de un sistema de diagonales verticales, alineando los ejes concéntricamente a la junta entre viga y columna (Sabelli, Roeder, & Hajjar, 2013).

La NCh2369.Of2003 abarca el diseño sismorresistente con arriostramientos verticales, donde una de sus exigencias contempla un diseño de conexiones al 100% de su capacidad, procurando que mantengan su integridad incluso cuando la riostra sufra pandeo y deformaciones por ciclos sísmicos (Sabelli, Roeder, & Hajjar, 2013), sin embargo, la mayor parte de arriostramientos en estructuras con sistemas mixtos son exclusivamente para limitar la deriva entrepisos, siendo los esfuerzos de tracción y compresión que llegan a soportar dichas diagonales desproporcionados en comparación al esfuerzo que se ven sometidas. Debido a esto surge una problemática en la normativa chilena, producto de que el diseño por capacidad exige que las conexiones se dimensionen teniendo en cuenta la resistencia esperada de la riostra, en lugar de las fuerzas exigidas (Sabelli, Roeder, & Hajjar, 2013), provocando en esto, un excesivo uso de acero derivado del diseño de conexiones, considerando que la producción de acero es uno de los grandes emisores de CO₂ en el área de la construcción, el cual ha provocado junto a otros factores una aceleración del calentamiento global por el que está pasando el planeta, es un factor que debe ser limitado en construcciones de gran magnitud, además del gasto económico que trae consigo un uso masivo de acero.

El presente documento tiene como objetivo poder abordar la problemática mencionada sobre el diseño de conexiones presente en la normativa, diseñando diferentes conexiones para perfiles de

arriostramiento concéntricos en una estructura con un diseño sismorresistente mixto, considerando el esfuerzo ultimo a la cual se ve sometida y un diseño por capacidad como indica la NCh2369.Of2003, a partir de esto realizar una comparación sobre parámetros como seria el uso de acero entre ambos diseños y el gasto que se genera en uno u otro, para finalizar con una verificación a través de elementos finitos, para ver cómo afecta la reducción de la placa Gusset.

Base del estudio

Se realizó un estudio sobre una estructura que contaba con 8 niveles y 3 subterráneos, diseñada bajo un sistema mixto sismorresistente, a la cual se le incorporaron perfiles de acero rectangulares, para poder limitar la deriva entrepiso según lo indicado en la NCh433.Of1996 Mod 2009 y el decreto supremo 61.

Fueron utilizados 4 perfiles diferentes como arriostramientos verticales, en donde, se realizó el diseño de la conexión para cada perfil por capacidad y por el esfuerzo último al cual era sometido, teniendo dos conexiones diferentes para cada perfil, siendo en total 8 Gussets evaluadas, las cuales fueron diseñadas bajo los códigos de acero ANSI/AISC 341-16 y 360-16.

Metodología implementada

Se evaluó una estructura compuesta de hormigón armado y elementos de acero, incorporando el sismo como se indica en la NCh433.Of1996 Mod 2009 y verificando que la deriva entrepiso sea menor a 0.002. Al tener que la estructura cumplía con un diseño sismorresistente regido por la normativa chilena, se modificó con el fin de agregar arriostramientos verticales concéntricos (CBFs), los cuales fueron optimizados de forma de no sobredimensionarlos, fijando el drift máximo alcanzado por la estructura al exigido por la NCh433.Of.1996 Mod 2009. En ambos modelos se realizó un análisis modal, tomando en consideración que la estructura se encuentra en la zona sísmica 3, el tipo de suelo presente es tipo C, y al tratarse de una estructura donde existe una frecuente aglomeración de personas, se asignó una categoría de edificio III.

Fueron agrupadas las variables (dimensiones y ángulos) de los marcos y riostras, para obtener los

datos “Input” en el diseño de las conexiones según el perfil que allí sido utilizado en el arriostramiento del marco, esto a través de realizar el promedio ponderado de cada variable para poder obtener los valores más representativos.

Las conexiones fueron diseñadas considerando el método de resistencia ultima LRFD, en donde, para cada perfil se realizaron 2 Gussets. En primer lugar se realizó un diseño por capacidad, en el cual la resistencia de la placa de conexión excede la capacidad inelastica esperada de la riostra en tensión y compresión (Sabelli, Roeder, & Hajjar, 2013), en donde, el código ANSI/AISC 341-16 indica que la resistencia esperada a tracción se determina como $R_y F_y A_g$, mientras que para compresión dicha resistencia debe adoptar el menor valor entre $R_y F_y A_g$ y $1/0.877 F_{cr} A_g$ (donde F_{cr} es la tensión crítica F_{cr} determinada para una tensión de fluencia igual a $R_y F_y$), mientras que la resistencia esperada de pos-pandeo se puede determinar como 0.3 veces la resistencia esperada a compresión (Crisafulli, 2014), y por otro lado, se realizó un diseño basado en el esfuerzo ultimo al cual se ve sometida cada riostra tanto en tracción como en compresión derivado del análisis estructural realizado en la estructura a través del software ETABS.

Soldadura entre conexiones a Gusset

En el diseño de cada conexión se realizaron diferentes verificaciones basadas en los códigos ANSI/AISC 341-16 y 360-16, considerando una placa Gusset conectada a través de filetes de soldadura al perfil de arriostramiento, viga y columna, tomando igualmente como base el tamaño mínimo y máximo indicado en la NCh427/1.Of2016.

La soldadura entre el arriostramiento y la plancha de conexión es definida para no superar la resistencia al corte de las paredes de arriostramiento, definiendo de un principio el electrodo de la soldadura a usar, en donde, su espesor no debe ser mayor a:

$$D_w \leq \frac{\phi \cdot (0.60 \cdot F_{ua}) \cdot t_a}{\phi F_w \cdot \sqrt{2}/2} \quad (1)$$

Para el cual

$$\phi F_w = 0.75 \cdot 0.60 \cdot F_{exx} \quad (2)$$

Teniendo en consideración que la soldadura tendrá 4 cordones, la longitud de soldadura mínima es definida como:

$$L_w \geq \frac{F_u}{D_w \cdot \phi F_w \cdot \sqrt{2}/2} \quad (3)$$

En donde

$$F_u = \frac{\text{Max}(P_{ut}; P_{uc})}{4} \quad (4)$$

La conexión realizada entre la placa Gusset y la riostra es representada por la fig. 1.

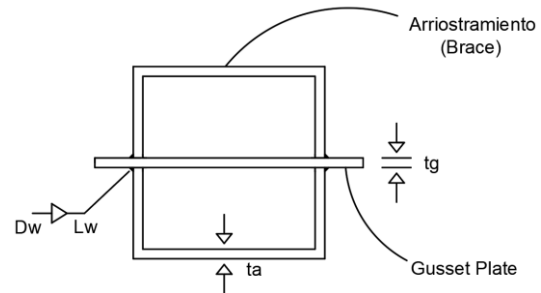


Fig. 1. Conexión arriostramiento – Gusset.

Por otro lado, en las conexiones existentes entre la Gusset con viga y columna, se verifican las tensiones elásticas actuantes en la soldadura con las siguientes ecuaciones.

$$f_a = \frac{V_{ub}}{L_{wb}} \quad (5)$$

$$f_b = \frac{6 \cdot M_{ub}}{L_{wb}^2} \quad (6)$$

$$f_v = \frac{H_{ub}}{L_{wb}} \quad (7)$$

Definiendo la tensión máxima como:

$$f_{peak} = \sqrt{(f_a + f_b)^2 + f_v^2} \quad (8)$$

Y la tensión promedio como: (9)

$$f_{avg} = \frac{1}{2} [\sqrt{(f_a + f_b)^2 + f_v^2} + \sqrt{(f_a - f_b)^2 + f_v^2}]$$

Una vez definida las dos tensiones mencionadas se debe determinar la tensión de diseño igual a:

$$f_{us} = \max (f_{peak}; 1.25 \cdot f_{avg}) \quad (10)$$

Para la cual, el espesor de la soldadura debe ser mayor a:

$$D_{wb} \geq \frac{f_{us}}{\sqrt{2} \cdot \phi F_w} \quad (11)$$

En donde, la fig. 2 muestra los esfuerzos a los que se ve sometida la soldadura entre Gusset-Viga, este procedimiento se repite de igual forma para la soldadura entre placa y columna.

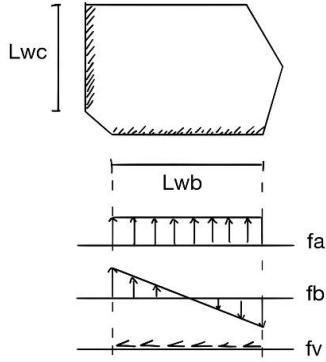


Fig. 2. Tensiones elásticas actuantes en la soldadura entre Gusset-Viga.

Método de diseño

El método UFM es utilizado para determinar las fuerzas existentes en la interfaz de la conexión, proporcionando de manera estandarizada su distribución en las conexiones de arriostramientos verticales, en el cual no se generan momentos entre Gusset-Viga y Gusset-Columna (Muir, 2008), lo que genera usualmente un diseño de placas sobredimensionadas, por lo que, se decidió utilizar una alternativa tomando como base el método UFM, pero esta vez permitiendo momentos en la interfaz de la conexión tanto con la viga como la columna, la fig. 3 representa los esfuerzos transmitidos desde la placa de conexión hacia viga y columna.

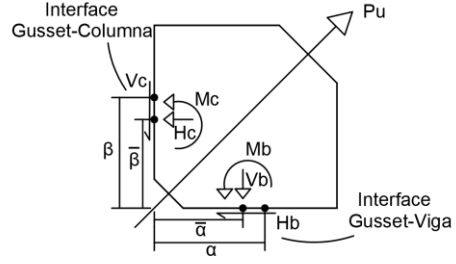


Fig. 3. Esfuerzos resultantes de método variante de UFM.

El método considera tanto la conexión a viga y columna igualmente rígidas, produciendo las siguientes fuerzas de distribución:

$$H_b = \frac{\bar{\alpha}}{r} \cdot Pu_t \quad (12)$$

$$H_c = \frac{e_c}{r} \cdot Pu_t \quad (13)$$

$$V_b = \frac{e_b}{r} \cdot Pu_t \quad (14)$$

$$V_c = \frac{\bar{\beta}}{r} \cdot Pu_t \quad (15)$$

$$M_b = V_b \cdot (\alpha - \bar{\alpha}) \quad (16)$$

$$M_c = H_c \cdot (\beta - \bar{\beta}) \quad (17)$$

Las cuales son determinadas a partir de los siguientes parámetros:

$$K' = \bar{\alpha} \cdot (\tan(\theta) + \bar{\alpha}/\bar{\beta}) \quad (18)$$

$$D = \tan^2(\theta) + (\bar{\alpha}/\bar{\beta})^2 \quad (19)$$

$$K = e_b \cdot \tan(\theta) - e_c \quad (20)$$

$$\alpha = \frac{K' \cdot \tan(\theta) + K \cdot (\bar{\alpha}/\bar{\beta})^2}{D} \quad (21)$$

$$\beta = \frac{K' + K \cdot \tan(\theta)}{D} \quad (22)$$

En donde

$$r = \sqrt{(\bar{\alpha} + e_c)^2 + (\bar{\beta} + e_b)^2} \quad (23)$$

Teniendo en consideración los centroides reales $\bar{\alpha}$ y $\bar{\beta}$ de la placa diseñada.

