

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS
DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



“DISEÑO DE CONEXIONES CON PLACA DE EXTREMO”
TESIS

QUE PRESENTA: **RICARDO RAMÍREZ PÉREZ**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE **INGENIERO CIVIL**

ASESOR DE TESIS: DOCTOR EN INGENIERÍA JOSÉ DE JESÚS
ÁLVAREZ SERENO

MORELIA, MICHOACÁN A FEBRERO DE 2014

RESUMEN

Las placas de extremo sirven para realizar conexiones de viga a columna en estructuras de acero. Se componen por una placa soldada al extremo de una viga metálica y atornillada a una columna. Durante años de investigación y experimentación se desarrolló un procedimiento de diseño, basado en la teoría de las líneas de fluencia, para elaborar de manera efectiva 3 distintos modelos de estas placas.

Las configuraciones de placas de extremo estudiadas en esta tesis son las de los modelos 4E, 4ES y 8ES (4 tornillos, 4 tornillos con atiesadores y 8 tornillos con atiesadores, respectivamente). La más usada es la 4E.

Las conexiones de placa de extremo suelen resultar muy sencillas de colocar, prácticamente todo el trabajo es de taller y el montaje es extremadamente rápido. Constituyen un tipo de conexión en el que solo es requerido colocar la viga y atornillar.

Se han llevado a cabo muchas aportaciones al procedimiento de diseño de placas extremas, buscando simplificar los métodos de cálculo utilizados. Entre los aportes más notables tenemos la identificación de los comportamientos como placa gruesa y delgada, la filosofía de columna y placa fuertes y viga débil y numerosas pruebas cambiando los tipos de carga cíclica, empleando distribuciones de tornillos diferentes.

Hay 4 elementos esenciales para el diseño de las placas de extremo: el momento de diseño de la conexión, la resistencia de la placa, la resistencia de los tornillos y la resistencia a flexión de la columna. A lo largo de los pasos del procedimiento de diseño se analizan los estados límites referentes a estos elementos.

Se presenta una ayuda de diseño para agilizar el cálculo de las placas. Dichas ayudas consisten en hojas de cálculo detalladas para realizar todas las iteraciones que requiramos. Facilita de manera notable realizar una comparación entre los 3 modelos de placa para ejemplos prácticos y hacer una mejor elección al momento de ejecutar la obra.

Las conexiones de placas de extremo son de rápida instalación, son baratas y de detallamiento sencillo. Aunque se debe de tener un mayor cuidado con ellas al momento de cortar los elementos a conectar.

Varios constructores han podido levantar estructuras de más de 30 niveles gracias a conexiones como las que se encuentran en esta tesis.

ABSTRACT

Una conexión de placa de extremo consiste en una placa de acero soldada al final de una viga y atornillada a un elemento vertical. Se les clasifica según el número de tornillos que se utilizan en la conexión, si llevan o no atiesadores y por si superan o no el peralte de la viga que conectan (dividiéndose en placas extendidas y ‘al rás’).

El procedimiento de diseño comprende 20 pasos, en los que se analizan los estados límites de los siguientes elementos: resistencia de los tornillos, la resistencia de la placa misma, la resistencia a flexión de la viga y el momento de diseño de la conexión.

Las ayudas de diseño, consistentes en hojas de cálculo, facilitan las iteraciones necesarias para llegar a un buen diseño de conexión de placa de extremo.

PALABRAS CLAVE

Placa de extremo, placa extrema, procedimiento de diseño, ayudas de diseño, tornillos, viga, columna, conexión, conexión rígida, conexión a momento, momento de diseño, carga sísmica, carga cíclica, carga por viento.

KEYWORDS

End-plate, plate, connection, bolt, bolt diameter, design guide, seismic application, wind application, beam, beam web, beam flange, column, column web, column flange, plastic hinge, flexural strenght, design procedure, moment connection.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a todas las personas que me han afectado de manera positiva a lo largo de mi vida. Quiero dedicarla también a todas aquellas dificultades que encontramos en el camino ya que, sin ellas, nunca habría aprendido a superar adversidades.

En particular quisiera agradecer a mi asesor, José de Jesús Álvarez Sereno, por su paciencia y apoyo para la realización de este trabajo y convertirse en un amigo y camarada en el proceso.

De una manera muy especial, a mis hermanos por ser apoyo constante y amigos cercanos y a mis padres, por darme la vida, creer en mí y, a pesar de los problemas que hayan podido surgir a lo largo de la vida, siempre han estado ahí por nosotros. No podría tener mejor ejemplo a seguir...

...este trabajo es para ustedes.

ÍNDICE

CAPITULO 1: INTRODUCCION.....	7
1.1. Antecedentes	7
1.2. Objetivo de la Tesis	9
1.3. Contenido de la Tesis	9
1.4. Breve Resumen Literario	10
1.4.1. Diseño de Placa de Extremo	10
1.4.2. Diseño de Tornillos.....	12
1.4.3. Diseño de la Columna en la Zona de Conexión.....	14
1.4.4. Pruebas ante Carga Cíclica de Conexiones Rígidas de Placa de Extremo	15
1.4.5. Análisis de Elemento Finito para Conexiones Rígidas de Placa de Extremo	19
CAPITULO 2: FUNDAMENTOS.....	23
2.1. BASES PARA LAS RECOMENDACIONES DE DISEÑO	23
2.2. Principios Teóricos.....	24
2.2.1. Momento de Diseño de la Conexión.....	24
2.2.2. Teoría de las Líneas de Fluencia	26
2.2.3. Modelo por Resistencia de Tornillos.....	30
2.3. Revisión de Estados Límite	33
2.4. Prácticas de Dimensionamiento y Fabricación.....	34
CAPÍTULO 3: PROCEDIMIENTO DE DISEÑO	43
3.1. PROCESO GENERAL	43
3.2. Pasos del Procedimiento de Diseño	43
3.3. Verificación de la Aplicabilidad del Procedimiento de Diseño	55
3.4. Limitaciones de los Procedimientos de Diseño	56

CAPÍTULO 4: EJEMPLOS.....	64
4.1. Descripción.....	64
4.2. Ejemplo 1, Conexión 4E	64
Ejemplo 2, Conexión 4E.....	75
4.3. Ejemplo 3, Conexión 4ES.....	85
4.4. Ejemplo 4, Conexión 8ES.....	89
CAPITULO 5: AYUDAS DE DISEÑO	99
5.1. Descripción.....	99
5.2. Uso de las Ayudas de Diseño	99
5.2.1. Indicaciones Paso a Paso.....	100
CAPITULO 6: CONCLUSIONES	125
BIBLIOGRAFÍA.....	129

CAPITULO 1: INTRODUCCION

1.1. Antecedentes

Una conexión rígida de placa de extremotípica está compuesta por una placa de acero soldada al final de una viga conectada a una columna utilizando hileras de tornillos de alta resistencia. Las conexiones rígidas de placa de extremo se clasifican como ‘al ras’ o ‘extendidas’, con o sin atiesadores, y, más específicamente, dependiendo del número de tornillos en el patín a tensión. Una conexión al ras es aquella en la que la placa no sobrepasa el límite de los patines de la viga y son usadas comúnmente en marcos sujetos a fuerzas verticales y a fuerzas horizontales pequeñas o cerca de los puntos de inflexión de marcos con elementos inclinados. Una conexión de placa de extremo extendida es aquella en la que los límites de la misma sobrepasan del patín lo suficiente como para permitir colocar los tornillos en otra posición distinta a los extremos de la sección transversal de la viga. Las placas extendidas pueden ser usadas con o sin atiesadores entre la placa de extremo y el patín a tensión de la viga, en el plano del alma de la viga. Las placas extendidas se usan para conexiones rígidas viga-columna.

Las tres configuraciones de placas de extremo extendidas que se muestran en la figura 1.1 han sido probadas para su uso en aplicaciones sísmicas. La intención de este estudio es presentar el procedimiento de diseño para las tres configuraciones y ejemplos prácticos completos de ellas, así como la presentación de una hoja de cálculo que sirva para el diseño rápido y eficaz de este tipo de conexiones, que han demostrado ser adecuadas para construcciones a base de marcos rígidos sometidos a fuerzas laterales. La configuración de 4 tornillos sin atiesadores mostrada en la figura 1.1(a) es probablemente la más utilizada en la construcción de marcos de varios niveles. El agregar atiesadores, figura 1.1 (b), puede ayudar a reducir el espesor de la placa de extremo. Asumiendo que el momento total de la viga debe ser resistido y que el diámetro máximo para los tornillos es de 1 1/2 pulgadas, estas conexiones, por la resistencia a tensión de los tornillos, deberán de ser suficientes para al menos la mitad de las secciones de viga disponibles laminadas en caliente. La conexión con atiesadores de 8 tornillos, figura 1.1(c), es la más adecuada para desarrollar de mejor manera la capacidad a momento de la mayoría de las secciones disponibles, sin importar si el diámetro de los tornillos está limitado a 1 1/2 pulgadas. Los procedimientos de diseño y los ejemplos de cálculo para estas conexiones se encuentran en los siguientes capítulos. Así como con cualquier tipo de conexión, las placas de extremo tienen ciertas ventajas y desventajas.

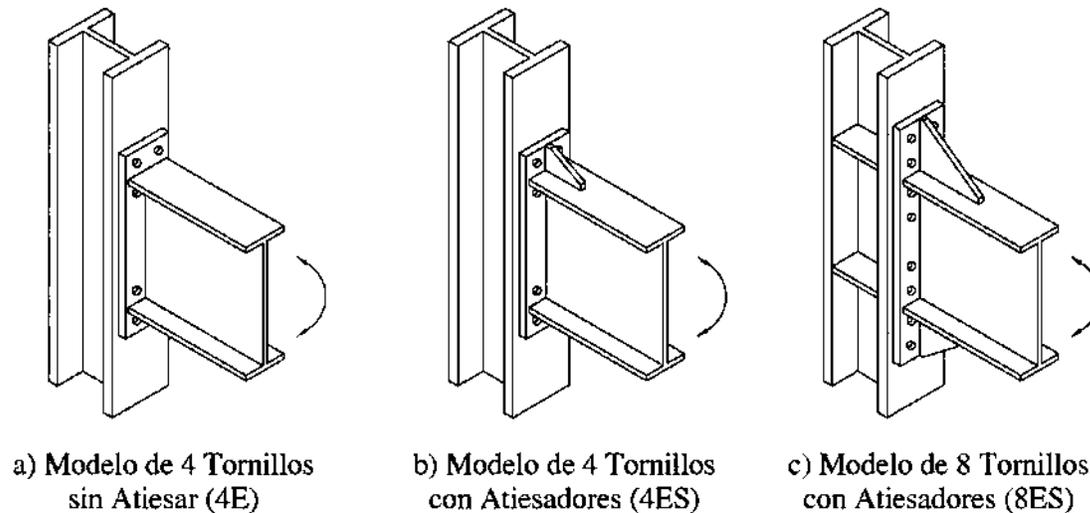


FIGURA 1.1. Configuraciones de Placas de Extremo Extendidas

Las principales ventajas de las placasde extremoson las siguientes:

- La conexión es apropiada para ejecutarse en temperaturas muy bajas, puesto que solo deben atornillarse.
- Todas las soldaduras se realizan en el taller, eliminando cualquier problema que pudiera surgir al soldar en campo.
- Sin la necesidad de soldar en campo, el proceso de montaje es relativamente rápido y barato.
- Si la construcción es muy precisa, es fácil mantener la vertical del marco.
- Generalmente tienen un costo de instalación total bastante competitivo.

Las principales desventajas de las placasde extremoson:

- Las técnicas de construcción son un tanto más rigurosas y exigentes debido a la precisión para la longitud de la viga y la "cuadratura" del final de la misma.
- Las columnas fuera de las tolerancias de cuadratura y longitud pueden provocar problemas al ser levantadas, pero pueden controlarse reduciendo las vigas entre 1/4 y 3/8 de pulgada y con la utilización de *laminillas en forma de dedo*
- Las placas de extremo en ocasiones se pandean debido al calor de la soldadura.
- Las placas de extremo se someten a un posible desgarre laminar en la zona superior de la soldadura del patín a tensión.

e) Los tornillos se encuentran a tensión, lo que puede causar fuerzas de palanca sobre la placa.

f) Una porción del atiesador de la placa puede extenderse sobre el piso terminado, ocasionando que sea necesaria una terminación de columna más grande y un área rentable menor.

Varios diseñadores y constructores en los Estados Unidos han tenido éxito al utilizar conexiones de placa de extremo para construir marcos de más de 30 niveles de altura en zonas de baja actividad sísmica. A pesar de sus desventajas, las conexiones rígidas de placa de extremo pueden proveer soluciones económicas para la construcción de marcos rígidos.

1.2. Objetivo de la Tesis

El objetivo de esta tesis es el de exponer el procedimiento de diseño de las placas de extremo utilizadas en conexiones rígidas de viga-columna, paso a paso para su utilización en proyectos de estructuras de acero en los que pueda tener aplicación, así como proponer la utilización de hojas de cálculo para el diseño de las mismas y la optimización del trabajo del calculista.

Dentro de esta aplicación que se busca para el presente trabajo, cabe mencionar que es posible encontrar apéndices completos en algunas publicaciones de la AISC (American Institute of Steel Construction), tal como la “*Extended End-Plate Moment Connections, Seismic and Wind Applications*”, que proveen diseños finales para conexiones rígidas y que cumplen las condiciones especificadas en la presente tesis y en los reglamentos correspondientes, sin embargo, para que su utilización sea completamente confiable, deben tenerse las mismas condiciones exactamente, por lo cual, la mayoría de las veces, deberá de ajustarse el cálculo. Con las hojas de cálculo adheridas a este escrito, se evita la necesidad de realizar ajustes y se diseña para las condiciones reales de una manera más adecuada y organizada.

1.3. Contenido de la Tesis

El objetivo de este primer capítulo es dar una breve introducción a la literatura correspondiente a los procedimientos de diseño recomendados. En el capítulo 2 se presentarán los procedimientos de diseño básicos y recomendaciones de acabados y procesos de construcción. El capítulo 3 presenta los procedimientos de diseño para los 3 modelos de conexiones mencionados anteriormente. El capítulo 4

contiene ejemplos prácticos de diseño: 2 para el modelo 4E (el más utilizado), 1 para el modelo 4ES y 1 para el modelo 8ES.

1.4. Breve Resumen Literario

Hay una gran cantidad de libros disponibles acerca del análisis y diseño de conexiones rígidas de placa de extremo. La publicación de estos libros ha sido continua desde hace ya casi 50 años (con Disque en 1962). Las referencias bibliográficas relevantes a esta tesis son brevemente resumidas en las siguientes cinco secciones: *diseño de placas de extremo*, *diseño de tornillos*, *diseño del patín de la columna*, *pruebas cíclicas de conexiones de placas de extremo*, y *análisis de elemento finito para conexiones de placa de extremo*.

1.4.1. Diseño de Placa de Extremo

La investigación comenzó en los inicios de la década de 1950 y continúa hasta estas fechas, lo cual ha logrado darnos procedimientos de diseño bastante refinados para placas de extremo al ras y extendidas. Los primeros procedimientos de diseño se basaron en la estática y en simples suposiciones de que las fuerzas en el sistema producían un momento sobre las placas de extremo. Estos métodos daban como resultado placas bastante gruesas con tornillos de diámetros bastante grandes. Otros estudios se han basado en la teoría de las líneas de fluencia, otros por el método del elemento finito en conjunto con el análisis de regresión para elaborar ecuaciones que se ajusten para ser usadas en diseño. Los procedimientos de diseño en esta tesis están basados en la teoría de **las líneas de fluencia** y han sido verificados para su uso en regiones con alta actividad sísmica en pruebas experimentales. A continuación se muestra una lista de la literatura relevante a este tema.

Murray (1988) realizó un resumen de los métodos de diseño anteriores para las conexiones rígidas al ras y extendidas, tomando en cuenta los estados límites de la columna, presentando los procedimientos de diseño elaborados en los Estados Unidos basados tanto en investigaciones empíricas como en las experimentales.

Murray (1990) presentó procedimientos de diseño para los modelos 4E y 8ES, así como para un modelo de conexión de 4 tornillos a lo ancho sin atiesar. Estos procedimientos estuvieron basados en los trabajos de Krishnamurti (1978), Ghassemieh y otros (1983), además de Murray y Kukreti (1988).

Chasten y otros (1992) llevaron a cabo siete pruebas en placas de extremo extendidas sin atiesadores con ocho tornillos en la franja a tensión (cuatro tornillos a lo ancho). Se utilizaron tornillos al paño y completamente tensionados durante las pruebas. Los modos de falla encontrados fueron fracturas por cortante en la placa de extremo, fractura de los tornillos y falla de la soldadura. Se modeló

utilizando elementos finitos para la distribución de los esfuerzos en los tornillos de la franja a tensión y para la magnitud y colocación de las fuerzas que ocasionan momentos en la placa. Se demostró que el cortante de la placa y las fuerzas en los tornillos, incluyendo las fuerzas de apalancamiento, podían ser calculadas con gran exactitud mediante el análisis de elementos finitos. Además, fue posible presentar normas de diseño que complementaron los procedimientos existentes.

En 1993 Graham revisó los métodos existentes de diseño y recomendó un método de estados límite de diseño para placas de extremo de vigas rígidas y columnas sin atiesar.

Borgsmiller y otros (1995) llevaron a cabo cinco pruebas en placas de extremo con distancias a paño mayores—la distancia del extremo de la placa a la primera hilera de tornillos—. Fueron presentados los comportamientos de la placa de extremo, de los tornillos y de la viga conectada.

Borgsmiller (1995) presentó un método simplificado para el diseño de las configuraciones de placa al ras de cuatro tornillos y para la extendida de cinco tornillos. Este procedimiento de diseño fue una versión simplificada del modelo de Kennedy (ver en la sección 2.2.3) para calcular la resistencia de los tornillos, incluyendo los efectos del apalancamiento. La resistencia de la placa se determinó mediante el análisis de las líneas de fluencia. Realizó 52 pruebas en placas de extremo y se concluyó que las fuerzas de palanca en los tornillos se vuelven significativas cuando se alcanza el 90% de la resistencia total de las líneas de fluencia de la placa. De esta manera se estableció el intervalo en el que las fuerzas de palanca se pueden desprestigiar con respecto a su acción en los tornillos. Si la carga aplicada es menor del 90% de la resistencia de la placa, ésta se considera como ‘gruesa’ y, por tanto, se desprestigian las fuerzas de palanca; cuando sobrepasa del 90% de la resistencia de la placa, se considera como ‘delgada’ y se asume que las fuerzas de palanca están en un valor máximo. El hecho de poder hacer esta distinción entre placa ‘gruesa’ y ‘delgada’ simplificó en gran medida la determinación de las fuerzas en los tornillos al demostrar que sólo es necesario determinar si habría fuerzas de palanca o no. Se obtuvo una buena concordancia entre los resultados de los métodos anteriores y los obtenidos con el método simplificado.

Sumner y Murray (2001a) realizaron 6 pruebas en placas con 3 hileras de tornillos para comprobar la validez de los procedimientos de diseño por gravedad, viento y carga sísmica leve vigentes. Estas pruebas sirvieron también para analizar los efectos de aumentar la distancia standard entre tornillos y para ello utilizaron tornillos ASTM A325 así como ASTM A490, encontrando una buena correlación entre los resultados experimentales y los analíticos.

Sumner y Murray (2001b) investigaron acerca de las conexiones de placas extendidas con cuatro tornillos altamente resistentes por fila en lugar del

tradicional modelo de dos tornillos por fila. Estudiaron también la conexión de 8 tornillos extendida, una conexión de 3 hileras de 4 tornillos y otra más de 4 tornillos a lo ancho. Se realizaron siete pruebas a las placas y se propuso un procedimiento de diseño modificado, similar al procedimiento presentado por Borgsmiller (1995). Se concluyó que el procedimiento de diseño modificado calcula de manera conservadora la resistencia de ambas configuraciones.

Murray y Shoemaker (2002) presentaron una guía de análisis y diseño para placas al ras. La guía incluye recomendaciones para el diseño de 4 configuraciones diferentes de placas de extremo al ras y 5 configuraciones diferentes de placa de extremo extendidas. Estas recomendaciones están limitadas a conexiones sujetas a gravedad, viento y carga sísmica leve; no incluyen carga sísmica moderada ni alta. Se utilizó un procedimiento de diseño unificado, basado en el método simplificado presentado por Borgsmiller en 1995. El procedimiento de diseño se basa en el análisis de las líneas de fluencia para determinar el grosor de la placa y se utilizó el método modificado de Kennedy para la determinación de las fuerzas en los tornillos. Además, se implementó un criterio nuevo de rigidez para placas de extremo al ras.

Sumner (2003) presentó un método unificado para el diseño de 8 configuraciones de placas extendidas sujetas a cargas cíclicas o sísmicas. El procedimiento de diseño utiliza la teoría de las líneas de fluencia para calcular la resistencia del patín de la columna y la de la placa de extremo. La resistencia de los tornillos se determinó, nuevamente, utilizando el método simplificado desarrollado por Borgsmiller (1995). Los resultados en 90 pruebas de diseño de conexiones rígidas fueron utilizados para evaluar la validez del procedimiento de diseño unificado. Se obtuvo una buena correlación con los resultados experimentales y los analíticos.

1.4.2. Diseño de Tornillos

Se han desarrollado numerosos estudios para investigar el comportamiento de los tornillos en conexiones rígidas. El principal enfoque de estos estudios ha sido el medir y predecir las posibles fuerzas de palanca. La mayoría de los métodos para calcular las fuerzas en los tornillos fueron desarrollados utilizando una analogía entre el extremo de una viga “T” a tensión y la placa de la conexión. Douty junto con McGuire (1963, 1965), KatoyMcGuire (1973), Nairy colaboradores (1974), y Agerskov (1976, 1977) realizaron estudios elementales en extremos de secciones “T” para evaluar las fuerzas en los tornillos incluyendo los esfuerzos ocasionados por las fuerzas de palanca. Todos ellos asumieron la ubicación de las fuerzas de palanca cerca del borde de la placa de extremo. Para conexiones con un alto grado de acción de estas fuerzas, se obtenían diseños con diámetros de tornillos bastante grandes y placas de extremo bastante gruesas. A su vez, Fisher y Struik (1974) presentaron un resumen comprensivo de los procedimientos de diseño de la época.

Kennedy y otros (1981) desarrollaron un procedimiento de diseño para conexiones en los extremos de secciones "T". El procedimiento distingue 3 etapas del comportamiento como placa del extremo de la sección "T". La primera etapa ocurre con niveles de carga bajos y se identifica como "**comportamiento puramente elástico**". Se considera la placa como "*gruesa*", y se desprecian las fuerzas de palanca. Conforme se incrementa la carga se forma una articulación plástica en el extremo del alma de la sección "T", lo cual lleva a la segunda etapa del comportamiento de las placas. En este caso se dice que la placa es de un grosor "*intermedio*" y en ella se presentan fuerzas de palanca. La tercera etapa del comportamiento de las placas ocurre cuando se forma otra articulación plástica dentro de una hilera de tornillos. En este caso la placa se considera "*delgada*" y las fuerzas de palanca se encuentran en un valor máximo. El método analítico resultó coherente al ser comparado con las dos pruebas que realizó, como parte de su estudio, en extremos de secciones "T".

Srouji y colaboradores (1983a, 1983b), Hendrick y colaboradores (1984, 1985), Morrison y colaboradores (1985, 1986), y Borgsmiller (1995) utilizaron una versión modificada del método de Kennedy para calcular las fuerzas en los tornillos para varias configuraciones de conexiones de placa al ras, extendidas, con y sin atiesadores. La primera modificación del método de Kennedy fue un ajuste en la localización de las fuerzas de palanca y la modificación de la distribución de fuerzas sobre el patín hacia las hileras de tornillos de manera particular para cada configuración de placa.

Ahuja y otros (1982) y Ghassemieh y sus colaboradores (1983) se dedicaron a analizar los resultados obtenidos por el análisis del elemento finito para calcular las fuerzas en los tornillos de la conexión de placa de extremo extendida de ocho tornillos con atiesadores.

Fleischman y su equipo (1991) estudiaron las características de resistencia y rigidez de conexiones de gran capacidad con tornillos de ajuste exacto. Ellos demostraron que la rigidez inicial utilizando estos tornillos se veía un poco reducida pero que la resistencia última era la misma.

Murray y otros (1992) llevaron a cabo investigaciones para determinar el comportamiento de las placas de extremo utilizando tornillos de ajuste exacto sujetos a carga cíclica por viento. Se realizaron 11 pruebas representando 6 diferentes configuraciones de placas. Los resultados obtenidos fueron acordes a lo previsto analíticamente. Se concluyó entonces que las conexiones con tornillos de ajuste exacto daban una rigidez ligeramente menor en comparación a las placas con tornillos pretensionados.

1.4.3. Diseño de la Columna en la Zona de Conexión

Hay una cantidad relativamente pequeña de publicaciones que traten del diseño de la columna en conexiones rígidas de placa de extremo. Muchos de estos ensayos hacen observaciones acerca del comportamiento de la columna durante las pruebas pero no se argumenta sobre ningún criterio para su diseño. Los pocos ensayos disponibles consideran solamente los estados límites de falla en el alma de la columna y de pandeo en el patín de la misma.

FALLA DEL ALMA. Mann y Morris (1979) se dedicaron a investigar la resistencia del alma de la columna en la conexión de las placas. Llevaron a cabo una evaluación de los resultados obtenidos en varios proyectos de investigación. En base a esto, se recomendó que la fuerza en el patín de la viga conectada se distribuyera con una pendiente 1:1 a través de la placa y, después de ésta, con una pendiente de 2.5:1 a través del patín y del alma de la columna.

Hendrick y Murray (1983, 1984) realizaron una serie de experimentos y estudios analíticos para determinar la resistencia del alma de la columna a falla por compresión en conexiones de placa de extremo. Propusieron una ecuación de diseño y se tuvo buena correlación entre los resultados obtenidos por elemento finito y las pruebas experimentales. En ese entonces se propuso que la distribución de esfuerzos se diera con una pendiente de 1:1 a través de la placa de extremo y después de ésta, con una pendiente de 3:1 a través de la columna.

PANDEO DE PATINES. Mann y Morris (1979) realizaron un estudio exhaustivo en torno al diseño de conexiones rígidas de placa de extremo, en el cual incluyeron el desarrollo de recomendaciones de diseño para la columna. Estas recomendaciones se basaron en el trabajo de Packer y Morris (1977). Ellos describieron 3 posibles modos de falla en el patín de la columna y propusieron ecuaciones para calcular la resistencia en cada una de estas condiciones. Para patines de columna relativamente delgados, los efectos de las fuerzas de palanca se consideran como limitantes de la resistencia a tensión de los tornillos.

Witteven y otros (1982) estudiaron conexiones de patines soldados y conexiones atornilladas e identificaron 3 posibles modos de falla del patín de la columna, similares a los explicados por Mann y Morris (1979). Presentaron a su vez, ecuaciones de diseño para cálculo y los resultados de sus pruebas experimentales.

Tarpy y Cardinal (1981) llevaron a cabo estudios experimentales y analíticos acerca del comportamiento de placas de extremo de viga a columna sin atiesadores. Las pruebas experimentales se realizaron aplicando carga axial a las columnas. El estudio analítico se desarrolló en base a modelados con elemento finito, lo que se utilizó para desarrollar ecuaciones de regresión para calcular las resistencias tanto de la placa de extremo como del patín de la columna.

Hendrick y otros (1983) evaluaron los métodos existentes para calcular la resistencia a pandeo del patín de la columna. Ellos realizaron pruebas experimentales confinadas y concluyeron que el método presentado por Mann y Morris (1979) era el más adecuado para el diseño de la conexión de placa de 4 tornillos sin atiesadores. Además, modificaron el procedimiento de diseño de Krishnamurthy (1978) sustituyendo el grosor de la placa de extremo por el ancho efectivo del patín de la columna. Esta "calibración" fue realizada para que los resultados obtenidos con este procedimiento resultaran iguales a los propuestos en las ecuaciones de Mann y Morris (1979).

Curtis y Murray (1989) investigaron acerca de la resistencia del patín de la columna en la zona a tensión de los modelos de placa de 4 tornillos extendida con atiesadores y de la placa de 8 tornillos extendida con atiesadores. Su procedimiento de diseño se basó en el de Ghassemieh y otros (1983), sustituyendo la longitud efectiva del patín de la columna por el grosor de la placa.

Murray (1990) presentó procedimientos de diseño de la columna para el modelo de 4 tornillos sin atiesar, para de 4 tornillos a lo ancho sin atiesar, y para el de 8 tornillos extendida con atiesadores. Estos procedimientos estuvieron basados en los trabajos de Hendrick y Murray (1984) y de Curtis y Murray (1989).

Sumner (2003) presentó un procedimiento unificado para el diseño del patín de la columna en base a su capacidad al pandeo para 8 configuraciones de conexiones de placas extendidas. Los procedimientos se basaron en el análisis de las líneas de fluencia para calcular la resistencia del patín de la columna ya fuese en conexiones atiesadas o sin atiesar. Los resultados de pruebas experimentales anteriores fueron utilizados para evaluar la validez del procedimiento unificado, observándose, finalmente, una buena correlación entre los resultados obtenidos y las pruebas experimentales.

1.4.4. Pruebas ante Carga Cíclica de Conexiones Rígidas de Placa de Extremo

Las primeras investigaciones acerca del comportamiento de las placas de extremo ante carga cíclica se limitaban a vigas con secciones transversales pequeñas y a placas sin atiesar. Los estudios subsecuentes comenzaron a tomar en cuenta conexiones con secciones más grandes. Una de las principales diferencias entre varios estudios realizados es la fuente del comportamiento inelástico. Algunos investigadores han investigado la respuesta inelástica de las placas de extremo, mientras que otros lo hicieron en base a la respuesta inelástica de la viga conectada.

Jhonstone y Walpole (1981) llevaron a cabo cuatro pruebas cruciformes en conexiones de placas de extremo de viga a columna. Las conexiones de cuatro tornillos extendidas sin atiesar fueron diseñadas para analizar las recomendaciones previamente desarrolladas para carga uniforme junto con las reglas de diseño siguiendo los estándares de diseño de Nueva Zelanda. Los resultados de estas pruebas mostraron que las placas de extremo pueden transmitir la fuerza necesaria para que la mayor parte de las deformaciones elásticas ocurran en la viga. De cualquier modo, las conexiones diseñadas para una capacidad menor que la de la viga pueden proveer la ductilidad requerida.

Popov y Tsai (1989) realizaron sus investigaciones acerca de cargas cíclicas para varios tipos diferentes de conexiones rígidas. Su objetivo era encontrar una manera de determinar un tamaño de elementos realista y los límites de la ductilidad a causa de las cargas cíclicas. Sus resultados indicaron que las placas de extremo son una alternativa viable para conexiones completamente soldadas en marcos en los que se tiene momento actuante ocasionado por fuerzas sísmicas. Un año más tarde, continuando su investigación acerca de las placas de extremo, investigaron también las configuraciones de cuatro tornillos extendida y atiesada y la de cuatro tornillos extendida sin atiesar. Los resultados de sus experimentos y de sus análisis por elemento finito mostraron que los procedimientos de diseño para carga uniforme debían ser modificados para cargas sísmicas.

Ghobarah y otros (1990) investigaron el comportamiento cíclico de conexiones de placas extendidas atiesadas y sin atiesar. Se probaron 5 especímenes, algunos con carga axial aplicada a la columna, para comparar el desempeño de las placas y patines de columna atiesados y sin atiesar, y para aislar el funcionamiento de la viga, del patín de la columna, del atiesador, de los tornillos y de la placa en sí. Ellos concluyeron que un dimensionamiento adecuado en las placas de extremo podría proveer la suficiente disipación de energía sin una pérdida de resistencia sustancial. Recomendaron, para conexiones sin atiesar, que los tornillos y la placa se diseñaran para 1.3 veces la resistencia de la viga a momento plástico, esto para limitar la degradación de los tornillos y compensar las fuerzas de palanca. También recomendaron que para conexiones atiesadas se diseñara la conexión con una placa y tornillos de la misma resistencia a momento que la viga conectada.

Como una extensión del trabajo de Ghobarah y otros (1990), Korol realizó siete pruebas a conexiones de placa de extremo extendidas. Presentó ecuaciones de diseño que consideraban la resistencia, la rigidez y requerimientos de disipación de energía de placas extendidas. Ellos concluyeron que un diseño propio y detallado produciría conexiones rígidas que proveyeran de suficiente disipación de energía sin una sustancial pérdida de resistencia o de la rigidez misma.

En 1992, Ghobarah y su equipo continuaron su investigación realizando pruebas en cuatro conexiones adicionales. Los especímenes fueron sujetos a cargas cíclicas y se aplicó carga axial sobre la columna. Encontraron que la zona de panel que falla

de la columna podía disipar grandes cantidades de energía y que la placa de extremo ayuda a controlar la deformación inelástica en esta zona de la columna. Ellos recomendaron usar esta zona de panel de falla para incrementar la capacidad de disipación de energía de la placa de extremo.

Fleischman y otros (1990) realizaron cinco pruebas por cargas cíclicas de viga a columna en placas de cuatro tornillos a lo ancho extendidas sin atiesar. Se investigó la diferencia entre utilizar tornillos de ajuste exacto comparándolo contra los tornillos totalmente tensionados. Se diseñaron las conexiones para que fueran más débiles que la viga y la columna conectadas para poder indagar acerca del comportamiento inelástico de la placa de extremo. Se observó que la rigidez de la conexión disminuía gradualmente en ciclos sucesivos inelásticos, que la capacidad de absorción de energía de la placa se incrementaba al disminuir el grosor de la misma, que las fuerzas en los tornillos aumentaban un 30% debido a las fuerzas de palanca y que las conexiones con amplia distribución de tornillos tensionados mostraban capacidades de absorción de energía mayores.

Astaneh-Asl (1995) llevó a cabo dos pruebas cíclicas con el modelo de placa de cuatro tornillos extendida sin atiesadores. Los especímenes se diseñaron siguiendo las recomendaciones de la AISC, las cuales NO eran para aplicaciones sísmicas. La primera prueba exhibió un comportamiento dúctil que provocó pandeo local en el patín de la viga. La segunda prueba utilizó una lámina de sección "I" entre la placa y la columna. El desempeño del espécimen fue excelente hasta que la lámina "I" comenzó a fallar por compresión. El autor concluyó entonces que el concepto era válido pero que requería de una lámina más resistente.

Adey y otros (1997, 1998, 2000) investigaron los efectos que tenían el tamaño de la viga, la ubicación de los tornillos, el grosor de la placa y los atiesadores en placas de extremo extendidas, con respecto a la capacidad de absorción de energía de la placa misma. Se desarrollaron 15 conexiones sujetas a cargas cíclicas. 12 de estas 15 conexiones se diseñaron para ser más débiles que la columna y la viga conectada para provocar las fallas en la placa de extremo. Las otras tres se diseñaron para desarrollar la resistencia nominal a momento plástico de la viga y se llegó a la conclusión de que la capacidad de absorción de energía de la placa disminuía conforme se incrementaba el tamaño de la viga y que los atiesadores en las placas de extremo extendidas incrementaban la capacidad de absorción de la placa misma. Además presentaron un procedimiento de diseño para las conexiones de placas extendidas de cuatro tornillos sin atiesar y para conexiones atiesadas. Los procedimientos de diseño se basaron en la teoría de las líneas de fluencia para determinar el grosor de la placa. Estos procedimientos de diseño asumían un aumento del 20% en las fuerzas sobre los tornillos para compensar las posibles fuerzas de palanca.

Meng y Murray (1997) realizaron pruebas con cargas cíclicas en la conexión de cuatro tornillos extendida sin atiesar. Los especímenes de prueba se diseñaron para

ser más fuertes que la viga y la columna conectada. El grosor de la placa se determinó con el análisis de las líneas de fluencia y las fuerzas en los tornillos se calcularon por el método de Kennedy modificado. Las pruebas mostraron un problema al utilizar agujeros de acceso para soldar al momento de realizar las soldaduras del patín de la viga a la placa de extremo. En todos los especímenes con agujeros de acceso, los patines se fracturaron después de unos pocos ciclos inelásticos. En los especímenes sin agujeros de acceso, se observa un amplio margen de respuesta inelástica y una gran capacidad de disipación de energía. Los resultados de un análisis de elemento finito subsecuente demostraron que la presencia de agujeros de acceso aumenta de manera considerable la deformación del patín en la región donde éstos se encuentran. Basados en los resultados de sus estudios, recomendaron que **NO SE UTILICEN AGUJEROS DE ACCESO** para soldar en conexiones de placa de extremo. Concluyeron, además, que las conexiones de placa de extremo bien diseñadas son conexiones viables para la construcción de marcos sujetos a cargas sísmicas.

Meng y Murray (1996) investigaron las conexiones extendidas de cuatro tornillos con atiesadores, extendidas de cuatro tornillos a lo ancho con atiesadores, extendidas de cuatro tornillos a lo ancho sin atiesar y conexiones utilizando placas ajustadas. Presentaron procedimientos de diseño para estas conexiones y compararon con las pruebas experimentales.

En 1995, León presentó un resumen de las investigaciones previas referentes a conexiones atornilladas y remachadas sujetas a cargas sísmicas. Él cuestionó los fundamentos de diseño de estas conexiones e identificó que habría una extensión posible del procedimiento de diseño para cargas monótonas que podría aplicarse al caso de cargas cíclicas. Él concluyó que una conexión atornillada bien diseñada puede proveer un desempeño igual o incluso mejor que las conexiones completamente soldadas. Además dijo que se requería de un enfoque nuevo y más fundamental y comprensivo para que las conexiones atornilladas pudieran ser apropiadamente diseñadas en áreas de niveles de actividad sísmica moderada y alta.

Castellani y otros (1998) presentaron los resultados preliminares de las investigaciones llevadas a cabo en Europa acerca del comportamiento por cargas cíclicas de conexiones de viga a columna. Las conexiones de placa de extremo extendidas sin atiesar mostraron ciclos histeréticos bastante regulares, sin desplazamiento y una reducción progresiva de la absorción de energía durante las pruebas. Se notó la formación de una articulación plástica en la viga conectada y deformaciones grandes en la misma, que inducían la ruptura en el patín de la viga, resultando a final de cuentas en la falla de toda la sección.

Coons (1999) investigó el uso de placas de extremo y de conexiones de perfiles "T" para su uso en marcos sujetos a momento por cargas sísmicas. Fue entonces que se creó una base de datos para almacenar la información publicada de

experimentos previos y de los modelos analíticos desarrollados para ellos, para calcular la capacidad rígida máxima, el modo de falla y la máxima rotación inelástica. Se observó que la resistencia al momento plástico de las vigas era 22% más grande que lo predicho por la resistencia nominal a momento plástico. Él recomendó que la resistencia incrementada de la viga se considerara para el diseño de la conexión, que el grosor de la placa se determinara utilizando el análisis de las líneas de fluencia y que las fuerzas en los tornillos se determinaran sin considerar las fuerzas de palanca.

Boorse y Murray (1999), así como Ryan y Murray (1999) investigaron la capacidad de rotación inelástico de conexiones de placas al ras y extendidas sujetas a cargas sísmicas. Los especímenes eran conexiones de viga a columna entre miembros construidos como los usados en la industria de la edificación metálica. Los especímenes fueron diseñados para que la conexión fuese más débil que los elementos a conectar para realizar investigaciones del comportamiento inelástico de la placa de extremo. El grosor de la placa y las fuerzas de los tornillos se determinaron por el análisis de las líneas de fluencia y por el método modificado de Kennedy, respectivamente. Los resultados experimentales se compararon con los analíticos con una correlación razonable. Se concluyó que las placas de extremo al ras podían diseñarse para proveer la rotación inelástica adecuada, pero que las placas extendidas deberían diseñarse para forzar a la viga conectada a actuar inelásticamente.

Sumner y otros (2000), Sumner y Murray (1999, 2000, 2002), llevaron a cabo 11 pruebas en conexiones de placa de extremo extendidas para investigar qué tan adecuadas eran éstas para utilizarse en marcos resistentes a momento sobre los que actúan cargas sísmicas. Se probaron montajes de conexiones de viga y columna utilizando las configuraciones de cuatro tornillos sin atiesar, la de cuatro tornillos con atiesadores y la de ocho tornillos en 2 hileras a lo ancho. Además se realizó una prueba a la conexión de cuatro tornillos sin atiesar con una lámina compuesta colocada en la parte superior de los patines de la viga. Se presentaron los resultados mostrando los comportamientos de la placa, de los tornillos, de la viga y de la columna. Se llegó a la conclusión de que la placa de cuatro tornillos sin atiesar y la de ocho tornillos con atiesadores podían ser diseñadas para su uso en marcos sujetos a momento por cargas sísmicas. Los resultados de estas investigaciones pueden encontrarse en las publicaciones de la Federal Emergency Management Agency (FEMA) 350: ‘*Recommended Seismic Design Criteria for New Moment-Frame Buildings*’ y FEMA 353: ‘*Recommended specifications and Quality Assurance Guidelines for Steel Moment-Frame Construction for Seismic Applications*’.

1.4.5. Análisis de Elemento Finito para Conexiones Rígidas de Placa de Extremo

Los primeros estudios de elemento finito se enfocaron en la correlación de los resultados de los modelos en 2D y en 3D. Esto fue importante debido al costo considerablemente alto de crear y correr los modelos en 3D en comparación con los modelos en 2D. Con los avances tecnológicos en computación, el uso de modelos en 3D se ha hecho más común. Los estudios más recientes se han enfocado en la precisión del método del elemento finito para predecir de manera precisa el comportamiento inelástico de conexiones rígidas de placa de extremo.

Krishnamurthy y Graddy (1976) llevaron a cabo uno de los primeros estudios de elemento finito para investigar el comportamiento de conexiones de placa de extremo atornilladas. Las conexiones se analizaron usando modelos en 2D y en 3D, de manera que se pudiese obtener una correlación característica que se pudiera aplicar para otros casos de modelos en 3D a base de modelos en 2D, en base a coeficientes numéricos.

Ahuja y otros (1982) investigaron el comportamiento elástico de la conexión extendida de 8 tornillos con atiesadores utilizando el análisis de elemento finito. Ghassemieh y otros (1983) prosiguieron con estos estudios aumentando la consideración de comportamiento inelástico. Abolmaali y otros (1984) utilizaron el análisis de elemento finito para desarrollar un procedimiento de diseño para una configuración de placa de extremo al ras de 2 tornillos. Se llevaron a cabo análisis de elemento finito en 2D y 3D para obtener los coeficientes de correlación.

Kukreti y otros (1994) usaron el modelado de elemento finito para tener los resultados paramétricos para calcular las fuerzas en los tornillos y la rigidez de la placa de la conexión extendida de 8 tornillos atiesada. Del análisis de los datos obtenidos del estudio paramétrico se obtuvieron ecuaciones para calcular la resistencia y rigidez de la placa de extremo y las fuerzas en los tornillos. Estas predicciones se compararon con los resultados experimentales con una correlación razonable.

Gebbeken y otros (1994) investigaron el comportamiento de la conexión de 4 tornillos sin atiesar usando el análisis de elemento finito. Dicho estudio enfatizó el modelado del comportamiento como material no-lineal y el contacto entre la placa de extremo y el patín de la columna o, en dado caso, el contacto con una placa de extremo adyacente. Se realizaron pruebas comparativas entre los resultados del análisis de elemento finito y las pruebas experimentales.

Bahaari y Sherbourne (1994) usaron ANSYS, un código comercial de elemento finito, para analizar modelos de elemento finito en 3D para calcular satisfactoriamente el comportamiento de las conexiones extendidas de 4 tornillos sin atiesar. Los modelos consideraban elementos tridimensionales, elementos placa y elementos lineales con materiales de propiedades no-lineales. Ellos recomendaban que los modelos tridimensionales se usaran para generar

formulaciones analíticas para predecir el comportamiento y la resistencia de los componentes de la conexión.

Bahaari y Sherbourne (1996a, 1996b) continuaron su investigación de la placa de extremoextendida de 4 tornillos sin atesar al considerar los efectos resultantes de conectar la placa a un patín de columna con y sin atiesadores. Los modelos de elemento finito ANSYS 3D de la placa y del patín de la columna fueron desarrollados. Los resultados del elemento finito se compararon con los experimentales, observándose una buena correlación entre ambos. Una vez más, se concluyó que los análisis de elemento finito tridimensionales podían usarse para predecir el comportamiento de conexiones de placa de extremo.

Choi y Chung (1996) investigaron las técnicas más eficientes para el modelado de la conexión extendida de 4 tornillos sin atesar utilizando el método del elemento finito.

Bose y otros (1997) usaron el método del elemento finito para analizar conexiones de placasal ras sin atesar. Consideraron en sus estudios las placas de 2 y 4 tornillos. Compararon sus resultados con los de pruebas experimentales encontrando una buena correlación entre ambos.

Bursi y Jaspart (1998) proveyeron un resumen generalizado de los avances actuales para estimar el comportamiento de conexiones atornilladas por efecto de un momento/rotación. Además presentaron una metodología para el análisis de elemento finito para conexiones de placa de extremo.

Meng (1996) utilizó elementosplaca para modelar el comportamiento de la placa extendida de 4 tornillos sin atesar cuando se le aplicaba carga cíclica. El principal propósito de este estudio era investigar los efectos que pudieran tener la presencia de agujeros de acceso para soldadura en laresistencia del patín de la viga. Los resultados del elemento finito tuvieron una buena aproximación con los resultados experimentales.

Mays (2000) utilizó el análisis de elemento finito para desarrollar un procedimiento de diseño para una configuración de placa de extremoextendida de 16 tornilloscon atiesadores unida a un patín de columna sin atesar. Además, llevó a cabo modelos de elemento finito de la placa extendida de 4 tornillos sin atesar, la de 8 tornillos extendida y atiesada, y de la de 4 tornillos a lo ancho y se compararon con los resultados experimentales. Se obtuvo una buena correlación con los resultados experimentales.

Sumner (2003) usó el análisis de elemento finito para investigar acerca de la resistencia a pandeo del patín de la columna en conexiones de placa de extremoextendidas. Se utilizaron elementos tridimensionales de 8 y de 20 nodos para modelar la viga, la placa de extremo, los tornillos y el patín de la columna.

Los resultados de los estudios fueron comparados con lo estimado por los cálculos del análisis de resistencia por el método de las líneas de fluencia. Se observó una buena correlación con los resultados analíticos.

Gran parte de la bibliografía citada se usó para desarrollar los procedimientos de diseño que se presentan en los capítulos siguientes. Estos procedimientos de diseño están de acuerdo a lo recomendado por el manual de la FEMA-350 de *‘Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment Frame Buildings’* (FEMA 2002); sin embargo, los procedimientos que aquí se presentan, aunque similares, no son los mismos que los presentados en ese manual.

CAPITULO 2: FUNDAMENTOS

2.1. BASES PARA LAS RECOMENDACIONES DE DISEÑO

Las siguientes recomendaciones para el procedimiento del diseño están basadas principalmente en la investigación conducida por la Universidad de Oklahoma y el Instituto Politécnico de Virginia. El análisis de las líneas de fluencia es usado para revisar la resistencia de la placade extremo y del patín de la columna. Las fuerzas de palanca de los tornillos no se consideran ya que los espesores de la placay del patín de la columna impedirán que se desarrollen.

En el procedimiento de diseño se hacen las siguientes consideraciones:

1. Todos los tornillos se pretensan hasta un punto no menor a las especificaciones dadas en el manual actual del AISC o de la NTC.
2. El procedimiento de diseño es válido para el uso de cualquiera de los tornillos ASTM A325 o ASTM A490.
3. Generalmente, mientras menor sea la distancia entre el lecho superior del patín de la viga y la línea de centro de la hilera de tornillos más cercana, se tendrá como resultado una conexión más económica. El espaciamiento mínimo recomendado es de 13mm ($\frac{1}{2}$ ") más que el diámetro del tornillo para tornillos de hasta 25mm (1") de diámetro y, para tornillos de mayor diámetro, se recomienda que sea 19mm ($\frac{3}{4}$ ") que el diámetro del tornillo. Sin embargo, algunos constructores prefieren utilizar un espaciamiento estándar de 50mm o de 63.5mm (2" o de 2 $\frac{1}{2}$ ") para cualquier diámetro de tornillo.
4. Se supone que todas las fuerzas cortantes serán resistidas por los tornillos ubicados en la zona de compresión. Las placas de extremo no deben diseñarse como conexiones de desplazamiento crítico y, cabe recalcar que las fuerzas cortantes son, muy pocas veces, condicionantes del diseño de conexiones de placa de extremo.
5. Se supone que el ancho de la placade extremo, el cual es eficaz para resistir el momento aplicado de la viga, no debe ser mayor que el ancho del patín de la viga más 25mm (1"). Esta suposición está basada en juicio ingenieril y no es parte de ninguna referencia del procedimiento de diseño de la placade extremo.

6. El espaciamiento de las hileras de los tornillos a tensión (la distancia horizontal entre las hileras verticales de tornillos) no debe exceder del ancho del patín de la viga.
7. La soldadura del alma de la viga a la placa en la zona de los tornillos a tensión, se diseña para desarrollar el esfuerzo cortante del alma de la viga. Se recomienda diseñar para esta resistencia incluso si la capacidad total a momento de la viga no es necesaria para que el marco resista el momento actuante.
8. Se asume que el cortante de la viga será resistido solamente por la soldadura del alma y la placa, en el tramo de la mitad de la altura de la viga hasta su patín. Este criterio está basado en juicio ingenieril; no hay referencias bibliográficas que lo sustenten ni que lo contradigan.

Los atiesadores del alma de la columna suelen ser caros de fabricar y pueden afectar a los ejes débiles del marco. Por tanto se recomienda evitarlos cuando sea posible. Si al diseñar se requiere forzosamente de atiesadores, generalmente, *puede ser más económico incrementar la medida de la columna que instalar atiesadores*. Si los atiesadores del alma son necesarios por una baja resistencia a pandeo o por ductilidad alta del patín de la columna, una buena solución es incrementar el ancho efectivo del patín, buscando eliminar la necesidad de los atiesadores de columna. Esto se puede lograr incrementando el espaciamiento de los tornillos o cambiando a configuración de dos hileras, ver figuras 1.1 (a) o (b) o la configuración de cuatro hileras de la figura 1.1(c).

2.2. Principios Teóricos

El procedimiento de diseño unificado de conexiones rígidas de placa de extremo sujeta a cargas cíclicas requiere de la consideración cuidadosa de cuatro principales parámetros de diseño: *el momento de diseño de la conexión, la resistencia de la placa de extremo, la resistencia de los tornillos de la conexión y la resistencia del patín de la columna*. A continuación se muestran detalles de la teoría y los modelos usados para desarrollar cada una de las recomendaciones para cada parámetro de diseño.

2.2.1. Momento de Diseño de la Conexión

La metodología de diseño actual en el manual de la AISC (2005) requiere que el desplazamiento entre uno y otro nivel de un marco de acero sujeto a momento se pueda definir mediante la combinación de deformaciones elásticas e inelásticas del marco. Las deformaciones inelásticas se dan a causa de la formación de las articulaciones plásticas en ubicaciones predeterminadas dentro del marco. Cuando

se usa una conexión de placade extremo, las articulaciones plásticas se forman por las deformaciones inelásticas por flexión en la viga conectada en la zona de panel de la columna. Esto nos da como resultado un criterio de diseño de columna fuerte, conexión fuerte y viga débil.

La ubicación de las articulaciones plásticas en la viga depende del tipo de placa de extremo utilizada y ésta cambia para configuraciones atiesadas y sin atiesar. Para las placas sin atiesar, la articulación plástica se forma a una distancia aproximada de la mitad del peralte de la viga o tres veces el ancho del patín de la viga, y se mide desde la cara de la columna. Para conexiones atiesadas, la articulación plástica se forma en la base de los atiesadores de la placa. La figura 2.1 ilustra la ubicación de la articulación plástica para conexiones de placa de extremo. La ubicación esperada de la articulación plástica puede ser usada para modelar apropiadamente el comportamiento del marco y para determinar las exigencias de resistencia en la sección crítica dentro de la conexión.

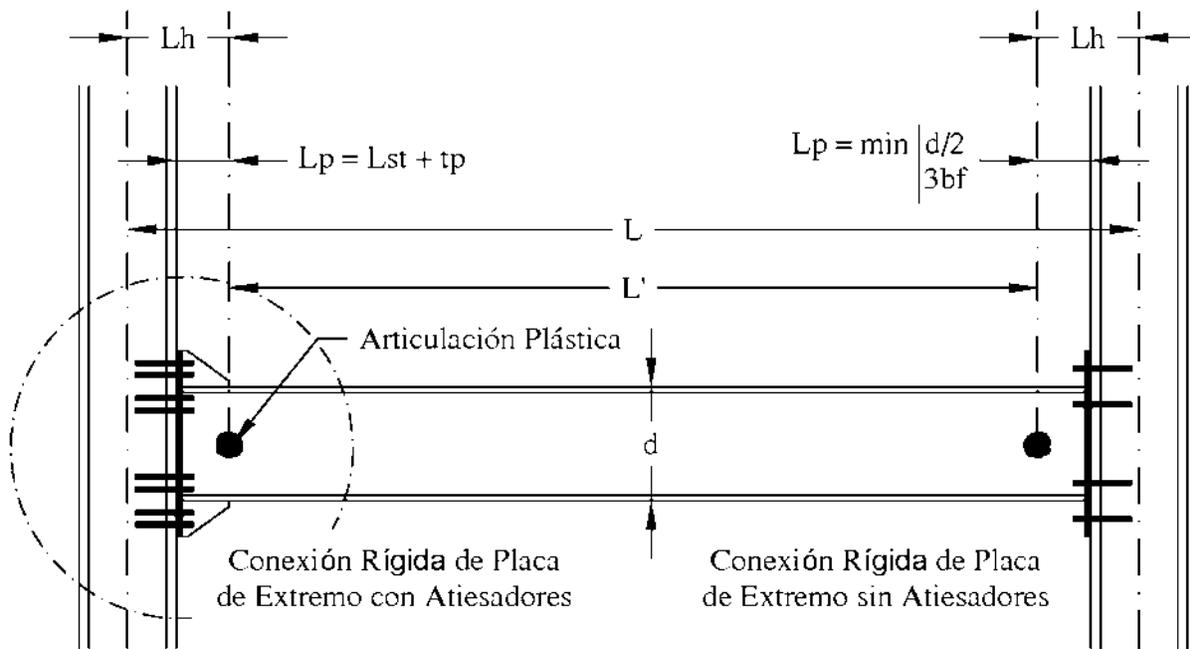


FIGURA 2.1. Localización de Articulaciones Plásticas

Del manual de la AISC (2005), la resistencia requerida para una conexión se determina por el esfuerzo de falla esperado $R_y F_y$, donde R_y es la relación del esfuerzo de fluencia esperado al esfuerzo de fluencia mínimo especificado (igual a 1.5 para un $F_y=2530\text{kg/cm}^2$ (36 ksi) y de 1.1 para un $F_y=3515\text{kg/cm}^2$ (50 ksi)) y F_y es el esfuerzo de fluencia mínimo especificado para cada tipo de acero. El momento esperado en la articulación plástica es entonces:

$$M_{pe} = 1.1 R_y F_y Z_x \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

La sección crítica para el diseño de placas de extremo se encuentra junto a la cara del patín de la columna. El momento en la cara de la columna, M_{fc} , es la suma del momento esperado en la articulación plástica, M_{pe} , y un momento adicional ocasionado por la excentricidad de las fuerzas cortantes presentes en las articulaciones. La figura 2.2 muestra este concepto.

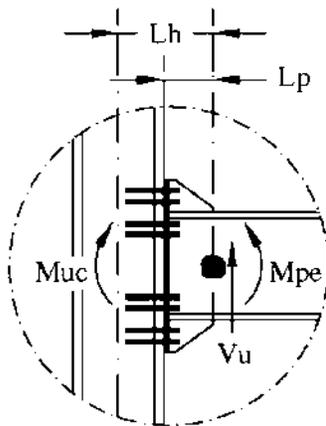


FIGURA 2.2. Momento de Diseño de la Conexión

Sustituyendo las distancias donde se espera la articulación plástica para placas atiesadas y sin atiesar, tenemos como resultado las siguientes expresiones para los momentos de diseño de las conexiones:

Para conexiones sin atiesar:

$$M_{uc} = M_{pe} + V_u \{ \min [d / 2], (3b_f) \} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

Para conexiones atiesadas:

$$M_{uc} = M_{pe} + V_u (L_{st} + t_p) \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

Dónde: V_u es el cortante presente en la articulación plástica, d es el peralte de la viga, b_f es el grosor del patín de la viga, L_{st} es la longitud del atiesador de placa, t_p es el grosor de la placa de extremo.

2.2.2. Teoría de las Líneas de Fluencia

En el procedimiento de diseño recomendado, las resistencias a flexión de la placa y del patín de la columna se determinan utilizando el análisis de las líneas de fluencia. Este análisis puede llevarse a cabo por 2 métodos diferentes: el *método del trabajo virtual* (o *método de la energía*), y el *método del equilibrio*. El método del trabajo virtual es el más utilizado para el análisis de placas de acero y se utilizó para desarrollar las ecuaciones para definir la resistencia a pandeo de las placas y del patín de la columna. Para determinar el patrón de las líneas de fluencia dominante para una placa de extremo se deben considerar varios patrones de líneas de fluencia diferentes, de los cuales regirá el patrón que produzca la menor carga de falla (trabajo mínimo) y se considerará el valor mínimo aceptable para la rama superior.

La aplicación de la teoría de las líneas de fluencia para determinar los esfuerzos de una placa de extremo o del patín de una columna requiere de tres pasos básicos: *suponer un patrón de líneas de fluencia, generar ecuaciones para el trabajo interno y trabajo externo, y la solución de la igualdad entre trabajo interno y trabajo externo.*

La figura 2.3 ilustra el patrón de las líneas de fluencia dominante para el caso de 4 tornillos sin atiesar y considera un desplazamiento virtual para la placa de

extremo. El trabajo interno almacenado dentro del patrón de las líneas de fluencia es la suma del trabajo interno almacenado en cada una de las líneas de fluencia que forman el mecanismo. Para patrones complejos de líneas de fluencia es conveniente descomponer el trabajo interno en sus componentes cartesianas (X- y Y-). La expresión general para el trabajo interno almacenado por el patrón de líneas de fluencia es:

$$W_i = \sum_{n=1}^N (m_p \theta_{nx} L_{nx} + m_p \theta_{ny} L_{ny}) \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

Dónde: θ_{nx} y θ_{ny} son las componentes de X-y de la rotación relativa de segmentos de la placa a lo largo de las líneas de fluencia, L_{nx} y L_{ny} son componentes en X- y Y- de la longitud de las líneas de fluencia, y m_p es la resistencia a momento plástico de la placa por unidad de longitud.

$$m_p = F_{yp} Z_p = F_{yp} \left[\frac{(1)t_p^2}{4} \right] \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

El trabajo interno W_i , considera la distancia de los tornillos internos hasta el extremo de las líneas de fluencia, por ejemplo, la distancia s en la figura 2.3. La disminución de W_i con respecto a la distancia s da como resultado menor energía interna para el patrón de las líneas de fluencia.

El trabajo externo debido a la rotación virtual unitaria está dado por:

$$W_e = M_{pl} \theta = M_{pl} \left[\frac{1}{h} \right] \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

Dónde: M_{pl} es la resistencia a flexión de la placa de extremo y θ es el desplazamiento virtual aplicado. El desplazamiento virtual aplicado es igual a $1/h$, donde h es la distancia de la línea de centro del patrón al extremo de la placa.

La resistencia a flexión de la placa de extremo se obtiene igualando W_i a W_e , y resolviendo para M_{pl} . O bien, reacomodando la expresión se puede determinar el grosor requerido de la placa de extremo.

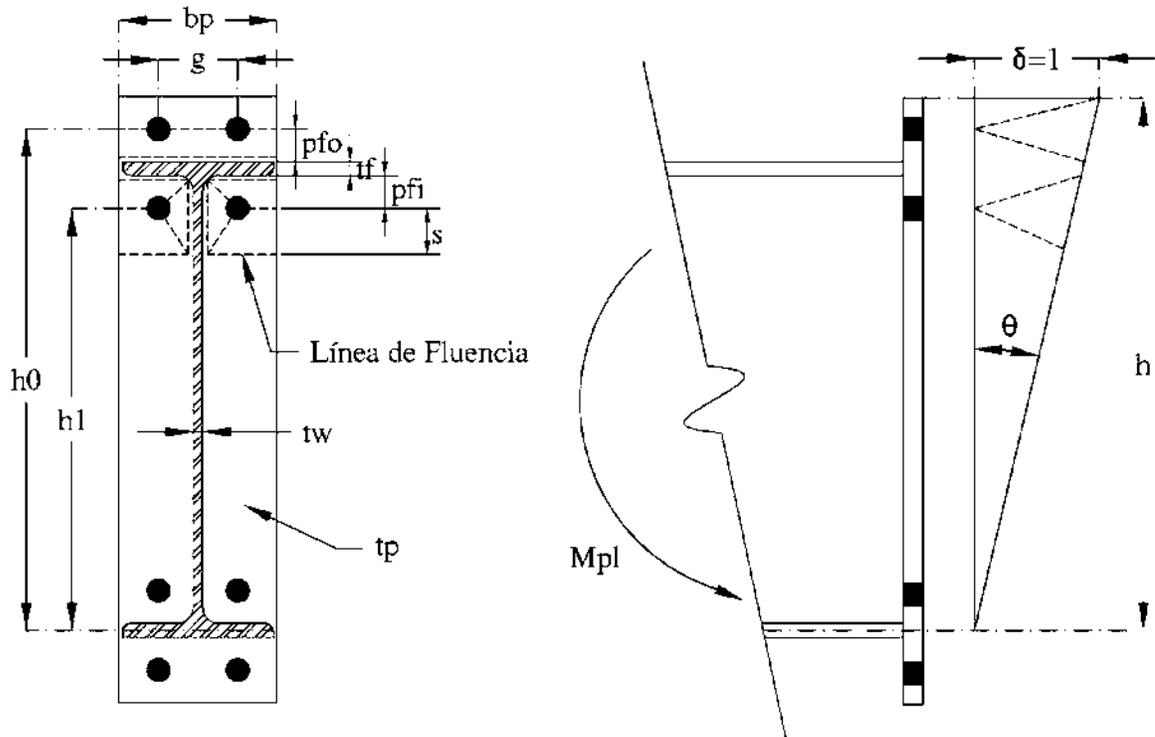


FIGURA 2.3. Patrón de las Líneas de Fluencia y Desplazamiento Virtual de una Placa de Extremo de 4 tornillos sin atiesadores

Para reducir la complejidad de las ecuaciones de las líneas de fluencia, se han hecho las siguientes simplificaciones en su desarrollo:

- No se realiza ningún ajuste para tomar en cuenta el material removido de los agujeros para los tornillos en la placa de extremo ni en el patín de la columna.
- El grosor de la viga y/o del alma de la columna se considera cero en las ecuaciones de las líneas de fluencia.
- El grosor de las soldaduras de filete a lo largo de los patines, de los atiesadores y del alma de la columna no es considerado en las ecuaciones de las líneas de fluencia.
- Se ignora la mínima contribución de resistencia de las líneas de fluencia en la región de compresión de las conexiones es ignorada.

Ha habido relativamente pocos estudios para determinar la resistencia del patín de la columna en conexiones de placa de extremo. En las conexiones de viga a columna, las fuerzas de tensión del patín de la viga son transmitidas directamente al patín de la columna por los tornillos de la conexión. El patín de la columna debe de proveer la resistencia adecuada para soportar las fuerzas de tensión aplicadas por los tornillos. Los patines de la columna pueden ser atiesados o no.

Para atiesarlos, se utilizan unas placas (a menudo llamadas *placas de continuidad*) que se colocan perpendicularmente al alma de la columna y alineadas con los patines de la viga. Un patín de columna sin atiesar, obviamente, carece de estas placas.

El análisis de las líneas de fluencia ha sido usado para desarrollar soluciones para patines de columna atiesados o no, para las configuraciones de placa de extremo mostradas en la figura 1.1 (Sumner, 2003). Por ejemplo, el patrón de las líneas de fluencia para patines de columna atiesados y sin atiesar para la conexión de 8 tornillos se muestra en la figura 2.4.

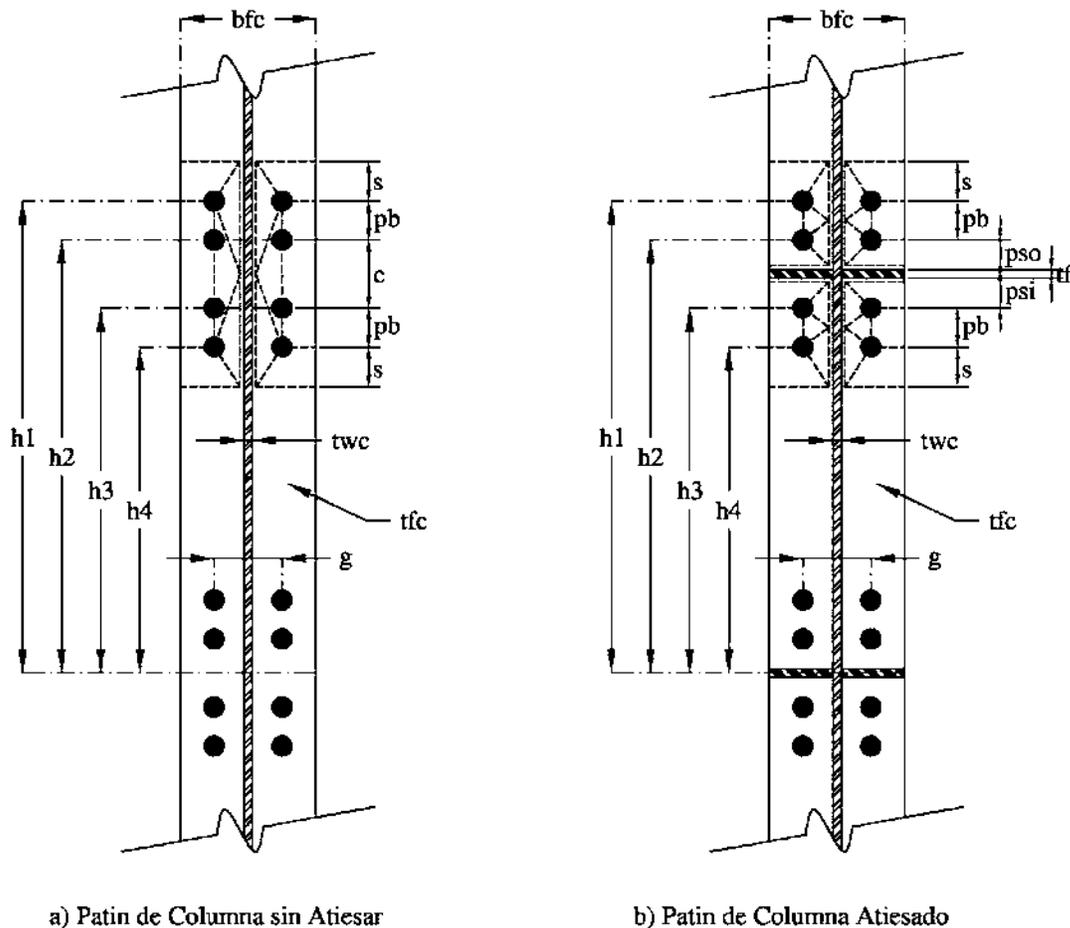


FIGURA 2.4. Patrones de Líneas de Fluencia del Patín de la Columna para Conexiones de Placa de Extremo de 8 Tornillos con Atiesadores

Los patrones de las líneas de fluencia para las tres configuraciones de placas de extremo mostradas en la figura 1.1 y para los casos correspondientes de patines de columna atiesados y sin atiesar se presentan en el capítulo 3.

2.2.3. Modelo por Resistencia de Tornillos

Numerosos estudios se han llevado a cabo para investigar el comportamiento de los tornillos en conexiones de placa de extremo. El enfoque principal ha sido medir y predecir las posibles fuerzas de palanca en las placas de extremo. La mayoría de los métodos para el cálculo de la resistencia de los tornillos se desarrollaron usando una analogía entre el equivalente de una sección “T” a tensión y la placa. El procedimiento de diseño desarrollado por Kennedy y otros (1981) es el más usado para determinar la resistencia de los tornillos en conexiones de placa de extremo. Srouji y otros (1983a, 1983b) Hendricks y otros (1984, 1985). Morrison y otros (1985, 1986) y Borgsmiller (1995) usaron una modificación del método de Kennedy para calcular la resistencia de los tornillos en configuraciones de placas al ras y extendidas, atiesadas y sin atiesar. Las principales modificaciones al método de Kennedy fueron un ajuste en la ubicación de las fuerzas de palanca y modificaciones en la distribución de la fuerza en los patines a una hilera en particular de tornillos.

El procedimiento de diseño de Kennedy identifica tres etapas del comportamiento como placa del patín de una sección “T”. La primera etapa se da a niveles bajos de carga y se define por ser un comportamiento *puramente elástico*. Se dice que el patín se comporta como placa “*gruesa*” y se asume que no hay fuerzas de palanca. Cuando la carga aumenta, se forma una articulación plástica en el patín de la placa en la base de la sección “T”, y se tiene la segunda etapa del comportamiento como placa del perfil “T”. Se dice que la placa tiene un espesor *intermedio* y se presentan fuerzas de palanca. La tercera etapa del comportamiento como placa del perfil “T”, ocurre como consecuencia de la formación de una articulación plástica en la línea de tornillos. En este caso, la placa se clasifica como “*delgada*” y las fuerzas de palanca se encuentran en un valor máximo. La figura 2.5 muestra las tres etapas del comportamiento como placa de un perfil “T”.

El modelo de Kennedy fue modificado por Srouji y otros (1983a, 1983b). Hendrick y otros (1984, 1985), Morrison y otros (1985, 1986) para ajustar la ubicación de las fuerzas de palanca y para modificar la distribución de las fuerzas de tensión del patín a las hileras de tornillos. Borgsmiller (1995) presentó una versión simplificada del método modificado de Kennedy para calcular la resistencia de los tornillos incluyendo los efectos de las fuerzas de palanca. El método simplificado considera solo *dos* etapas de comportamiento como placa del perfil “T”: placa “*gruesa*” sin fuerzas de palanca y placa “*delgada*” con las fuerzas de palanca en un valor máximo. El comportamiento como placa intermedia, como se había definido en el modelo de Kennedy, *no* está considerado. Esta simplificación permite la solución directa de la resistencia de los tornillos.

Para diferenciar entre el comportamiento como placa "*delgada*" y placa "*gruesa*", se decidió hasta qué punto las fuerzas de palanca de los tornillos pueden ser ignoradas. Basados en los resultados de pruebas experimentales anteriores, Borgsmiller (1995) determinó que este cambio se daba cuando se alcanzaba un 90% de la resistencia de la placa de extremo. Si la carga aplicada es menor del 90% de la resistencia de la placa, entonces se considera como "*gruesa*" y se supone que no hay fuerzas de palanca; cuando la carga aplicada es mayor del 90%, la placa es considerada como "*delgada*" y se asume que las fuerzas de palanca llegan a su valor máximo.

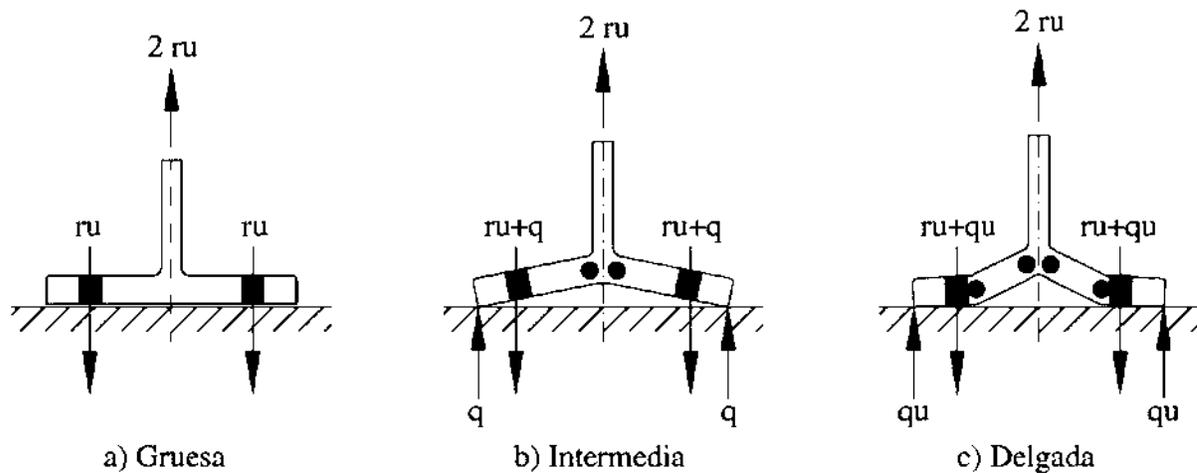


FIGURA 2.5. Las 3 Etapas de Comportamiento de las Placas del Modelo de Kennedy

El método modificado de Kennedy y el método simplificado de Borgsmiller fueron desarrollados para calcular las fuerzas en los tornillos en la sección "T" y en conexiones rígidas sujetas a cargas monótonas. La aplicación de carga cíclica (sísmica) en placas de extremo requiere una consideración especial. Los criterios de diseño anteriores eran cuestionables pues consideraban tener una columna fuerte, una conexión fuerte y una viga débil. Esto ocasionaba un comportamiento inelástico dentro de la zona de conexión de la viga y la columna, y requiere que la conexión y la columna permanezcan *elásticos*. Para aplicar esta filosofía de diseño a la conexión se requiere que la placa de extremo y el patín de la columna sean diseñados para mostrar un comportamiento como placa "*gruesa*". El hacer esto asegura que la placa y el patín permanecerán elásticos y que los tornillos no serán sujetos de ninguna fuerza de palanca significativa.