En cada Gusset se incluyó toda la “Sección de Whitmore” dentro de esta, lo cual suele ser la practica más común, esta sección corresponde al área que se extiende en un ángulo de 30°, desde los bordes de la conexión riostra-Gusset hasta donde termina dicha conexión (fig. 4), en donde, el área más allá de esta sección, es ineficaz de deformación por tracción y pandeo por compresión de la Gusset (Muir, 2008), por lo que la figura de cada placa estará definida por la “sección de Whitmore”, con un desplazamiento de 1 in desde el lado de la riostra hacia el borde de la placa como se recomienda en “Seismic Design and Steel Connection detailing” (Cochran, 2003).

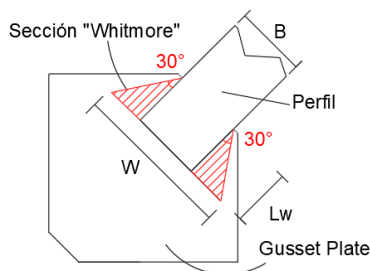


Fig. 4. Sección Whitmore en la placa Gusset.

Finalmente, con el fin de acomodar las rotaciones de la riostra y disipar energía se induce la formación de una franja de fluencia (Crisafulli, 2014) la cual cuenta con una distancia de 2 veces el espesor de la placa Gusset desde el extremo de la riostra hasta la línea de fluencia, que cruza perpendicularmente desde un elemento conectado a la Gusset, ya sea la viga o columna (lo que depende del ángulo de la riostra), hacia el borde libre de la conexión (fig.5).

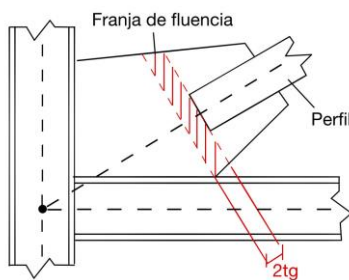


Fig. 5. Franja de fluencia en placa Gusset.

Refuerzo dispuesto en perfil

Para evitar la ruptura de la riostra en la sección neta antes de que desarrolle ductilidad, se coloca refuerzos en la zona del perfil donde se reduce la sección (Crisafulli, 2014), teniendo en consideración el esfuerzo máximo de tracción con el cual es diseñada la conexión, como se muestra en la fig. 6.

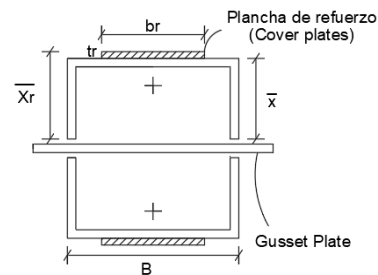


Fig. 6. Refuerzos en el perfil de arriostramiento.

Verificaciones de la placa de conexión

Con la sección de Whitmore definida se debe realizar las verificaciones tanto a compresión como a tracción de la placa de conexión.

Para el esfuerzo a tracción se considera la sección crítica de Whitmore, W, la cual se puede observar en la fig. 4, y determinar el área bruta de esta, definida como:

$$A_{gg} = W \cdot t_g \quad (24)$$

Para determinar la resistencia nominal a tracción:

$$\phi P_{nt} = 0.9 \cdot F_y \cdot A_{gg} \quad (25)$$

Por otro lado, para el esfuerzo a compresión, debe determinarse la longitud de pandeo, L_g .

$$L_g = \frac{(L_1 + L_2 + L_3)}{3} \quad (26)$$

En donde, las diferentes longitudes para calcular L_g , son determinadas a partir de la sección de Whitmore, como se puede observar en la fig. 7.

Considerando un coeficiente de longitud efectiva, K, de 1.2, y un radio de giro igual a:

$$r = \frac{t_g}{\sqrt{12}} \quad (27)$$

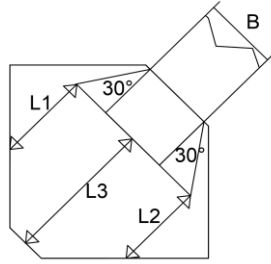


Fig. 7. Longitudes de pandeo de la placa Gusset.

La resistencia nominal a compresión es:

$$\phi P_{nc} = 0.9 \cdot F_{cr} \cdot W \cdot t_g \quad (28)$$

Para la cual la tensión crítica de pandeo por flexión, F_{cr} , es definida como:

$$\text{Si } \frac{K \cdot L_g}{r} \leq 25 \rightarrow F_{cr} = F_y \quad (29)$$

$$\text{Si } \frac{K \cdot L_g}{r} > 25 \rightarrow F_{cr} (AISC 360 - 16) \quad (30)$$

Verificación elementos finitos

Cada conexión diseñada fue evaluada a través de elementos finitos, utilizando el Software IDEA STATIC, para observar cuál sería su comportamiento en frente del último esfuerzo de la riostra, verificando en que parte de la conexión se concentra la tensión equivalente, la forma de pandeo que se tendrá, comprobando si la conexión alcanza una deformada plástica y la verificación de las soldaduras definidas en el diseño de cada placa. Se realizó un análisis por tensión-deformación, teniendo como base los códigos AISC/ACI los cuales se encuentran en la base de datos del software, considerando un diseño por el método de resistencia ultima LRFD, asignando el esfuerzo ultimo a la riostra de tracción y compresión.

Modelo de la estructura

Se realizó una modelación mediante elementos finitos de la estructura, a través del software ETABS, como se aprecia en la fig. 8, teniendo en consideración las cargas de uso y permanentes como se indica en la NCh1537.Of2009.

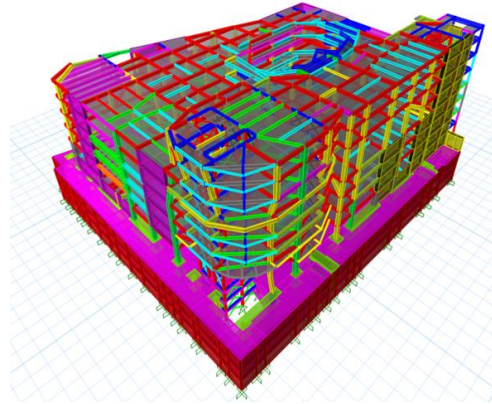


Fig. 8. Modelo de la estructura evaluada

Resultados

Evaluación de estructuras: se verificó que la estructura base cumpliera la deriva entrepiso exigida por la NCh433.Of1996, en la fig. 9 se encuentra el drift para cada dirección, en donde, se observa una deriva máxima entrepiso en la dirección X de 0.0010, y para el eje Y se alcanzó una máxima de 0.0015, ambas inferiores al límite que impone la normativa chilena de 0.002.

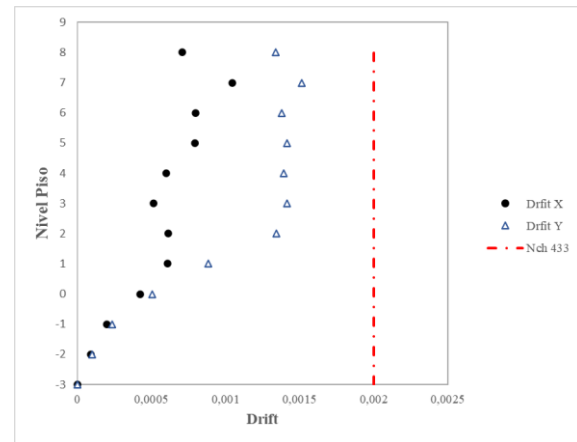


Fig. 9. Drift de piso, modelo base.

Una vez verificada la estructura base, se agregaron los arriostramientos verticales y mediante el análisis estructural realizado, se incorporó el sismo en base a lo que se indica en la NCh433.Of1996 Mod 2009 y el decreto supremo 61, realizando iteraciones a la estructura, variando los perfiles definidos en los arriostramientos

verticales, para así determinar los que se utilizarán, optando por perfiles tipo cajón.

- []80x4, ancho de 80 mm con un espesor de 4 mm.
- []100x5, ancho de 100 mm con un espesor de 5 mm.
- []150x5, ancho de 150 mm con un espesor de 5 mm.
- []250x5, ancho de 250 mm con un espesor de 5 mm.

Del análisis modal se obtuvo un periodo de 0.54 [s] para el eje X de la estructura y 0.77 [s] para el eje Y, los cuales están ligados a la deformación lateral que presenta la estructura, que se pueden observar en la fig. 10, la cual presenta los drift para cada dirección, en donde, al optimizar al máximo posible los perfiles utilizados en el arriostramiento de la estructura, se obtuvo una deriva máxima de 0.002 en el eje Y, siendo este valor el límite de lo permitido en la NCh433.Of1996. El análisis sísmico de ambas estructuras se encuentra detallado en el Anexo A.

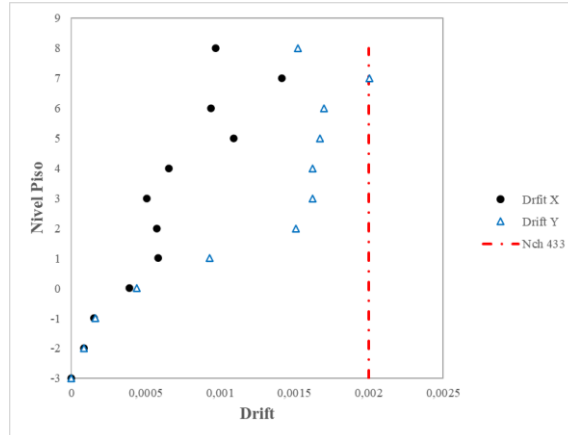


Fig. 10. Drift de piso, modelo arriostrado.

Datos de diseño: La tabla 1 representa los datos procesados para cada perfil, los cuales se obtuvieron del promedio ponderado de las variables de cada marco con arriostramientos de la estructura, los cuales se tomaron como input para el diseño de las conexiones.

Tabla 1. Datos procesados de los marcos que cuentan con riostras.

Perfil	Ang. R-C	Ang. R-V	Largo riostra [cm]
[]80x4	46°	44°	295
[]100x5	50°	40°	326
[]150x5	45°	45°	352
[]250x5	53°	37°	316

Los datos considerados para obtener la tabla 1 se encuentran en el anexo C.

Para el diseño de las conexiones por capacidad se consideró un factor de relación entre tensión de fluencia esperada y la tensión de fluencia mínima (R_y) igual a 1.5, y para la fractura (R_t) igual a 1.2, como se indica en la tabla A3.1 del código de diseño ANSI/AISC 341-16, considerando un acero de grado A36. Por otro lado, en la tabla 2 se observan los esfuerzos últimos con los cuales cuenta el perfil, tanto a compresión como a tracción, los cuales fueron derivados de la combinación $1.2D + L \pm 1.4E_y$, en la cual se encontraron los mayores esfuerzos a los que se ven sometidos los arriostramientos incorporados en la estructura, en donde, la fig. 11 muestra desglosada la combinación según sus estados de carga para tracción y compresión.

Tabla 2. Esfuerzos últimos de tracción y compresión para cada perfil.