Para el comportamiento como placa "*gruesa*", las fuerzas en los tornillos se determinan eliminando el momento estático de los tornillos cercanos a la línea de centro del patín a compresión. La resistencia de la conexión, basados en una ruptura por tensión del tornillo, se convierte entonces en el momento estático de la resistencia de los tornillos en la línea de centro del patín. La figura 2.6 muestra este concepto para la placa de extremo de 8 tornillos atiesada. El momento

debido a las fuerzas, despreciando las de palanca, M_{np} , para calcular la resistencia de los tornillos se expresa como:

$$M_{np} = nP_t \sum_{i=1}^N h_i \quad (\text{Ecuación 2.7})$$

Dónde: n es el número de tornillos en cada fila, N es el número de hileras de tornillos y h es la distancia del centro de línea del patín a compresión al centro de línea de la hilera de tornillos. P_t es la resistencia a tensión de los tornillos y se expresa como se muestra a continuación:

$$P_t = F_t A_b \quad (\text{Ecuación 2.8})$$

Dónde: F_t es la resistencia a tensión nominal (6630 kg/cm² (90ksi) para tornillos ASTM A325 y 7945 kg/cm² (113ksi) para tornillos ASTM A490) en el ‘LRFD Specification’ (AISC 1999) y A_b es el área nominal de los tornillos.

El momento ocasionado por las fuerzas de los tornillos, despreciando las fuerzas de palanca, agota la resistencia total a tensión de cada tornillo en la conexión. Una suposición común como es la consideración de que las secciones planas permanecerán planas, nos indica que la línea más alejada de tornillos va a alcanzar su resistencia a tensión antes que la línea interna. La suposición más remarcada en el modelo de Borgsmiller es que los tornillos externos se deformarán y proveerán de suficiente deformación para desarrollar la resistencia total de cada una de las hileras de tornillos internos. Esta suposición fue analizada por Sumner y Murray (2001a) en conexiones extendidas de múltiples hileras y se determinó que era correcta.

La resistencia de los tornillos, sin las fuerzas de palanca, que se calcula usando la ecuación 2.7, implica que la placa y el patín de la columna presentarán un comportamiento como placa “gruesa”. Para asegurar este comportamiento, las fuerzas en los tornillos, despreciando el apalancamiento, debe ser menor o igual que el 90% de la resistencia de la placa de extremo y/o que el 90% de la resistencia del patín de la columna. Dicho de otra manera, las resistencias de la placa y del patín deben ser mayores o iguales a 111% de la resistencia de los tornillos. Las ecuaciones 2.9 y 2.10 son las expresiones que definen los requerimientos específicos del diseño de placa “gruesa”.

$$M_{np} \leq 0.9M_{pl} \quad \text{y} \quad M_{np} \leq 0.9M_{cf} \quad (\text{Ecuación 2.9})$$

$$M_{pl} \leq 1.11M_{np} \quad \text{y} \quad M_{cf} \leq 1.11M_{np} \quad (\text{Ecuación 2.10})$$

Dónde: M_{np} es el momento actuante, despreciando las fuerzas de palanca, dado en la ecuación 2.7, M_{pl} es la resistencia a flexión de la placa, y M_{cf} es la resistencia a flexión del patín de la columna.

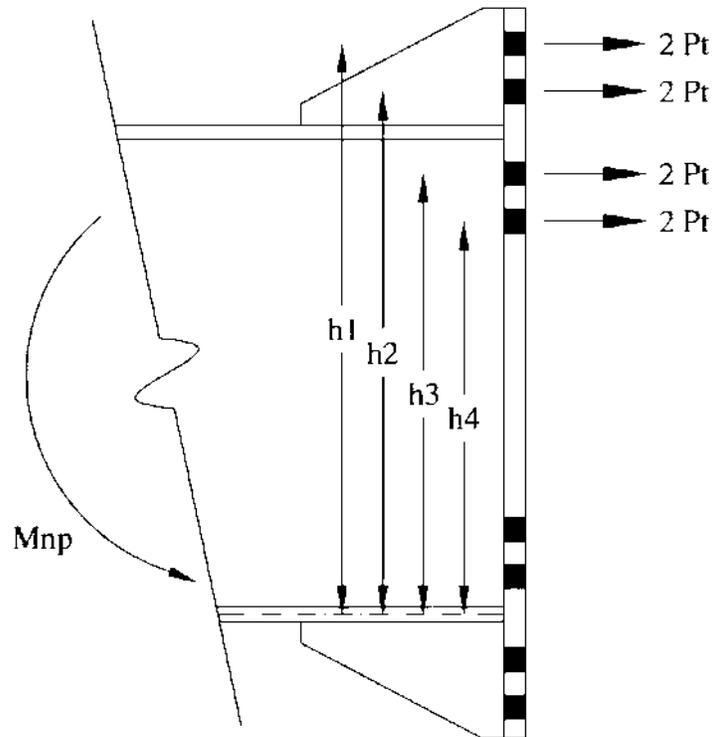


FIGURA 2.6. Fuerzas de Diseño para los Tornillo en Placas Gruesas (Modelo 8ES)

2.3. Revisión de Estados Límite

Los *estados límite*, o *modos de falla*, que deben de ser considerados en el diseño de placas de extremo de viga columna son:

1. Falla por flexión del material de la placa en la cercanía de los tornillos del patín a tensión. Este estado en sí mismo no es limitante, pero la falla ocasiona incrementos rápidos de tensión en los tornillos.
2. Falla por cortante del material de la placa. Este estado límite no es muy común, sin embargo la combinación entre las fuerzas cortantes y la deformación puede afectar la capacidad a flexión y la rigidez de la placa.
3. Ruptura por cortante de placas en atiesadores a lo largo de la línea exterior de agujeros para tornillos.

4. Ruptura por tensión de los tornillos. Este estado límite es obviamente un modo de falla frágil **yes el estado límite más crítico** en conexiones de placa de extremo.
5. Ruptura por cortante de los tornillos en la zona de contacto de la placa de extremo y el patín de la columna.
6. Falla por aplastamiento de la placa de extremo o del patín de la columna en la zona de contacto con los tornillos.
7. Ruptura por tensión de la soldadura del patín de la viga a la placa o de la soldadura de la región a tensión del alma de la viga a la placa.
8. Falla por cortante de la soldadura del alma de la viga a la placa o del material del alma de la viga.
9. Falla en el alma de la columna opuesta a los patines a tensión o a compresión de la viga conectada.
10. Aplastamiento del alma de la columna opuesto al patín a compresión de la viga conectada.
11. Pandeo del alma de la columna, en sentido opuesto a la compresión del patín de la viga conectada.
12. Falla por flexión del patín de la columna en la vecindad de los tornillos a tensión. De la misma manera que pasa con la falla por flexión de la placa, no resulta limitante directamente, pero da como resultado incrementos rápidos en la tensión de los tornillos y produce una rotación excesiva en la conexión.
13. Falla de los tiesadores de columna (placas de continuidad) debida a pandeo general, pandeo local o falla de la soldadura.
14. Falla en la zona de panel de la columna por cortante o por pandeo de la placa.

2.4. Prácticas de Dimensionamiento y Fabricación

Se requiere de un dimensionamiento apropiado de la conexión para asegurar que la carga se transmitirá apropiadamente y que la geometría del diseño se ejecute de manera correcta. Se recomienda usar vigas no deformadas por su propio peso y longitud cuando se utilizan placas de extremo, ya que por la rotación al final de la

viga se tendrían problemas de acoplamiento en campo. Un aspecto crítico del diseño es el *procedimiento de soldadura* utilizado para conectar la placa con la viga. Como se observó en el terremoto de 1994 en Northridge, en marcos con conexiones hechas con un procedimiento de soldadura inapropiado y geometría mal diseñada, en marcos cuyas conexiones se hicieron directamente de la viga a la columna mediante soldaduras, este hecho ocasiona la falla prematura de la conexión. La importancia de soldar apropiadamente la conexión fue presentada por Meng y Murray (1996, 1997). Ellos observaron fracturas prematuras del patín de la viga en placas de extremo que utilizaban agujeros de acceso para soldar la placa al patín de la viga. A continuación se presentan recomendaciones para la geometría de la placa de extremo y los procedimientos de soldadura requeridos para asegurar una buena distribución de la carga y corroborar los resultados obtenidos del procedimiento de diseño.

Dimensionamiento de la Conexión

Una parte crítica del diseño de conexiones de placa de extremo es la selección apropiada del espaciamiento entre tornillos. Un espacio pequeño entre los tornillos dará como resultado conexiones más económicas que aquellas con espaciamentos grandes. Sin embargo, las placas con un espaciamiento muy pequeño pueden causar problemas al colocar y apretar los tornillos durante la construcción. Las 3 dimensiones principales que deben ser seleccionadas cuando se diseña y detalla una placa de extremo son:

- *La separación horizontal entre los tornillos o gramil (g)*
- *La distancia del tornillo al patín (P_f)*
- *El espaciamiento entre hileras de tornillos contiguas (P_b)*

Nota: El diámetro de tornillo y los espaciamentos se ilustran en la figura 2.7.

El gramil debe seleccionarse para dejar un espacio adecuado para colocar y apretar los tornillos de la conexión. Además, para conexiones de viga a columna, el diámetro debe ser lo suficientemente grande para que los tornillos libren las soldaduras entre la columna y el patín de la viga. El “*gramil de trabajo*” (gramil mínimo) para una conexión de viga a columna se tabula junto con las propiedades de la sección para cada uno de los perfiles laminados en caliente en la sección 1 del “Manual of Steel Construction” (AISC, 2001). Sin importar el grosor del patín, el gramil máximo se limita al grosor del patín de la viga conectada. Esta restricción se hace para asegurar que se provea de una favorable distribución de carga entre el patín de la viga y los tornillos de la conexión.

Las distancias de la hilera de tornillos al patín y el espaciamiento entre hileras de tornillos deben seleccionarse de manera tal que se tenga un espacio adecuado para colocar y apretar los tornillos de la conexión. La distancia P_f se mide de la

cara exterior del patín a la línea central de la hilera de tornillos más cercana. La dimensión mínima de este espaciamento para tornillos estándar es igual al diámetro del tornillo más 13mm ($\frac{1}{2}$ ”) para tornillos de hasta 25mm (1”) de diámetro. Para tornillos con diámetro mayor se suman 19mm ($\frac{3}{4}$ ”). Para tornillos pretensionados, puede que se necesite una distancia al patín más grande por el tamaño de la llave que se usa para apretarlos.

El espaciamento entre hileras de tornillos adyacentes P_b se mide del centro de línea de una hilera de tornillos a otra, y debe ser de, por lo menos, 2.67 veces el diámetro del tornillo, sin embargo, para casos prácticos se recomienda usar un espaciamento de al menos 3 veces el diámetro del tornillo (AISC, 1999 y NTC, 2004).

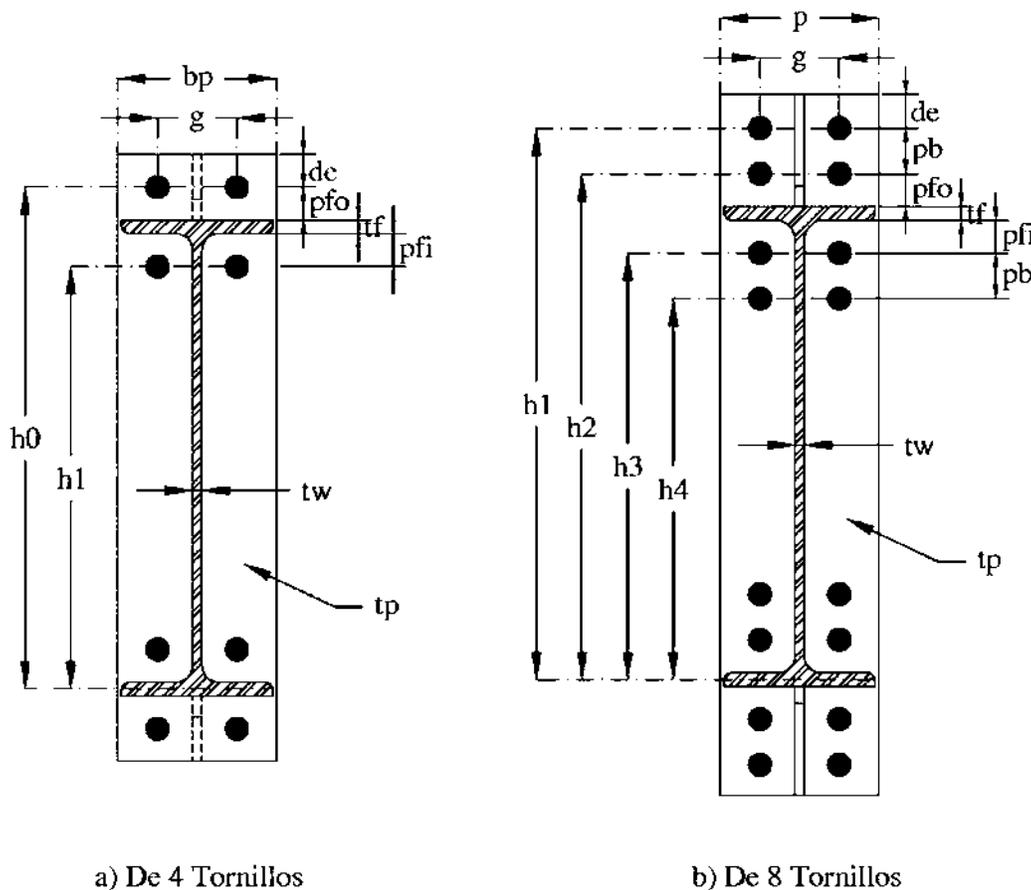


FIGURA 2.7. Geometría de las Placas de Extremo

El ancho de la placa debe ser mayor o igual que el ancho del patín de la viga conectada. Por lo general, el ancho de la placa se selecciona aumentando 25mm (1”) al ancho del patín de la viga y redondeando la dimensión a una medida estándar. El ancho adicional de la placa permite un espacio de tolerancia durante la colocación de la placa y un área extra para soldar en el taller de fabricación. Al realizar los cálculos, el ancho efectivo de la placa **no deberá rebasar por más**

de 25mm (1”) el ancho del patín de la viga. Esta previsión asegura que el material extra de la placa quede fuera del ancho del patín de la viga, que puede no ser un ancho efectivo y *NO* se considera en los cálculos de la resistencia de la placa de extremo.

Las 2 conexiones de placa de extremo extendidas con atiesadores de las figuras 1.1 (b) y 1.1(c) utilizan una placa de empalme soldada entre el patín de la viga y la placa de extremo para dar más rigidez a la porción que sobresale de la placa. El atiesar la placa incrementa su resistencia y permite disminuir el grosor de la placa al compararla con una conexión equivalente no atiesada. El uso de la conexión de 8 tornillos de la figura 1.1(c), puede eliminar la necesidad de atiesadores de columna por su amplia distribución de fuerzas del patín de la viga a la columna. El atiesador de la placa actúa como una parte del alma de la viga para transferir parte de la tensión del patín de la viga a la placa de extremo y luego a los tornillos de la conexión. Para asegurar una trayectoria de carga favorable la geometría de los atiesadores es muy importante.

Diferentes estudios analíticos y experimentales han demostrado que un esfuerzo de tensión concentrado, aplicado en un borde sin apoyo de la placa de empalme, se distribuye desde ese punto al borde apoyado en un ángulo de aproximadamente 30°. Este modelo de distribución de fuerza se conoce como ‘*La Sección Whitmore*’. El mismo modelo de distribución de fuerza se aplica para diseñar los atiesadores de la placa. La porción de la fuerza en el patín que se transmite al atiesador se distribuye en un ángulo de 30°. Usando este modelo, la longitud requerida para el atiesador a lo largo de la cara exterior del patín de la viga está dada por la expresión siguiente:

$$L_{st} = \frac{h_{st}}{\tan 30^\circ} \quad (\text{Ecuación 2.11})$$

Dónde: **h_{st}** es la altura del atiesador desde la cara exterior del patín de la viga al final de la placa de extremo (figura 2.8).

Para facilitar las soldaduras del atiesador, éste debe terminar en el patín de la viga y en el borde de la placa de extremo con cortes rectos de 25mm (1”) aproximadamente. Estos cortes, que en realidad son las esquinas del atiesador, proveen un punto de terminación consistente para el atiesador y sus soldaduras. El atiesador debe sujetarse en la unión del patín de la viga con la placa de extremo para proveer un espacio para la soldadura. La figura 2.8 ilustra el diseño recomendado para la geometría del atiesador de la placa.

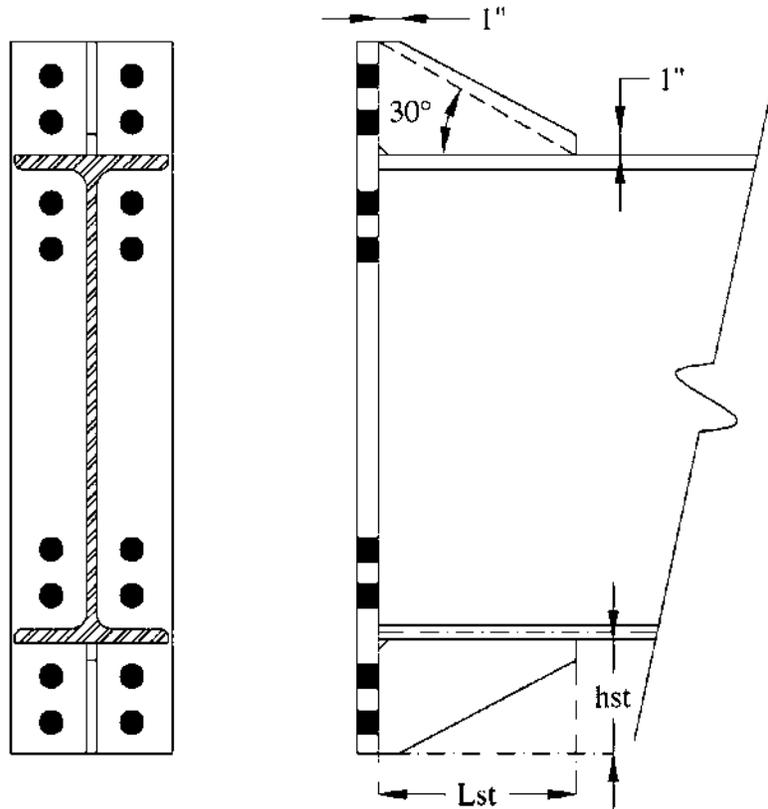


FIGURA 2.8. Diseño y Geometría de los
Atiesadores de Placa (Modelo 8ES)

El atiesador de la placa debe tener la resistencia adecuada para poder transferir una porción de la fuerza desde el patín de la viga a los tornillos en la parte que sobresale de la placa de extremo. Para asegurar una trayectoria de carga consistente a través de la conexión, el atiesador de la placa debe *proveer la misma resistencia que provee el alma de la viga*. Cuando los materiales de la viga y los atiesadores de la placa tienen la misma resistencia, el grosor del atiesador debe ser mayor o igual que el grosor del alma de la viga. Si la viga y el atiesador de la placa tienen diferentes resistencias de materiales, el grosor del atiesador debe ser mayor que el producto de la resistencia a tensión nominal del material multiplicado por el grosor del alma de la viga.

La precisión en la longitud de la viga y la altura de la columna son asuntos concernientes a la fabricación, construcción y montaje de marcos estructurales de acero que utilizan conexiones rígidas. Las placas de extremo son soldadas a la viga o trabe en el taller y los patines de la columna se perforan para que coincidan con el patrón de tornillos de la placa, lo que quiere decir que *es una conexión de campo con una necesidad mínima de ajustes*.

De acuerdo con el "Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges" (AISC, 2000) la tolerancia de fabricación permitida para la longitud de una viga conectada en ambos extremos es de 1.6mm (1/16") para miembros de menos de 9.15m (30 pies) de largo y de 3.2mm (1/8") para longitudes mayores. El estudio publicado bajo el nombre de "Standard Specifications for General Requirements for Roll Structural Steel Bars, Plates, Shapes and Sheet Piling" (ASTM, 2001), especifica que la variación máxima de la altura de la sección y la tolerancia para los patines que sufran deformaciones son de 3.2mm (1/8") para secciones con una profundidad mayor que 30.5cm (12").

Para resolver el problema de tolerancia, la viga o trabe debe ser fabricada de 4.8mm (3/16") a 9.5mm (3/8") más corta y luego rellenando cualquier hueco

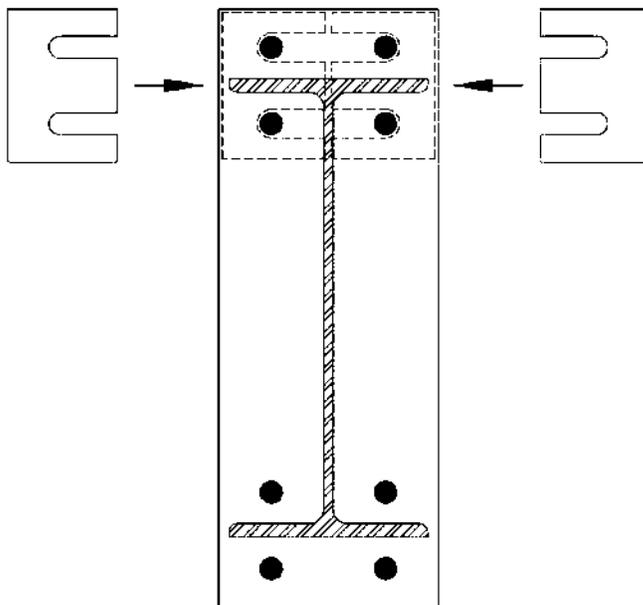


FIGURA 2.9. Uso Típico de las
'Laminillas en forma de Dedo'

entre la placa y la columna utilizando *laminillas en forma de dedo*. Las *laminillas en forma de dedo* son delgadas láminas de acero, por lo general de 1.6mm (1/16") de grosor, que se cortan para coincidir con el patrón de los tornillos de la conexión de modo que puedan insertarse entre el patín de la columna y la placa de extremo. La figura 2.9 ilustra el uso común de las *laminillas en forma de dedo*. Un patín de columna o placa de extremo sesgados pueden corregirse mediante la inserción de más laminillas de un lado de la conexión que del otro. Se han realizado pruebas

experimentales con *laminillas en forma de dedo* (por Sumner y otros 2000a) y no se observaron resultados adversos o diferencias en relación al comportamiento esperado de la conexión.

Dimensionamiento de Placas Compuestas

Cuando las vigas se conectan a una losa de concreto utilizando conectores de cortante, la acción de sección compuesta aumenta la resistencia de las vigas de manera importante. No obstante, esta resistencia adicional no se considera en el diseño de los miembros resistentes a fuerza sísmica de los marcos en que actúan momentos flexionantes (FEMA 1997). La suposición es que la parte de la losa de concreto de la sección compuesta fallará, que el concreto se fracturará alrededor de la columna, y la resistencia adicional de la sección compuesta se reducirá a un

nivel insignificante antes de que la viga tenga una deformación inelástica significativa. Esta filosofía de diseño se ha incorporado a los criterios de diseño actuales para conexiones rígidas de viga a columna, los cuales solo consideran la resistencia de la porción de acero conectada.

Para eliminar la acción como sección compuesta en las regiones de la viga en que se espera que se formen las articulaciones plásticas se recomiendan las siguientes consideraciones para el diseño de losa y de los conectores de cortante (Sumner y Murray 2001):

- No deberán colocarse conectores de cortante en el patín superior de las vigas conectadas, al menos, en una distancia de 1.5 veces el peralte de la viga medida a partir de la cara de la columna.
- Deberá instalarse una capa de al menos 13mm (½”) de material compresible para la junta entre la placa y la cara de la columna.
- El refuerzo de la losa a una distancia de 2 veces el peralte de la viga (medida desde la cara de la columna) deberá ser mínimo.

Estas recomendaciones se basan en juicio ingenieril y no han sido sustentadas por pruebas de laboratorio en placas de extremo. Sin embargo, Yang y otros (2003), hicieron pruebas a conexiones con patines soldados sujetos a momentos positivos y con vigas compuestas. El diseño de losas compuestas con concreto fue muy similar al que se recomienda anteriormente y las pruebas se consideraron exitosas, toda vez que no hubo un aumento significativo de la resistencia de la viga.

Procedimientos de Soldadura

Los procedimientos de soldadura que se detallan en esta sección están pensados para proveer conexiones entre la viga y la placa que satisfagan las demandas de carga cíclica inelástica. Aún y cuando no es absolutamente necesario, los mismos procedimientos se recomiendan para las aplicaciones de baja sismicidad y por viento. Los requerimientos para la geometría y la fabricación fueron desarrollados por la experiencia de los fabricantes y por programas de pruebas experimentales llevadas a cabo por el *Virginia Polytechnic Institute* durante la última década. Todas las soldaduras deben realizarse de acuerdo con las normas de la “*American Welding Society*” (encontradas en su publicación “*AWS Structural Welding Code*”, 2005). Los electrodos utilizados para hacer las soldaduras especificadas en los procedimientos deben satisfacer los requerimientos que se encuentran en los manuales (en este caso los del manual de la AISC: “*Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*”, 2005). Las especificaciones nos dicen que el metal de relleno de la soldadura debe tener una resistencia mínima **Charpy V-Notch (CVN)** de 27Nm (20 pie-libra) a -20°F.

La conexión entre el alma de la viga y la placa se puede hacer usando ya sea soldaduras de fileteo bien con soldaduras de junta de penetración completa. Las soldaduras de filete deben ser del tamaño adecuado para que permitan al alma de la viga desarrollar su resistencia total a tensión en la zona cercana a la hilera interior de tornillos (ver sección 2.1). Si el tamaño de la soldadura de filete es muy grande, una soldadura de penetración completa puede ser una opción más económica. La soldadura entre el alma de la viga y la placa debe hacerse *antes* que la soldadura entre el patín de la viga con la placa. Esta secuencia de soldaduras se usa para evitar inducir esfuerzos adicionales a la soldadura entre el patín de la viga y la placa debido al encogimiento de las soldaduras.

La conexión del patín de la viga a la placa debe realizarse con una soldadura de penetración completa en caso de que el grosor del patín sea mayor que 9.5mm (3/8”). Las soldaduras de filete pueden ser usadas en ambos lados del patín de la viga, siempre y cuando los patines sean menores que 9.5mm (3/8”). La soldadura de penetración completa debe hacerse de forma tal que la raíz de la soldadura esté del lado en que hace contacto el alma de la viga con el patín de la columna. La soldadura del patín es similar a la calificada por la AWS como TC-U4b-GF con un chaflán completo de 45° con abertura mínima de la raíz. La raíz de la soldadura debe estar apoyada por una soldadura de filete de al menos 8mm (5/16”) colocada del lado del patín. Lo más importante es que **NO SE HAGA USO DE AGUJEROS DE ACCESO PARA SOLDAR** en el alma de la viga. Ya que la soldadura de apoyo esté hecha, la raíz de la soldadura de filete debe ser escuadrada para unir las soldaduras de filete con la de apoyo. Una excepción a este procedimiento se tiene cuando se dan soldaduras en el área del patín justo por encima del alma de la viga, en cuyo caso no es necesario el escuadrarla raíz. Esta excepción es necesaria porque en el área encima del alma de la viga, la soldadura de filete de apoyo no está presente. Un resumen del procedimiento de soldadura se presenta en la figura 2.10.

Soldaduras de los Atiesadores de Placa de Extremo

La conexión de los atiesadores de la placa de extremo a la parte exterior del patín de la viga y a la cara de la placa pueden realizarse haciendo uso de soldaduras de junta de penetración completa, o bien, con soldaduras de filete. Las soldaduras de penetración completa pueden ser soldaduras de uno o dos chaflanes en la ranura. Sin embargo, las soldaduras de filete deben ser usadas solo si el atiesador es de un grosor de 9.5mm (3/8”) o menos.

- Preparar los patines de la viga con un bisel de 45° en todo su espesor.
- Colocar y acomodar la placa y la viga, procurando una apertura en la raíz mínima.
- Precalentar los especímenes según las especificaciones requeridas por la AWS.
- Preparar las superficies para soldar según las especificaciones de la AWS.
 - Realizar las Soldaduras del alma (1).
- Colocar los 8mm ($\frac{5}{16}$ " de soldadura de filete de respaldo en los patines de la viga (2).
- Realizar el biselado de los patines y remover cualquier contaminante de la soldadura de filete de 8mm ($\frac{5}{16}$ " (3). **NOTA:** es necesario lijar el área de soldadura para remover contaminantes ó residuos ocasionados por cualquier otro motivo ajeno a los especímenes y que deba ser removido para realizar una soldadura nueva; ésto generalmente se hace cuando se ocupa soldar ambos lados de una misma sección.
- Realizar las soldaduras en los biselados de los patines (AWS TC-U4b-GF).

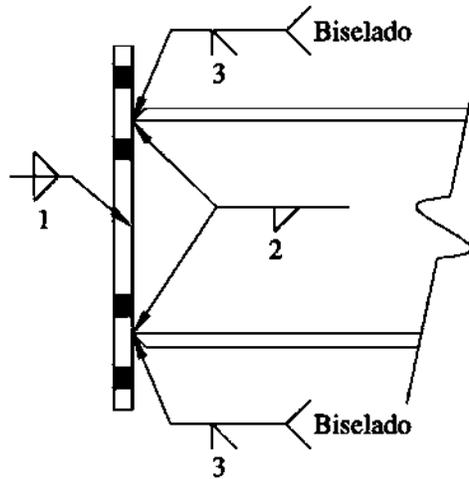


FIGURA 2.10. Resumen del Procedimiento de Soldadura Recomendado

CAPÍTULO 3: PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

3.1. PROCESO GENERAL

Los 4 parámetros de diseño primordiales para calcular conexiones de placa de extremo extendidas sujetas a carga cíclica son:

1. *El momento de diseño de la conexión*
2. *La resistencia de los tornillos*
3. *La resistencia de la placa*
4. *La resistencia a flexión de la columna*

El procedimiento de diseño para las placas de los modelos de 4 tornillos sin atiesadores, de 4 tornillos con atiesadores y de 8 tornillos con atiesadores (4E, 4ES y 8ES, Figura 1.1(a, b, c), respectivamente) se presenta en este capítulo. Estos procedimientos se basan en la teoría de las líneas de fluencia para la determinación de la resistencia de la placa y utiliza un método simplificado para determinar la resistencia de los tornillos, como se describió en el capítulo 2.

Las tablas 3.1, 3.2 y 3.3 al final de este capítulo muestran expresiones que permiten obtener la resistencia a flexión de la conexión y la resistencia a flexión de los tornillos sin tomar en cuenta las fuerzas de palanca para los modelos 4E, 4ES y 8ES. Las tablas 3.4 y 3.5 contienen expresiones similares correspondientes para la resistencia a flexión de patines de columna con o sin atiesadores. El momento flexionante de diseño, ΦM_{pl} , se asocia con una distancia “ s ”. Los patrones que pueden tomar las líneas de fluencia en las tablas muestran la distancia “ s ” medida desde la fila de tornillos interna y, para las conexiones atiesadas, desde la fila de tornillos más externa. Si se utiliza una distancia a centro de tornillo muy grande, p_{fi} , puede que se forme una línea de fluencia horizontal entre el patín de la viga y la primera fila de tornillos. Por lo tanto, si $p_{fi} > s$, entonces p_{fi} se tomará igual a s cuando se calcule el esfuerzo flexionante de la placa de extremo.

3.2. Pasos del Procedimiento de Diseño

Los siguientes pasos se recomiendan para diseñar placas de extremo con tornillos sujetos a carga cíclica o sísmica. Si la conexión se ve sujeta a otras fuerzas además de la carga sísmica, entonces el momento requerido en el paso 1, M_{uc} , deberá ser determinado mediante el análisis de la estructura. De manera alternativa pueden utilizarse otros procedimientos de diseño, como el propuesto por Murray y Shoemaker en el 2002 en la guía de diseño de la AISC.

La geometría de las conexiones 4E, 4ES y 8ES se muestran en las figuras 3.1, 3.2 y 3.3 respectivamente.

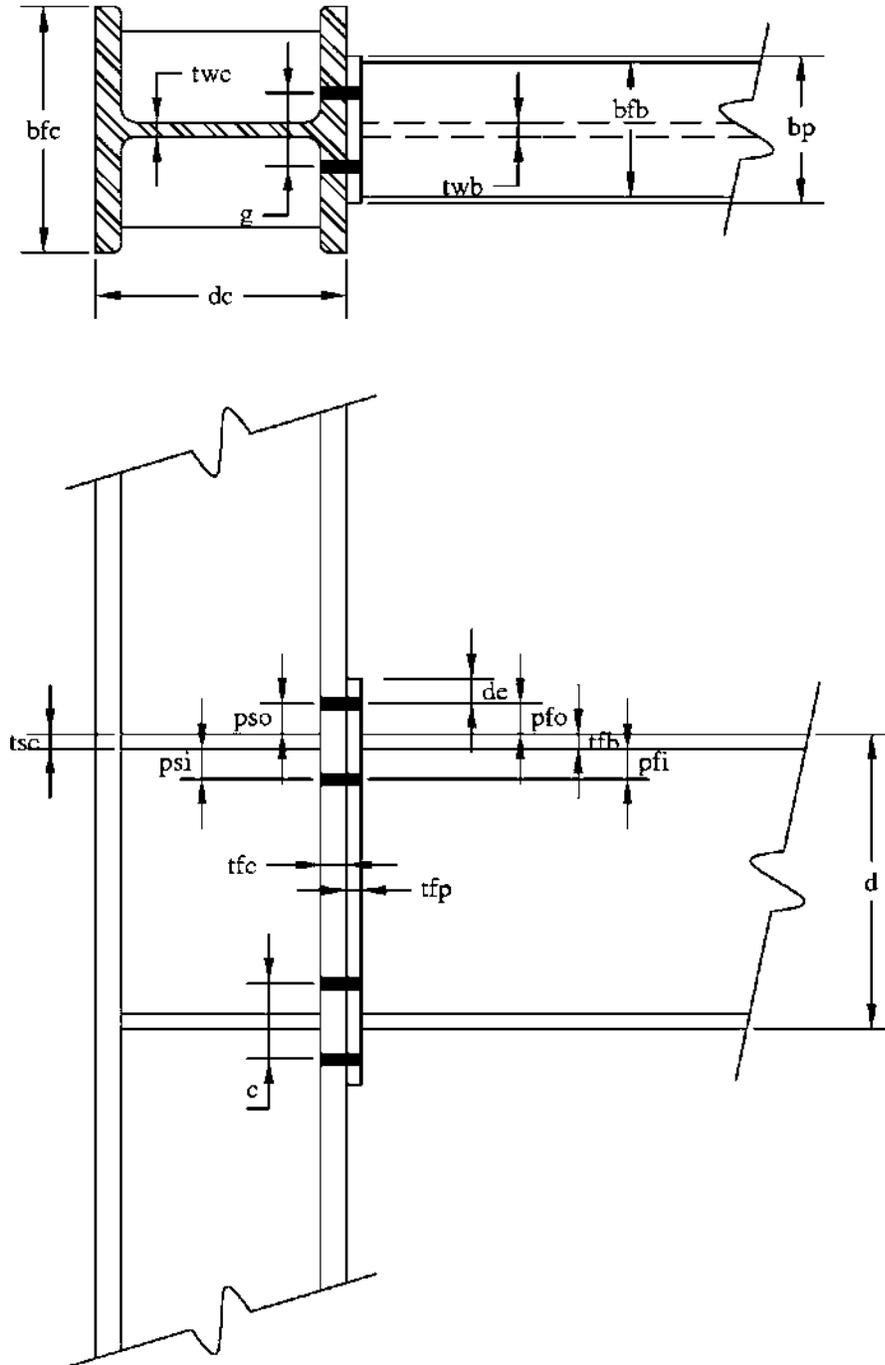


FIGURA 3.1. Geometría de la Placa de Extremo de 4 Tornillos sin Atiesadores (4E)

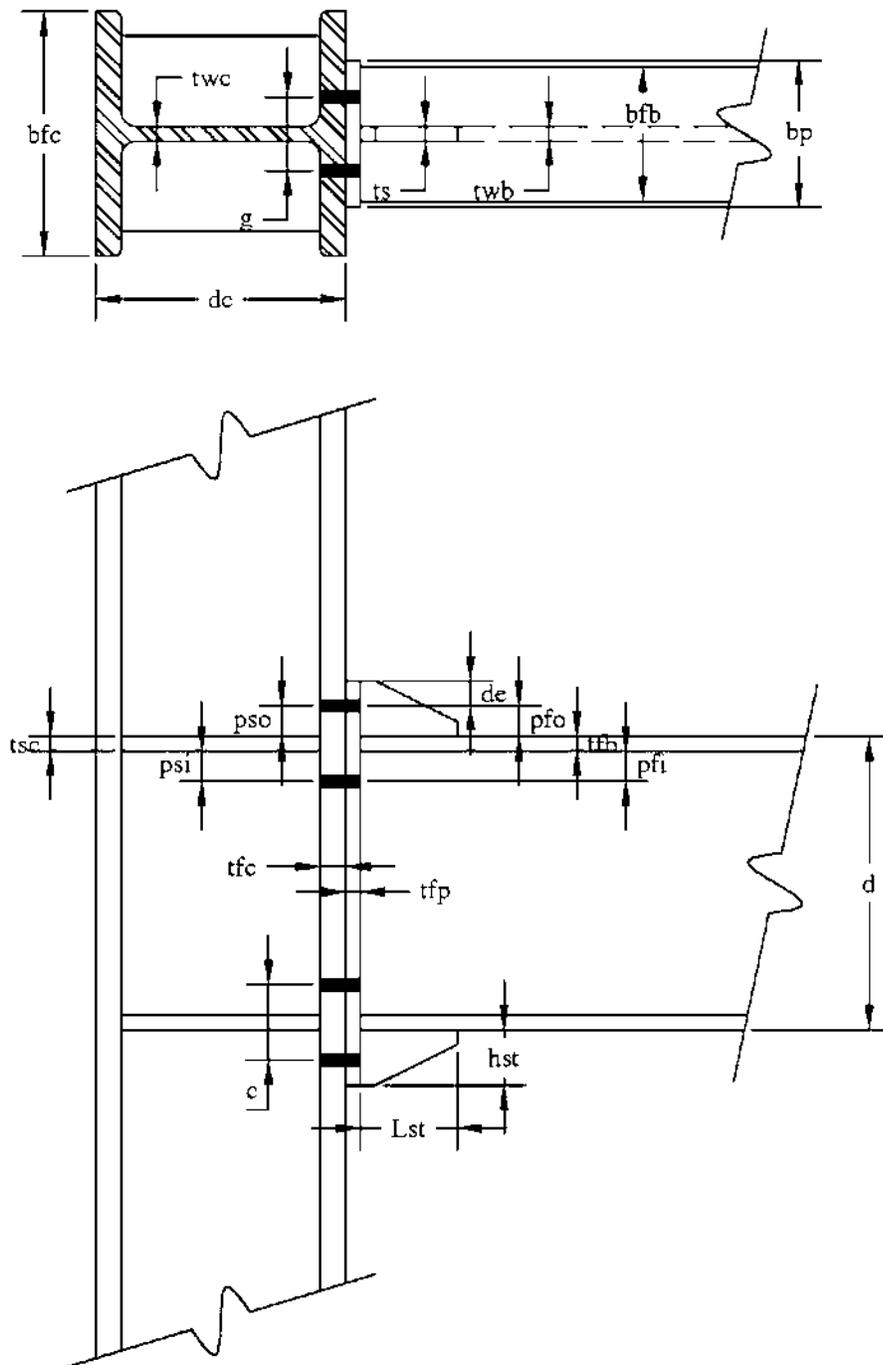


FIGURA 3.2. Geometría de la Placa de Extremo de 4 Tornillos con Atiesadores (4ES)

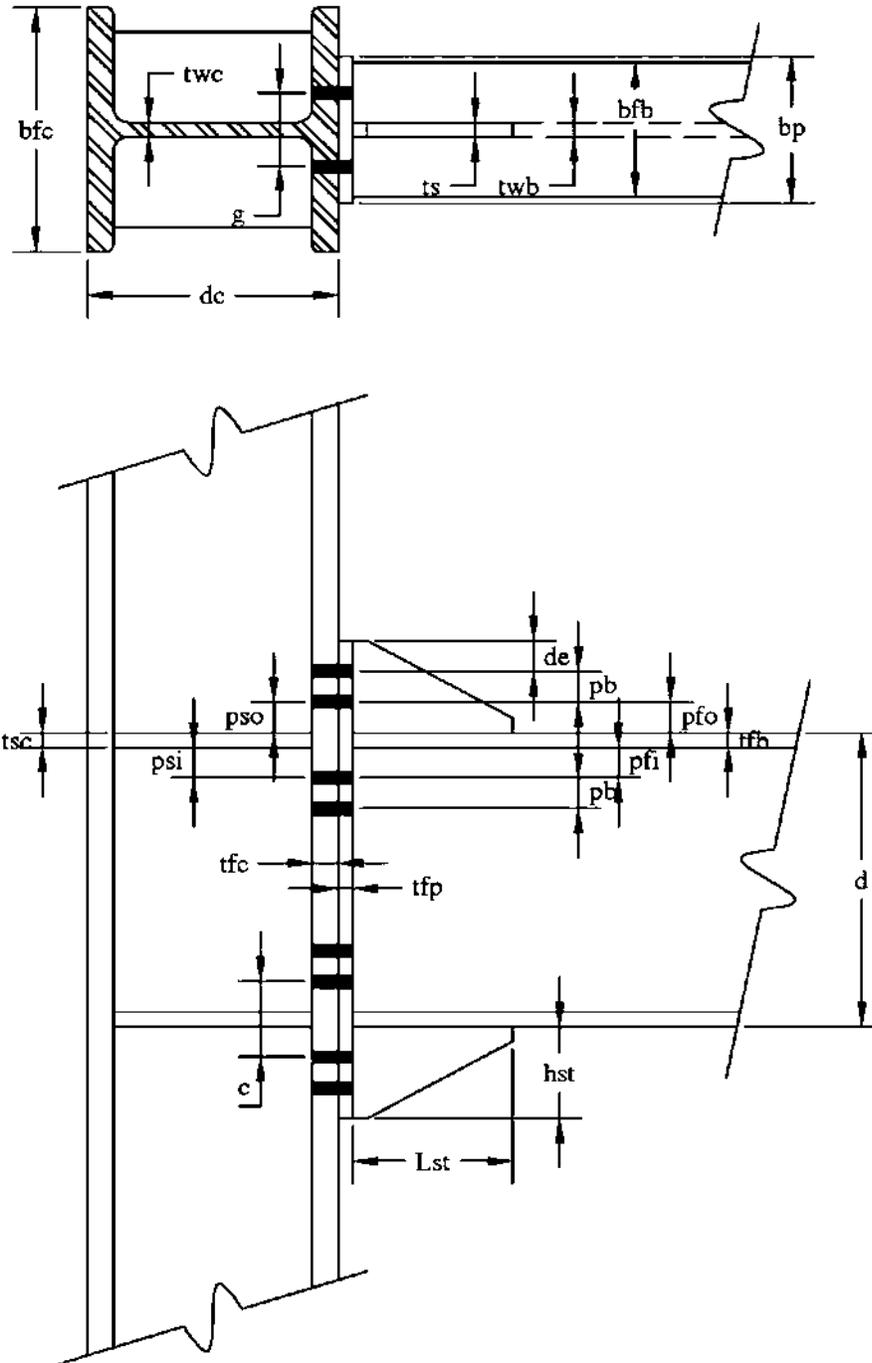


FIGURA 3.3. Geometría de la Placa de Extremo de 8 Tornillos con Atiesadores (8ES)

Diseño de la Placa de Extremo y de los Tornillos

1. Se determina el tamaño de los miembros a conectarse (viga y columna) y se obtiene el momento en la cara de la columna, **M_{uc}**.

$$M_{uc} = M_{pe} + V_u L_p$$

Dónde:

$$M_{pe} = 1.1R_y F_y Z_x$$

V_u = Fuerza Cortante en la Articulación Plástica

L_p = Distancia desde la cara exterior de la columna a la Articulación Plástica

Para conexiones sin atiesadores (tipo 4E):

$$L_p = \min(d/2, 3b_f)$$

Para conexiones con atiesadores (tipos 4ES y 8ES):

$$L_p = L_{st} + t_p$$

R_y = Parámetro según la calidad del acero utilizado; factor que tiene en cuenta que el esfuerzo de fluencia de los perfiles suele ser mayor que el mínimo especificado. De las especificaciones de la *AISC Seismic Provisions (2002)* y de las Normas Técnicas Complementarias para Estructuras Metálicas (2004) tenemos que:

$$R_y = 1.1 \text{ para acero con } F_y = 3,515 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_y = 1.5 \text{ para acero con } F_y = 2,530 \text{ kg/cm}^2$$

d = Peralte de la viga conectada

b_f = Ancho del patín de la viga

L_{st} = Longitud del atiesador de placa

t_p = Grosor de la Placa de Extremo

2. Seleccionar alguno de los 3 modelos de placa de extremo (4E, 4ES u 8ES) y establecer valores preliminares para la geometría de la placa de extremo así como el diámetro de los tornillos.
3. Determinar el diámetro de tornillos requerido (**db-req'd**) utilizando alguna de las expresiones siguientes:

Para conexiones de 4 tornillos (tipos 4E y 4ES):

$$d_{bReq'd} = \sqrt{\frac{2M_{uc}}{\phi \pi F_t (h_0 + h_1)}}$$

Para conexiones de 8 tornillos (tipo 8ES):

$$d_{bReq'd} = \sqrt{\frac{2M_{uc}}{\pi\phi F_t (h_1 + h_2 + h_3 + h_4)}}$$

Dónde:

$\Phi = 0.75$

Ft = Resistencia nominal a tensión de los tornillos (**6,330 kg/cm²** para tornillos ASTM A325 y **7,945 kg/cm²** para tornillos ASTM A490)

hi = Distancia del centro de línea del patín de la viga a la hilera "i" de tornillos de la conexión

Las ecuaciones anteriores se derivan de igualar el momento en la cara de la columna, **Muc**, al momento resistente de los tornillos despreciando las fuerzas de palanca en ellos, **Mnp**, y diseñando para el diámetro de tornillo requerido.

4. Seleccionar un diámetro comercial preliminar de tornillo, **db**, igual o mayor al utilizado en el paso 3 y calcular el momento en los tornillos despreciando las fuerzas de palanca, **Mnp**.

Para conexiones de 4 tornillos (tipos 4E y 4ES):

$$M_{np} = 2P_t(h_0 + h_1)$$

Para conexiones de 8 tornillos (tipo 8ES):

$$M_{np} = 2P_t(h_1 + h_2 + h_3 + h_4)$$

Dónde:

Pt = Resistencia a tensión de los tornillos

$$P_t = F_t A_b = F_t \left(\frac{\pi d_b^2}{4} \right)$$

Ab = Área nominal de la sección transversal de los tornillos seleccionados

db = Diámetro nominal de los tornillos

5. Determinar el grosor de placa necesario, **tp-req'd**.

$$t_{pReq'd} = \sqrt{\frac{1.11\phi M_{np}}{\phi_b F_{yp} Y_p}}$$

Dónde:

$\Phi = 0.75$

$\Phi_b = 0.90$

Fyp = Esfuerzo de fluencia del acero de la placa de extremo

Y_p = Parámetro del mecanismo de las líneas de fluencia de la placa de extremo, obtenido de las tablas 3.1, 3.2 o 3.3

Esta ecuación se obtuvo al igualar el 111% (100% X (1/0.9)) de la resistencia a momento de los tornillos con la resistencia a flexión de la placa de extremo y resolviendo para el espesor de placa requerido.

6. Seleccionar un espesor comercial de placa igual o mayor que el valor requerido.
7. Calcular la fuerza factorizada en el patín de la viga.

$$F_{fu} = \frac{M_{uc}}{d - t_{fb}}$$

d = Peralte de la viga conectada

8. Revisar la resistencia a flujo plástico por cortante de la porción que sobresale de la placa de extremo de 4 tornillos sin atiesadores (4E)

$$F_{fu}/2 < \phi R_n = \phi 0.6 F_{yp} b_p t_b$$

Dónde:

$\Phi = 0.90$

b_p = Ancho de la placa de extremo

Si la inecuación no se satisface *será necesario incrementar el espesor de la placa* tanto como sea requerido.

9. Revisar la resistencia a la ruptura por cortante de la porción que sobresale de la placa de extremo de 4 tornillos sin atiesadores (4E).

$$F_{fu}/2 < \phi R_n = \phi 0.6 F_{up} A_n$$

Dónde:

$\Phi = 0.75$

F_{up} = Resistencia a tensión mínima de la placa de extremo

$$A_n = [b_p - 2(d_b + 1/8")]t_p$$

A_n = Área neta de la placa.

d_b = Diámetro de los tornillos

Nota: 1/8” = 3.1mm; se aumenta al diámetro de los tornillos como una práctica común para que éstos pasen sin problemas por los agujeros, es decir, se trata de la medida real de éstos, no de los tornillos.

Si la inequación anterior no se satisface *será necesario incrementar el grosor de la placatanto* como sea requerido.

10. Si se utilizan conexiones atiesadas (4ES u 8ES), seleccionar el espesor de la placa y diseñar las soldaduras del atiesador al patín de la viga y del atiesador a la placa.

$$t_{s,req'd} = t_{wb} \left(\frac{F_{yb}}{F_{ys}} \right)$$

Dónde:

twb = Grosor del alma de la viga

Fyb = Esfuerzo de fluencia especificado del acero de la viga

Fys = Esfuerzo de fluencia especificado del acero de los atiesadores

La geometría del atiesador debe seleccionarse de acuerdo con las recomendaciones presentadas en la sección 2.4. Además, para prevenir el pandeo local de la placa metálica del atiesador debe satisfacerse el siguiente criterio:

$$\frac{h_{st}}{t_s} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} ; \text{ o bien: } t_s \geq 1.79 h_{st} \sqrt{\frac{F_{ys}}{E}}$$

Dónde:

hst = Altura del atiesador

Las soldaduras del atiesador al patín de la viga y del atiesador a la placa de extremo deben diseñarse para que el atiesador trabaje *a cortante en el patín de la viga y a tensión* en la placa de extremo. Las soldaduras de la viga pueden ser de filete o de penetración completa. Si el **grosor** del atiesador mayor que 9.5mm(3/8”) se recomienda utilizar soldaduras de penetración completa para la unión del atiesador a la placa. En cualquier otro caso pueden emplearse las soldaduras de filete.

11. Se supone que la resistencia a la ruptura por cortante de los tornillos de la conexión será proporcionada por los tornillos en el patín a compresión, por tanto:

$$V_u < \phi R_n = \phi (n_b) F_v A_b$$

Dónde:

$$\Phi = 0.75$$

nb = Número de tornillos en el patín a compresión (4 para los modelos 4E y 4ES y 8 para el modelo 8ES)

Fv = Resistencia nominal a cortante de los tornillos obtenida de la tabla J3.2 del AISC LRFD Specification (AISC 1999) y de la tabla 1.1 de las NTC-Acero (2004)

Ab = Área nominal del tornillo

Si V_u resulta mayor que ϕR_n , *augmentar el diámetro de los tornillos o el número de los mismos.*

12. Revisar el aplastamiento y el desgarramiento que ocasionan los tornillos a la placa de extremo y al patín de la columna.

$$V_u < \phi R_n = (n_i)\phi R_n \text{ (tornillos interiores)} \\ + (n_o)\phi R_n \text{ (tornillos exteriores)}$$

Dónde:

$$\Phi = 0.75$$

ni = Número de tornillos internos (2 para los modelos 4E y 4ES y 4 para el modelo 8ES)

no = Número de tornillos externos (2 para los modelos 4E y 4ES y 4 para el modelo 8ES)

$$R_n = 1.2L_c t_p F_u > 2.4d_b t_p F_u \text{ para cada tornillo}$$

Lc = Distancia, en la misma dirección que la fuerza aplicada, entre el borde de un agujero al borde de otro o del borde del material, restándole 1.5mm (1/16”).

t = **Grosor** de la placa de extremo o del patín de la columna

Fu = Resistencia mínima especificada a tensión del acero de la placa de extremo o del patín de la columna

db = Diámetro del tornillo

Si no se satisface la inequación anterior será necesario incrementar el **grosor** de la placa de extremo.

13. Diseñar las soldaduras de la viga(alma y patín) a la placa de extremo

Diseño ‘de la Columna’

14. Revisar el patín de la columna por flujo plástico por flexión.

$$t_{fcReq'd} = \sqrt{\frac{1.11\phi M_{np}}{\phi_b F_{yc} Y_c}} \leq t_{fc}$$

Dónde:

$$\Phi = 0.90$$

F_{yc} = Esfuerzo de fluencia del material de la columna

Y_c = Parámetro del mecanismo de las líneas de fluencia de la columna sin atiesar, obtenido de las tablas 3.4 o 3.5

t_{fc} = Grosor del patín de la columna

Si este requerimiento no se cumple será necesario *cambiar la sección e la columna por una con un patín más grueso* agregar atiesadores de columna (placas de continuidad).

Si se agregan atiesadores, se debe revisar la inecuación utilizando Y_c para el patín de la columna con atiesadores de las *tablas 3.4 y 3.5*.

15. Si se requieren atiesadores para lograr la resistencia a flexión del patín de la columna se determina la fuerza requerida por atiesador

La resistencia de diseño a flexión del patín de la columna es:

$$\phi M_{cf} = \phi_b F_{yc} Y_c t_{fc}^2$$

Por lo tanto, la resistencia de diseño equivalente para la columna es:

$$\phi R_n = \frac{\phi M_{cf}}{(d - t_{fb})}$$

Empleando ϕR_n la fuerza requerida para el diseño del atiesador se determina en el *paso 19*.

16. Revisar la resistencia a pandeo local del alma de la columna sin atiesadores en los patines de la viga.

$$\text{Resistencia Requerida: } \phi R_n > F_{fu}$$

$$\phi R_n = \phi C_t (6k_c + N + 2t_p) F_{yc} t_{wc}$$

Dónde:

$$\Phi = 1.00$$

$C_t = 0.5$ si la distancia del extremo superior de la columna a la cara del patín superior de la viga es menor que el peralte de la columna; en cualquier otro caso el valor de C_t será de 1.0

k_c = Distancia de la cara exterior del patín de la columna a la soldadura (valor de diseño)

N = Grosor del patín de la viga más 2 veces el tamaño del refuerzo de las soldaduras de ranura:

$$N = t_{fb} + 2(\text{soldadura de ranura})$$

tp = Grosor de la placa extrema

Fyc = Esfuerzo de fluencia del alma de la columna

twc = Grosor del alma de la columna

d = Peralte de la viga

tfb = Grosor del patín de la viga

Si no se satisface el requerimiento de resistencia, entonces *se necesitan atiesadores de columna* (placas de continuidad).

17. Revisar la resistencia a pandeo del alma de la columna sin atiesar en el patín a compresión de la viga.

$$\text{Resistencia Requerida: } \phi R_n > F_{fu}$$

Cuando **Ffu** se aplica a una distancia mayor o igual que **dc/2** del final de la columna, entonces:

$$\phi R_n = \frac{\phi 24 t_{wc}^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h}$$

Cuando **Ffu** se aplica a una distancia menor que **dc/2** del final de la columna, entonces:

$$\phi R_n = \frac{\phi 12 t_{wc}^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h}$$

Dónde:

Φ = 0.90

h = Distancia libre entre los patines menos el ‘radio de curvatura’ para secciones laminadas; distancia libre entre los patines cuando se utilizan soldaduras para secciones armadas.

Si ϕR_n es mayor que F_{fu} , se ocuparán atiesadores para el alma de la columna (placas de continuidad)

18. Revisar la resistencia a aplastamiento del alma de la columna sin atiesar en el patín a compresión de la viga.

$$\text{Resistencia Requerida: } \phi R_n > F_{fu}$$

Cuando F_{fu} se aplica a una distancia mayor o igual que $dc/2$ del extremo de la columna:

$$\phi R_n = \phi 0.80 t_{wc}^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d_c} \right) \left(\frac{t_{wc}}{t_{fc}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yc} t_{fc}}{t_{wc}}}$$

Cuando F_{fuc} se aplica a una distancia menor que $dc/2$ del extremo de la columna:

Para $N/dc < 0.2$:

$$\phi R_n = \phi 0.40 t_{wc}^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d_c} \right) \left(\frac{t_{wc}}{t_{fc}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yc} t_{fc}}{t_{wc}}}$$

Para $N/dc > 0.2$:

$$\phi R_n = \phi 0.40 t_{wc}^2 \left[1 + \left(\frac{4N}{d_c} - 0.2 \right) \left(\frac{t_{wc}}{t_{fc}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yc} t_{fc}}{t_{wc}}}$$

Dónde:

$\Phi = 0.75$

N = Grosor del patín de la columna más 2 veces el tamaño del refuerzo de las soldaduras de ranura

dc = Peralte total de la columna

Si no se satisface este requerimiento de resistencia, *será necesario agregar atiesadores en la columna* (placas de continuidad)

19. Si se necesitan atiesadores para cualquiera de los estados límites del diseño ‘de la columna’, la resistencia requerida será:

$$F_{su} = F_{fu} - \min \phi R_n$$

Dónde:

$\min \Phi R_n$ = Valor mínimo de la resistencia de diseño de los pasos 15, 16, 17 y 18 (resistencia a flexión del patín, flujo plástico en el alma, pandeo local del alma y aplastamiento, respectivamente, todos de la columna)

El diseño de los atiesadores de columna (placas de continuidad) queda fuera de los alcances de esta tesis y requiere de consideraciones adicionales, las cuales se pueden consultar en otras guías de diseño (como la “*AISC Design Guide 13 Wide-Flange Column Stiffening at Moment Connections – Wind and Seismic Applications*” de Carter, 1999)

20. Revisar las resistencias a flujo plástico por cortante y a pandeo del alma de la columna en la zona del nudo. Para mayores detalles consultar, por ejemplo, la “*AISC Design Guide 13 Wide-Flange Column Stiffening at Moment Connections – Wind and Seismic Applications*” (1999) y “*Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*” (AISC, 2002).

3.3. Verificación de la Aplicabilidad del Procedimiento de Diseño

Para una geometría dada de la placa de extremo, diámetro de los tornillos, dimensiones de la viga y de la columna, así como las propiedades de los materiales, el momento de diseño ΦM_n puede determinarse mediante el siguiente procedimiento.

- Calcular la resistencia a flexión de la placa de extremo, $\Phi b M_{pl}$, la resistencia a flexión del patín de la columna, $\Phi b M_{cf}$ y la resistencia a ruptura por tensión de los tornillos despreciando las fuerzas de palanca, ΦM_{np} , utilizando las ecuaciones mostradas en las tablas 3.1 a 3.5.
- Identificar el comportamiento de la placa extrema y del patín de la columna como placas *gruesas* o *delgadas* de la siguiente manera:

Para la Placa de Extremo:

$$\begin{aligned} \text{Si } M_{pl} > 1.1M_{np} &\rightarrow \text{Placa Gruesa} \\ \text{Si } M_{pl} < 1.1M_{np} &\rightarrow \text{Placa Delgada} \end{aligned}$$

Para el Patín de la Columna:

$$\begin{aligned} \text{Si } M_{cf} > 1.1M_{np} &\rightarrow \text{Patín Grueso} \\ \text{Si } M_{cf} < 1.1M_{np} &\rightarrow \text{Patín Delgado} \end{aligned}$$

- Si la placa extrema y el patín de la columna muestran un comportamiento como placa *gruesa*, entonces la resistencia de diseño de la conexión, ΦM_n , es igual a la resistencia de los tornillos despreciando las fuerzas de palanca, ΦM_{np} .

Si la placa de extremo y/o el patín de la columna muestran un comportamiento como placa “*delgada*”, entonces la conexión no cumple con los requerimientos del proceso de diseño. Las fuerzas en la conexión no pueden calcularse utilizando los procedimientos aquí presentados, ya que existe un estado límite adicional generado por el comportamiento de placa delgada: **Ruptura de tornillos con fuerzas de palanca**.

Los procedimientos para determinar la resistencia de placas de extremo que presentan comportamiento como placa *delgada* quedan fuera del alcance de este

trabajo y pueden encontrarse en otras referencias (se recomienda la “*AISC/MBMA Design Guide 16 Flush and Extended Multiple-Row Moment End-Plate Connections*” de Murray y Shoemaker, 2002).

3.4. Limitaciones de los Procedimientos de Diseño

Los procedimientos de diseño presentados anteriormente fueron desarrollados con base en ensayos experimentales. Los parámetros geométricos de las conexiones variaron conforme las configuraciones de cada prueba. Si en un caso práctico se tienen variaciones significativas fuera del intervalo de aplicación de los parámetros experimentales probados podrían afectar el mecanismo de falla y, por lo tanto, la resistencia calculada. El intervalo de aplicación de los parámetros experimentales probados para aplicaciones cíclicas/sísmicas se muestra en la tabla 3.6, mientras que para otro tipo de aplicaciones se muestran en la tabla 3.7.

TABLA 3.1. Resumen de parámetros de diseño para la conexión de 4 tornillos sin atiesadores (4E)

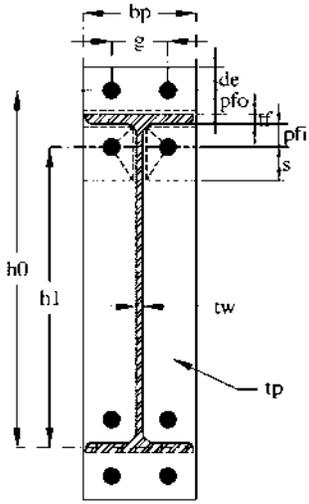
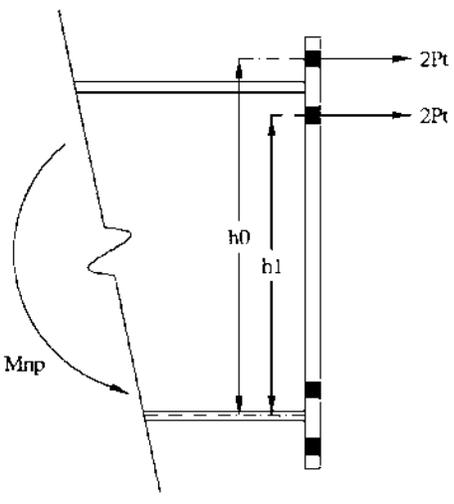
Placa de extremo y patrón de líneas de fluencia	Modelo de las fuerzas de los tornillos
	
Placa de Extremo	$\phi M_{pl} = \phi_b F_{yp} t_p^2 Y_p$ $Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{P_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{P_{fo}} \right) - \frac{1}{2} \right] + \frac{2}{g} [h_1 (P_{fi} + s)]$ $S = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} \quad \phi_b = 0.90 \quad \text{Nota: Si } p_{fi} > s, \text{ utilizar } P_{fi} = s$
Ruptura de tornillos	$\phi M_{np} = \phi 2 P_t (h_0 + h_1) \quad \phi = 0.75$

TABLA 3.2. Resumen de parámetros de diseño para la conexión de 4 tornillos con atiesadores (4ES)

Placa de extremo y patrón de líneas de fluencia		Modelo de las fuerzas de los tornillos
Caso 1 ($d_e < s$)	Caso 2 ($d_e > s$)	
Placa de Extremo	$\phi M_{pl} = \phi_b F_{yp} t_p^2 Y_p$ <p>Caso 1 ($d_e < s$)</p> $Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{P_{fi}} + \frac{1}{S} \right) + h_0 \left(\frac{1}{P_{fo}} + \frac{1}{2S} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1 (P_{fi} + s) + h_0 (d_e + P_{fo})]$ <p>Caso 2 ($d_e > s$)</p> $Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{P_{fi}} + \frac{1}{S} \right) + h_0 \left(\frac{1}{S} + \frac{1}{P_{fo}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1 (P_{fi} + s) + h_0 (s + P_{fo})]$ <p> $S = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g}$ $\phi_b = 0.90$ Nota: Si $p_{fi} > s$, utilizar $P_{fi} = s$ </p>	
Ruptura de tornillos	$\phi M_{np} = \phi 2 P_t (h_0 + h_1)$	$\phi = 0.75$

TABLA 3.3. Resumen de parámetros de diseño para la conexión de 8 tornillos conatiesadores (8ES)

Placa de extremo y patrón de líneas de fluencia		Modelo de las fuerzas de los tornillos
Caso 1 ($d_e < s$)	Caso 2 ($d_e > s$)	
Placa de Extremo	$\phi M_{pt} = \phi_b F_{yp} t_p^2 Y_p$ <p style="text-align: center;">Caso 1 ($d_e < s$)</p> $Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{2d_e} \right) + h_2 \left(\frac{1}{P_{fo}} \right) + h_3 \left(\frac{1}{P_{fi}} \right) + h_4 \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_1 \left(d_e + \frac{P_b}{4} \right) + h_2 \left(P_{fo} + \frac{3P_b}{4} \right) + h_3 \left(P_{fi} + \frac{P_b}{4} \right) + h_4 \left(s + \frac{3P_b}{4} \right) + P_b^2 \right] + g$ <p style="text-align: center;">Caso 2 ($d_e > s$)</p> $Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} \right) + h_2 \left(\frac{1}{P_{fo}} \right) + h_3 \left(\frac{1}{P_{fi}} \right) + h_4 \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_1 \left(s + \frac{P_b}{4} \right) + h_2 \left(P_{fo} + \frac{3P_b}{4} \right) + h_3 \left(P_{fi} + \frac{P_b}{4} \right) + h_4 \left(s + \frac{3P_b}{4} \right) + P_b^2 \right] + g$ <p> $S = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g}$ $\phi_b = 0.90$ Nota: Si $p_{fi} > s$, utilizar $P_{fi} = s$ </p>	
Ruptura de tornillos	$\phi M_{np} = \phi 2 P_t (h_1 + h_2 + h_3 + h_4)$ <p style="text-align: right;">$\phi = 0.75$</p>	

TABLA 3.4. Resumen de parámetros de diseño para el patín de la columna de conexiones de 4 tornillos (4E y 4ES)

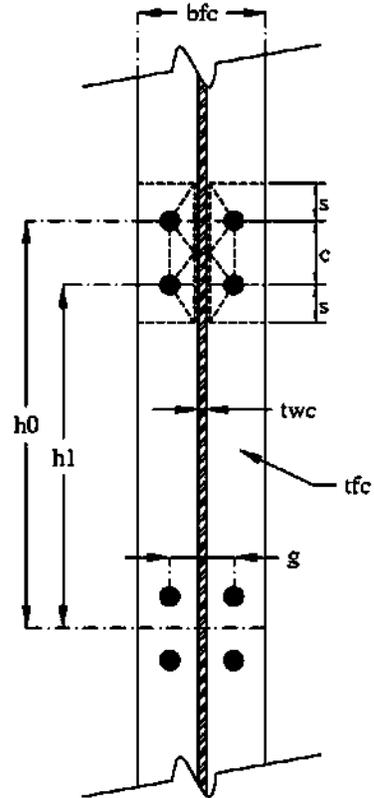
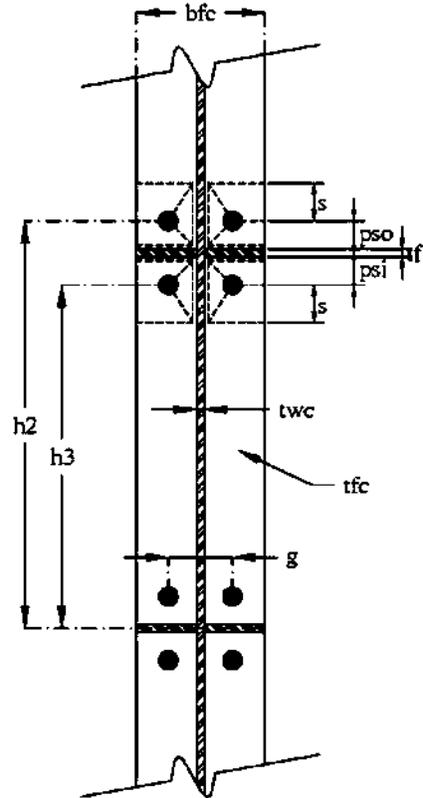
Patín de columna sin atiesadores y patrón de líneas de fluencia	Patín de columna con atiesadores y patrón de líneas de fluencia
	
<p>Patín de columna sin atiesadores</p>	$\phi M_{cf} = \phi_b F_{yc} t_{fc}^2 Y_c$ $Y_c = \frac{b_{fc}}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_1 \left(s + \frac{3c}{4} \right) + h_0 \left(s + \frac{c}{4} \right) + \frac{c^2}{2} \right] + \frac{g}{2}$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_{fc} g}$ $\phi_b = 0.90$
<p>Patín de columna con atiesadores</p>	$\phi M_{cf} = \phi_b F_{yc} t_{fc}^2 Y_c$ $Y_c = \frac{b_{fc}}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{P_{si}} \right) + h_0 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{P_{so}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1 (s + P_{si}) + h_0 (s + P_{so})]$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_{fc} g}$ $\phi_b = 0.90$ <p><i>Nota: Si $p_{si} > s$, utilizar $p_{si} = s$</i></p>

TABLA 3.5. Resumen de parámetros de diseño para el patín de la columna de conexiones de 8 tornillos (8ES)

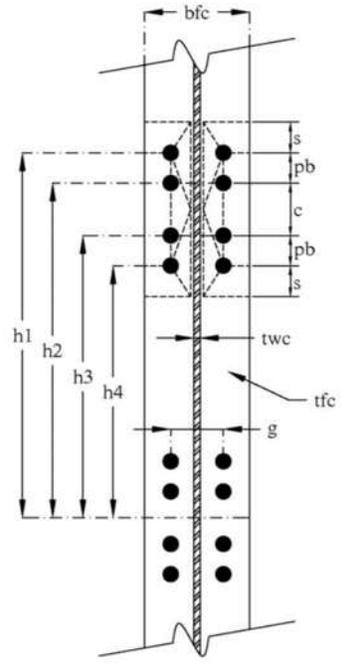
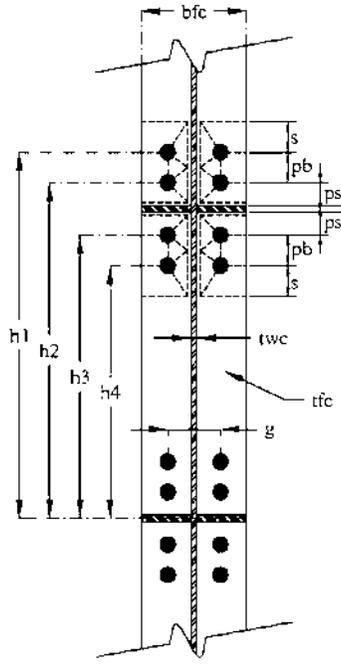
Patín de columna sin atiesadores y patrón de líneas de fluencia	Patín de columna con atiesadores y patrón de líneas de fluencia
	
<p>Patín de columna sin atiesadores</p>	$\phi M_{cf} = \phi_b F_{yc} t_{fc}^2 Y_c$ $Y_c = \frac{b_{fc}}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} \right) + h_4 \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_1 \left(P_b + \frac{c}{2} + s \right) + h_2 \left(\frac{P_b}{2} + \frac{c}{4} \right) + h_3 \left(\frac{P_b}{2} + \frac{c}{2} \right) + h_4 (s) \right] + \frac{g}{2}$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_{fc} g} \quad \phi_b = 0.90$
<p>Patín de columna con atiesadores</p>	$\phi M_{cf} = \phi_b F_{yc} t_{fc}^2 Y_c$ $Y_c = \frac{b_{fc}}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} \right) + h_2 \left(\frac{1}{p_{s0}} \right) + h_3 \left(\frac{1}{p_{si}} \right) + h_4 \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_1 \left(s + \frac{P_b}{4} \right) + h_2 \left(p_{s0} + \frac{3P_b}{4} \right) + h_3 \left(p_{si} + \frac{P_b}{4} \right) + h_4 \left(s + \frac{3P_b}{4} \right) + P_b^2 \right] + g$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_{fc} g} \quad \phi_b = 0.90 \quad \text{Nota: Si } p_{si} > s, \text{ utilizar } p_{si} = s$

TABLA 3.6. Intervalo de aplicación de los parámetros corroborados en laboratorio (pruebas con cargas cíclicas)

Parámetro	4 Tornillos sin atiesar		4 Tornillos atiesada		8 Tornillos atiesada	
	Máximo (pulgadas)	Mínimo (pulgadas)	Máximo (pulgadas)	Mínimo (pulgadas)	Máximo (pulgadas)	Mínimo (pulgadas)
tp	2.25	0.50	1.375	0.50	2.50	0.75
bp	10.625	7.00	10.625	10.625	15.0	9.00
g	6.00	4.00	6.00	3.25	6.00	5.00
pf	4.50	1.50	5.375	1.625	2.00	1.625
pb	-	-	-	-	3.75	3.50
d	55.0	25.0	24.0	13.75	36.0	18.375
tf	0.75	0.375	0.75	0.375	1.00	0.625
bf	9.25	6.00	9.00	6.00	12.25	7.625
db	1.25	0.875	1.25	1.00	1.25	1.125

Parámetro	4 Tornillos sin atiesar		4 Tornillos atiesada		8 Tornillos atiesada	
	Máximo (cm.)	Mínimo (cm.)	Máximo (cm.)	Mínimo (cm.)	Máximo (cm.)	Mínimo (cm.)
tp	5.715	1.270	3.493	1.270	6.350	1.905
bp	26.988	17.780	26.988	26.988	38.100	22.860
g	15.240	10.160	15.240	8.255	15.240	12.700
pf	11.430	3.810	13.653	4.128	5.080	4.128
pb	-	-	-	-	9.525	8.890
d	139.700	63.500	60.960	34.925	91.440	46.673
tf	1.905	0.953	1.905	0.953	2.540	1.588
bf	23.495	15.240	22.860	15.240	31.115	19.368
db	3.175	2.223	3.175	2.540	3.175	2.858

TABLA 3.7. Intervalo de aplicación de los parámetros corroborados en laboratorio (pruebas con cargas monótonas)

Parámetro	4 Tornillos sin atiesar		4 Tornillos atiesada		8 Tornillos atiesada	
	Máximo (pulgadas)	Mínimo (pulgadas)	Máximo (pulgadas)	Mínimo (pulgadas)	Máximo (pulgadas)	Mínimo (pulgadas)
tp	2.25	0.375	1.375	0.375	2.50	0.75
bp	10.625	5.00	10.625	8.00	15.0	9.00
g	7.00	2.50	6.00	2.75	6.00	5.00
pf	4.50	1.25	5.375	1.00	2.00	1.375
pb	-	-	-	-	3.75	2.75
d	63.875	10.0	24.0	13.75	36.0	18.375
tf	1.00	0.25	0.75	0.375	1.00	0.625
bf	10.25	4.00	9.00	6.00	12.25	7.625
db	1.25	0.50	1.25	0.625	1.25	0.875

Parámetro	4 Tornillos sin atiesar		4 Tornillos atiesada		8 Tornillos atiesada	
	Máximo (cm.)	Mínimo (cm.)	Máximo (cm.)	Mínimo (cm.)	Máximo (cm.)	Mínimo (cm.)
tp	5.715	0.953	3.493	0.953	6.350	1.905
bp	26.988	12.700	26.988	20.320	38.100	22.860
g	17.780	6.350	15.240	6.985	15.240	12.700
pf	11.430	3.175	13.653	2.540	5.080	3.493
pb	-	-	-	-	9.525	6.985
d	162.243	25.400	60.960	34.925	91.440	46.673
tf	2.540	0.635	1.905	0.953	2.540	1.588
bf	26.035	10.160	22.860	15.240	31.115	19.368
db	3.175	1.270	3.175	1.588	3.175	2.223

CAPÍTULO 4: EJEMPLOS

4.1. Descripción

Los siguientes ejemplos muestran los procedimientos de diseño para la placa de extremo de 4 tornillos sin atiesadores (4E), la placa de extremo de 4 tornillos con atiesadores (4ES), y la placa de extremo de 8 tornillos con atiesadores (8ES). Se tienen 2 ejemplos para la conexión 4E: uno para carga cíclica/sísmica y el otro para carga por viento/gravedad. Las conexiones son simétricas, lo cual es adecuado para el diseño por carga sísmica reversible cíclica pero que puede no ser necesario para el caso de carga por viento/gravedad. Las fuerzas cortantes fueron obtenidas por medio de un análisis estructural.