Perfil	Tracción [tonf]	Compresión [tonf]
[]80x4	10.73	12.33
[]100x5	29.92	29.78
[]150x5	48.75	48.92
[]250x5	88.25	93.72

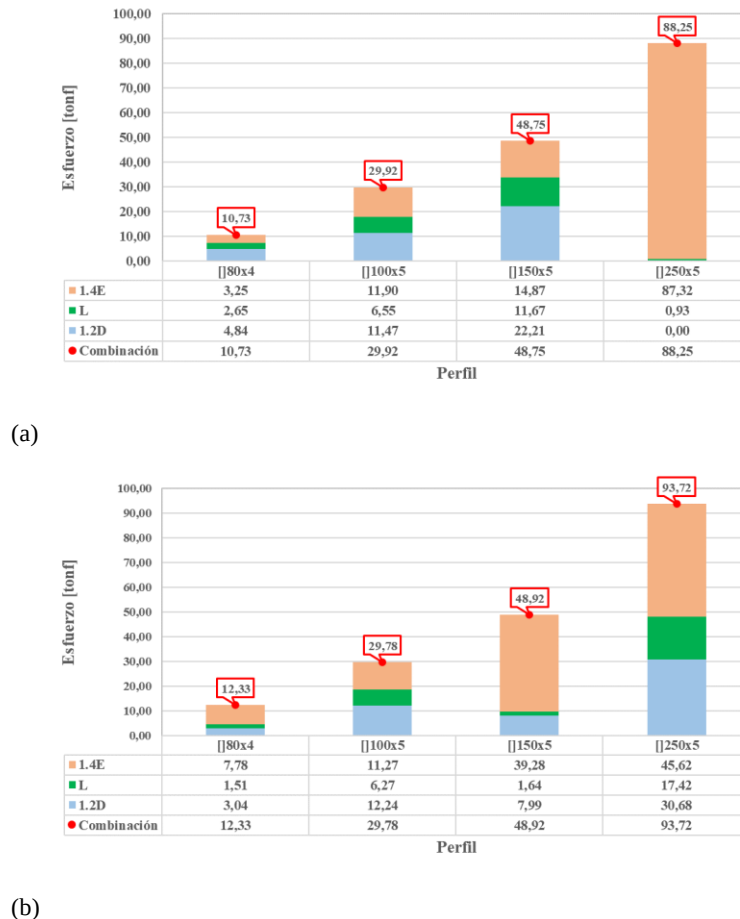


Fig. 11. (a) Esfuerzos de tracción desglosados para la combinación dominante (b) Esfuerzos de compresión desglosados para la combinación dominante

Diseño de conexiones: Como ya se mencionó anteriormente, las conexiones fueron diseñadas tanto por capacidad y por el esfuerzo último, en donde, para suplir que el área neta de la sección del perfil sea capaz de soportar al esfuerzo de tracción, en todas las conexiones diseñadas por capacidad se debió incorporar un refuerzo al perfil, por el contrario, en el diseño por esfuerzo último no fue necesario la incorporación de dicho refuerzo, esto se observa en la tabla 5, la cual considera todos los refuerzos implementados en la estructura.

Para tener una idea visual se puede observar la fig. 12, la cual presenta las conexiones a escala de los dos diseños considerados, por otra parte, la tabla 3 muestra las diferentes variables de las conexiones diseñadas (espesor, área y peso), presentándose una disminución superior al 60% en el área de todas las placas, como se puede

apreciar en la fig. 13 (b), la cual muestra una comparación entre el área del diseño de conexiones por capacidad y esfuerzo. En los perfiles de mayor dimensión se tuvo una variación del espesor de sus conexiones, el cual disminuyó al no considerar el diseño impuesto por la normativa, dado lo sobredimensionado que llega a ser este, teniendo el espesor más el área de la placa de conexión y considerando una densidad media del acero de 7.85 tonf/m³, se puede apreciar en la fig. 13 (a) una comparación entre los pesos de las placas Gussets de ambos diseños, en la cual, se presentó una disminución en cada conexión superior al 60% para el diseño por esfuerzo, llegando incluso a 70% en los perfiles de mayor dimensión, como son el [J]150x5 y [J]250x5. En el anexo B se presenta la planilla de cálculo con las verificaciones utilizadas en el diseño de las conexiones, para el perfil [J]250x5 abordando el diseño por capacidad y por esfuerzo.

Tabla 3. Variables para las conexiones diseñadas.

Perfil	Diseño	Tg [mm]	Área [m ²]	Peso [kgf]
[]80x4	Capacidad	6	0.12	5.6
	Esfuerzo	6	0.04	1.9
[]100x5	Capacidad	8	0.18	11.3
	Esfuerzo	8	0.07	4.5
[]150x5	Capacidad	10	0.31	24.6
	Esfuerzo	8	0.07	4.5
[]250x5	Capacidad	16	1.12	141.3
	Esfuerzo	12	0.45	42.2

Por otro lado, en la tabla 4 se muestran la soldadura utilizada entre la conexión de la placa Gusset y la riostra, utilizando mayor soldadura para un diseño por capacidad, lo que es lógico, debido a que el esfuerzo considerado es mayor al último. En la mayoría de las soldaduras se

mantuvo su espesor, por el contrario, la longitud de soldadura en cada una de ellas fue superior al doble en el diseño impuesto por la normativa comparado con un diseño por esfuerzo.

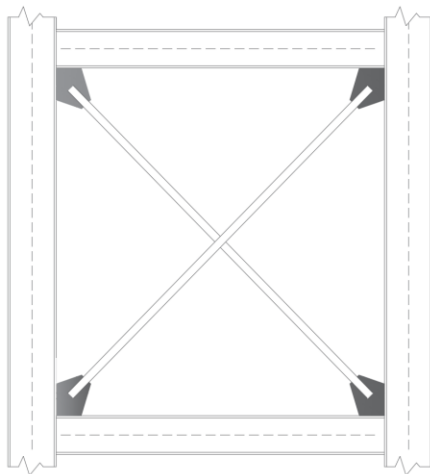
Tabla 4. Diámetro y largo de soldadura en la placa Gusset y la riostra.

Perfil	Diseño	Riostra - Gusset	
		Dw [mm]	Lw [cm]
[]80x4	Capacidad	4	23.5
	Esfuerzo	3	8
[]100x5	Capacidad	5	27
	Esfuerzo	5	9
[]150x5	Capacidad	5	41
	Esfuerzo	5	19
[]250x5	Capacidad	5	70
	Esfuerzo	5	25

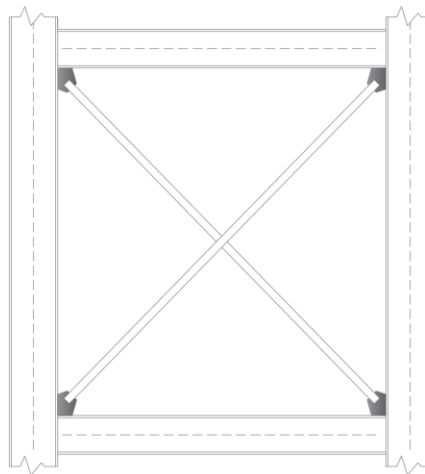
Tabla 5. Datos de los refuerzos para perfiles en el diseño por capacidad.

Perfil	Tr [mm]	Longitud [cm]	Ancho [cm]	Peso [kgf]	N° Refuerzos	Peso total [kgf]
[]80x4	5	37	3.5	0.51	600	305
[]100x5	6	45	4.5	0.95	776	740
[]150x5	6	65	6.4	1.96	496	972
[]250x5	6	93	10	4.38	56	245

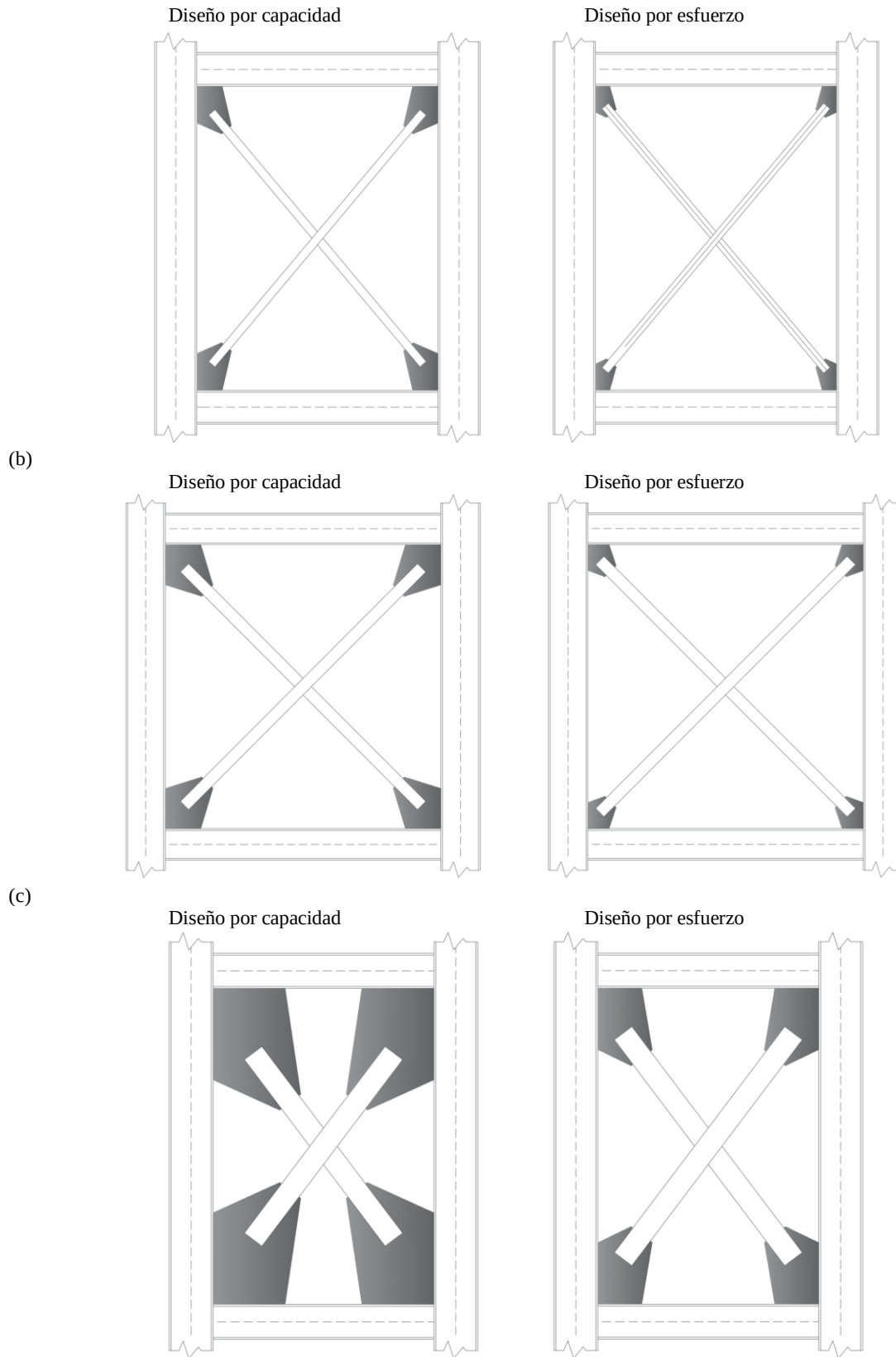
Diseño por capacidad



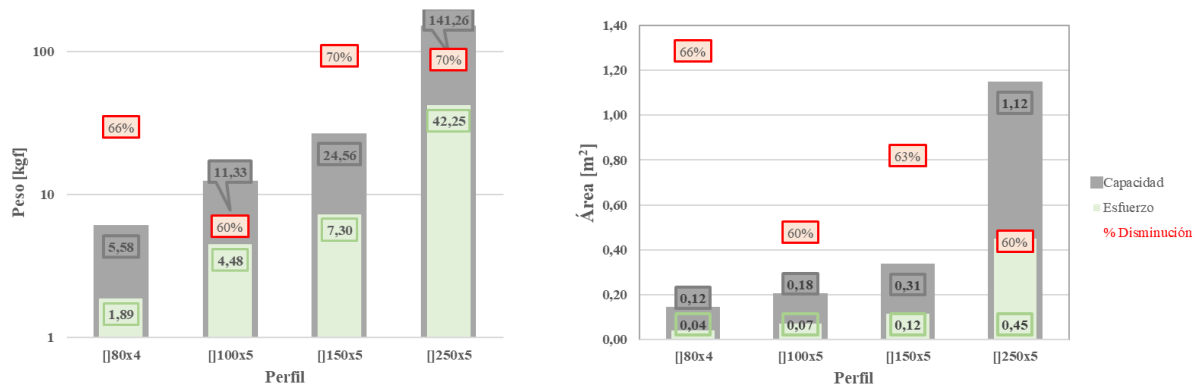
Diseño por esfuerzo



(a)