4.2. Ejemplo 1, Conexión 4E

Se diseñará una conexión con placa de extremo de 4 tornillos sin atiesadores para conectar una viga **IR 533mm x 84.6kg/m (W21x57)** a una columna **IR 356mm x 162.1kg/m (W14x109)** para soportar carga cíclica/sísmica. La viga, la columna y la placa de extremo son de acero ASTM-A572 Gr.50. Se utilizarán tornillos ASTM-A490. La fuerza cortante por resistir (V_u) es de 18.15t.

Viga: **IR 533mm x 84.6kg/m**

$$d_p = 53.50 \text{ cm}$$

$$t_{wb} = 1.03 \text{ cm}$$

$$b_{fb} = 16.60 \text{ cm}$$

$$t_{fb} = 1.65 \text{ cm}$$

$$k_b = 3.50 \text{ cm}$$

$$\text{Gramil} = 9.00 \text{ cm}$$

$$Z_{xb} = 2114 \text{ cm}^3$$

$$F_{yb} = 3515 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{ub} = 4570 \text{ kg/cm}^2$$

Columna: **IR 356mm x 162.1kg/m**

$$d_c = 36.40 \text{ cm}$$

$$t_{wc} = 1.33 \text{ cm}$$

$$b_{fc} = 37.10 \text{ cm}$$

$$t_{fc} = 2.18 \text{ cm}$$

$$k_c = 4.00 \text{ cm}$$

$$\left(\frac{h}{t_w}\right)_c = 21.35$$

$$\text{Gramil} = 14.00 \text{ cm}$$

$$Z_{xc} = 3146 \text{ cm}^3$$

$$F_{yb} = 3515 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{uc} = 4570 \text{ kg/cm}^2$$

Tornillos: ASTM A490

NOTA: Ver figura 3.1 para definiciones de la geometría de la conexión.

Diseño de la viga

1. Momento de diseño de la conexión

$$\begin{aligned}M_{pe} &= 1.1R_y F_y Z_x \\ &= 1.1(1.1)(3515)(2114) \\ &= 89.91 \text{ t.m}\end{aligned}$$

Localización de la articulación plástica, determinada por el valor mínimo de las siguientes 2 expresiones:

$$L_p = \left| \begin{array}{l} d/2 = 53.50/2 = 26.75 \text{ cm} \\ 3b_{fb} = 3(16.60) = 49.80 \text{ cm} \end{array} \right.$$
$$L_p = 26.75 \text{ cm}$$

Momento en la cara de la columna (momento de diseño de la conexión)

$$\begin{aligned}M_{uc} &= M_{pe} + V_u L_p \\ &= 89.91 + 18.15(0.2675) \\ &= 94.77 \text{ t.m}\end{aligned}$$

2. Selección del tipo de conexión a utilizar: modelo de 4 tornillos sin atiesadores (4E)

Datos para el diseño del modelo seleccionado:

$$\begin{aligned}b_p &\approx b_f + 2.54 \text{ cm} = 16.60 + 2.54 = 19.14 \text{ cm} \Rightarrow \text{se usará } b_p = 22.00 \text{ cm} \\ g &= 9.00 \text{ cm (igual al gramil de la viga)} \\ P_{fi} &= 5.00 \text{ cm} \\ P_{fo} &= 5.00 \text{ cm} \\ d_e &= 3.25 \text{ cm} \\ F_{yp} &= 3515 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

$$F_{up} = 4570 \text{ kg/cm}^2 \text{ (acero ASTM A572 Gr. 50)}$$

$$F_t = 7945 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tornillos ASTM A490)}$$

Usando las dimensiones propuestas:

$$\begin{aligned}h_0 &= 53.50 + 5.00 - \frac{1.65}{2} = 57.675 \text{ cm} \\ h_1 &= 53.50 - 1.65 - 5.00 - \frac{0.165}{2} = 46.025 \text{ cm}\end{aligned}$$

3. *Determinación del diámetro de tornillo requerido*

$$d_{bReq'd} = \sqrt{\frac{2M_{uc}}{\pi\Phi F_t(h_0 + h_1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{2(94.77 \times 10^5)}{\pi(0.75)(7945)(57.675 + 46.025)}}$$

$$= 3.125 \text{ cm} = 1.23''$$

4. *Selección de un diámetro de tornillo preliminar y cálculo del momento sin fuerzas de palanca*

Usar: $d_b = 1.25'' = 1\frac{1}{4}'' = 3.175 \text{ cm}$ (acero ASTM A490)

Resistencia a tensión de cada tornillo:

$$P_t = F_t A_b = 7945 \left(\frac{\pi(3.175)^2}{4} \right) = 62.90 \text{ t}$$

$$M_{np} = 2P_t(h_0 + h_1)$$

$$= 2(62.90 \times 10^3)(57.675 + 46.025)$$

$$= 130.46 \text{ t.m}$$

$$\Phi M_{np} = 0.75(130.46) = 97.85 \text{ t.m} > M_{uc} = 94.77 \text{ t.m} \therefore \text{OK}$$

5. *Determinación del parámetro requerido de mecanismo de las líneas de fluencia para la placa de extremo*

De la tabla 3.1:

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} = \frac{1}{2} \sqrt{22.0(9.0)}$$

$$= 7.036 \text{ cm} > P_{fi} = 5.0 \text{ cm}$$

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{P_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{P_{f0}} \right) - \frac{1}{2} \right] + \frac{2}{g} [h_1(P_{fi} + s)]$$

$$= \frac{22.0}{2} \left[46.025 \left(\frac{1}{5.0} + \frac{1}{7.036} \right) + 57.675 \left(\frac{1}{5.0} \right) - \frac{1}{2} \right] + \frac{2}{9.0} [46.025(5.0 + 7.036)]$$

$$= 417.696 \text{ cm}$$

Grosor requerido por la placa:

$$t_{pReq'd} = \sqrt{\frac{1.11\Phi M_{np}}{\Phi_b F_{yp} \gamma_p}}$$

$$= \sqrt{\frac{1.11(0.75)(130.46 \times 10^5)}{0.9(3515)(417.696)}}$$

$$= 2.867 \text{ cm} = 1.13''$$

6. Selección del grosor de la placa

Usar: $t_p = 1.25'' = 1 \frac{1}{4}'' = 3.175 \text{ cm}$ (acero ASTM A572 Gr. 50)

7. Cálculo de la fuerza factorizada en el patín de la viga

$$F_{fu} = \frac{M_{uc}}{(d_b - t_{fb})} = \frac{94.77 \times 10^5}{53.50 - 1.65} = 182.77 \text{ t}$$

8. Revisión acortante en la porción que sobresale de la placa de extremo

$$\Phi R_n = 0.9(0.6F_{yp})b_p t_p$$

$$\Phi R_n = 0.9(0.6)(3515)(22.0)(3.175)$$

$$= 132.58 \text{ t}$$

Chequeo de inecuación:

$$\frac{F_{fu}}{2} = \frac{182.77}{2} = 91.39 \text{ t} \leq \Phi R_n = 132.58 \text{ t} \therefore OK$$

9. Revisión de la ruptura por cortante de la porción que sobresale de la placa de extremo

(Nota: en la ecuación siguiente, 1/8 se refiere a aumentar un octavo de pulgada al diámetro de los tornillos para tener el diámetro real de los agujeros)

$$A_n = [b_p - 2(d_b + 1/8'')] t_p$$

$$= [22.0 - 2(3.175 + (0.125 \times 2.54))]3.175 \\ = 47.67 \text{ cm}^2$$

$$\Phi R_n = 0.75(0.6F_{up})A_n \\ = 0.75(0.6)(4570)47.67 \\ = 98.04 \text{ t}$$

Chequeo de incuación:

$$\frac{F_{fu}}{2} = 91.39 \text{ t} \leq \Phi R_n = 98.04 \text{ t} \therefore OK$$

10. Como la placa de este ejemplo no tiene atiesadores este paso (diseño de las soldaduras del atiesador a la placa) no se requiere

11. Revisión de la resistencia a ruptura por cortante de los tornillos a compresión

$$V_u \leq \Phi R_n = \Phi n_b F_v A_b$$

$$\Phi R_n = 0.75(4)(4200) \left[\frac{\pi(3.175)^2}{4} \right] \\ = 99.76 \text{ t}$$

$$V_u = 18.15 \text{ t} \leq \Phi R_n = 99.76 \text{ t} \therefore OK$$

12. Revisión por aplastamiento y desgarramiento de los tornillos a compresión

i) Placa de extremo

$$V_u = 18.15 \text{ t} \leq \Phi R_n = n_i(\Phi R_n)_i + n_o(\Phi R_n)_o \\ n_i = 2 \\ n_o = 2$$

$$\text{Resistencia a desgarramiento} = 2.4d_b t_p F_u = 2.4(3.175)(3.175)(4570) \\ = 110.56 \text{ t/tornillo}$$

Desgarramiento de los tornillos exteriores:

$$L_c = (5.0 + 1.65 + 5.0) - \left(3.175 + \left(\frac{1}{16} \right) \times 2.54 \right) = 8.32 \text{ cm} \\ R_{n.interiores} = 1.2L_c t_p F_u = 1.2(8.32)(3.175)(4570) \\ = 144.80 \text{ t} > 110.56 \text{ t}$$

por inspección, el valor de control para el desgarramiento de los tornillos interiores será:

$$\begin{aligned}\Phi R_n &= 4(0.75)(110.56) \\ &= 331.69 \text{ t} > V_u = 18.15 \text{ t} \therefore OK\end{aligned}$$

ii) *Patín de la columna*

$$\begin{aligned}t_{fc} &= 2.18 \text{ cm} \\ \Phi R_n &= 331.69 \left[\frac{2.18}{3.175} \right] \left[\frac{F_{yp} = 3515}{F_{yc} = 3515} \right] \\ &= 227.75 \text{ t} > V_u = 18.15 \text{ t} \therefore OK\end{aligned}$$

13. Diseño de soldaduras

i) *Soldadura de los patines de la viga a la placa de extremo: se utilizarán soldaduras de penetración completa y el procedimiento mostrado en la figura 2.10 (página 36).*

ii) *Soldadura del alma de la viga a la placa de extremo*

El tamaño mínimo de soldadura para placas de extremo de 1 ¼” es de 5/16”. La soldadura necesaria para soportar los esfuerzos de tensión producidos por la flexión en el alma de la viga en la zona cercana a los tornillos de la conexión, utilizando el electrodo E70, es:

$$\begin{aligned}D &= \frac{0.6F_{yb}t_{wb}}{2(97.86)} = \frac{0.6(3515)(1.03)}{2(97.86)} \\ &= 11.09/16 \text{ cm} = 0.694 \text{ cm} = 4.37/16 \text{ "}; \text{ Se usarán soldaduras de filete de } 5/16 \text{ "}\end{aligned}$$

El cortante aplicado será el mínimo resistido por la soldadura localizada entre la mitad del peralte de la viga y su patín de compresión o bien por la fila interior de tornillos a tensión más 2 veces el diámetro de los mismos y por el patín a compresión, cualquiera que resulte ser la menor. Por inspección, la primera consideración es la que rige para este ejemplo.

$$\begin{aligned}\text{Longitud efectiva de la soldadura} &= \frac{d_b}{2} - t_{fb} \\ &= \frac{53.5}{2} - 1.65 = 25.10 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$D = \frac{18.15 \times 10^3 / 453.6}{2(1.392)(25.1/2.54)} = 1.45/16 \text{ " } = 0.231 \text{ cm}$$

\therefore Se usarán soldaduras de filete de 5/16 "

Diseño de la columna

14. Revisión del patín de la columna al flujo plástico por flexión

Cálculo del parámetro Y_c :

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_{fc} g} = \frac{1}{2} \sqrt{37.1(9.0)} = 9.14 \text{ cm}$$

$$c = p_{fo} + t_{fb} + p_{fi} = 5.0 + 1.65 + 5.0 = 11.65 \text{ cm}$$

$$Y_c = \frac{b_{fc}}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_1 \left(s + \frac{3c}{4} \right) + h_0 \left(s + \frac{c}{4} + \frac{c^2}{2} \right) \right] + \frac{g}{2}$$

$$= \frac{37.10}{2} \left[46.025 \left(\frac{1}{9.14} \right) + 57.675 \left(\frac{1}{9.14} \right) \right]$$

$$+ \frac{2}{9.0} \left[46.025 \left(9.14 + \frac{3(11.65)}{4} \right) + 57.675 \left(9.14 + \frac{11.65}{4} \right) + \frac{11.65^2}{2} \right]$$

$$+ \frac{9.0}{2} = 567.36 \text{ cm}$$

NOTA: s y Y_c se obtienen de la tabla 3.4.

Grosor requerido del patín de la columna sin atiesadores.

$$t_{fcRec'd} = \sqrt{\frac{1.11 \Phi M_{np}}{\Phi_b F_{yc} Y_c}}$$

$$= \sqrt{\frac{1.11(0.75)(130.46 \times 10^5)}{0.9(3515)(567.36)}}$$

$$= 2.96 \text{ cm} > t_{fc} = 2.18 \text{ cm}$$

∴ Se deberán utilizar atiesadores para los patines

Suponiendo atiesadores de 1.27cm (1/2”):

$$t_s = 1/2 \text{ " } = 1.27 \text{ cm}$$

$$p_{so} = p_{si} = \frac{c - t_s}{2} = \frac{11.65 - 1.27}{2} = 5.19 \text{ cm}$$

Para patín de columna con atiesadores tenemos, de la tabla 3.4:

$$Y_c = \frac{b_{fc}}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{si}} \right) + h_0 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{so}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(s + p_{si}) + h_0(s + p_{so})]$$

$$= \frac{37.10}{2} \left[46.025 \left(\frac{1}{9.14} + \frac{1}{5.19} \right) + 57.675 \left(\frac{1}{9.14} + \frac{1}{5.19} \right) \right] \\ + \frac{2}{9.0} [46.025(9.14 + 5.19) + 57.675(9.14 + 5.19)] = 911.333 \text{ cm}$$

Determinación del grosor del patín de la columna por la presencia de los atiesadores:

$$t_{fc} = \sqrt{\frac{1.11(0.75)(130.46 \times 10^5)}{0.9(3515)(911.333)}} \\ = 1.94 \text{ cm} < t_{fc} = 2.18 \text{ cm}$$

∴ Se acepta el diseño con atiesadores

15. Cálculo de la resistencia del patín sin atiesar de la columna para determinar la fuerza de diseño para los atiesadores

$$\Phi M_{cf} = \Phi_b F_{yc} Y_c t_{cf}^2 \\ = 0.9(3515)(567.36)(2.18)^2 \\ = 85.29 \text{ t.m}$$

$$\Phi R_n = \frac{\Phi M_{cf}}{d - t_{fb}} = \frac{85.29 \times 10^5}{53.50 - 1.65}$$

$$= 164.51 \text{ t} < F_{fu} = 182.77 \text{ t}$$

NOTA: El valor de F_{fu} se obtiene en el paso 7

16. Cálculo de la resistencia a pandeo local del alma de la columna

$C_t = 1.0$ (para una ubicación no próxima al extremo superior de la columna)

$$N = t_{fb} + 0 = 1.65 \text{ cm}$$

NOTA: si se utilizan soldaduras de filete, entonces:

$$N = t_{fb} + 0.707 t_w$$

donde t_w es el tamaño de la soldadura de filete.

$$\Phi R_n = \Phi C_t (6k_c + N + 2t_p) F_{yc} t_{wc} \\ = 1.0(1.0)[6(4.0) + 1.65 + 2(3.175)](3515)(1.33) \\ = 149.59 \text{ t} < F_{fu} = 182.77 \text{ t}$$

∴ Se deberán utilizar atiesadores para la columna, como se comentó anteriormente

17. Cálculo de la resistencia a pandeo del alma no atiesada frente al patín comprimido de la viga

$$h = \left(\frac{h}{t_w}\right)_c t_{wc} = (21.35)(1.33) = 28.40 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \Phi R_n &= \frac{\Phi 24 t_{wc}^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h} \\ &= \frac{0.9(24)(1.33)^3 \sqrt{2.1 \times 10^6 (3515)}}{28.39} \\ &= 153.73 \text{ t} \end{aligned}$$

$$F_{fu} = 182.77 \text{ t} > 153.73 \text{ t} = \Phi R_n$$

∴ Se deberán utilizar atiesadores para la columna

18. Cálculo de la resistencia a aplastamiento del alma

$$\begin{aligned} \Phi R_n &= \Phi 0.80 t_{wc}^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d_c}\right) \left(\frac{t_{wc}}{t_{fc}}\right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yc} t_{cf}}{t_{wc}}} \\ &= 0.75(0.80)(1.33)^2 \left[1 + 3 \left(\frac{1.65}{36.4}\right) \left(\frac{1.33}{2.18}\right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6 (3515)(2.18)}{1.33}} \\ &= 124.31 \text{ t} < F_{fu} = 182.77 \text{ t} \end{aligned}$$

∴ Se deberán utilizar atiesadores para la columna, como se mencionó anteriormente

19. Determinación de la fuerza de diseño de los atiesadores

$$\begin{aligned} F_{su} &= F_{fu} - \min \Phi R_n \\ &= 182.77 - \min \frac{164.51}{149.59} \\ &\quad \frac{153.73}{124.31} \\ &= 58.46 \text{ t} \end{aligned}$$

20. Diseño de los atiesadores de columna y revisión de las zonas de panel. Para el diseño de los atiesadores se debe referir a otras fuentes recomendadas (como la “AISC Design Guide 13 Wide-Flange Column Stiffening at Moment Connections – Wind and Seismic Applications” de Carter, 1999).

RESUMEN:

Viga: IR 533mm x 84.6kg/m (W21x57) (ASTM A992)

Columna: IR 356mm x 162.1kg/m (W14x109) (ASTM A992)

Placa de extremo modelo 4E: Grosor de 3.175cm (1 ¼") de 22x70cm (ASTM A572 Gr. 50)

Diámetro de tornillo: 3.175cm (1 ¼")

Grado del tornillo: ASTM A490

La columna requiere atiesadores.

DISEÑO FINAL para la conexión de placa de extremo modelo 4E:

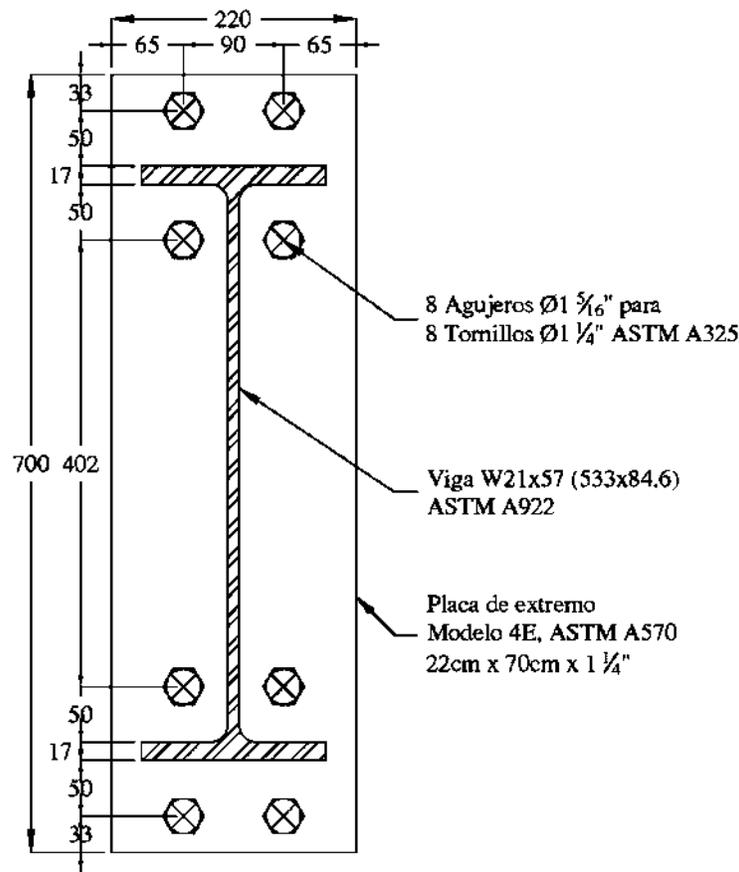


Fig. 4.1.1. Placa de extremo 4E, ejemplo 1

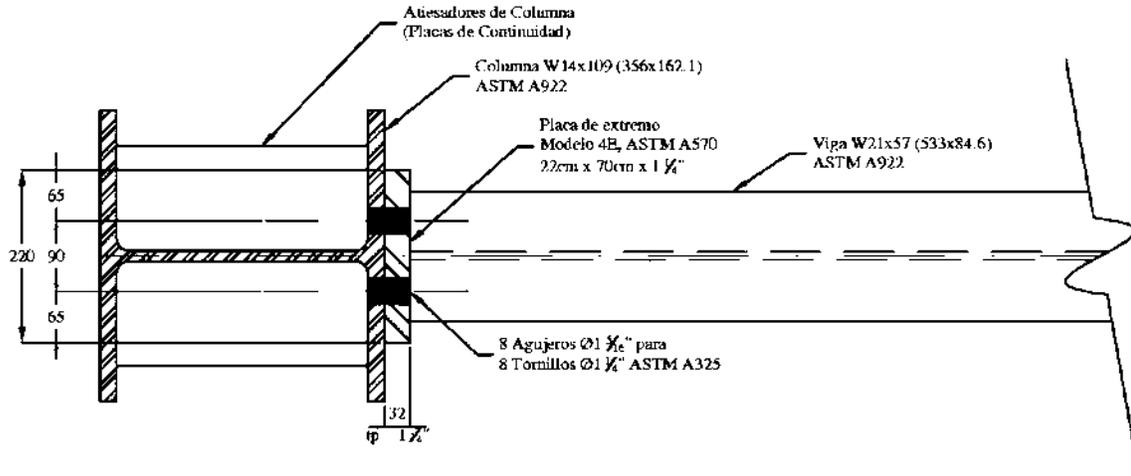


Fig. 4.1.2. Conexión 4E, ejemplo 1, vista en planta

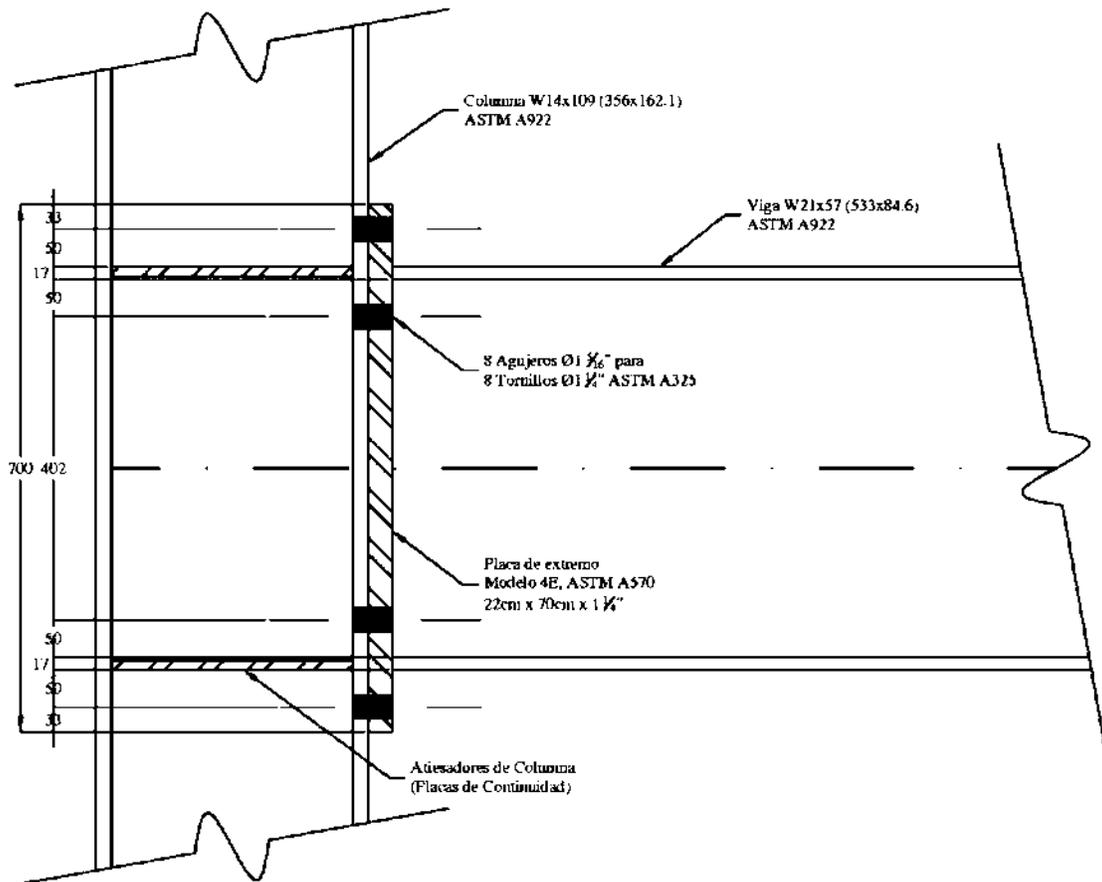


Fig. 4.1.3. Conexión 4E, ejemplo 1, vista lateral

Ejemplo 2, Conexión 4E

Se diseñará una conexión con placa de extremo de 4 tornillos sin atiesadores para conectar una viga IR 533mm x 84.6kg/m (W21x57) a una columna IR 356mm x 162.1kg/m (W14x109). La conexión se diseña para una aplicación de carga sísmica leve con un momento de diseño de 46 t-m. El material de la viga y de la columna será acero ASTM-A572 Gr.50. Se utilizarán tornillos ASTM-A490. El cortante por resistir (V_u) es de 18.15 t.

Viga: IR 533mm x 84.6kg/m

$$d_p = 53.50 \text{ cm}$$

$$t_{wb} = 1.03 \text{ cm}$$

$$b_{fb} = 16.60 \text{ cm}$$

$$t_{fb} = 1.65 \text{ cm}$$

$$k_b = 3.50 \text{ cm}$$

$$\text{Gramil} = 9.00 \text{ cm}$$

$$Z_{xb} = 2114 \text{ cm}^3$$

$$F_{yb} = 3515 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{ub} = 4570 \text{ kg/cm}^2$$

Columna: IR 356mm x 162.1kg/m

$$d_c = 36.40 \text{ cm}$$

$$t_{wc} = 1.33 \text{ cm}$$

$$b_{fc} = 37.10 \text{ cm}$$

$$t_{fc} = 2.18 \text{ cm}$$

$$k_c = 4.00 \text{ cm}$$

$$\left(\frac{h}{t_w}\right)_c = 21.35$$

$$\text{Gramil} = 14.00 \text{ cm}$$

$$Z_{xc} = 3146 \text{ cm}^3$$

$$F_{yc} = 3515 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{uc} = 4570 \text{ kg/cm}^2$$

Tornillos: ASTM A490

NOTA: Ver figura 3.1 para definiciones de la geometría de la conexión.

Diseño de la viga

1. Momento de diseño de la conexión

$$M_n = 46 \text{ t.m} < \Phi M_p = 0.9(3515)(2114) \\ = 66.87 \text{ t.m}$$

2. Selección del tipo de conexión a utilizar: modelo de 4 tornillos sin atiesadores (4E)

Datos para el diseño del modelo seleccionado:

$$b_p \approx b_f + 2.54 \text{ cm} = 16.60 + 2.54 = 19.14 \text{ cm} \Rightarrow \text{se usará } b_p = 22.00 \text{ cm}$$

$$g = 9.00 \text{ cm (igual al gramil de la viga)}$$

$$P_{fi} = 5.00 \text{ cm}$$

$$P_{fo} = 5.00 \text{ cm}$$

$$d_e = 3.25 \text{ cm}$$

$$F_{yp} = 3515 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{up} = 4570 \text{ kg/cm}^2 \text{ (acero ASTM A572 Gr. 50)}$$

$$F_t = 6330 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tornillos ASTM A490)}$$

Usando las dimensiones propuestas:

$$h_0 = 53.50 + 5.00 - \frac{1.65}{2} = 57.675 \text{ cm}$$

$$h_1 = 53.50 - 1.65 - 5.00 - \frac{0.165}{2} = 46.025 \text{ cm}$$

3. Determinación del diámetro de tornillo requerido

$$d_{bReq'd} = \sqrt{\frac{2M_{uc}}{\pi\Phi F_t(h_0 + h_1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{2(46.00 \times 10^5)}{\pi(0.75)(6330)(57.675 + 46.025)}}$$

$$= 2.439 \text{ cm} = 0.96''$$

4. Selección de un diámetro de tornillo preliminar y cálculo del momento sin fuerzas de palanca

$$\text{Usar: } d_b = 1.0'' = 2.54 \text{ cm (acero ASTM A490)}$$

Resistencia a tensión de cada tornillo:

$$P_t = F_t A_b = 6330 \left(\frac{\pi(2.54)^2}{4} \right) = 32.07 \text{ t}$$

$$M_{np} = 2P_t(h_0 + h_1)$$

$$= 2(32.07 \times 10^3)(57.675 + 46.025)$$

$$= 66.52 \text{ t.m}$$

$$\Phi M_{np} = 0.75(66.52) = 49.89 \text{ t.m} > M_{uc} = 46.00 \text{ t.m} \therefore \text{OK}$$

5. *Determinación del parámetro requerido de mecanismo de las líneas de fluencia para la placa de extremo*

De la tabla 3.1:

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} = \frac{1}{2} \sqrt{22.0(9.0)}$$

$$= 7.036 \text{ cm} > P_{fi} = 5.0 \text{ cm}$$

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{P_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{P_{f0}} \right) - \frac{1}{2} \right] + \frac{2}{g} [h_1 (P_{fi} + s)]$$

$$= \frac{22.0}{2} \left[46.025 \left(\frac{1}{5.0} + \frac{1}{7.036} \right) + 57.675 \left(\frac{1}{5.0} \right) - \frac{1}{2} \right] + \frac{2}{9.0} [46.025(5.0 + 7.036)]$$

$$= 417.696 \text{ cm}$$

Grosor requerido por la placa:

$$t_{pReq'd} = \sqrt{\frac{1.11 \Phi M_{np}}{\Phi_b F_{yp} Y_p}}$$

$$= \sqrt{\frac{1.11(0.75)(66.52 \times 10^5)}{0.9(3515)(417.696)}}$$

$$= 2.047 \text{ cm} = 0.81''$$

6. *Selección del grosor de la placa*

$$\text{Usar: } t_p = .875'' = \frac{7}{8}'' = 2.222 \text{ cm (acero ASTM A572 Gr. 50)}$$

7. *Cálculo de la fuerza factorizada en el patín de la viga*

$$F_{fu} = \frac{M_{uc}}{(d_b - t_{fb})} = \frac{46.00 \times 10^5}{53.50 - 1.65} = 88.72 \text{ t}$$

8. *Revisión acortante en la porción que sobresale de la placa de extremo*

$$\Phi R_n = 0.9(0.6 F_{yp}) b_p t_p$$

$$\Phi R_n = 0.9(0.6)(3515)(22.0)(2.222)$$

$$= 92.81 \text{ t}$$

Chequeo de inecuación:

$$\frac{F_{fu}}{2} = \frac{88.72}{2} = 44.36 t \leq \Phi R_n = 92.81 t \therefore OK$$

9. *Revisión de la ruptura por cortante de la porción que sobresale de la placa de extremo*

(Nota: en la ecuación siguiente, 1/8 se refiere a aumentar un octavo de pulgada al diámetro de los tornillos para tener el diámetro real de los agujeros)

$$\begin{aligned} A_n &= [b_p - 2(d_b + 1/8)] t_p \\ &= [22.0 - 2(2.54 + (0.125 \times 2.54))] 2.222 \\ &= 36.19 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi R_n &= 0.75(0.6F_{up})A_n \\ &= 0.75(0.6)(4570)36.19 \\ &= 74.43 t \end{aligned}$$

Chequeo de inecuación:

$$\frac{F_{fu}}{2} = 44.36 t \leq \Phi R_n = 74.43 t \therefore OK$$

10. *Como la placa de este ejemplo no tiene atiesadores este paso (diseño de las soldaduras del atiesador a la placa) no se requiere*

11. *Revisión de la resistencia a ruptura por cortante de los tornillos a compresión*

$$V_u \leq \Phi R_n = \Phi n_b F_v A_b$$

$$\begin{aligned} \Phi R_n &= 0.75(4)(3375) \left[\frac{\pi(2.54)^2}{4} \right] \\ &= 51.30 t \end{aligned}$$

$$V_u = 18.15 t \leq \Phi R_n = 51.30 t \therefore OK$$

12. *Revisión por aplastamiento y desgarramiento de los tornillos a compresión*

i) *Placa de extremo*

$$\begin{aligned} V_u = 18.15 t &\leq \Phi R_n = n_i(\Phi R_n)_i + n_o(\Phi R_n)_o \\ n_i &= 2 \\ n_o &= 2 \end{aligned}$$

$$\text{Resistencia a desgarramiento} = 2.4d_b t_p F_u = 2.4(2.54)(2.222)(4570)$$

$$= 61.92 \text{ t/tornillo}$$

Desgarramiento de los tornillos exteriores:

$$L_c = (5.0 + 1.65 + 5.0) - (2.54 + (1/16) \times 2.54) = 8.95 \text{ cm}$$
$$R_{n.interiores} = 1.2L_c t_p F_u = 1.2(8.95)(2.222)(4570)$$
$$= 109.10 \text{ t} > 61.92 \text{ t}$$

por inspección, el valor de control para el desgarramiento de los tornillos interiores será:

$$\Phi R_n = 4(0.75)(61.92)$$
$$= 185.75 \text{ t} > V_u = 18.15 \text{ t} \therefore OK$$

ii) *Patín de la columna*

$$t_{fc} = 2.18 \text{ cm}$$
$$\Phi R_n = 185.75 \left[\frac{2.18}{2.222} \right] \left[\frac{F_{yp} = 3515}{F_{yc} = 3515} \right]$$
$$= 182.20 \text{ t} > V_u = 18.15 \text{ t} \therefore OK$$

13. Diseño de soldaduras

i) *Soldadura de los patines de la viga a la placa de extremo*

Tamaño mínimo para soldadura de filete: 5/16".

$$\Phi R_n = 0.6F_y A_{fb} > F_{fu}$$
$$\Phi R_n = 0.6(3515)(16.60)(1.65) = 57.77 \text{ t}$$
$$\text{Usar } \Phi R_n = F_{fu} = 182.20 \text{ t}$$

NOTA: Para diseño por carga gravitacional combinada con viento, se recomienda que la fuerza de diseño de la soldadura se tome igual a la fuerza calculada para el patín, pero no menor que **0.6F_yA_{fb}**. Esta fuerza de diseño mínima para la soldadura se recomienda en base a experiencia y juicio ingenieril y su objetivo es prevenir que se realicen soldaduras muy pequeñas en vigas comparativamente grandes, así como para tomar en cuenta las variaciones en la distribución de la fuerza del patín a lo largo de la soldadura.

Longitud efectiva de la soldadura en ambos lados del patín:

$$= b_f + (b_f - t_w)$$
$$= 16.60 + (16.60 - 1.03) = 32.17 \text{ cm}$$
$$D = \frac{182.20(16)}{1.5(97.86)(32.17)} = 0.617 \text{ cm} = 3.89/16 \text{ ''}$$
$$\text{Usar soldaduras de filete de } 1/4 \text{ ''}$$

ii) *Soldadura del alma de la viga a la placa de extremo*

El tamaño mínimo de soldadura para placas de extremo de 7/8” es de 5/16”. La soldadura necesaria para soportar los esfuerzos de flexión en el alma de la viga en la zona cercana a los tornillos de la conexión, utilizando el electrodo E70, es:

$$D = \frac{0.6F_{yb}t_{wb}}{2(97.86)} = \frac{0.6(3515)(0.9525)}{2(97.86)}$$

$$= 4.04/16 \text{ " } = 0.64 \text{ cm; Se usarán soldaduras de filete de } 5/16 \text{ "}$$

El cortante aplicado será el mínimo resistido por la soldadura localizada entre la mitad del peralte de la viga y su patín de compresión o bien por la fila interior de tornillos a tensión más 2 veces el diámetro de los mismos y por el patín a compresión, cualquiera que resulte ser la menor. Por inspección, la primera consideración es la que rige para este ejemplo.

$$\text{Longitud efectiva de la soldadura} = \frac{d_b}{2} - t_{fb}$$

$$= \frac{53.5}{2} - 1.65 = 25.10 \text{ cm}$$

$$D = \frac{18.15 \times 10^3}{2(97.86)(25.1)} = 1.45/16 \text{ " } = 0.231 \text{ cm}$$

Se usarán soldaduras de filete de 5/16 de pulgada

Diseño de la columna

14. Revisión del patín de la columna al flujo plástico por flexión

Cálculo del parámetro Y_c :

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_{fc}g} = \frac{1}{2} \sqrt{37.1(9.0)} = 9.14 \text{ cm}$$

$$c = p_{fo} + t_{fb} + p_{fi} = 5.0 + 1.65 + 5.0 = 11.65 \text{ cm}$$

$$Y_c = \frac{b_{fc}}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_1 \left(s + \frac{3c}{4} \right) + h_0 \left(s + \frac{c}{4} + \frac{c^2}{2} \right) \right] + \frac{g}{2}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{37.10}{2} \left[46.025 \left(\frac{1}{9.14} \right) + 57.675 \left(\frac{1}{9.14} \right) \right] \\
 &\quad + \frac{2}{9.0} \left[46.025 \left(9.14 + \frac{3(11.65)}{4} \right) + 57.675 \left(9.14 + \frac{11.65}{4} \right) + \frac{11.65^2}{2} \right] \\
 &\quad + \frac{9.0}{2} = 567.36 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

NOTA: s y Y_c se obtienen de la tabla 3.4.

Grosor requerido del patín de columna sin atiesadores.

$$\begin{aligned}
 t_{fcRec'd} &= \sqrt{\frac{1.11\Phi M_{np}}{\Phi_b F_{yc} Y_c}} \\
 &= \sqrt{\frac{1.11(0.75)(66.52 \times 10^5)}{0.9(3515)(567.36)}} \\
 &= 1.76 \text{ cm} < t_{fc} = 2.18 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

\therefore No se utilizarán atiesadores para los patines

15. Cálculo de la resistencia del patín sin atiesar de la columna para determinar la fuerza de diseño para los atiesadores

Como no son necesarios los atiesadores, este inciso se omite

16. Cálculo de la resistencia a pandeo local del alma de la columna

$C_t = 1.0$ (para una ubicación no próxima al extremo superior de la columna)

$$N = t_{fb} + 0 = 1.65 \text{ cm}$$

NOTA: si se utilizan soldaduras de filete, entonces:

$$N = t_{fb} + 0.707t_w$$

donde t_w es el tamaño de la soldadura de filete.

$$\begin{aligned}
 \Phi R_n &= \Phi C_t (6k_c + N + 2t_p) F_{yc} t_{wc} \\
 &= 1.0(1.0)[6(4.0) + 1.65 + 2(2.222)](3515)(1.33) \\
 &= 140.69 \text{ t} < F_{fu} = 88.72 \text{ t}
 \end{aligned}$$

No hay pandeo local en el alma \therefore No se utilizarán atiesadores para la columna

17. Cálculo de la resistencia a pandeo del alma no atiesada frente al patín comprimido de la viga

$$h = \left(\frac{h}{t_w}\right)_c t_{wc} = (21.35)(1.33) = 28.40 \text{ cm}$$

$$\Phi R_n = \frac{\Phi 24 t_{wc}^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h}$$

$$= \frac{0.9(24)(1.33)^3 \sqrt{2.1 \times 10^6 (3515)}}{28.39}$$

$$= 153.73 \text{ t}$$

$$F_{fu} = 88.72 \text{ t} < 153.73 \text{ t} = \Phi R_n$$

∴ No se utilizarán atiesadores para la columna

18. Cálculo de la resistencia al aplastamiento del alma

$$\Phi R_n = \Phi 0.80 t_{wc}^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d_c}\right) \left(\frac{t_{wc}}{t_{fc}}\right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yc} t_{cf}}{t_{wc}}}$$

$$= 0.75(0.80)(1.33)^2 \left[1 + 3 \left(\frac{1.65}{36.4}\right) \left(\frac{1.33}{2.18}\right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6 (3515)(2.18)}{1.33}}$$

$$= 124.31 \text{ t} < F_{fu} = 88.72 \text{ t}$$

∴ No se utilizarán atiesadores para la columna

19. Determinación de la fuerza de diseño de los atiesadores

Como no son necesarios los atiesadores, este inciso se omite

20. Diseño de los atiesadores de columna y revisión de las zonas de panel. Para el diseño de los atiesadores se debe referir a otras fuentes recomendadas (como la “AISC Design Guide 13 Wide-Flange Column Stiffening at Moment Connections – Wind and Seismic Applications” de Carter, 1999).

RESUMEN:

Viga: IR 533mm x 84.6kg/m (W21x57) (ASTM A992)

Columna: IR 356mm x 162.1kg/m (W14x109) (ASTM A992)

Placa de extremo modelo 4E: Grosor de 2.22cm (7/8") de 22x70cm (ASTM A572 Gr. 50)

Diámetro de tornillo: 2.54cm (1")

Grado del tornillo: ASTM A325

La columna NO requiere atiesadores.

DISEÑO FINAL para la conexión de placa de extremo modelo 4E:

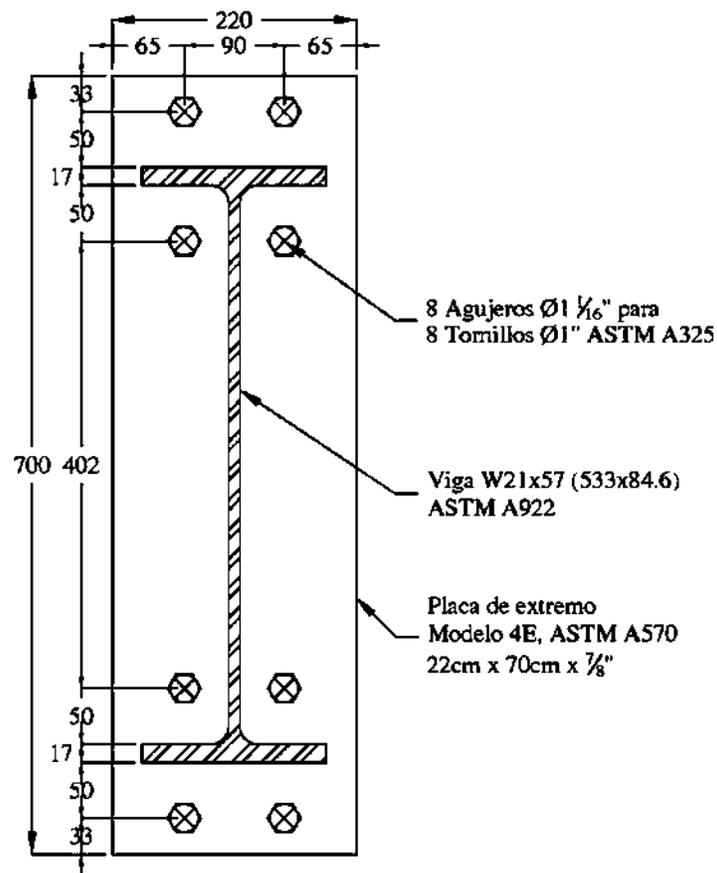


Fig. 4.2.1. Placa de extremo 4E, ejemplo 2

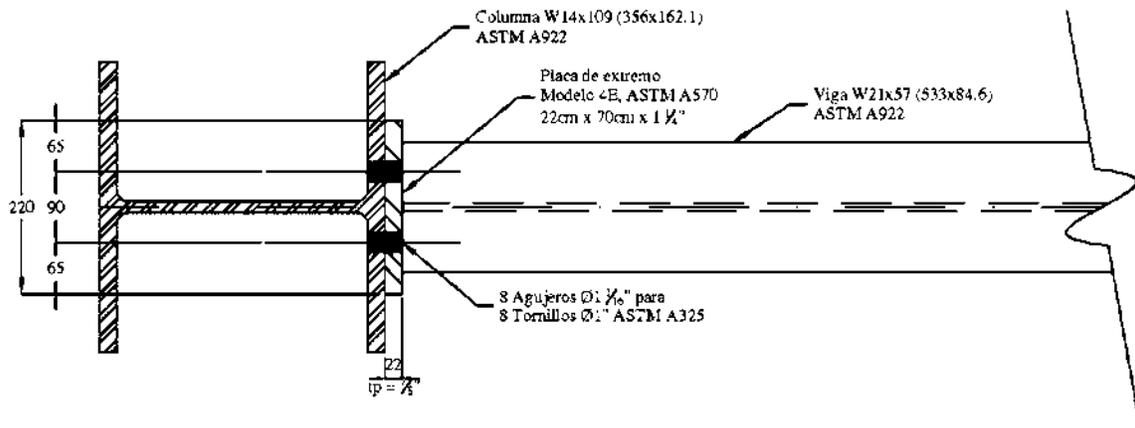


Fig. 4.2.2. Conexión 4E, ejemplo 2, vista en planta

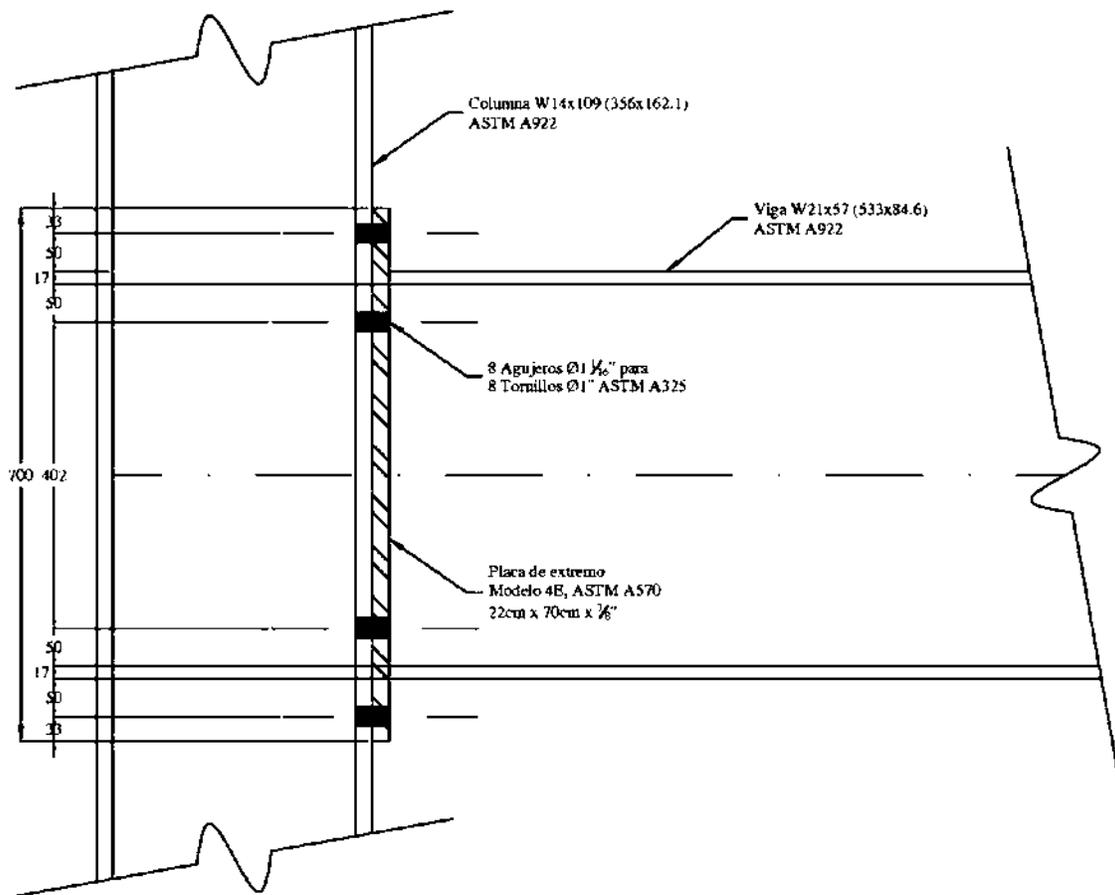


Fig. 4.2.3. Conexión 4E, ejemplo 2, vista lateral

4.3. Ejemplo 3, Conexión 4ES

Rediseñar el ejemplo 1 de la conexión 4E utilizando una conexión de 4 tornillos atiesada (4ES), sujeta a carga cíclica/sísmica. Los miembros de viga y columna a conectar tienen las mismas secciones y son del mismo material que el ejemplo 1. La fuerza cortante de diseño sigue siendo de 18.15 ton. Conservadoramente se utilizará el momento de diseño del ejemplo para la conexión 4E, el cual requería de tornillos de 1 ¼”, de calidad ASTM A490.

Como este ejemplo es una continuación del primer ejemplo visto, siendo la única diferencia la consideración de una placa de modelo 4ES en lugar de una 4E, todos los estados límites serán idénticos a los ya revisados en el ejemplo 1 y sólo se enumerarán aquellos en que el cálculo a realizar sea diferente. La numeración de los incisos viene del capítulo 3 y deberá completarse con los incisos del ejemplo 1 para el diseño completo de la conexión 4ES.

5. Determinación del parámetro requerido de mecanismo de las líneas de fluencia para la placa de extremo

De la tabla 3.2:

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} = \frac{1}{2} \sqrt{22.0(9.0)}$$

$$= 7.036 \text{ cm} > P_{fi} = 5.0 \text{ cm}$$

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{P_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{P_{fo}} + \frac{1}{2s} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(P_{fi} + s) + h_0(d_e + P_{fo})]$$

$$= \frac{22.0}{2} \left[46.025 \left(\frac{1}{5.0} + \frac{1}{7.036} \right) + 57.675 \left(\frac{1}{5.0} \right) - \frac{1}{2(7.036)} \right]$$

$$+ \frac{2}{9.0} [46.025(5.0 + 7.036) + 57.675(3.25 + 5.0)]$$

$$= 574.021 \text{ cm}$$

Grosor requerido por la placa:

$$t_{pReq'd} = \sqrt{\frac{1.11 \Phi M_{np}}{\Phi_b F_{yp} y_p}}$$

$$= \sqrt{\frac{1.11(0.75)(130.46 \times 10^5)}{0.9(3515)(584.594)}}$$

$$= 2.423 \text{ cm} = 0.96''$$

6. Selección del grosor de la placa

$$\text{Usar: } t_p = 1.25'' = 1\frac{1}{4}'' = 3.175 \text{ cm (acero ASTM A572 Gr. 50)}$$

10. Diseño de las soldaduras del atiesador a la placa

$$t_{s,req'd} = t_{wb} \left(\frac{F_{yb}}{F_{ys}} \right) = 1.03 \left(\frac{3515}{3515} \right) = 1.03 \text{ cm} = 0.41''$$

$$\text{Usar: } t_s = 0.375'' = \frac{3}{8}'' = 0.953 \text{ cm (acero ASTM A572 Gr. 50)}$$

$$h_{st} = P_{fo} + d_e = 5.0 + 3.25 = 8.25 \text{ cm}$$

$$L_{st} = \frac{h_{st}}{\tan 30^\circ} = \frac{8.25}{\tan 30^\circ} = 14.289 \text{ cm}$$

Chequeo del pandeo local:

$$\frac{h_{st}}{t_s} = \frac{8.25}{0.953} = 8.661 \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} = 0.56 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{3515}} = 13.68 \therefore OK$$

Usar un atiesador de $3/8'' \times 16 \text{ cm} \times 9.25 \text{ cm}$ (ASTM A572 Gr. 50)

Bastará utilizar una soldadura de filete de **5/16''**, para conectar el atiesador tanto al patín de la viga como a la placa, dado que el grosor del atiesador se mantiene en un valor menor o igual que **3/8''**.

RESUMEN:

Viga: IR 533mm x 84.6kg/m (W21x57) (ASTM A992)

Columna: IR 356mm x 162.1kg/m (W14x109) (ASTM A992)

Placa de extremo modelo 4ES: Grosor de 3.175cm (1 1/4") de 22x70cm (ASTM A572 Gr. 50)

Diámetro de tornillo: 3.175cm (1 1/4")

Grado del tornillo: ASTM A490

La columna requiere atiesadores.

DISEÑO FINAL para la conexión de placa de extremo modelo 4ES:

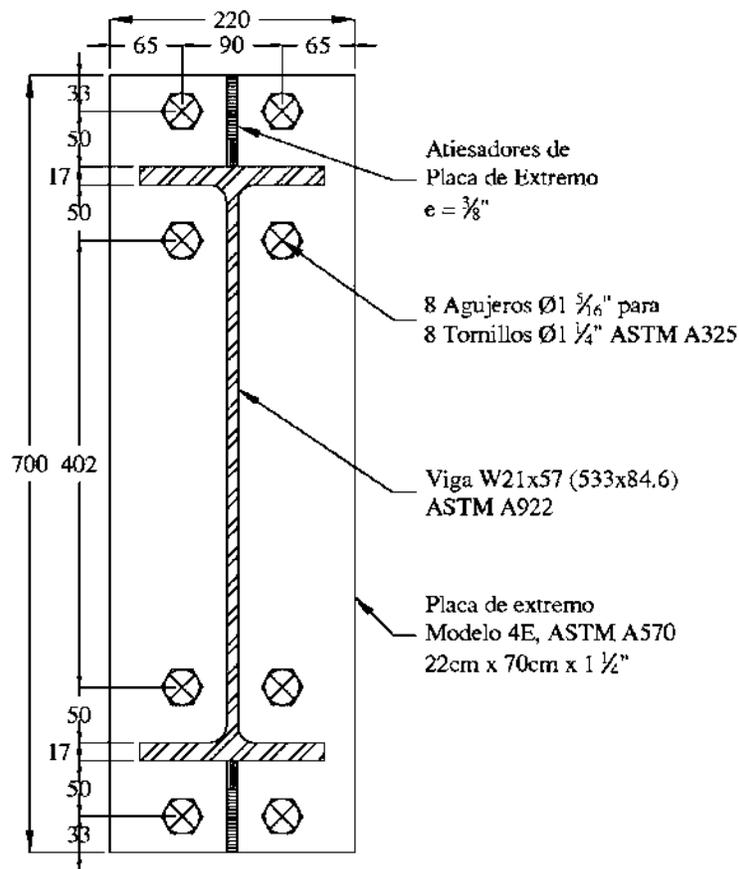


Fig. 4.3.1. Placa de extremo 4ES, ejemplo 3

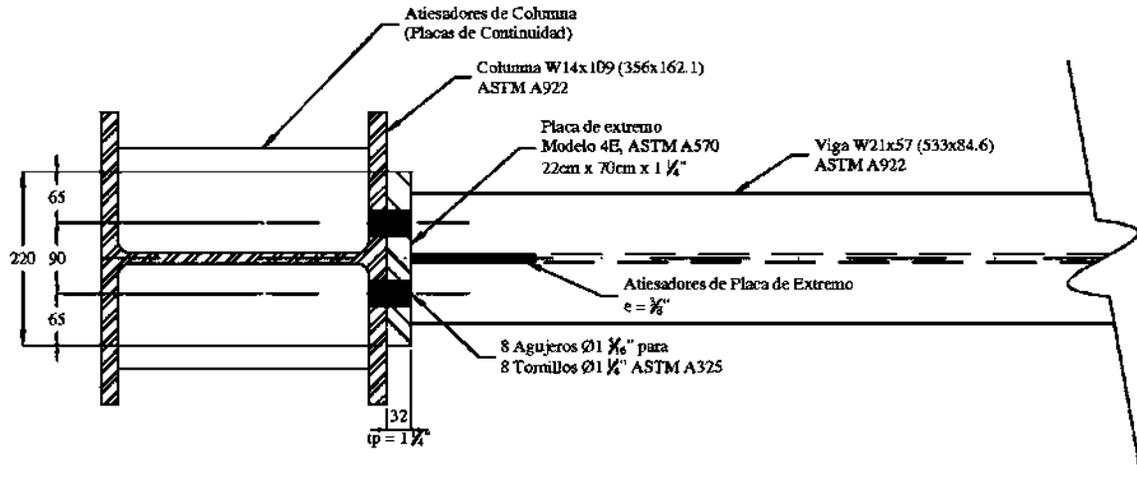


Fig. 4.3.2. Conexión 4ES, ejemplo 3, vista en planta

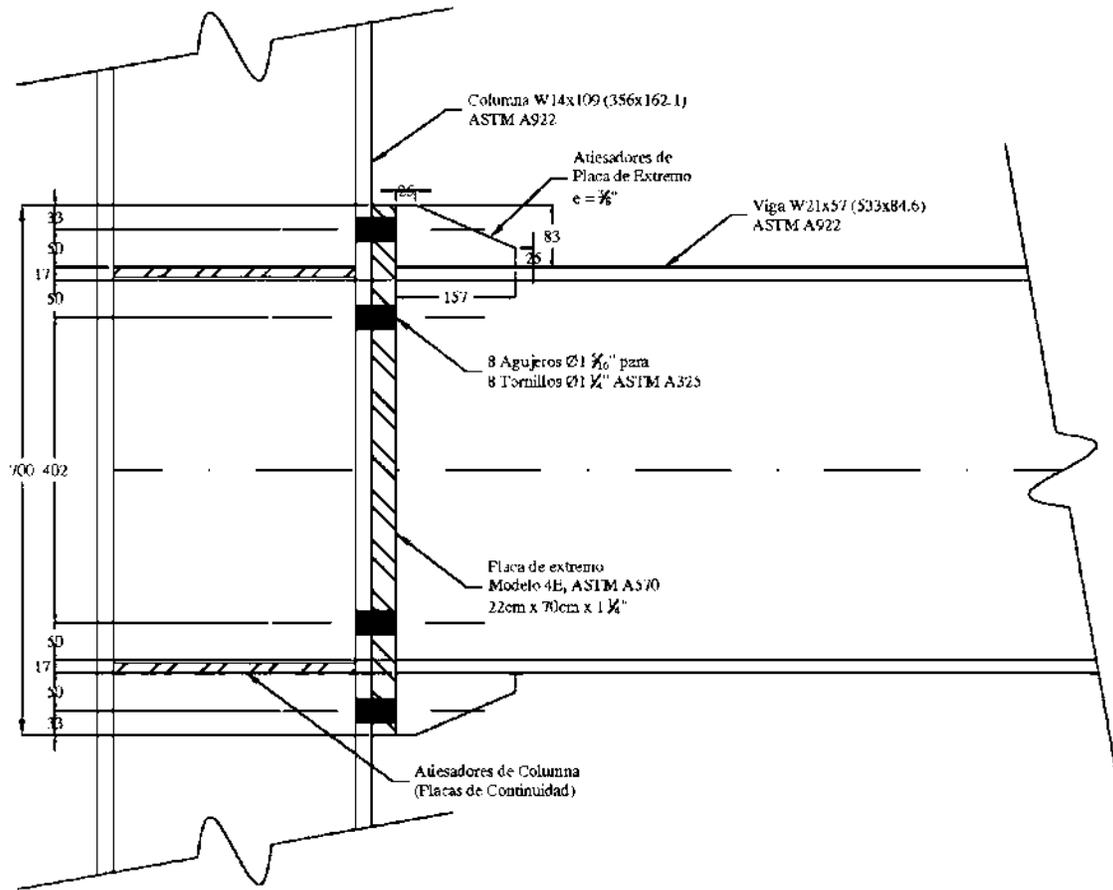


Fig. 4.3.3. Conexión 4ES, ejemplo 3, vista lateral

4.4. Ejemplo 4, Conexión 8ES

Rediseñar el ejemplo 1 utilizando una configuración con placa de extremo de 8 tornillos extendida y atiesada (8ES). Utilizar las mismas secciones de viga y de columna y los mismos materiales. El esfuerzo cortante a resistir sigue siendo de 18.15 t.

Viga: **IR 533mm x 84.6kg/m**

$$d_p = 53.50 \text{ cm}$$

$$t_{wb} = 1.03 \text{ cm}$$

$$b_{fb} = 16.60 \text{ cm}$$

$$t_{fb} = 1.65 \text{ cm}$$

$$k_b = 3.50 \text{ cm}$$

$$\text{Gramil} = 9.00 \text{ cm}$$

$$Z_{xb} = 2114 \text{ cm}^3$$

$$F_{yb} = 3515 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{ub} = 4570 \text{ kg/cm}^2$$

Columna: **IR 356mm x 162.1kg/m**

$$d_c = 36.40 \text{ cm}$$

$$t_{wc} = 1.33 \text{ cm}$$

$$b_{fc} = 37.10 \text{ cm}$$

$$t_{fc} = 2.18 \text{ cm}$$

$$k_c = 4.00 \text{ cm}$$

$$\left(\frac{h}{t_w}\right)_c = 21.35$$

$$\text{Gramil} = 14.00 \text{ cm}$$

$$Z_{xc} = 3146 \text{ cm}^3$$

$$F_{yb} = 3515 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{uc} = 4570 \text{ kg/cm}^2$$

Tornillos: *ASTM A490*

NOTA: Ver figura 3.3 para definiciones de la geometría de la conexión.

Diseño de la viga

1. Momento de diseño de la conexión

$$\begin{aligned} M_{pe} &= 1.1R_y F_y Z_x \\ &= 1.1(1.1)(3515)(2114) \\ &= 89.91 \text{ t.m} \end{aligned}$$

Localización de la articulación plástica, determinada por el valor mínimo de las siguientes 2 expresiones:

$$L_p = L_{st} + t_p = 25.548 + 3.175$$

$$L_p = 28.405 \text{ cm}$$

NOTA: en este caso, los valores necesarios para obtener L_p requieren de una aproximación, puesto que los valores de L_{st} y de t_p requieren que la geometría de la placa esté definida antes de realizar el cálculo. Una buena aproximación de este valor sería el L_p obtenido para una placa de tipo 4E. En el capítulo 5 de ayudas de

diseño, se explica la utilización de una hoja de cálculo para cada configuración de placa, en la cual podemos tener la certeza de que los valores a utilizar no requerirán de realizar este tanteo con sólo introducir las dimensiones escogidas para la placa.

Momento en la cara de la columna (momento de diseño de la conexión)

$$\begin{aligned}M_{uc} &= M_{pe} + V_u L_p \\ &= 89.91 + 18.15(0.28405) \\ &= 95.067 \text{ t.m}\end{aligned}$$

2. Selección del tipo de conexión a utilizar: modelo de 8 tornillos con atiesadores (8E5)

Datos para el diseño del modelo seleccionado:

$$b_p \approx b_f + 2.54 \text{ cm} = 16.60 + 2.54 = 19.14 \text{ cm} \Rightarrow \text{se usará } b_p = 22.00 \text{ cm}$$

$$g = 9.00 \text{ cm (igual al gramil de la viga)}$$

$$P_{fi} = 4.50 \text{ cm}$$

$$P_{fo} = 4.50 \text{ cm}$$

$$P_b = 7.75 \text{ cm}$$

$$d_e = 2.50 \text{ cm}$$

$$F_{yp} = 3515 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{up} = 4570 \text{ kg/cm}^2 \text{ (acero ASTM A572 Gr. 50)}$$

$$F_t = 6330 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tornillos ASTM A325)}$$

Usando las dimensiones propuestas:

$$h_1 = 53.50 + 7.75 + 4.50 - \frac{1.65}{2} = 64.925 \text{ cm}$$

$$h_2 = 53.50 + 4.50 - \frac{1.65}{2} = 57.175 \text{ cm}$$

$$h_3 = 53.50 - 4.50 - 1.65 - \frac{1.65}{2} = 46.525 \text{ cm}$$

$$h_4 = 53.50 - 4.50 - 1.65 - 7.75 - \frac{1.65}{2} = 38.775 \text{ cm}$$

3. Determinación del diámetro de tornillo requerido

$$d_{bReq'd} = \sqrt{\frac{2M_{uc}}{\pi\Phi F_t(h_1+h_2+h_3+h_4)}}$$

$$= \sqrt{\frac{2(95.17 \times 10^5)}{\pi(0.75)(6330)(64.925 + 57.175 + 46.525 + 38.775)}}$$

$$= 2.48 \text{ cm} = 0.98''$$

4. Selección de un diámetro de tornillo preliminar y cálculo del momento sin fuerzas de palanca

Usar: $d_b = 1.0'' = 2.54 \text{ cm}$ (acero ASTM A325)

Resistencia a tensión de cada tornillo:

$$P_t = F_t A_b = 6330 \left(\frac{\pi(2.54)^2}{4} \right) = 32.07 \text{ t}$$

$$M_{np} = 2P_t(h_1+h_2+h_3+h_4)$$

$$= 2(32.07 \times 10^3)(64.925 + 57.175 + 46.525 + 38.775)$$

$$= 133.05 \text{ t.m}$$

$$\Phi M_{np} = 0.75(133.05) = 99.78 \text{ t.m} > M_{uc} = 95.067 \text{ t.m} \therefore \text{OK}$$

5. Determinación del parámetro requerido de mecanismo de las líneas de fluencia para la placa de extremo

De la tabla 3.3:

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} = \frac{1}{2} \sqrt{22.0(9.0)}$$

$$= 7.036 \text{ cm} > P_{fi} = 4.50 \text{ cm}$$

$$d_e = 2.50 \text{ cm} < s = 7.036 \text{ cm} \therefore \text{Caso 1}$$

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{2d_e} \right) + h_2 \left(\frac{1}{P_{fo}} \right) + h_3 \left(\frac{1}{P_{fi}} \right) + h_4 \left(\frac{1}{s} \right) \right]$$

$$+ \frac{2}{g} \left[h_1 \left(d_e + \frac{P_b}{4} \right) + h_2 \left(P_{fo} + \frac{3P_b}{4} \right) + h_3 \left(P_{fi} + \frac{P_b}{4} \right) + h_4 \left(s + \frac{3P_b}{4} \right) + P_b^2 \right] + g$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{22.0}{2} \left[64.925 \left(\frac{1}{2(2.5)} \right) + 57.175 \left(\frac{1}{4.50} \right) + 46.525 \left(\frac{1}{4.50} \right) + 38.775 \left(\frac{1}{7.036} \right) \right] \\
 &\quad + \frac{2}{9.0} \left[64.925 \left(2.5 + \frac{7.75}{4} \right) + 57.175 \left(4.5 + \frac{3(7.75)}{4} \right) + 46.525 \left(4.50 + \frac{7.75}{4} \right) \right. \\
 &\quad \left. + 38.775 \left(7.036 + \frac{3(7.75)}{4} \right) + 7.75^2 \right] + 9.0 \\
 &= 851.609 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Grosor requerido por la placa:

$$\begin{aligned}
 t_{pReq'd} &= \sqrt{\frac{1.11\Phi M_{np}}{\Phi_b F_{yp} y_p}} \\
 &= \sqrt{\frac{1.11(0.75)(133.05 \times 10^5)}{0.9(3515)(851.609)}} \\
 &= 2.028 \text{ cm} = 0.80"
 \end{aligned}$$

6. Selección del grosor de la placa

Usar: $t_p = 1.125" = 1 \frac{1}{8}" = 2.858 \text{ cm}$ (acero ASTM A572 Gr. 50)

7. Cálculo de la fuerza factorizada en el patín de la viga

$$F_{fu} = \frac{M_{uc}}{(d_b - t_{fb})} = \frac{95.067 \times 10^5}{53.50 - 1.65} = 183.35 \text{ t}$$

10. Diseño de las soldaduras del atiesador a la placa

$$t_{s,req'd} = t_{wb} \left(\frac{F_{yb}}{F_{ys}} \right) = 1.03 \left(\frac{3515}{3515} \right) = 1.03 \text{ cm} = 0.41"$$

Usar: $t_s = 0.4375" = \frac{7}{16}" = 1.111 \text{ cm}$ (acero ASTM A572 Gr. 50)

$$h_{st} = P_{fo} + P_b + d_e = 4.50 + 7.75 + 250 = 14.75 \text{ cm}$$

$$L_{st} = \frac{h_{st}}{\tan 30^\circ} = \frac{14.75}{\tan 30^\circ} = 25.548 \text{ cm}$$

NOTA: el valor de hst es aquel que se utilizó en el paso 1; gracias a las ayudas de diseño, se puede apreciar que el valor es el mismo, lo que indica que el cálculo tiene validez para la suposición hecha en el inicio de este ejemplo.

Chequeo del pandeo local:

$$\frac{h_{st}}{t_s} = \frac{14.75}{1.111} = 13.273 \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} = 0.56 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{3515}} = 13.68 \therefore OK$$

Usar un atiesador de 7/16" x 26 cm x 13.5 cm (ASTM A572 Gr. 50)

Utilizar soldaduras de junta de penetración completa (CJP) para conectar el atiesador a la placa y al patín de la viga, ya que el grosor del atiesador es mayor de 3/8”.