(d)
Fig. 12. (a) Conexiones diseñadas para el perfil [J]80x4 a escala. (b) Conexiones diseñadas para el perfil [J]100x5 a escala.
 (c) Conexiones diseñadas para el perfil [J]150x5 a escala (d) Conexiones diseñadas para el perfil [J]250x5 a escala.



(a)

(b)

Fig. 13. (a) Peso de conexión según diseño utilizado para cada perfil. (b) Área de conexión según diseño utilizado para cada perfil.

La tabla 6 muestra una comparación sobre el porcentaje de área que ocupa la conexión en relación con el área total que cuenta el marco, en donde, esta última fue derivada de los parámetros obtenidos del promedio ponderado para cada perfil, encontrándonos que para el diseño por capacidad para el perfil de mayor dimensión ([]250x5) la conexión abarca un 50% del área total del marco, lo que se llega a disminuir con un diseño basado en el esfuerzo que recibe la placa a un 20%, resultando algo más lógico a lo observado en diferentes proyectos.

Tabla 6. Comparación sobre porcentaje de área que ocupa cada conexión en el marco que se dispone.

Perfil	Diseño	Área marco [m²]	%Área
[]80x4	Capacidad	12.2	4%
	Esfuerzo		1%
[]100x5	Capacidad	10.3	7%
	Esfuerzo		3%
[]150x5	Capacidad	12.6	10%
	Esfuerzo		4%
[]250x5	Capacidad	9.1	50%
	Esfuerzo		20%

Plano económico: Considerando las variables definidas para las conexiones de la tabla 3 y la cantidad dispuestas de cada una en la estructura, se determinó su costo en el proyecto, como se observa en la tabla 7, para así realizar una comparación del gasto económico que sería diseñar con uno u otro esfuerzo, la fig. 14 representa el ahorro que se llega a producir considerando un diseño por esfuerzo en comparación a lo que exige la normativa.

Tabla 7. Costo para cada conexión diseñada en el proyecto evaluado.

Perfil	Diseño	Peso [kgf]	Nº	Costo [\$]
[]80x4	Capacidad	5.6	300	1.020.576
	Esfuerzo	1.9	300	345.052
[]100x5	Capacidad	11.3	388	2.681.591
	Esfuerzo	4.5	388	1.061.290
[]150x5	Capacidad	24.6	248	3.715.925
	Esfuerzo	7.3	248	1.104.346
[]250x5	Capacidad	141.3	28	2.412.699
	Esfuerzo	42.2	28	721.589

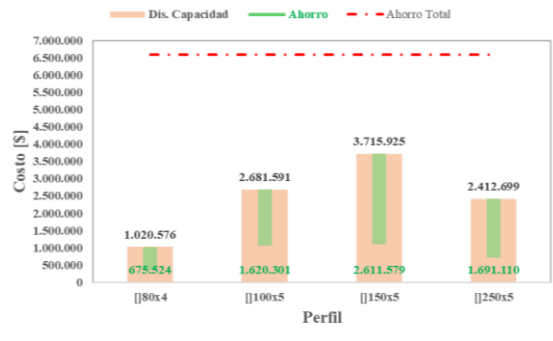


Fig. 14. Ahorro al realizar un diseño de conexiones a través del esfuerzo ultimo.

Verificación de elementos finitos: Con las conexiones diseñadas, se les realizó un análisis de elementos finitos en IDEA STATIC, en donde, tanto las placas Gusset diseñadas a capacidad y por esfuerzo cumplieron las verificaciones realizadas por el software, en la tabla 8 se puede observar la tensión resultante de las placas para cada caso de carga (compresión y tracción), para la cual, la Gusset diseñada para el perfil [150x5] presento la mayor tensión en el diseño por esfuerzo, con una diferencia de 44 MPa en comparación con su diseño por capacidad, esto sucedió para el esfuerzo de tracción, y se puede observar de mejor manera en la fig. 17, la cual muestra una comparación entre la tensión a la que se ven sometidas las conexiones, y así poder visualizar cual es el área más exigida de la placa.

Tabla 8. Tensión resultante de las conexiones mediante el análisis por elementos finitos.

Perfil	Diseño	Tensión equivalente [MPa]	
		Tracción	Compresión
[80x4]	Capacidad	129.7	138.5
	Esfuerzo	175.1	190.5
[100x5]	Capacidad	186.8	150.1
	Esfuerzo	210.1	207.2
[150x5]	Capacidad	187.2	181.5
	Esfuerzo	231.2	225.0
[250x5]	Capacidad	181.4	185.2
	Esfuerzo	221.3	216.5

Por otro lado, la única placa Gusset que presento una deformación plástica fue la del perfil [150x5, la cual es de 3.9% para el esfuerzo de tracción y 0.8% para compresión, ambas al lado de la conexión Gusset-Columna, que es justamente el lado más largo de la placa, sin embargo, están dentro del rango de deformación plástica definido por los códigos bases para la evaluación, la cual es de 5%, esta conexión se puede observar en la fig. 15.

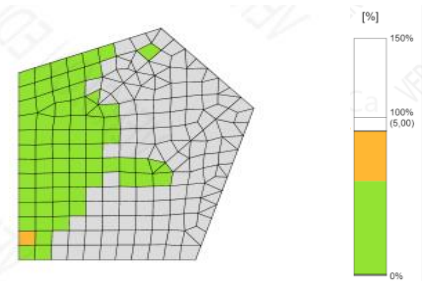


Fig. 15. Placa de conexión diseñada por esfuerzo que alcanza la deformación plástica en tracción.

La fig. 16 muestra el pandeo por compresión que sufren las conexiones, para el cual se induce una franja de fluencia con un ancho de 2 veces el espesor de la placa, este se generó tanto en conexiones diseñadas por capacidad como por esfuerzo, lo que permite cumplir el criterio de rotación inelastica.

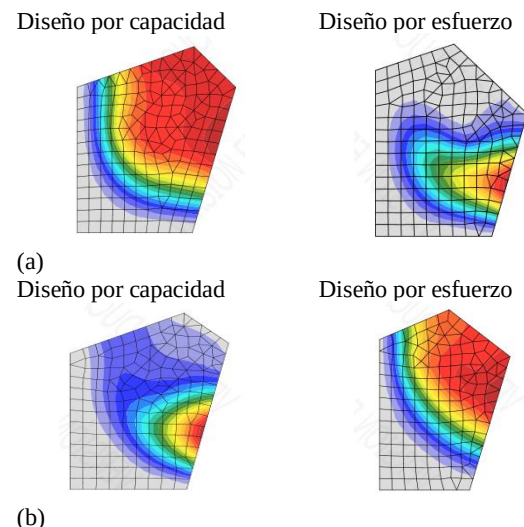


Fig. 16. (a) Pandeo a compresión de conexiones para perfil [80x4. (b) Pandeo a compresión de conexiones para perfil [100x5.

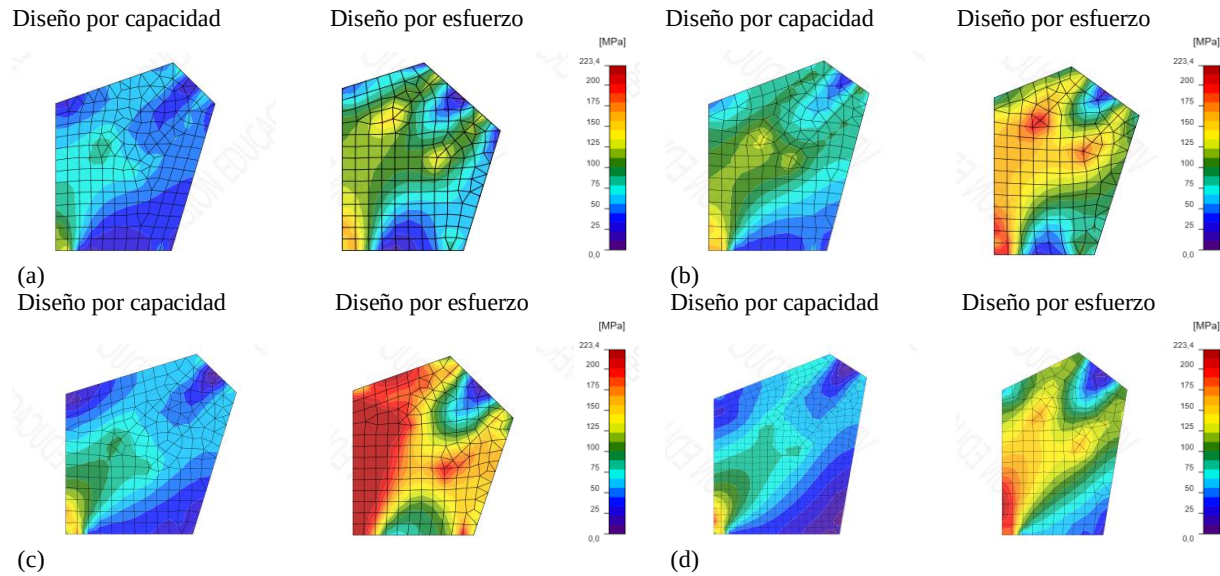


Fig. 17. (a) tensión actuante en conexiones diseñadas para perfil [I]80x4 (b) Tensión actuante en conexiones diseñadas para perfil [I]100x5. (c) Tensión actuante en conexiones diseñadas para perfil [I]150x5. (d) Tensión actuante en conexiones diseñadas para perfil [I]250x5.

Análisis de resultados

Evaluación de estructuras: Tanto la estructura base como a la que se le incorporaron los arriostramientos verticales, cumplieron con el drift exigido por normativa, en los cuales se presentó una mayor deformación lateral en el eje Y, por lo que los perfiles de mayor dimensión fueron dispuestos en esta dirección, siendo este el eje débil de la estructura, en donde, los periodos son mayores a los obtenidos en el eje X.