11. *Revisión de la resistencia a ruptura por cortante de los tornillos a compresión*

$$V_u \leq \Phi R_n = \Phi n_b F_v A_b$$

$$\begin{aligned} \Phi R_n &= 0.75(8)(3375) \left[\frac{\pi(2.54)^2}{4} \right] \\ &= 102.61 t \end{aligned}$$

$$V_u = 18.15 t \leq \Phi R_n = 102.61 t \therefore OK$$

12. *Revisión por aplastamiento y desgarramiento de los tornillos a compresión*

i) *Placa de extremo*

$$\begin{aligned} V_u = 18.15 \text{ ton} &\leq \Phi R_n = n_i(\Phi R_n)_i + n_o(\Phi R_n)_o \\ n_i &= 6 \\ n_o &= 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Resistencia a desgarramiento} &= 2.4d_b t_p F_u = 2.4(2.54)(2.858)(4570) \\ &= 79.61 t/\text{tornillo} \end{aligned}$$

Desgarramiento de los tornillos exteriores:

$$\begin{aligned} L_c &= 7.75 - \left(\left(1 + \left(\frac{1}{16} \right) \right) \times 2.54 \right) = 5.05 \text{ cm} \\ R_{n.\text{interiores}} &= 1.2L_c t_p F_u = 1.2(5.05)(2.858)(4570) \\ &= 79.16 t \approx 79.61 t \end{aligned}$$

por inspección, el valor de control para el desgarramiento de los tornillos interiores será:

$$\begin{aligned} \Phi R_n &= 8(0.75)(79.16) \\ &= 476.29 t > V_u = 18.15 t \therefore OK \end{aligned}$$

ii) *Patín de la columna*

$$t_{fc} = 2.18 \text{ cm}$$

$$\Phi R_n = 476.29 \left[\frac{2.18}{2.858} \right] \left[\frac{F_{yp} = 3515}{F_{yc} = 3515} \right]$$

$$= 363.36 \text{ t} > V_u = 18.15 \text{ t} \therefore OK$$

Diseño de la columna

14. *Revisión del patín de la columna al flujo plástico por flexión*

Cálculo del parámetro Y_c :

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_{fc} g} = \frac{1}{2} \sqrt{37.1(9.0)} = 9.14 \text{ cm}$$

$$c = p_{fo} + t_{fb} + p_{fi} = 5.0 + 1.65 + 5.0 = 11.65 \text{ cm}$$

$$Y_c = \frac{b_{fc}}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} \right) + h_4 \left(\frac{1}{s} \right) \right]$$

$$+ \frac{2}{g} \left[h_1 \left(P_b + \frac{c}{2} + s \right) + h_2 \left(\frac{P_b}{2} + \frac{c}{4} \right) + h_3 \left(\frac{P_b}{2} + \frac{c}{2} \right) + h_4(s) \right] + \frac{g}{2}$$

$$= \frac{37.10}{2} \left[64.925 \left(\frac{1}{9.14} \right) + 38.775 \left(\frac{1}{9.14} \right) \right]$$

$$+ \frac{2}{9.0} \left[64.925 \left(7.75 + \frac{10.65}{2} + 9.14 \right) + 57.175 \left(\frac{7.75}{2} + \frac{10.65}{4} \right) \right]$$

$$+ 46.525 \left(\frac{7.75}{2} + \frac{10.65}{2} \right) + 38.775(9.14) \left] + \frac{9.0}{2} = 792.41 \text{ cm}$$

NOTA: s y Y_c se obtienen de la tabla 3.5.

Grosor requerido del patín de la columna sin atiesadores.

$$t_{fcRec'd} = \sqrt{\frac{1.11 \Phi M_{np}}{\Phi_b F_{yc} Y_c}}$$

$$= \sqrt{\frac{1.11(0.75)(133.05 \times 10^5)}{0.9(3515)(792.41)}}$$

$$= 2.10 \text{ cm} > t_{fc} = 2.18 \text{ cm}$$

\therefore No se deberán utilizar atiesadores para los patines

15. *Cálculo de la resistencia del patín sin atesar de la columna para determinar la fuerza de diseño para los atiesadores*

Por flexión no son necesarios los atiesadores

16. *Cálculo de la resistencia a pandeo local del alma de la columna*

$C_t = 1.0$ (para una ubicación no cercana al extremo superior de la columna)

$$N = t_{fb} + 0 = 1.65 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}\Phi R_n &= \Phi C_t (6k_c + N + 2t_p) F_{yc} t_{wc} \\ &= 1.0(1.0)[6(4.0) + 1.65 + 2(2.858)](3515)(1.33) \\ &= 146.63 \text{ t} < F_{fu} = 183.35 \text{ t}\end{aligned}$$

\therefore *Se deberán utilizar atiesadores para la columna*

17. *Cálculo de la resistencia a pandeo del alma no atiesada frente al patín comprimido de la viga*

$$h = \left(\frac{h}{t_w}\right)_c t_{wc} = (21.35)(1.33) = 28.40 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}\Phi R_n &= \frac{\Phi 24 t_{wc}^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h} \\ &= \frac{0.9(24)(1.33)^3 \sqrt{2.1 \times 10^6 (3515)}}{28.39}\end{aligned}$$

$$= 153.73 \text{ t}$$

$$F_{fu} = 183.35 \text{ t} > 153.73 \text{ t} = \Phi R_n$$

\therefore *Se deberán utilizar atiesadores para la columna*

18. *Cálculo de la resistencia al aplastamiento del alma*

$$\begin{aligned}\Phi R_n &= \Phi 0.80 t_{wc}^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d_c}\right) \left(\frac{t_{wc}}{t_{fc}}\right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yc} t_{cf}}{t_{wc}}} \\ &= 0.75(0.80)(1.33)^2 \left[1 + 3 \left(\frac{1.65}{36.4}\right) \left(\frac{1.33}{2.18}\right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6 (3515)(2.18)}{1.33}} \\ &= 124.31 \text{ t} < F_{fu} = 183.35 \text{ t}\end{aligned}$$

∴ Se deberán utilizar atiesadores para la columna

19. Determinación de la fuerza de diseño de los atiesadores

$$\begin{aligned}F_{su} &= F_{fu} - \min \Phi R_n \\ &= 183.35 - \min \frac{146.63}{\frac{153.73}{124.31}} \\ &= 59.042 t\end{aligned}$$

20. Diseño de los atiesadores de columna y revisión de las zonas de panel. Para el diseño de los atiesadores se debe referir a otras fuentes recomendadas (como la "AISC Design Guide 13 Wide-Flange Column Stiffening at Moment Connections – Wind and Seismics Applications" de Carter, 1999).

RESUMEN:

Viga: IR 533mm x 84.6kg/m (W21x57) (ASTM A992)

Columna: IR 356mm x 162.1kg/m (W14x109) (ASTM A992)

Placa de extremo modelo 8ES: Grosor de 2.86cm(1 1/8") de 22x70cm (ASTM A572 Gr. 50)

Diámetro de tornillo: 2.54cm (1")

Grado del tornillo: ASTM A325

La columna requiere atiesadores.

DISEÑO FINAL para la conexión de placa de extremo modelo 8ES:

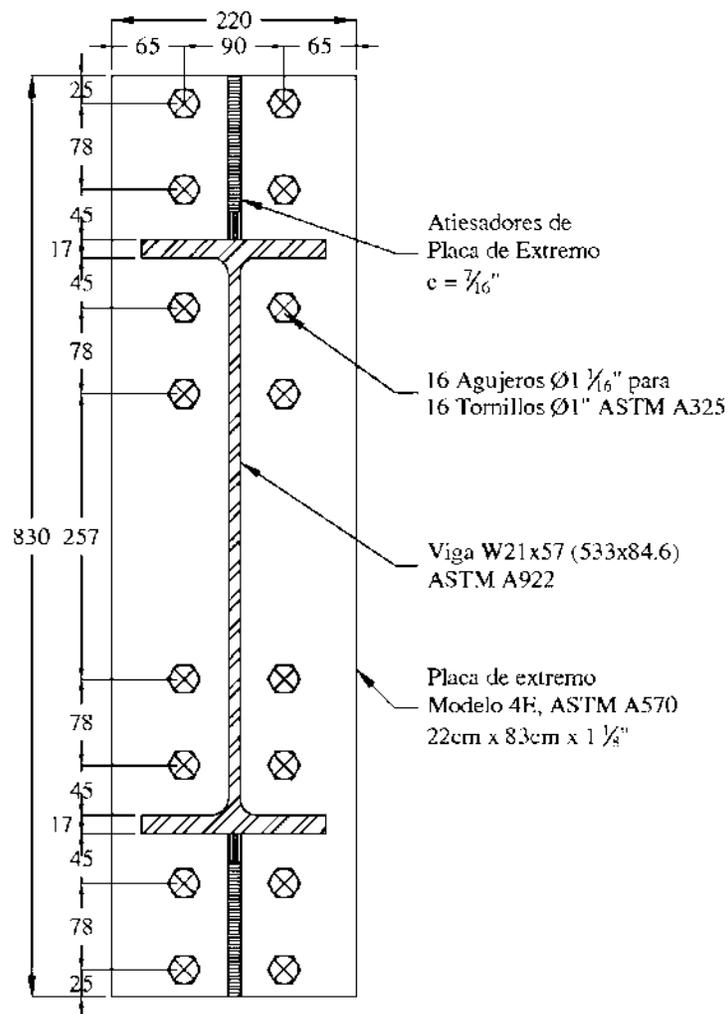


Fig. 4.4.1. Placa de extremo 8ES, ejemplo 4

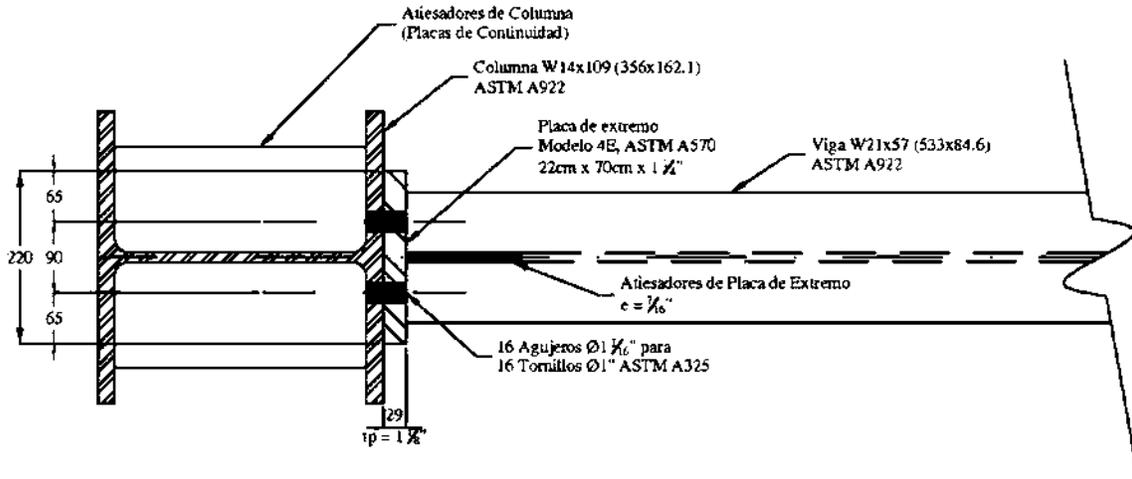


Fig. 4.4.2. Conexión 8ES, ejemplo 4, vista en planta

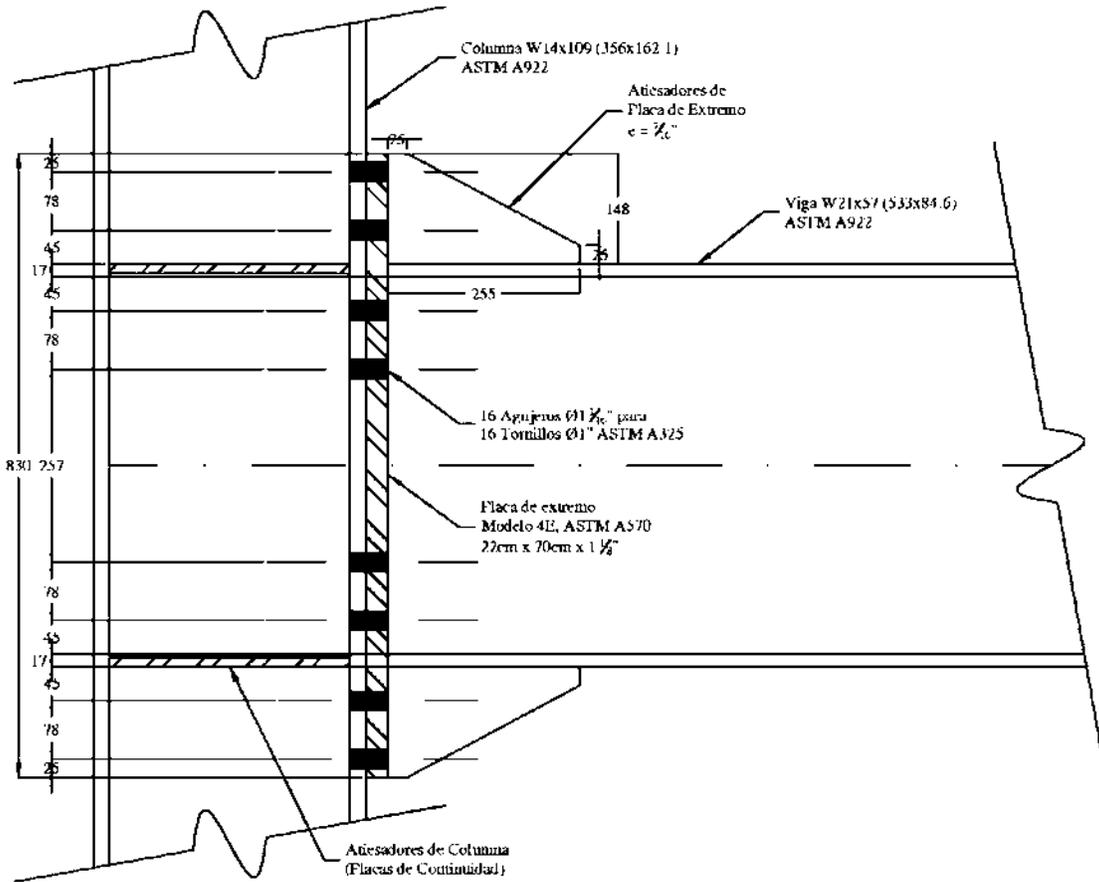


Fig. 4.4.3. Conexión 8ES, ejemplo 4, vista lateral

CAPITULO 5: AYUDAS DE DISEÑO

5.1. Descripción

En el capítulo 4 se plantearon ejemplos prácticos de conexiones de placa de extremo desarrollados paso a paso y detallando el diseño final de cada una de las placas en cuestión haciendo, en un par de ocasiones, referencia a las ayudas de diseño. Estas ayudas consisten en hojas de cálculo programadas para realizar todos los pasos del procedimiento de diseño, agilizando las iteraciones necesarias para los estados límites requeridos. El archivo se adjunta al contenido de la tesis en un CD. En este capítulo se explicará de manera breve el funcionamiento y la utilización de las ayudas de diseño, que abarcan el diseño de las tres configuraciones de placa de extremo expuestas en el desarrollo de esta tesis.

5.2. Uso de las Ayudas de Diseño

Dentro de las hojas de cálculo se podrán apreciar, en su mayoría, celdas sin relleno, que corresponden a aquellas en las que se introducen los datos para cada uno de los pasos de diseño. Las celdas coloreadas en amarillo son las que deberán ser modificadas por el usuario, es decir, los datos requeridos para llevar a cabo el diseño de la conexión en turno. De manera similar, las celdas coloreadas en azul son datos proveídos por el usuario, aunque estos se resaltan de esta manera ya sea porque el dato es constante para todas las configuraciones del modelo de placa a diseñar (por ejemplo, la cantidad de tornillos a utilizar), o bien, porque el valor de dicha celda es utilizado en un procedimiento de iteración.

Al abrir el archivo de Excel notaremos la existencia de varias hojas: una para cada tipo de conexión (4E, 4ES y 8ES) y una extra, de nombre “*Secciones IR*”. En esta hoja se encuentran todas las secciones IR (perfiles laminados I Rectangulares) que se encuentran en el “Manual de Construcción en Acero” del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (IMCA), enumeradas en la columna A de dicha hoja. Esta numeración servirá para ahorrar tiempo al momento de capturar los datos de la viga y columna a conectar.

Los pasos cuyas indicaciones no se especifiquen en la secuencia del procedimiento de este capítulo, no requieren de mayor cuidado para el calculista, salvo la verificación de los resultados. En aquellos pasos donde se requiera hacer una comparación, tanto para verificar si un estado límite es cubierto correctamente, como para el caso de decidir qué ecuación deberá utilizarse, están programados en las mismas ecuaciones en las celdas correspondientes. Deberá tenerse especial cuidado cuando se especifique que alguna verificación no es necesaria, lo que significa que para ese estado límite la placa misma es suficiente para solventar el

esfuerzo requerido. Cuando en la hoja se vea el mensaje de “*como no es requerido, saltar este inciso*”, no es necesario modificar nada, simplemente serán pasos que para la placa en cuestión no son necesarios pero que se dejan, puesto que para otras pueden ser necesarios. Por otro lado, el calculista debe estar atento a que se cumplan todas las condiciones necesarias y evitar completamente que alguna de ellas no sea cumplida.

Los datos obtenidos del análisis estructural, como son la fuerza cortante y el momento flexionante actuantes en la conexión, deberán de haber sido verificadas anteriormente; así mismo, deberán haberse diseñado previamente las secciones a conectar, de acuerdo con los requisitos de las normas para construcciones en acero vigentes.

5.2.1. Indicaciones Paso a Paso

En el encabezado de las hojas PL 4E, PL 4ES y PL 8ES se indica de manera general el tipo de conexión y el proyecto en el que se utilizará, así como el responsable del cálculo. En el apartado NOTAS, se tienen algunas de las resistencias más comunes para los elementos a utilizar; en algunos casos la correcta aplicación de las ayudas de diseño requiere que se utilicen estos datos de manera específica, por lo que en esta guía se explicarán cuáles y qué valores cada que se tenga esta situación.

Los valores que se deben ingresar primeramente en estas hojas son los elementos mecánicos de diseño y las secciones de viga y columna a conectar. Para los elementos mecánicos puede o no contarse con un momento de diseño, en caso de tenerlo simplemente se debe escribir su valor en t-m, caso contrario, deberá simplemente escribir un guion medio (-). El cortante de diseño deberá determinarse del análisis estructural y deberá ser el que se encuentre en la parte donde se forma la articulación plástica.

Para ingresar los datos de viga y columna por conectar, bastará buscarlas en la hoja “*Secciones IR*” y anotar el número correspondiente a la sección; los datos aparecerán automáticamente. Los esfuerzos de fluencia y último, F_y y F_u , tanto de la viga como de la columna, deberán introducirse manualmente cada vez.

A continuación se describe de manera concisa cada paso del procedimiento de diseño y qué datos debe introducir el usuario en cada uno de ellos.

Diseño de la Viga

1. *Momento de diseño de la conexión (Muc)*. Para las conexiones con atiesadores, 4ES y 8ES, en este paso se requiere tanto de la longitud del atiesador de placa, L_{st} , así como del grosor de la placa, t_p , datos que se

obtienen en los pasos 10 y 6, respectivamente. Gracias a las ayudas de diseño, podemos tomar estos datos directamente de los pasos donde son requeridos al ingresar la geometría de la placa, pudiendo utilizar el valor real a utilizar para el grosor de la placa desde el inicio, para lo cual hay que revisar el valor ingresado manualmente en el paso 6. Esto es que, gracias a la ayuda de diseño, podemos hacer un dimensionamiento preliminar, yendo a los pasos 6 y 10, para tener los datos necesarios para obtener **Lst** y continuar con el procedimiento de cálculo, agilizando las iteraciones correspondientes.

2. *Geometría de la placa.* Los esfuerzos de fluencia y último de cada elemento se deberán introducir manualmente cada vez que se utilicen las ayudas de diseño. El valor de **bp**, base de la placa, se propone directamente de su valor aproximado. Para la geometría de cada modelo se introducirán los datos de las celdas amarillas primero, se recomienda que **Pfo** y **Pfi** tengan un valor aproximado de 5 cm (2 pulgadas), **Pb** cercano a 7.5cm (3”) y **de** entre 2.5 y 5cm (entre 1” y 2”). Sin embargo, las casillas verdes correspondientes a **de,p** y **Hp,p**, no deberán modificarse (el subíndice “p” se refiere a “propuesto”, **Hp** nos dice la altura total de la placa de extremo). Las celdas azules para **de** y **Hp** son utilizadas para iteraciones correspondientes a la geometría, con el propósito de tener placas en dimensiones cerradas. Para hacer uso de ellas se deberá introducir el valor para **de** y revisar el valor obtenido para **Hp**. Si la dimensión obtenida parece adecuada, se modifica el valor de la casilla azul **de** con el mismo valor obtenido para la casilla **de,p** y se continua con el cálculo (las celdas **de** y **de,p**, al igual que **Hp** y **Hp,p** deben tener valores idénticos). Si el valor no resulta el conveniente, se cambia el valor de la celda **de** para obtener un valor de **Hp** adecuado. La imagen introducida en este paso ayuda a proponer las dimensiones de una manera más ágil.
3. *Diámetro de tornillo requerido.* En este paso se obtiene la dimensión mínima del tornillo a utilizar; dentro de la hoja de cálculo no es necesario realizar ningún cambio.
4. *Diámetro de tornillo preliminar.* Ingresar el valor propuesto para los tornillos, en base al diámetro teórico obtenido en el paso 3. Debido a que los diámetros comerciales de tornillos se manejan en el sistema inglés se recomienda que el valor obtenido de este inciso se proponga en dieciseisavos de pulgada.
5. *Grosor de placa necesario.* En este paso se obtiene el grosor mínimo de la placa, gracias a las ecuaciones de las tablas 3.1, 3.2 y 3.3, para las conexiones 4E, 4ES y 8ES; para los modelos con atiesadores se tiene que definir las ecuaciones a utilizar (dependiendo si **de** es mayor o menor que

- S), lo cual realiza la hoja automáticamente, por lo que no es necesario realizar ningún cambio en las celdas correspondientes a éste inciso.
6. *Selección de grosor de placa.* Mismas recomendaciones que para el paso 4. En estas celdas se puede aumentar el grosor de la placa si en alguno de los pasos posteriores se requiere para satisfacer algún estado límite.
 7. *Fuerza en los patines de la viga factorizada.* En este paso se realiza el cálculo automáticamente, no es necesario efectuar ningún cambio.
 8. *Cortante de la porción que sobresale de la placa.* Aquí se efectúa un chequeo de una inecuación; si dicha inecuación no se satisface será necesario aumentar el espesor de la placa propuesto en el paso 6; en el caso contrario no será necesario realizar ningún cambio.
 9. *Ruptura por cortante de la porción que sobresale de la placa.* De la misma manera que en el paso anterior, se realiza el mismo chequeo y, de ser necesario, se aumentará el valor del grosor de placa propuesto en el paso 6.
 10. *Soldaduras de atiesadores de placa.* Evidentemente, sólo para conexiones con atiesadores, modelos **4ES** y **8ES**. Se deberá especificar el esfuerzo de fluencia, **F_y**, del atiesador. Los valores de las celdas de **ts,req.d** nos indican el valor calculado, mientras los de las celdas de **ts**, el valor a utilizar. Se deberá introducir solamente el valor de la celda azul para **ts**, en dieciseisavos de pulgadas, tomando como referencia el valor calculado.
 11. *Resistencia a cortante de los tornillos a compresión.* Se introduce el esfuerzo de fluencia en cortante de los tornillos cada vez. El número de tornillos, **nb**, será siempre el mismo (4 para conexiones 4E y 4ES y 8 para las 8ES).
 12. *Desgarramiento de los tornillos.* En este paso no es necesario que el usuario introduzca ningún dato, sólo revisar que las inecuaciones presentadas se cumplan, de lo contrario aumentar el grosor de la placa; se revisa el desgarramiento tanto para la placa de extremo como para patín de la columna.
 13. *Soldaduras.* Para este paso deberán tomarse en cuenta los valores mínimos de soldadura presentes en los manuales de construcción en acero. En las ayudas de diseño se proponen soldaduras de filete. Para el alma se realizaron los cálculos en sistema inglés, puesto que para las conversiones se tenían variaciones muy significativas. Para los patines se utilizó una comparación sencilla del espesor de los mismos con un rango determinado.

Pueden escogerse otros métodos para diseño de soldadura si el calculista así lo prefiere.

Diseño de la Columna

14. *Revisión de la columna a flexión.* Para el caso con atiesadores es necesario proveer el grosor, en pulgadas, de las placas de continuidad. El diseño de éstas queda fuera del alcance de esta tesis pero debe realizarse. Para el caso práctico de ejemplificar el uso de las expresiones para el diseño de conexiones con placas de extremo, se asume un valor adecuado del grosor de estas placas; generalmente, proponer un grosor similar al del patín de la viga resulta recomendable.
15. *Resistencia necesaria del atiesador.* Este inciso es sólo válido para conexiones con atiesadores de columna por lo que, en caso de no ser necesarios, la hoja de cálculo mostrará un texto indicando que no son requeridos; sea cuál sea el caso, no es necesario ingresar ningún dato en este apartado.
16. *Revisión del pandeo local en el alma de la columna a flexión.* Aquí se introduce el valor de **a**, distancia del patín superior de la viga al extremo superior de la columna. Este valor es importante porque nos sirve para determinar la constante **C_t**, ya sea de **0.5** cuando el patín superior está cerca del extremo superior de la columna, o de **1.0** cuando no ocurre lo anterior. En los ejemplos del capítulo 4 se supusieron las conexiones en una ubicación lejana al extremo superior de la columna, es decir: **a > d_p**. La imagen introducida hace más clara de donde a donde se mide la distancia **a**.
17. *Revisión a pandeo del alma de la columna en el patín de la viga.* En este inciso se debe introducir la distancia de aplicación de la fuerza última, **F_{fu}**, para que la hoja de cálculo compare si esta distancia es mayor o menor que la mitad del peralte de la columna, **d_c/2**, y elija la ecuación adecuada al caso que se tenga; dicha distancia se obtiene del análisis estructural mismo.
18. *Resistencia a desgarramiento del alma de la columna.* En este paso se realiza una nueva revisión para determinar la necesidad de placas de continuidad; no es necesario introducir ningún dato para ello.
19. *Resistencia de las placas de continuidad.* Este paso sirve de resumen para los estados límites de la columna. En caso de ser necesarias las placas de continuidad, el valor obtenido en este paso es el que se deberá utilizar para su diseño.

20. *Diseñar placas de continuidad.* Fuera del alcance de esta tesis, se diseñan con los datos obtenidos de estos cálculos; algunas recomendaciones para el diseño de estas placas se encuentran en el manual ANSI/AISC 341-05 (“*Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*”).

Al final se presenta un pequeño resumen de la geometría y datos obtenidos del cálculo. La hoja de cálculo contiene también croquis geométricos de las conexiones diseñadas. Para la conexión 4E se presenta el croquis de la placa, acotando las distancias entre tornillos y a paños superior e inferior de la placa de extremo. Para los modelos 4ES y 8ES se presenta también un croquis esquemático de la geometría de los atiesadores de la viga. Éstos croquis no se presentan a escala y contienen solamente acotaciones generales, por lo que pueden resultar una muy buena guía para elaborar planos pero nunca será un croquis exacto para agregar directamente en un plano estructural o para elaborar la pieza definitiva. El diseño definitivo deberá presentarse junto con el cálculo estructural y se verán reflejados en los planos estructurales.

A continuación se presentan las ayudas de diseño utilizadas para los ejemplos 1 a 4, directamente como se verían al imprimirse de la hoja de cálculo utilizada.

Placa de Extremo Modelo 4E (4 tornillos extendida)	
Proyecto: Examen Recepcional	Conexión: PL-01
Ubicación: Ejemplo 1	Elaboró: Ing. Ricardo Ramírez Pérez

DATOS:
 Vu = 18.15 t
 Muc = - t-m
 E = 2100000 kg/cm²

NOTAS: para acero ASTM A922, Fyb = 3515 kg/cm²
 Tornillos ASTM A490, Fv = 4200 kg/cm²
 Muc obtenido del Análisis Estructural

Viga: 160
 IR 533 x 84.6
 dp = 53.50 cm
 twb = 1.03 cm
 bfb = 16.60 cm
 tfb = 1.65 cm
 kb = 3.50 cm
 gramil = 9.00 cm
 Zxb = 2114.00 cm³
 Fyb = 3515 kg/cm²
 Fub = 4570 kg/cm²

Columna: 112
 IR 356 x 162.1
 dc = 36.40 cm
 twc = 1.33 cm
 bfc = 37.10 cm
 tfc = 2.18 cm
 kc = 4.00 cm
 (h/tw)c = 21.35
 gramil = 14.00 cm
 Zxc = 3146.00 cm³
 Fyc = 3515 kg/cm²
 Fuc = 4570 kg/cm²

DISEÑO DE LA VIGA

1. Momento de diseño de la conexión (Muc)

$$M_{pe} = 1.1R_y F_y Z_x \quad R_y = 1.1$$

$$M_{pe} = 89.91 \quad \text{t-m}$$

Localización de la articulación plástica (rige el mínimo). Ecuación para caso sin atiesadores

$$L_p = \min \frac{d/2}{1.75} \quad L_{p1} = d/2 = 26.75 \quad \text{cm}$$

$$L_{p2} = 3bfb = 49.80 \quad \text{cm} \quad L_p = 26.75 \quad \text{cm}$$

$$M_{ux} = M_{pe} + V_u L_p \quad M_{uc} = 94.77 \quad \text{t-m} \quad M_{uc} = 94.77 \quad \text{t-m}$$

2. Datos para el Modelo 4E

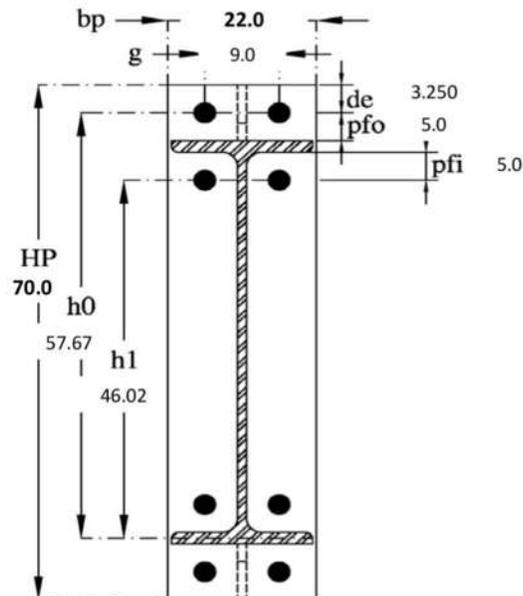
Geometría de la placa:

bp = bf+(1in) = 19.14 cm
 bp = 22.0 cm
 Pfi = 5.0 cm
 Pfo = 5.0 cm
 de,p = 3.25 cm
 de = 3.250 cm
 g = 9.0 cm
 h0 = 57.675 cm
 h1 = 46.025 cm
 Hp,p = 70.0 cm
 Hp = 70.0 cm

Material de la placa:

Fyp = 3515 kg/cm²
 Fup = 4570 kg/cm²
 Ft (tornillos) = 7945 kg/cm²

NOTAS: Ft = 7945 kg/cm² para tornillos ASTM A490
 Ft = 6330 kg/cm² para tornillos ASTM A325



Placa de Extremo Modelo 4E (4 tornillos extendida)	
Proyecto: Examen Receptional	Conexión: PL-01
Ubicación: Ejemplo 1	Elaboró: Ing. Ricardo Ramírez Pérez

3. Diámetro de tornillo requerido

$$d_{\text{requerido}} = \sqrt{\frac{2M_{\text{req'd}}}{\pi \Phi F_t (h_0 + h_1)}} \quad \Phi = 0.75$$

$$\text{db.req'd} = 3.125 \text{ cm}$$

4. Diámetro de tornillo preliminar y momento sin fuerzas de palanca

$$\text{db.req'd} = 1.23 \text{ in}$$

$$\text{db} = 1.25 \text{ in} \quad (\text{en 16avos de pulgada})$$

Resistencia a tensión de los tornillos. Ecuación para el caso de conexiones de 4 tornillos

$$P_t = F_t A_b = F_t \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \quad P_t = 62.90 \text{ t}$$

$$M_{np} = 2P_t (h_0 + h_1) \quad M_{np} = 130.46 \text{ t-m}$$

$$\Phi M_{np} = 97.85 \text{ t-m}$$

$$Muc = 94.77 \text{ t-m} \quad \Phi M_{np} > Muc \text{ } \therefore \text{OK!}$$

5. Grosor de placa necesario

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{h_p d} \quad \Phi b = 0.9$$

$$V_p = \frac{h_p}{2} \left[h_b \left(\frac{1}{P_{t1}} + \frac{1}{s} \right) + h_b \left(\frac{1}{P_{t2}} \right) - \frac{1}{2} \right] + \frac{2}{d} [h_1 (P_{t1} + t)]$$

$$\therefore S = 7.036 \text{ cm}$$

$$Y_p = 417.696 \text{ cm}$$

$$t_{p\text{req'd}} = \sqrt{\frac{1.118 M_{np}}{h_p P_{t1} P_{t2}}} \quad \text{tpreq'd} = 2.867 \text{ cm}$$

$$pfi < s \text{ } \therefore \text{OK!}$$

6. Selección de grosor de placa

$$\text{tpreq'd} = 1.13 \text{ in}$$

$$\text{tp} = 1.25 \text{ in}$$

7. Fuerza en los patines de la viga factorizada

$$F_{fu} = \frac{M_{np}}{s - t_p} \quad F_{fu} = 182.77 \text{ t}$$

8. Cortante de la porción que sobresale de la placa

$$\Phi R_n = 0.9(0.6F_{yp})b_p t_p \quad \Phi R_n = 132.58 \text{ t}$$

$$F_{fu}/2 = 91.39 \text{ t} \quad F_{fu}/2 < \Phi R_n \text{ } \therefore \text{OK!}$$

9. Ruptura por cortante de la porción que sobresale de la placa

$$A_n = [b_p - 2(d_b + \frac{1}{2}d)]t_p \quad A_n = 47.67 \text{ cm}^2$$

$$\Phi R_n = 98.04 \text{ t}$$

$$F_{fu}/2 = 91.39 \text{ t} \quad F_{fu}/2 < \Phi R_n \text{ } \therefore \text{OK!}$$

10. Soldaduras de atiesadores de placa

CONEXIÓN SIN ATIESADORES

11. Resistencia a cortante de los tornillos a compresión

$$nb = 4 \text{ tornillos}$$

$$F_v = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_b = 7.92 \text{ cm}^2$$

$$\Phi R_n = 99.76 \text{ t}$$

$$V_u = 18.15 \text{ t} \quad V_u < \Phi R_n = \Phi(n_b)F_v A_b$$

$$V_u < \Phi R_n \text{ } \therefore \text{OK!}$$

Placa de Extremo Modelo 4E (4 tornillos extendida)	
Proyecto: Examen Recepcional	Conexión: PL-01
Ubicación: Ejemplo 1	Elaboró: Ing. Ricardo Ramírez Pérez

12. Desgarramiento de los tornillos

i) Placa de extremo

$$L_c = 8.32 \text{ cm}$$

$$R_n = 144.80 \text{ t}$$

$$Resistencia = 110.56 \text{ t}$$

$$R_n = 1.21 \cdot t_p \cdot F_u > 2.4d_p \cdot t_p \cdot F_u$$

Rn>Resistencia ∴ OK!

$$n_i = 2 \text{ tornillos internos}$$

$$n_o = 2 \text{ tornillos externos}$$

$$\Phi R_n = 331.69 \text{ t}$$

$$V_u = 18.15 \text{ t}$$

$$V_u < \Phi R_n = (n_i) \phi R_n (\text{tornillos interiores}) + (n_o) \phi R_n (\text{tornillos exteriores})$$

Vu<ΦRn ∴ OK!

ii) Patín de la columna

$$\Phi R_n = 227.75 \text{ t}$$

$$V_u = 18.15 \text{ t}$$

Vu<ΦRn ∴ OK!