Datos de diseño: De la fig. 11 se puede observar lo determinante que llega a ser la carga de sismo para el esfuerzo ultimo que recibe el perfil mostrados en la tabla 2, llegando a ser en el perfil de mayor dimensión [I]250x5 casi la totalidad del esfuerzo a tracción, esto se ve en menor medida para el esfuerzo de compresión, presentándose aun así una predominancia de la carga de sismo en los dos perfiles de mayor dimensión ([I]150x5 y [I]250x5), lo que remarca la importancia que toma el sismo en los arriostramientos verticales en estructuras mixtas, al ser perfiles implementados para poder limitar la deriva entrepiso que presenta la estructura y con un esfuerzo último no controlado por las cargas gravitacionales presentes, al regirnos por lo que indica la normativa, se encuentra que el diseño por capacidad no contempla lo antes mencionado, por el contrario, sobredimensiona el esfuerzo que se debe

considerar para el diseño de conexiones, al imponer una resistencia igual a la esperada por la riostra, la que considera un factor de 1.5 para un acero de grado A36, lo que da pie a conexiones sobredimensionadas.

Diseño de conexiones: Se puede observar la diferencia que presenta un diseño por capacidad y por esfuerzo, en donde, al disminuir el área del perfil para poder agregar la conexión, se debe incorporar un refuerzo para soportar el esfuerzo de diseño, lo que implica una cantidad de acero de 2.262 kgf derivado de los datos presentes en la tabla 5, que al considerar un valor de \$610 para el kgf de acero A36, es un gasto de \$1.379.967, dado que en este diseño no se contempla la función real que cumple la riostra en la estructura, la cual es de limitar la deformación lateral, por el contrario, en un diseño considerando el esfuerzo ultimo al que se ve sometido el perfil, no fue necesario la incorporación de refuerzo alguno, presentándose una gran brecha tanto de acero utilizado como de gasto económico solo en el apartado de refuerzos.

En la fig. 12 se ve de manera grafica las conexiones diseñadas por un diseño u otro, la cual respalda lo presentado en la tabla 3, aumentando el área ocupada dentro del marco por las conexiones diseñadas por capacidad, en donde, se aprecia una gran diferencia en los perfiles de mayor dimensión, llegando incluso a alcanzar un

área de 1.12 m² en el perfil [J250x5, considerando que en cada marco existen 4 conexiones, se tiene un área total de 4.48 m², por otro lado, con un diseño por esfuerzo este valor se logra disminuir a 1.8 m², logrando así una disminución de un 60%, lo que se repite en cada conexión diseñada, respaldando el gran problema presente en diseño por capacidad en estructuras mixtas, derivado de la diferencia entre los esfuerzos de diseño. Este porcentaje de un 60% en disminución del área llega a ser aún mayor al comparar el peso de conexiones, debido a que en los perfiles [J150x5 y [J250x5, el espesor de la Gusset es inferior en el diseño por esfuerzo, esto se debe a que los perfiles de mayor dimensión son exclusivamente para limitar el drift de la estructura, por ende, se presenta una mayor diferencia entre la resistencia esperada del perfil y los esfuerzos últimos a los que se ve sometido. Se debe tener en consideración que los esfuerzos últimos considerados para el diseño de las conexiones son los mayores presentes para cada perfil, lo que quiere decir que la reducción de peso en un 70% será aun mayor realizando un diseño mas conservador, al subdividir los esfuerzo a los que se ve sometido cada perfil en la estructura.

De igual forma que el área y peso de las conexiones, la soldadura implementada entre Gusset-Riostra es mayor al considerar un diseño por capacidad, y este parámetro está ligado directamente al área de la placa Gusset, debido a la franja de fluencia que se debe incorporar en cada conexión, la cual comienza al final de la longitud de soldadura.

Plano económico: Una vez definido el peso de cada conexión según el diseño que se allá considerado, se obtiene el costo total de las placas en la estructura, en el cual se tiene una diferencia de \$6.598.514, lo que evidencia la gran problemática que surge en el diseño propuesto por la normativa en proyectos de gran dimensión, y porque se pasa muchas veces por alto en el diseño de conexiones, esto se aprecia tanto en la fig. 14 como en la tabla 7, en la que un diseño por capacidad tiene el triple de costo que considerando el esfuerzo último que recibe, un valor sumamente desproporcionado considerando la importancia de hacer un proyecto rentable o no.

Verificación de elementos finitos: Tanto las conexiones diseñadas por capacidad y por esfuerzo cumplieron con las verificaciones realizadas a través de elementos finitos, validando así un diseño que llega a reducir tanto área, peso y gasto económico de una conexión, sin embargo, esto implica una Gusset que se ve sometida a una tensión mayor a lo largo de su área, como se muestra en la fig. 17 y tabla 8, lo que es lógico debido a la gran reducción que se llegó a realizar.

Un punto que se debe tener en cuenta es el largo libre de alguna conexión que se presente en la placa, debido a que mientras mayor sea este presentara una mayor exigencia, esto se puede observar en la fig. 17, en donde, el área con mayor tensión resulto ser la que se encontraba al lado de la columna, y fue esta misma zona en donde se presentó una deformación plástica para la conexión del perfil [J150x5, por el contrario, la zona que contaba con un menor largo como es la que se encuentra junto a la viga, no se vio mayormente exigida.

Conclusión

Este documento presentó los resultados del diseño por capacidad y esfuerzo de conexiones para arriostramientos verticales, comparando ambos diseños y verificando las placas a través del software IDEA STATIC. En los resultados se pudo observar cómo se disminuye considerablemente las diferentes variables de las conexiones utilizando un diseño que considere el esfuerzo último del perfil, en donde, se puede llegar a disminuir el área y peso hasta en un 70%, evaluando perfiles tipo cajón de diferentes dimensiones, a pesar que la reducción de cada conexión fue considerable, cada una de ella cumplió con todas las verificaciones realizadas a través de elementos finitos, es aquí en donde se debe cuestionar el diseño que exige la NCh2369.Of2003, en la cual se evidencia un sobredimensionamiento de las conexiones, por definir el esfuerzo de diseño igual a la resistencia esperada del perfil, siendo este desproporcionado a lo que realmente se ve sometida la riostra. Al disminuir el acero en 10.817 kgf para el proyecto evaluado, se reduce en gran medida las emisiones de CO₂, lo que en cierta parte aporta para reducir el cambio climático al cual nos vemos sometidos, además, existe un ahorro considerable de

\$6.598.514 en las conexiones y \$1.379.967 en la incorporación de refuerzos para el perfil, siendo el plano económico un apartado con especial atención en cada proyecto que se realice.

Por otro lado, en el diseño por capacidad para el perfil de mayor dimensión ([J250x5) las conexiones abarcan un 50% del marco para el cual fueron diseñadas, lo que es algo que en la vida laboral no se ve, dado que es un gasto excesivo de acero y sería prácticamente realizar un muro de este material, considerando igualmente las riostras con las que cuenta la estructura, implicando en su caso el no cumplimiento de la normativa.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado se puede apreciar en la diferencia de ambos diseños, lo restrictivo que llega a ser lo propuesto por la NCh2369.Of2003 para estructuras mixtas, dado que en este tipo de proyectos el arriostramiento que es utilizado es para limitar las deformaciones laterales que puede provocar el sismo, dado que las cargas son tomadas por otros elementos (vigas, columnas y muros), debido a esto, el diseño más conveniente para conexiones de arriostramientos verticales en estructuras mixtas es a través del esfuerzo que reciben, teniendo en cuenta que estas cumplieron de forma adecuada a las verificaciones que se les hicieron a través de elementos finitos, logrando una disminución de acero utilizado y por consiguiente un gasto económico menor, aun así, se debe tener en consideración que se evaluó un solo proyecto, por lo que se recomienda evaluar otros proyectos en base a un sistema mixto y ver a que esfuerzos se ven sometidas las riostras.

Notación

A_g	=	Área bruta del perfil.
A_{gg}	=	Área bruta de la placa de Gusset.
B	=	Ancho del perfil de riostra.
b_r	=	Ancho de refuerzo.
D_w	=	Espesor de soldadura.
e_b	=	Distancia media de la profundidad de la viga.

e_c	=	Distancia media de la profundidad de la columna.
F_{cr}	=	Tensión crítica de pandeo por flexión.
F_{exx}	=	Resistencia por clasificación del metal base.
F_u	=	Esfuerzo máximo definido para la soldadura entre conexión riostra-Gusset.
F_{ua}	=	Resistencia de tracción mínima para el acero especificado en la riostra.
F_w	=	Resistencia nominal de soldadura.
F_y	=	Tensión de fluencia mínima.
f_{avg}	=	Tensión promedio de soldadura.
f_{peak}	=	Tensión máxima de soldadura.
f_{us}	=	Tensión de diseño de soldadura.
H_b	=	Fuerza de corte en la conexión Gusset-Viga.
H_c	=	Fuerza axial en la conexión Gusset-Columna.
K	=	Coeficiente de longitud efectiva.
L_g	=	Longitud de pandeo.
L_w	=	Longitud de soldadura.
M_b	=	Momento en la conexión de Gusset-Viga.
M_c	=	Momento en la conexión de Gusset-Columna.
P_{nc}	=	Resistencia nominal a compresión.
P_{nt}	=	Resistencia nominal a tracción.
P_{uc}	=	Esfuerzo de compresión.
P_{ut}	=	Esfuerzo de tracción.
R_t	=	Relación entre la resistencia de tracción esperada y la resistencia de tracción mínima, F_u .
R_y	=	Relación entre la tensión de fluencia esperada y la tensión de fluencia mínima, F_y .

r	=	Radio de giro.	α	=	Distancia desde el ala de la columna al centroide ideal de la placa Gusset.
t_a	=	Espesor de la riostra.	$\bar{\alpha}$	=	Distancia desde el ala de la columna al centroide real de la placa Gusset.
t_g	=	Espesor de placa Gusset.	β	=	Distancia desde el ala de la viga al centroide ideal de la placa Gusset.
t_r	=	Espesor del refuerzo.	$\bar{\beta}$	=	Distancia desde el ala de la viga al centroide real de la placa Gusset.
V_b	=	Fuerza axial en la conexión Gusset-Viga.	θ	=	Ángulo formado entre perfil de riostra y columna.
V_c	=	Fuerza de corte en la conexión Gusset-Columna.			
W	=	Sección crítica de Whitmore.			

Anexos

Anexo A: Análisis sísmico de la estructura base y modificada.

Se presenta el análisis sísmico en base a lo que indica la NCh 433.Of1996 y el decreto supremo para la estructura evaluada.

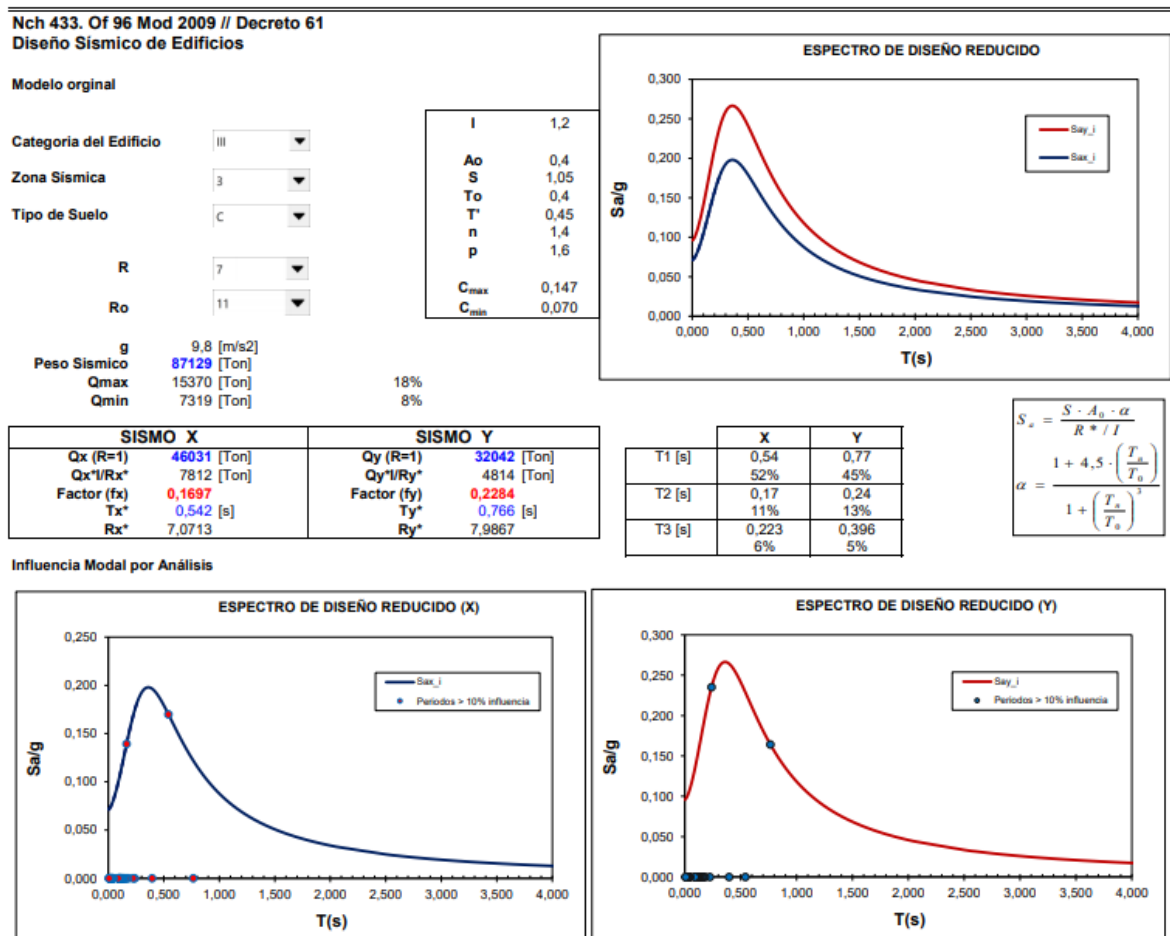


Fig. A 1. Análisis sísmico para la estructura base.

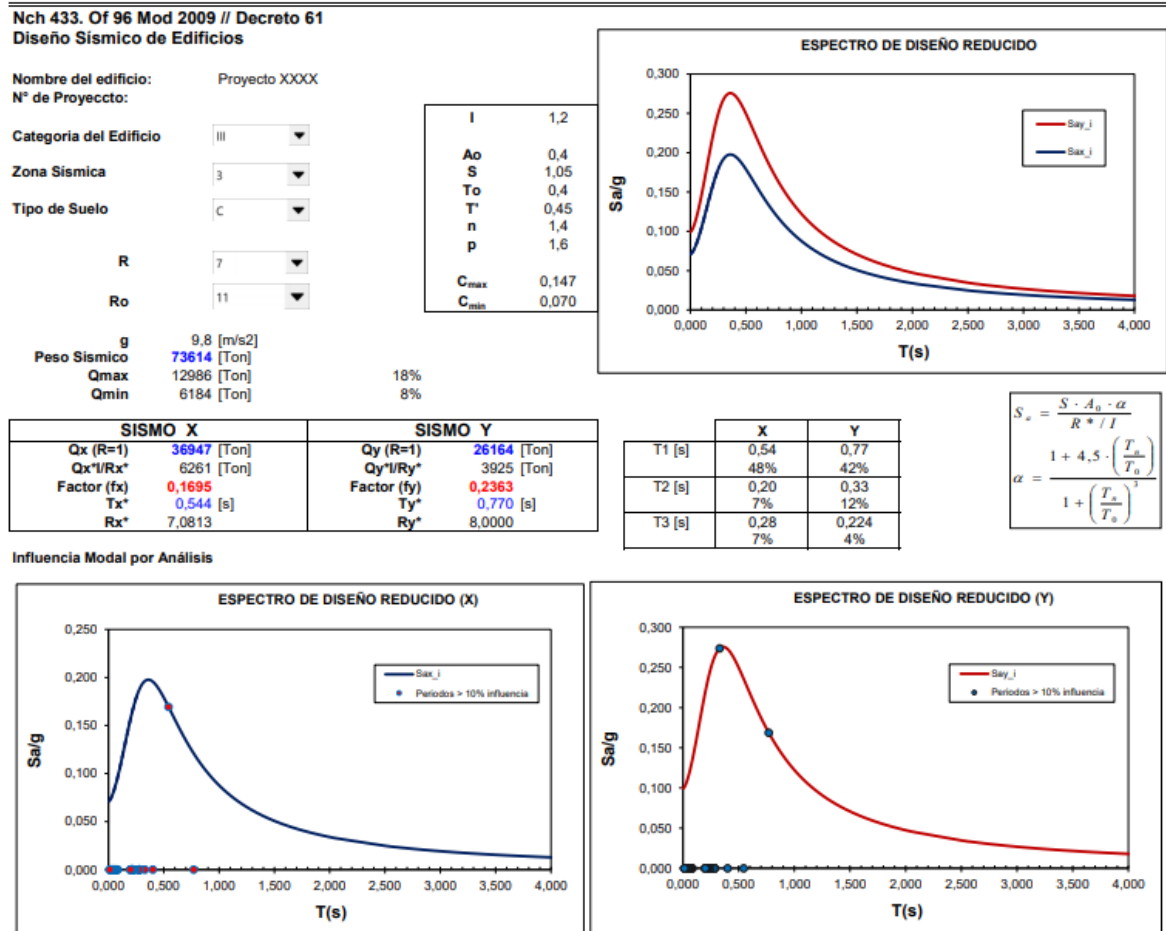


Fig. A 2. Análisis sísmico para la estructura con arriostramientos verticales.

Anexo B: Diseño de Conexiones.

Se incluye a continuación el diseño para las conexiones realizado en la planilla de cálculo, considerando un esfuerzo por capacidad y por esfuerzo para el perfil de mayor dimensión, al ser todas las conexiones diseñadas con las mismas verificaciones.

Diseño por capacidad

Universidad Andrés Bello
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil

Planilla de Cálculo Conexiones

Taller de Título
Jonny Andrés Lorca Lineros

1.0 Geometría secciones

Columna		Viga	
ec (mm)	250	eb (mm)	200
Riostra			
Perfil		E (t/cm ²)	2040,8
B (mm)	250	Área Bruta	
H (mm)	250	Largo	
e (mm)	5	Radio de giro	
Ag (cm ²)	49,0	Riostra - Viga	
L (cm)	316		
r (cm)	10,0		
K	1		
Ángulo (°)	53		

2.0 Materiales

Acero Riostra	ASTM A36	
Fy (t/cm ²)	2,53	
Ry	1,5	
Fu (t/cm ²)	4,08	
Rt	1,2	
Acero Gusset	ASTM A36	
Fy (t/cm ²)	2,53	
Ry	1,3	
Fu (t/cm ²)	4,08	
Rt	1,20	
Electrodo Soldadura	E70XX	
Fexx (t/cm ²)	4,23	
Fw (t/cm ²)	2,54	Resistencia nominal

3.0 Resistencia requerida

3.1 Tracción

Tracción (t)	186,08
Esfuerzo Riostra T (t)	88,25
Porcentaje a considerar	100%
Tracción considerada (t)	186,08

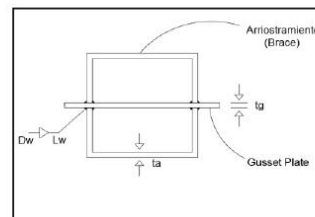
3.2 Compresión

Fe (t/cm ²)	20,188	Tensión crítica de pandeo elastico
Fcr (t/cm ²)	3,510	Tensión crítica de pandeo por flexión
Compresión (t)	186,08	
Esfuerzo Riostra C (t)	93,72	
Porcentaje a considerar	100%	
Compresión considerada (t)	186,08	

4.0 Verificaciones

4.1 Soldadura entre arriostamiento y plancha de nodo

φ	0,75	
tg (mm)	16	Espesor placa gusset
Dw (mm)	5	Espesor de soldadura escogida
Lw (cm)	70	Longitud de soldadura escogida
Dw min (mm)	3	OK
Dw max (mm)	5,0	OK
Lw min (cm)	69,17	OK

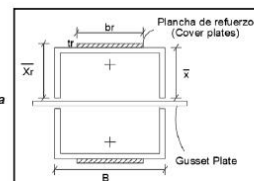


4.2 Verificación de la rotura en tracción del área neta efectiva del arriostamiento (Perfiles Tubulares)

φ	0,75	
br (mm)	100	Ancho refuerzo
tr (mm)	6	Espesor refuerzo
Ag _r (cm ²)	12	Área bruta refuerzo
An _r (cm ²)	12	Área neta refuerzo
An _s (cm ²)	47,08	Área neta Riostra
An (cm ²)	59,08	Área neta
U	0,86	Factor de corte
Ae (cm ²)	50,72	Área efectiva
Ae _{min} (cm ²)	50,69	Área efectiva mínima

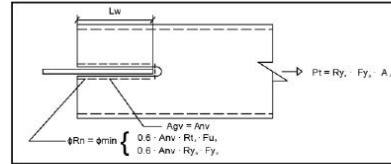
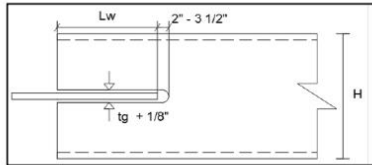
Mismo acero que riostra

OK



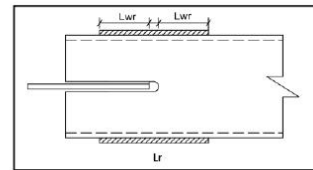
4.3 Verificación de la resistencia al bloque de corte en las paredes del arriostramiento con soldadura

ϕ	0,75	
A_{gv} (cm ²)	140,00	Área bruta de corte
A_{nv} (cm ²)	140,00	Área neta de corte
ϕR_n	239,24	OK



4.4 Longitud y soldadura placa de refuerzos

ϕ	0,75	
D_{wr} (mm)	5	Espesor soldadura
L_{wr} (cm)	44	Longitud soldadura
$L_{wr_{min}}$ (cm)	43,67	OK
$D_{wr_{min}}$ (mm)	3	OK
$D_{wr_{max}}$ (mm)	5	OK
L_r (mm)	930	



5.0 Metodo UFM

β (mm)	642	Centroide real en el eje y
θ (°)	37	Angulo entre ejes de columna y riostra
α (mm)	384,5	
r (mm)	1054,3	
H_c (t)	44,1	Fuerza horizontal en columna
V_c (t)	113,3	Fuerza vertical en columna
H_b (t)	67,9	Fuerza horizontal en viga
V_b (t)	35,3	Fuerza vertical en viga

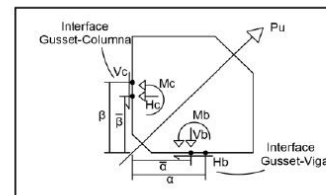
5.1 Alternativa metodo UFM

Caso 1. Conexión interface Gusset-Viga (Soldada) es más rígida que la Gusset-Columna (Apemada)

Caso 2. Caso contrario al 1

Caso 3. Ambas conexiones son igualmente rígidas

β (mm)	642,0	Centroide real en el eje y
α (mm)	477,6	Centroide real en el eje x
Caso	3	
α (mm)	431,6	
β (mm)	704,6	
k	-99,3	
kx	715,2	
D	1,1	
r (mm)	1112,8	
H_c (t)	41,8	Fuerza horizontal en columna
V_c (t)	107,3	Fuerza vertical en columna
M_c (t*m)	2,62	Momento en columna
H_b (t)	79,9	Fuerza horizontal en viga
V_b (t)	33,4	Fuerza vertical en viga
M_b (t*m)	1,54	Momento en viga

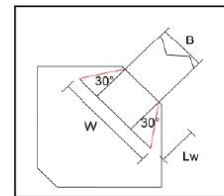


6.0 Sección de Withmore

6.1 Resistencia a tracción

ϕ	0,9	
W (mm)	1058	
A_g (mm ²)	16932,6	
ϕP_n (t)	385,8	Resistencia a tracción de la placa
t (mm)	7,72	OK

Espesor de placa Gusset para cumplir con tracción



Universidad Andrés Bello
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil

Planilla de Cálculo Conexiones

Taller de Título
Jonny Andrés Lorca Lineros

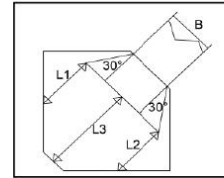
6.2 Resistencia a compresión

ϕ	0,9
k	1,2
I1 (mm)	57
I3 (mm)	759
I2 (mm)	526
Lg (mm)	447,3
rc (mm)	4,6
λ	116,2
Fe (t/cm ²)	1,49
Fcr (t/cm ²)	1,2
ϕP_n (t)	189,6
t (mm)	15,7

Coeficiente de longitud efectiva

Radio de giro Gusset

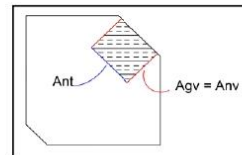
Resistencia a compresión de la placa **OK**
Espesor de placa Gusset para cumplir con compresión



7.0 Resistencia por bloque de corte

ϕ	0,75
Agv (cm ²)	224
Anv (cm ²)	224
Ant (cm ²)	40
ϕR_n (t)	377,6

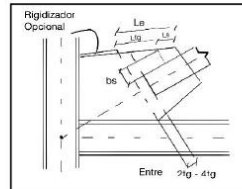
Área bruta solicitante al corte
Área neta solicitante al corte
Área neta solicitada a la tracción
Resistencia a tracción del bloque de corte **OK**



8.0 Verificación de pandeo local en el borde libre

Ls (mm)	232
Lfg (mm)	340
Le (mm)	572
bs (mm)	136,3

Longitud donde arriostramiento provee restricción al pandeo
Longitud de pandeo efectiva

OK

9.0 Verificación estado tensional de la plancha de nodo en las interfaces

ϕ	0,9
--------	-----

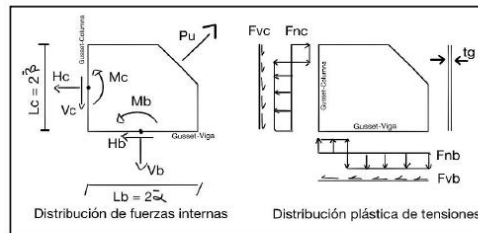
9.1 Interface Gusset-Viga

eb (mm)	46,0
Lb (mm)	820
Lbef (mm)	733,2
Fnb (t/cm ²)	0,3
Fvb (t/cm ²)	0,6

OK

9.2 Interface Gusset-Columna

ec (mm)	62,6
Lc (mm)	1042
Lcef (mm)	924,3
Fnc (t/cm ²)	0,3
Fvc (t/cm ²)	0,6

OK

10.0 Diseño de conexión entre plancha nodo y columna

ϕ	0,75
--------	------

10.1 Diseño soldadura entre la plancha de nodo y viga

Lwb (mm)	820
fwb (t/cm)	0,41
fbv (t/cm)	0,14
fvp (t/cm)	0,97
fpeak (t/cm)	1,12
fagv (t/cm)	1,06
fub (t/cm)	1,33

Tensión máxima
Tensión promedio

Dwb (mm)	5
----------	---

Espesor soldadura mínima

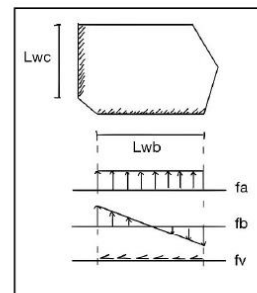
10.2 Diseño soldadura entre la plancha de nodo y columna

Lwc (mm)	1042
fac (t/cm)	0,40
fcc (t/cm)	0,14
fcv (t/cm)	1,03
fpeak (t/cm)	1,17
fagv (t/cm)	1,11
fuc (t/cm)	1,39

Tensión máxima
Tensión promedio

Dwc (mm)	5,2
----------	-----

Espesor soldadura mínima



Diseño por esfuerzo

Universidad Andrés Bello
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil

Planilla de Cálculo Conexiones

Taller de Título
Jonny Andrés Lorca Lineros

1.0 Geometría secciones

Columna		Viga	
ec (mm)	250	eb (mm)	200
Riostra			
Perfil		E (t/cm ²)	2040,8
B (mm)	250	Área Bruta	
H (mm)	250	Largo	
e (mm)	5	Radio de giro	
Ag (cm ²)	49,0	Riostra - Viga	
L (cm)	316		
r (cm)	10,0		
K	1		
Ángulo (°)	53		

2.0 Materiales

Acero Riostra	ASTM A36	
Fy (t/cm ²)	2,53	
Ry	1,5	
Fu (t/cm ²)	4,08	
Rt	1,2	
Acero Gusset	ASTM A36	
Fy (t/cm ²)	2,53	
Ry	1,3	
Fu (t/cm ²)	4,08	
Rt	1,20	
Electrodo Soldadura	E70XX	
Fexx (t/cm ²)	4,23	Resistencia nominal
Fw (t/cm ²)	2,54	

3.0 Resistencia requerida**3.1 Tracción**

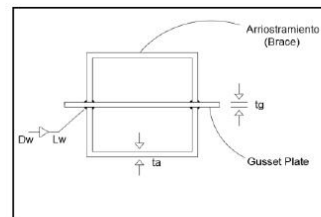
Tracción (t)	186,08
Esfuerzo Riostra T (t)	88,25
Porcentaje a considerar	0%
Tracción considerada (t)	88,25

3.2 Compresión

Fe (t/cm ²)	20,188	Tensión crítica de pandeo elastico
Fcr (t/cm ²)	3,510	Tensión crítica de pandeo por flexión
Compresión (t)	186,08	
Esfuerzo Riostra C (t)	93,72	
Porcentaje a considerar	0%	
Compresión considerada (t)	93,72	

4.0 Verificaciones**4.1 Soldadura entre arriostamiento y plancha de nodo**

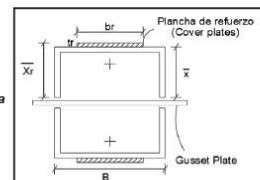
φ	0,75	
tg (mm)	12	Espesor placa gusset
Dw (mm)	5	Espesor de soldadura escogida
Lw (cm)	35	Longitud de soldadura escogida
Dw min (mm)	3	OK
Dw max (mm)	5,0	OK
Lw min (cm)	34,84	OK

**4.2 Verificación de la rotura en tracción del área neta efectiva del arriostamiento (Perfiles Tubulares)**

φ	0,75	
br (mm)	0	Ancho refuerzo
tr (mm)	0	Espesor refuerzo
Ag _r (cm ²)	0	Área bruta refuerzo
An _r (cm ²)	0	Área neta refuerzo
An _s (cm ²)	47,48	Área neta Riostra
An (cm ²)	47,48	Área neta
U	0,73	Factor de corte
Ae (cm ²)	34,76	Área efectiva
Ae _{min} (cm ²)	24,04	Área efectiva mínima

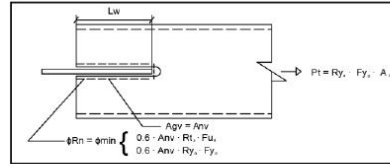
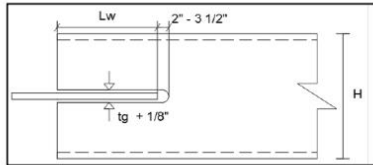
Mismo acero que riostra

OK



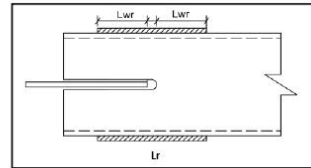
4.3 Verificación de la resistencia al bloque de corte en las paredes del arriostramiento con soldadura

ϕ	0,75	
A_{gv} (cm ²)	70,00	Área bruta de corte
A_{nv} (cm ²)	70,00	Área neta de corte
ϕR_n	119,62	OK



4.4 Longitud y soldadura plancha de refuerzos

ϕ	0,75	
Dwr (mm)	0	Espesor soldadura
Lwr (cm)	0	Longitud soldadura
Lwr _{min} (cm)	0,00	No Necesita Refuerzo
Dwr _{min} (mm)	3	No Necesita Refuerzo
Dwr _{max} (mm)	0	No Necesita Refuerzo
Lr (mm)	50	



5.0 Metodo UFM

β (mm)	412,2	Centroide real en el eje y
θ (°)	37	Angulo entre ejes de columna y riostra
α (mm)	211,3	
r (mm)	766,6	
Hc (t)	28,8	Fuerza horizontal en columna
Vc (t)	47,5	Fuerza vertical en columna
Hb (t)	24,3	Fuerza horizontal en viga
Vb (t)	23,0	Fuerza vertical en viga

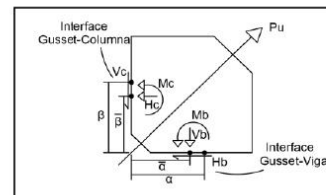
5.1 Alternativa metodo UFM

Caso 1. Conexión interface Gusset-Viga (Soldada) es más rígida que la Gusset-Columna (Apemada)

Caso 2. Caso contrario al 1

Caso 3. Ambas conexiones son igualmente rígidas

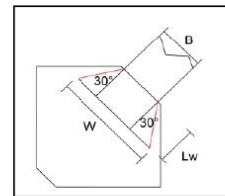
β (mm)	412,2	Centroide real en el eje y
α (mm)	287,3	Centroide real en el eje x
Caso	3	
α (mm)	252,3	
β (mm)	466,5	
k	-99,3	
kx	416,7	
D	1,1	
r (mm)	814,5	
Hc (t)	27,1	Fuerza horizontal en columna
Vc (t)	44,7	Fuerza vertical en columna
Mc (t*m)	1,47	Momento en columna
Hb (t)	31,1	Fuerza horizontal en viga
Vb (t)	21,7	Fuerza vertical en viga
Mb (t*m)	0,76	Momento en viga



6.0 Sección de Withmore

6.1 Resistencia a tracción

ϕ	0,9	
W (mm)	654	
Ag (mm ²)	7849,7	
ϕP_n (t)	178,9	Resistencia a tracción de la placa
t (mm)	5,92	Espeor de placa Gusset para cumplir con tracción OK



Universidad Andrés Bello
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil

Planilla de Cálculo Conexiones

Taller de Título
Jonny Andrés Lorca Lineros

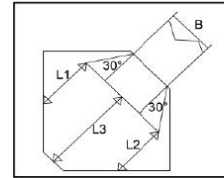
6.2 Resistencia a compresión

ϕ	0,9
k	1,2
I1 (mm)	45
I3 (mm)	479
I2 (mm)	397
Lg (mm)	307,0
rc (mm)	3,5
λ	106,3
F_e (t/cm ²)	1,78
F_{cr} (t/cm ²)	1,4
ϕP_n (t)	98,7
t (mm)	11,4

Coeficiente de longitud efectiva

Radio de giro Gusset

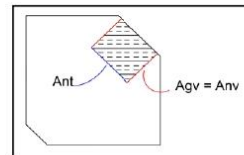
Resistencia a compresión de la placa **OK**
Espesor de placa Gusset para cumplir con compresión



7.0 Resistencia por bloque de corte

ϕ	0,75
Agv (cm ²)	84
Anv (cm ²)	84
Ant (cm ²)	30
ϕR_n (t)	187,5

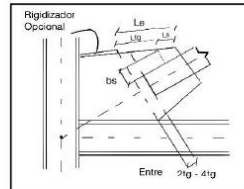
Área bruta solicitante al corte
Área neta solicitante al corte
Área neta solicitada a la tracción
Resistencia a tracción del bloque de corte **OK**



8.0 Verificación de pandeo local en el borde libre

Ls (mm)	176
Lfg (mm)	255
Le (mm)	431
bs (mm)	102,2

Longitud donde arriostramiento provee restricción al pandeo
Longitud de pandeo efectiva

OK

9.0 Verificación estado tensional de la plancha de nodo en las interfaces

ϕ	0,9
--------	-----

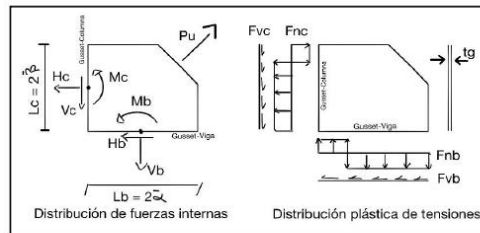
9.1 Interface Gusset-Viga

eb (mm)	35,0
Lb (mm)	500
Lbef (mm)	434,8
Fnb (t/cm ²)	0,4
Fvb (t/cm ²)	0,5

OK

9.2 Interface Gusset-Columna

ec (mm)	54,3
Lc (mm)	700
Lcef (mm)	599,7
Fnc (t/cm ²)	0,4
Fvc (t/cm ²)	0,5

OK

10.0 Diseño de conexión entre plancha nodo y columna

ϕ	0,75
--------	------

10.1 Diseño soldadura entre la plancha de nodo y viga

Lwb (mm)	500
fwb (t/cm)	0,43
fbv (t/cm)	0,18
fvp (t/cm)	0,62
fpeak (t/cm)	0,88
fagv (t/cm)	0,77
fub (t/cm)	0,97

Tensión máxima
Tensión promedio

Dwb (mm)	4
----------	---

Espesor soldadura mínima

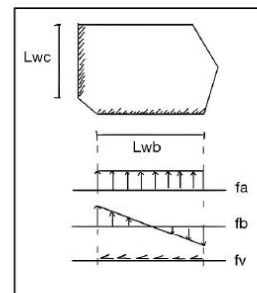
10.2 Diseño soldadura entre la plancha de nodo y columna

Lwc (mm)	700
fac (t/cm)	0,39
fcv (t/cm)	0,18
fcv (t/cm)	0,64
fpeak (t/cm)	0,85
fagv (t/cm)	0,76
fuc (t/cm)	0,95

Tensión máxima
Tensión promedio

Dwc (mm)	3,5
----------	-----

Espesor soldadura mínima



Anexo C: Tabla de datos.

A continuación, se presentan las variables de los marcos con arriostramientos verticales, a los cuales se les determinó el promedio ponderado para diseñar las conexiones.

Riostra	Eje	Columna [m]	Viga [m]	Area [m ²]	N°	N° Gusset	α °	β °	Largo riostra [m]	Perfil
1	B	4,0	3,2	12,6	6	24	51,8	38,2	2,55	[]80x4
2		5,0	3,2	15,8	12	48	57,8	32,2	2,95	[]100x5
3		5,0	3,2	15,8	2	8	57,8	32,2	2,95	[]250x5
4		4,0	3,2	12,6	1	4	51,8	38,2	2,55	[]150x5
5		5,0	3,0	15,0	2	8	59,0	31,0	2,92	[]150x5
6		5,0	3,0	15,0	1	4	59,0	31,0	2,92	[]250x5
7		4,0	3,0	12,0	2	8	53,1	36,9	2,50	[]150x5
8	C	4,0	3,0	11,8	3	12	53,6	36,4	2,49	[]80x4
9		5,0	3,0	14,8	6	24	59,5	30,5	2,90	[]80x4
10		5,0	3,0	14,8	1	4	59,5	30,5	2,90	[]100x5
11		4,0	3,0	11,8	1	4	53,6	36,4	2,49	[]100x5
12	D	4,0	3,2	12,6	3	12	51,8	38,2	2,55	[]80x4
13		5,0	3,2	15,8	6	24	57,8	32,2	2,95	[]100x5
14		5,0	3,2	15,8	1	4	57,8	32,2	2,95	[]150x5
15		4,0	3,2	12,6	1	4	51,8	38,2	2,55	[]150x5
16		4,0	4,3	17,3	6	24	42,8	47,2	2,95	[]80x4
17		5,0	4,3	21,6	12	48	49,1	40,9	3,31	[]150x5
18		5,0	4,3	21,6	2	8	49,1	40,9	3,31	[]150x5
19		4,0	4,3	17,3	2	8	42,8	47,2	2,95	[]150x5
20	E	5,0	4,7	23,4	12	48	46,9	43,1	3,43	[]150x5
21	F	5,0	6,0	30,0	12	48	39,8	50,2	3,91	[]150x5
22		5,0	4,5	22,5	2	8	48,0	42,0	3,36	[]250x5
23		5,0	4,3	21,3	2	8	49,6	40,4	3,28	[]250x5
24		4,0	4,5	18,0	2	8	41,6	48,4	3,01	[]150x5
25		4,0	4,3	17,0	2	8	43,3	46,7	2,92	[]100x5
26	G	5,0	3,8	18,9	6	24	52,9	37,1	3,13	[]100x5
27	J	4,0	3,9	15,5	6	24	45,9	44,1	2,79	[]80x4
28		5,0	3,9	19,4	10	40	52,2	37,8	3,16	[]100x5
29	K	4,0	4,4	17,5	6	24	42,4	47,6	2,96	[]80x4
30		5,0	6,8	34,0	7	28	36,4	53,6	4,22	[]150x5
31		4,0	3,4	13,6	2	8	49,7	40,3	2,62	[]100x5
32		5,0	6,0	30,0	6	24	39,8	50,2	3,91	[]100x5
33	2	4,0	5,5	21,8	8	32	36,3	53,7	3,38	[]80x4
34		5,0	5,5	27,3	14	56	42,5	47,5	3,70	[]100x5
35		4,0	4,4	17,6	6	24	42,3	47,7	2,97	[]80x4
36		5,0	5,5	27,3	7	28	42,5	47,5	3,70	[]100x5
37		4,0	5,5	21,8	1	4	36,3	53,7	3,38	[]80x4
38	3	4,0	3,8	15,2	6	24	46,5	43,5	2,76	[]80x4
39		4,0	3,8	15,2	2	8	46,5	43,5	2,76	[]100x5
40		5,0	3,8	19,0	14	56	52,8	37,2	3,14	[]100x5
41	4	4,0	3,9	15,6	6	24	45,7	44,3	2,79	[]80x4
42		5,0	3,9	19,5	12	48	52,0	38,0	3,17	[]100x5
43		5,0	6,5	32,5	1	4	37,6	52,4	4,10	[]100x5
44		4,0	6,5	26,0	1	4	31,6	58,4	3,82	[]100x5
45	5	4,0	3,6	14,5	6	24	47,8	42,2	2,70	[]80x4
46		5,0	6,0	30,0	6	24	39,8	50,2	3,91	[]150x5
47	6	5,0	6,0	30,0	6	24	39,8	50,2	3,91	[]80x4

Fig. C 1. Datos de los marcos con perfiles de arriostramiento verticales en la estructura.

Referencias

- Cochran, M. L. (2003). Seismic Design and Steel Connection detailing.
- Crisafulli, F. J. (2014). *Diseño Sismorresistente de construcciones de acero*. Mendoza: Alacero.
- De Oliveira, C., Christopoluos, C., & Packer, J. A. (2011). High-Strength Brace Connectors for use in SCBF and OCBF.
- Ibáñez Estolozza, J. O. (2019). *Procedimiento de diseño de conexiones estructurales aplicado a edificios industriales y mineros de acero*. Santiago, Chile.
- Mata, M., & Enrique, J. (2009). *Elaboración de un manual de diseño sismorresistente de edificaciones en acero bajo los sistemas SMF, SCBF y EBF basado en las normas ANSI/AISC 360-05 y 341-05*. Caracas.
- Muir, L. S. (2008). Designing Compact Gussets with the Uniform Force Method.
- NCh1537. (2009). *Diseño estructural - Cargas permanentes y cargas de uso*. Santiago, Chile: Instituto nacional de normalización.
- NCh2369. (2003). *Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales*. Santiago, Chile: Instituto nacional de normalización.
- NCh427/1. (2016). *Requisitos para el cálculo de estructuras de acero para edificios*. Santiago, Chile: Instituto nacional de normalización.
- NCh433. (1996). *Diseño sísmico de edificios*. Santiago, Chile: Instituto nacional de normalización.
- Reyes, J. C. (2013). *Diseño de Conexiones típicas de edificios de acero*. Bogotá, Colombia.
- Sabelli, R., Roeder, C. W., & Hajjar, J. F. (2013). Seismic Design of Steel Special Concentrically Braced Frame Systems.
- Thornton, Muir, L. S., & A. W. (2009). Design of Vertical Bracing Connections for High-Seismic Drift.
- Zambrano Leiva, P. B. (2008). *Diseño Sismorresistente de Conexiones Rígidas Viga-Columna y Arriostramientos Excéntricos para un edificio de Acero de 15 Pisos Emplazado en la Ciudad de Valdivia*. Valdivia, Chile.