13. Soldaduras

i) De los patines de la viga a la Placa

$$t_{fb} = 16.500 \text{ mm}$$

$$t_{fc} = 21.800 \text{ mm}$$

$$t_{fMAX} = 21.800 \text{ mm}$$

Tamaño de soldadura = 8 mm

∴ Utilizar soldadura de 8mm con Electrodo E70

ii) Del alma de la viga a la Placa

$$D = 0.694 \text{ cm}$$

$$D = 4.370 \text{ in/16}$$

$$\text{Longitud Efectiva de Soldadura} = 25.100 \text{ cm}$$

$$D2 = 0.231 \text{ cm}$$

$$D2 = 1.454 \text{ in/16}$$

$$D_{max} = 4.370 \text{ in/16}$$

$$D_{real} = 5 \text{ in/16}$$

$$D_{real} = 0.79 \text{ cm}$$

DISEÑO DE LA COLUMNA

14. Revisión de la columna a flexión

i) Sin atiesadores de columna

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{h_y \beta}$$

$$c = 11.65 \text{ cm}$$

$$Y_c = 567.36 \text{ cm}$$

$$t_{fcReq'd} = 2.46 \text{ cm}$$

$$t_{fc} = 2.18 \text{ cm}$$

$$t_{fcReq'd} > t_{fc} \text{ ∴ Requiere atiesadores de patín de columna}$$

ii) Con atiesadores de columna

$$t_s = 0.5 \text{ in}$$

$$t_s = 1.27 \text{ cm}$$

$$p_{so} = 5.190 \text{ cm}$$

$$p_{si} = 5.190 \text{ cm}$$

$$Y_c = 911.333 \text{ cm}$$

$$t_{fcReq'd} = 1.941 \text{ cm}$$

$$t_{fc} = 2.180 \text{ cm}$$

$$t_{fcReq'd} < t_{fc} \text{ ∴ Se acepta con atiesadores de patín de columna}$$

Placa de Extremo Modelo 4E (4 tornillos extendida)	
Proyecto: Examen Recepcional	Conexión: PL-01
Ubicación: Ejemplo 1	Elaboró: Ing. Ricardo Ramírez Pérez

15. Resistencia necesaria del atiesador

$$\Phi M_{c,f} = \phi_p F_{pu} Y_p \sum F_{pu}$$

$$\Phi R_n = \frac{\phi_p F_{pu}}{(\phi_p - \phi_{ps})}$$

$$\Phi M_{c,f} = 85.299 \quad \text{t-m}$$

$$\Phi R_n = 164.510 \quad \text{t}$$

$$F_{fu} = 182.771 \quad \text{t} \quad \mathbf{F_{fu} < \Phi R_n}$$

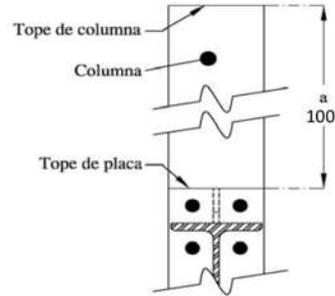
16. Revisión de pandeo local en el alma de la columna

a = 100 cm NOTA: "a" es la distancia de la cima de la columna al patín superior de la viga
 dp = 53.5 cm a > dp
 Ct = 1

$$\Phi R_n = \phi C_c (64_s + N + 2k_p) F_{pu} t_{web}$$

N = 1.650 cm
 $\Phi R_n = 149.598 \quad \text{t}$
 Ffu = 182.771 t

Ffu > ΦR_n .'. Requiere atiesadores de columna



17. Revisión a pandeo del alma de la columna en el patín de la viga

h = 28.400 cm
 Distancia de aplicación de Ffu = 50.000 cm
 dc/2 = 18.200 cm **dFfu > dc/2**

Si dFfu > dc/2 utilizar:

$$\Phi R_n = \frac{\phi F_{pu} t_{web} \sqrt{E F_{pu}}}{h}$$

Si dFfu < dc/2 utilizar:

$$\Phi R_n = \frac{\phi F_{pu} t_{web} \sqrt{E F_{pu}}}{h}$$

$\Phi R_n = 153.731 \quad \text{t}$
 Ffu = 182.771 t

Ffu > ΦR_n .'. Requiere atiesadores de columna (placas de continuidad)

18. Resistencia a desgarramiento del alma de la columna

Si dFfu > dc/2 utilizar:

$$\Phi R_n = \phi 0.80 t_{web} \left[1 + 3 \left(\frac{d}{d_c} \right) \left(\frac{d_{max}}{t_{web}} \right)^{1.4} \right] \sqrt{\frac{E F_{pu} t_{web}}{h_{max}}}$$

Si dFfu < dc/2:

N/dc = 0.045 **N/dc < 0.2**

Si N/dc < 0.2 utilizar:

$$\Phi R_n = \phi 0.40 t_{web} \left[1 + 3 \left(\frac{d}{d_c} \right) \left(\frac{d_{max}}{t_{web}} \right)^{1.4} \right] \sqrt{\frac{E F_{pu} t_{web}}{h_{max}}}$$

Si N/dc > 0.2 utilizar:

$$\Phi R_n = \phi 0.40 t_{web} \left[1 + \left(\frac{d}{d_c} - 0.2 \right) \left(\frac{d_{max}}{t_{web}} \right)^{1.4} \right] \sqrt{\frac{E F_{pu} t_{web}}{h_{max}}}$$

$\Phi R_n = 124.308 \quad \text{t}$
 Ffu = 182.771 t

Ffu > ΦR_n .'. Requiere atiesadores de columna (placas de continuidad)

Placa de Extremo Modelo 4E (4 tornillos extendida)			
Proyecto:	Examen Receptional	Conexión:	PL-01
Ubicación:	Ejemplo 1	Elaboró:	Ing. Ricardo R.

19. Resistencia de las placas de continuidad

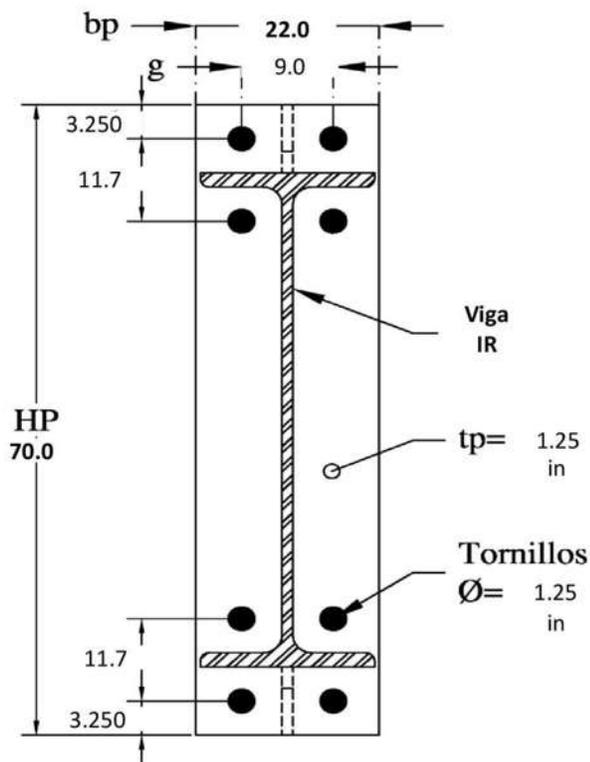
$\Phi Rn 1 = 164.510 \text{ t}$
 $\Phi Rn 2 = 149.598 \text{ t}$
 $\Phi Rn 3 = 153.731 \text{ t}$
 $\Phi Rn 4 = 124.308 \text{ t}$

min $\Phi Rn = 124.308 \text{ t}$

$F_{su} = F_{su} - \min \Phi Rn$ **Fsu = 58.463 t**

20. Diseñar placas de continuidad

Resumen: **bp = 22.0 cm** **tp = 1.25 in**
 Hp = 70.0 cm **db = 1.25 in**



Placa de Extremo Modelo 4E (4 tornillos extendida)	
Proyecto: <i>Examen Receptional</i>	Conexión: <i>PL-02</i>
Ubicación: <i>Ejemplo 2</i>	Elaboró: <i>Ing. Ricardo Ramírez Pérez</i>

DATOS: Vu = 18.15 t
 Muc = 46.00 t-m
 E = 2100000 kg/cm²

NOTAS: para acero ASTM A922, Fyb = 3515 kg/cm²
 Tornillos ASTM A490, Fv = 4200 kg/cm²
 Muc obtenido del Análisis Estructural

Viga: 160	
IR 533 x 84.6	
dp =	53.50 cm
twb =	1.03 cm
bfb =	16.60 cm
tfb =	1.65 cm
kb =	3.50 cm
gramil =	9.00 cm
Zxb =	2114.00 cm ³
Fyb =	3515 kg/cm ²
Fub =	4570 kg/cm ²

Columna: 112	
IR 356 x 162.1	
dc =	36.40 cm
twc =	1.33 cm
bfc =	37.10 cm
tfc =	2.18 cm
kc =	4.00 cm
(h/tw)c =	21.35
gramil =	14.00 cm
Zxc =	3146.00 cm ³
Fyc =	3515 kg/cm ²
Fuc =	4570 kg/cm ²

DISEÑO DE LA VIGA

1. Momento de diseño de la conexión (Muc)

$$M_{pe} = 1.1 R_y F_y Z_x \quad R_y = 1.1 \quad M_{pe} = 89.91 \text{ t-m}$$

Localización de la articulación plástica (rige el mínimo). Ecuación para caso sin atiesadores

$$L_p = \min \left\{ \frac{d_c}{2}, 3b_{fb} \right\} \quad L_{p1} = d_c/2 = 26.75 \text{ cm} \quad L_{p2} = 3b_{fb} = 49.80 \text{ cm} \quad L_p = 26.75 \text{ cm}$$

$$M_{uc} = M_{pe} + V_u L_p \quad M_{uc} = 94.77 \text{ t-m} \quad M_{uc} = 46.00 \text{ t-m}$$

2. Datos para el Modelo 4E

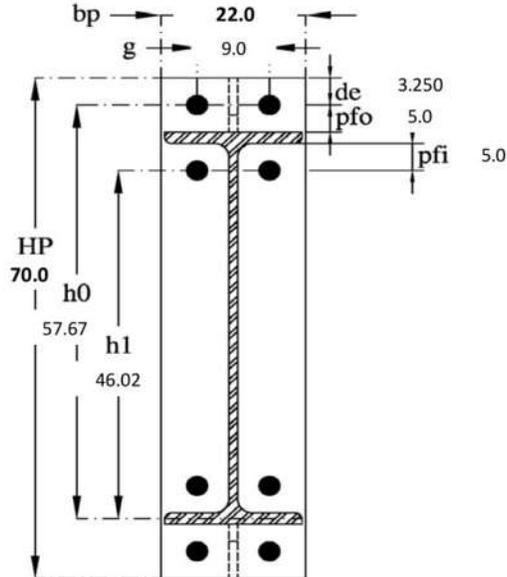
Geometría de la placa:

bp = bf+(1in) =	19.14 cm
bp =	22.0 cm
Pfi =	5.0 cm
Pfo =	5.0 cm
de,p =	3.25 cm
de =	3.250 cm
g =	9.0 cm
h0 =	57.675 cm
h1 =	46.025 cm
Hp,p =	70.0 cm
Hp =	70.0 cm

Material de la placa:

Fyp =	3515 kg/cm ²
Fup =	4570 kg/cm ²
Ft (tornillos) =	6330 kg/cm ²

NOTAS: Ft = 7945 kg/cm² para tornillos ASTM A490
 Ft = 6330 kg/cm² para tornillos ASTM A325



Placa de Extremo Modelo 4E (4 tornillos extendida)	
Proyecto: Examen Recepcional	Conexión: PL-02
Ubicación: Ejemplo 2	Elaboró: Ing. Ricardo Ramírez Pérez

3. Diámetro de tornillo requerido

$$d_{req'd} = \sqrt{\frac{2M_{req'd}}{\pi \Phi F_t (h_0 + h_1)}}$$

$\Phi = 0.75$
 $db.req'd = 2.439 \text{ cm}$

4. Diámetro de tornillo preliminar y momento sin fuerzas de palanca

$db.req'd = 0.96 \text{ in}$
 $db = 1 \text{ in}$ (en 16avos de pulgada)

Resistencia a tensión de los tornillos. Ecuación para el caso de conexiones de 4 tornillos

$$P_t = F_t A_n = F_t \left(\frac{\pi d^2}{4} \right)$$

$$M_{np} = 2P_t (h_0 + h_1)$$

$P_t = 32.07 \text{ t}$
 $M_{np} = 66.52 \text{ t-m}$
 $\Phi M_{np} = 49.89 \text{ t-m}$
 $M_{uc} = 46.00 \text{ t-m}$ $\Phi M_{np} > M_{uc} \therefore \text{OK!}$

5. Grosor de placa necesario

$$Y_p = \frac{P_t}{2} \left[h_0 \left(\frac{1}{F_y} + \frac{1}{\Phi} \right) + h_1 \left(\frac{1}{F_y} \right) - \frac{1}{2} \right] + \frac{P_t}{\Phi} \left[h_0 (F_y + \Phi) \right]$$

$$t_{req'd} = \sqrt{\frac{1.118 M_{uc}}{\Phi F_y Y_p}}$$

$\Phi b = 0.9$
 $S = 7.036 \text{ cm}$
 $pfi = 5 \text{ cm}$ $pfi < S \therefore \text{OK!}$
 $\therefore S = 7.036 \text{ cm}$
 $Y_p = 417.696 \text{ cm}$
 $t_{req'd} = 2.047 \text{ cm}$

6. Selección de grosor de placa

$t_{req'd} = 0.81 \text{ in}$
 $tp = 0.875 \text{ in}$

7. Fuerza en los patines de la viga factorizada

$$F_{fu} = \frac{2M_{uc}}{d - t_p}$$

$F_{fu} = 88.72 \text{ t}$

8. Cortante de la porción que sobresale de la placa

$$\Phi R_n = 0.9(0.6F_y)A_p$$

$\Phi R_n = 92.81 \text{ t}$
 $F_{fu}/2 = 44.36 \text{ t}$ $F_{fu}/2 < \Phi R_n \therefore \text{OK!}$

9. Ruptura por cortante de la porción que sobresale de la placa

$$A_n = [b_p - 2(d_4 + \frac{1}{\Phi})]t_p$$

$$\Phi R_n = 0.75(0.6F_y)A_n$$

$A_n = 36.19 \text{ cm}^2$
 $\Phi R_n = 74.43 \text{ t}$
 $F_{fu}/2 = 44.36 \text{ t}$ $F_{fu}/2 < \Phi R_n \therefore \text{OK!}$

10. Soldaduras de atiesadores de placa

CONEXIÓN SIN ATIESADORES

11. Resistencia a cortante de los tornillos a compresión

$nb = 4$ tornillos
 $F_v = 3375 \text{ kg/cm}^2$
 $Ab = 5.07 \text{ cm}^2$
 $\Phi R_n = 51.30 \text{ t}$
 $V_u = 18.15 \text{ t}$

$V_u < \Phi R_n = \Phi (A_n) F_v$
 $V_u < \Phi R_n \therefore \text{OK!}$

Placa de Extremo Modelo 4E (4 tornillos extendida)			
Proyecto:	Examen Receptional	Conexión:	PL-02
Ubicación:	Ejemplo 2	Elaboró:	Ing. Ricardo Ramírez Pérez

12. Desgarramiento de los tornillos

i) Placa de extremo

$$L_c = 8.95 \text{ cm}$$

$$R_n = 109.10 \text{ t}$$

$$Resistencia = 61.92 \text{ t}$$

$$R_n = 1.2L_c t_p F_u > 2.4d_p t_p F_u$$

$$R_n > Resistencia \therefore \text{OK!}$$

$$n_i = 2 \text{ tornillos internos}$$

$$n_o = 2 \text{ tornillos externos}$$

$$\Phi R_n = 185.75 \text{ t}$$

$$V_u = 18.15 \text{ t}$$

$$V_u < \Phi R_n = (n_i) \phi R_n \text{ (tornillos interiores)} + (n_o) \phi R_n \text{ (tornillos exteriores)}$$

$$V_u < \Phi R_n \therefore \text{OK!}$$

ii) Patín de la columna

$$\Phi R_n = 182.20 \text{ t}$$

$$V_u = 18.15 \text{ t}$$

$$V_u < \Phi R_n \therefore \text{OK!}$$

13. Soldaduras

i) De los patines de la viga a la Placa

$$t_{fb} = 16.500 \text{ mm}$$

$$t_{fc} = 21.800 \text{ mm}$$

$$t_{fMAX} = 21.800 \text{ mm}$$

$$\text{Tamaño de soldadura} = 8 \text{ mm}$$

∴ Utilizar soldadura de 8mm con Electrodo E70

ii) Del alma de la viga a la Placa

$$D = 0.694 \text{ cm}$$

$$D = 4.370 \text{ in/16}$$

$$\text{Longitud Efectiva de Soldadura} = 25.100 \text{ cm}$$

$$D_2 = 0.231 \text{ cm}$$

$$D_2 = 1.454 \text{ in/16}$$

$$D_{max} = 4.370 \text{ in/16}$$

$$D_{real} = 5 \text{ in/16}$$

$$D_{real} = 0.79 \text{ cm}$$

DISEÑO DE LA COLUMNA

14. Revisión de la columna a flexión

i) Sin atiesadores de columna

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{h_y \cdot \phi}$$

$$c = 11.65 \text{ cm}$$

$$Y_c = 567.36 \text{ cm}$$

$$t_{fcReq'd} = 1.76 \text{ cm}$$

$$t_{fc} = 2.18 \text{ cm}$$

$$t_{fcReq'd} < t_{fc} \therefore \text{No requiere atiesadores de patín de columna}$$

ii) Con atiesadores de columna

Como no se requieren, ignorar este inciso

$$t_s = 0.5 \text{ in}$$

$$t_s = 1.27 \text{ cm}$$

$$p_{so} = 5.190 \text{ cm}$$

$$p_{si} = 5.190 \text{ cm}$$

$$Y_c = 911.333 \text{ cm}$$

$$t_{fcReq'd} = 1.386 \text{ cm}$$

$$t_{fc} = 2.180 \text{ cm}$$

$$t_{fcReq'd} < t_{fc} \therefore \text{Se acepta con atiesadores de patín de columna}$$

Placa de Extremo Modelo 4E (4 tornillos extendida)	
Proyecto: Examen Receptorial	Conexión: PL-02
Ubicación: Ejemplo 2	Elaboró: Ing. Ricardo Ramírez Pérez

15. Resistencia necesaria del atiesador

Como no se requieren, ignorar este inciso

$$\Phi M_{cf} = \phi_s F_{ps} V_s t_{ps}^2 \quad \Phi M_{cf} = 85.299 \quad \text{t-m}$$

$$\Phi R_n = \frac{\phi M_{cf}}{(L - t_{ps})} \quad \Phi R_n = 164.510 \quad \text{t}$$

$$F_{fu} = 88.717 \quad \text{t} \quad F_{fu} > \Phi R_n$$

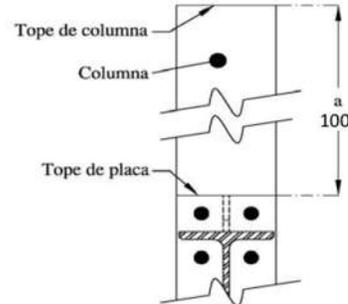
16. Revisión de pandeo local en el alma de la columna

a = 100 cm NOTA: "a" es la distancia de la cima de la columna al patín superior de la viga
 dp = 53.5 cm a > dp
 Ct = 1

$$\Phi R_n = \phi C_v (64_u + N + 2t_p) F_{ps} t_{wv}$$

N = 1.650 cm
 $\Phi R_n = 140.693 \quad \text{t}$
 Ffu = 88.717 t

Ffu < ΦR_n ∴ No hay pandeo local en el alma de la columna



17. Revisión a pandeo del alma de la columna en el patín de la viga

h = 28.400 cm
 Distancia de aplicación de Ffu = 50.000 cm
 dc/2 = 18.200 cm dFfu > dc/2

Si dFfu > dc/2 utilizar:

$$\Phi R_n = \frac{\phi A_c F_{ps}}{A} \sqrt{\frac{E F_{ps} t_{wv}}{A_c}}$$

Si dFfu < dc/2 utilizar:

$$\Phi R_n = \frac{\phi A_c F_{ps}}{A} \sqrt{\frac{E F_{ps} t_{wv}}{A_c}}$$

$\Phi R_n = 153.731 \quad \text{t}$
 Ffu = 88.717 t
 Ffu < ΦR_n ∴ Ok!

18. Resistencia a desgarramiento del alma de la columna

Si dFfu > dc/2 utilizar:

$$\Phi R_n = \phi 0.80 t_{wv} \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d_c} \right) \left(\frac{t_{ps}}{t_{wv}} \right)^{1.4} \right] \sqrt{\frac{E F_{ps} t_{wv}}{A_c}}$$

Si dFfu < dc/2:

N/dc = 0.045 N/dc < 0.2

Si N/dc < 0.2 utilizar:

$$\Phi R_n = \phi 0.40 t_{wv} \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d_c} \right) \left(\frac{t_{ps}}{t_{wv}} \right)^{1.4} \right] \sqrt{\frac{E F_{ps} t_{wv}}{A_c}}$$

Si N/dc > 0.2 utilizar:

$$\Phi R_n = \phi 0.40 t_{wv} \left[1 + \left(\frac{N}{d_c} - 0.2 \right) \left(\frac{t_{ps}}{t_{wv}} \right)^{1.4} \right] \sqrt{\frac{E F_{ps} t_{wv}}{A_c}}$$

$\Phi R_n = 124.308 \quad \text{t}$
 Ffu = 88.717 t
 Ffu < ΦR_n ∴ Ok!

Placa de Extremo Modelo 4E (4 tornillos extendida)	
Proyecto: Examen Receptional	Conexión: PL-02
Ubicación: Ejemplo 2	Elaboró: Ing. Ricardo Ramírez Pérez

19. Resistencia de las placas de continuidad

Como no se requieren, ignorar este inciso

- ΦRn 1 = 164.510 t
- ΦRn 2 = 140.693 t
- ΦRn 3 = 153.731 t
- ΦRn 4 = 124.308 t

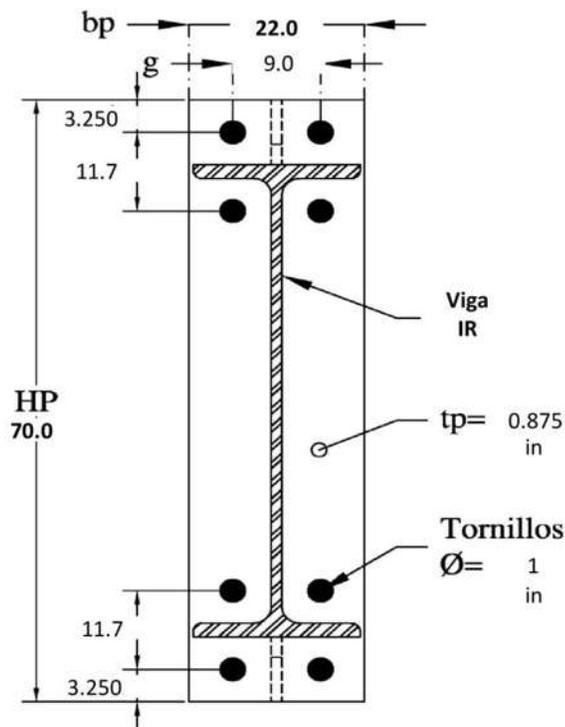
min ΦRn = 124.308 t

$F_{su} = F_{pu} - \text{min } \Phi R_n$

Fsu = -35.590 t

20. Diseñar placas de continuidad

Resumen:	bp = 22.0 cm	tp = 0.875 in
	Hp = 70.0 cm	db = 1 in



Placa de Extremo Modelo 4E (4 tornillos extendida y atiesada)			
Proyecto:	Examen Receptional	Conexión:	PL-03
Ubicación:	Ejemplo 3	Elaboró:	Ing. Ricardo Ramírez Pérez

DATOS:
 $V_u = 18.15$ t
 $M_{uc} = -$ t-m
 $E = 2100000$ kg/cm²

NOTAS: para acero ASTM A922, $F_y = 3515$ kg/cm²
 Tornillos ASTM A490, $F_v = 4200$ kg/cm²
 M_{uc} obtenido del Análisis Estructural

Viga: 160
 IR 533 x 84.6
 $d_p = 53.50$ cm
 $t_{wb} = 1.03$ cm
 $b_{fb} = 16.60$ cm
 $t_{fb} = 1.65$ cm
 $k_b = 3.50$ cm
 $g_{ramil} = 9.00$ cm
 $Z_{xb} = 2114.00$ cm³
 $F_{yb} = 3515$ kg/cm²
 $F_{ub} = 4570$ kg/cm²

Columna: 112
 IR 356 x 162.1
 $d_c = 36.40$ cm
 $t_{wc} = 1.33$ cm
 $b_{fc} = 37.10$ cm
 $t_{fc} = 2.18$ cm
 $k_c = 4.00$ cm
 $(h/t_w)_c = 21.35$
 $g_{ramil} = 14.00$ cm
 $Z_{xc} = 3146.00$ cm³
 $F_{yc} = 3515$ kg/cm²
 $F_{uc} = 4570$ kg/cm²

DISEÑO DE LA VIGA

1. Momento de diseño de la conexión (Muc)

$$M_{pe} = 1.1 R_y F_y Z_{xc}$$

$R_y = 1.1$
 $M_{pe} = 89.91$ t-m

Localización de la articulación plástica

$$l_p = l_{st} + l_{p1}$$

$h_{st} = 8.250$ cm
 $l_{st} = 14.289$ cm
 $l_p = 17.464$ cm

$$M_{uc} = M_{pe} + R_y l_p$$

$M_{uc} = 93.081$ t-m
 $M_{uc} = 93.081$ t-m

2. Datos para el Modelo 4ES

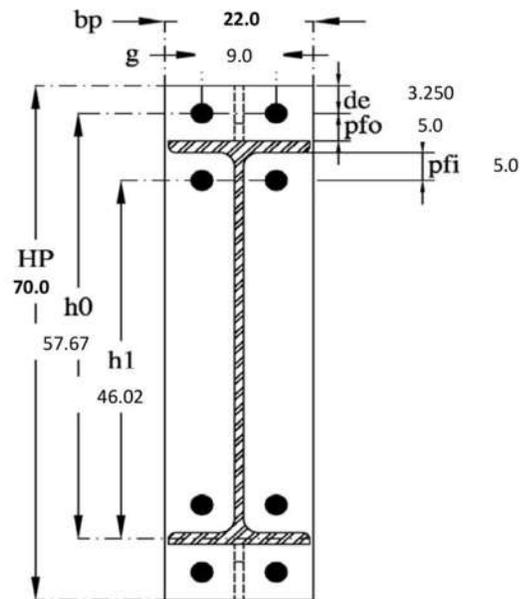
Geometría de la placa:

$b_p = b_f + (1in) = 19.14$ cm
 $b_p = 22.0$ cm
 $p_{fi} = 5.0$ cm
 $p_{fo} = 5.0$ cm
 $d_{e,p} = 3.25$ cm
 $d_e = 3.250$ cm
 $g = 9.0$ cm
 $h_0 = 57.675$ cm
 $h_1 = 46.025$ cm
 $H_{p,p} = 70.0$ cm
 $H_p = 70.0$ cm

Material de la placa:

$F_{yp} = 3515$ kg/cm²
 $F_{up} = 4570$ kg/cm²
 F_t (tornillos) = 7945 kg/cm²

NOTAS: $F_t = 7945$ kg/cm² para tornillos ASTM A490
 $F_t = 6330$ kg/cm² para tornillos ASTM A325



Placa de Extremo Modelo 4E (4 tornillos extendida y atiesada)	
Proyecto: <i>Examen Recepcional</i>	Conexión: <i>PL-03</i>
Ubicación: <i>Ejemplo 3</i>	Elaboró: <i>Ing. Ricardo Ramírez Pérez</i>

3. Diámetro de tornillo requerido

$$d_{\text{requerido}} = \sqrt{\frac{2M_{\text{req'd}}}{n\Phi F_t (h_0 + h_1)}} \quad \Phi = 0.75$$

$$db.\text{req'd} = 3.097 \quad \text{cm}$$

4. Diámetro de tornillo preliminar y momento sin fuerzas de palanca

$$db.\text{req'd} = 1.22 \quad \text{in}$$

$$db = 1.25 \quad \text{in} \quad (\text{en 16avos de pulgada})$$

Resistencia a tensión de los tornillos. Ecuación para el caso de conexiones de 4 tornillos

$$P_t = F_t A_s = F_t \left(\frac{\pi d^2}{4}\right) \quad P_t = 62.90 \quad \text{t}$$

$$M_{np} = 2P_t(h_0 + h_1) \quad M_{np} = 130.46 \quad \text{t-m}$$

$$\Phi M_{np} = 97.85 \quad \text{t-m} \quad \Phi M_{np} > M_{uc} \therefore \text{OK!}$$

$$M_{uc} = 93.08 \quad \text{t-m}$$

5. Grosor de placa necesario

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{h_p \theta} \quad \Phi b = 0.9$$

$$S = 7.036 \quad \text{cm} \quad pfi < s \therefore \text{OK!}$$

$$pfi = 5 \quad \text{cm}$$

$$\therefore S = 7.036 \quad \text{cm}$$

$$de = 3.25 \quad \text{cm} \quad de < S \therefore \text{Caso 1}$$

Caso 1: $de < S$

$$r_p = \frac{h_p}{2} \left[h_0 \left(\frac{1}{h_0} + \frac{1}{S} \right) + h_1 \left(\frac{1}{h_1} + \frac{1}{S} \right) \right] + \frac{r}{\theta} [h_0(h_0 + d) + h_1(h_1 + h_0)]$$

Caso 2: $de > S$

$$r_p = \frac{h_p}{2} \left[h_0 \left(\frac{1}{h_0} + \frac{1}{S} \right) + h_1 \left(\frac{1}{h_1} + \frac{1}{S} \right) \right] + \frac{r}{\theta} [h_0(h_0 + d) + h_1(h_1 + h_0)]$$

$$d_{\text{requerido}} = \sqrt{\frac{2M_{\text{req'd}}}{n\Phi F_t (h_0 + h_1)}} \quad \therefore Y_p = 574.021 \quad \text{cm}$$

$$t_{\text{req'd}} = 2.446 \quad \text{cm}$$

6. Selección de grosor de placa

$$t_{\text{req'd}} = 0.96 \quad \text{in}$$

$$tp = 1.25 \quad \text{in}$$

7. Fuerza en los patines de la viga factorizada

$$F_{fu} = \frac{2M_{\text{req'd}}}{d - a_{\text{top}}} \quad F_{fu} = 179.52 \quad \text{t}$$

8. Cortante de la porción que sobresale de la placa

$$\Phi R_n = 0.9(0.6F_{fu})\phi_p A_p \quad \Phi R_n = 132.58 \quad \text{t}$$

$$F_{fu}/2 = 89.76 \quad \text{t} \quad F_{fu}/2 < \Phi R_n \therefore \text{OK!}$$

9. Ruptura por cortante de la porción que sobresale de la placa

$$A_n = [h_p - 2(d_0 + \frac{1}{2}\phi)]t_p \quad A_n = 47.67 \quad \text{cm}^2$$

$$\Phi R_n = 98.04 \quad \text{t}$$

$$\Phi R_n = 0.75(0.6F_{fu})A_n \quad F_{fu}/2 = 89.76 \quad \text{t} \quad F_{fu}/2 < \Phi R_n \therefore \text{OK!}$$

Placa de Extremo Modelo 4E (4 tornillos extendida y atiesada)	
Proyecto: Examen Receptacional	Conexión: PL-03
Ubicación: Ejemplo 3	Elaboró: Ing. Ricardo Ramírez Pérez

10. Soldaduras de atiesadores de placa

i) Dimensionamiento

$$l_{req'd} = l_{req'd} + d_e$$

$$l_{req'd} = l_{req'd} \left(\frac{F_{ys}}{F_{ys}} \right)$$

hst =	8.250	cm	ts,req'd =	1.03	cm
Lst =	14.289	cm	ts,req'd =	0.41	in
Fys =	3515	kg/cm ²	ts =	0.375	in
ts,req'd =	1.03	cm	ts =	0.953	cm

ii) Chequeo de Pandeo Local

$$\frac{h_{st}}{t_s} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}}$$

$$l_s \geq 1.794 l_{req'd} \sqrt{\frac{F_{ys}}{E}}$$

hst/ts =	8.661	ts =	0.953	cm
0.56((E/Fys)^.5)=	13.688	0.56((E/Fys)^.5)=	0.604	cm
hst/ts < 0.56((E/Fys)^.5)=	∴ Ok!	ts > 0.56((E/Fys)^.5)=	∴ Ok!	

11. Resistencia a cortante de los tornillos a compresión

nb =	4	tornillos	
Fv =	4200	kg/cm ²	
Ab =	7.92	cm ²	
ΦRn =	99.76	t	$V_u < \Phi R_n = \Phi(n_b)F_v A_b$
Vu =	18.15	t	Vu < ΦRn ∴ OK!

12. Desgarramiento de los tornillos

i) Placa de extremo

Lc =	8.41	cm	
Rn =	146.48	t	$R_n = 1.22 t_s F_u > 2.4 d_s t_s F_u$
Resistencia =	110.56	t	Rn > Resistencia ∴ OK!

ni =	2	tornillos internos	
no =	2	tornillos externos	
ΦRn =	331.69	t	$V_u < \Phi R_n = (n_i) \Phi R_n \text{ (tornillos interiores)}$
Vu =	18.15	t	$+ (n_o) \Phi R_n \text{ (tornillos exteriores)}$
			Vu < ΦRn ∴ OK!

ii) Patín de la columna

ΦRn =	227.75	t	
Vu =	18.15	t	Vu < ΦRn ∴ OK!

13. Soldaduras

i) De los patines de la viga a la Placa

tfb =	16.500	mm	
tfc =	21.800	mm	
tfMAX =	21.800	mm	
Tamaño de soldadura =	8	mm	

∴ Utilizar soldadura de 8mm con Electrodo E70

ii) Del alma de la viga a la Placa

D =	0.694	cm	
D =	4.370	in/16	
Longitud Efectiva de Soldadura =	25.100	cm	
D2 =	0.231	cm	Dmax = 4.370 in/16
D2 =	1.454	in/16	Dreal = 5 in/16
			Dreal = 0.79 cm

Placa de Extremo Modelo 4E (4 tornillos extendida y atiesada)	
Proyecto: Examen Recepcional	Conexión: PL-03
Ubicación: Ejemplo 3	Elaboró: Ing. Ricardo Ramírez Pérez

DISEÑO DE LA COLUMNA

14. Revisión de la columna a flexión

i) Sin atiesadores de columna

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_{xy} \theta} \quad s = 9.14 \text{ cm}$$

$$c = 11.65 \text{ cm}$$

$$Y_c = 567.36 \text{ cm}$$

$$I_x = \frac{b_{xy}}{2} \left[b_x \left(\frac{c}{2} \right) + b_y \left(\frac{s}{2} \right) \right] + \frac{2}{3} \left[b_x \left(s + \frac{b_x}{4} \right) + b_y \left(s + \frac{c}{4} \right) + \frac{c^3}{2} \right] + \frac{b_y}{2}$$

$$f_{cr} = \sqrt{\frac{E I_x}{L^2 I_p}} \leq f_{py}$$

tfcReq'd = 2.46 cm
 tfc = 2.18 cm

tfcReq'd > tfc. Requiere atiesadores de patín de columna

ii) Con atiesadores de columna

$$ts = 0.5 \text{ in}$$

$$ts = 1.27 \text{ cm}$$

$$pso = 5.190 \text{ cm}$$

$$psi = 5.190 \text{ cm}$$

$$Y_c = 911.333 \text{ cm}$$

$$tfcReq'd = 1.941 \text{ cm}$$

$$tfc = 2.180 \text{ cm}$$

$$f_{cr} = \sqrt{\frac{E I_x}{L^2 I_p}} \leq f_{py}$$

tfcReq'd < tfc. Se acepta con atiesadores de patín de columna

15. Resistencia necesaria del atiesador

$$\Phi M_{cr} = \Phi_b P_{cr} V_u V_{ps}$$

$$\Phi M_n = \frac{F_u A_g}{1.67} \quad \Phi M_{cr} = 85.299 \text{ t-m}$$

$$\Phi R_n = 164.510 \text{ t}$$

$$F_{fu} = 179.521 \text{ t} \quad F_{fu} < \Phi R_n$$

16. Revisión de pandeo local en el alma de la columna

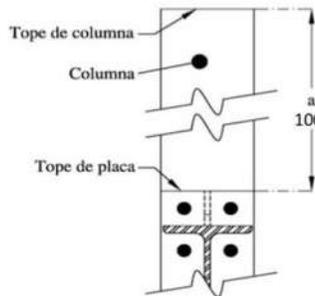
a = 100 cm
 dp = 53.5 cm
 Ct = 1

NOTA: "a" es la distancia de la cima de la columna al patín superior de la viga
 a > dp

$$\Phi P_n = \Phi C_v (6k_c + N + 2k_p) F_{cr} t_{wc}$$

N = 1.650 cm
 $\Phi R_n = 149.598 \text{ t}$
 $F_{fu} = 179.521 \text{ t}$

Ffu > ΦR_n . Requiere atiesadores de columna



17. Revisión a pandeo del alma de la columna en el patín de la viga

h = 28.400 cm
 Distancia de aplicación de Ffu = 50.000 cm
 dc/2 = 18.200 cm

dFfu > dc/2

Si dFfu > dc/2 utilizar:

$$\Phi P_n = \frac{0.85 A_g F_{cr} \Phi C_v}{\gamma}$$

Si dFfu < dc/2 utilizar:

$$\Phi P_n = \frac{0.85 A_g F_{cr} \Phi C_v}{\gamma}$$

$\Phi R_n = 153.731 \text{ t}$
 $F_{fu} = 179.521 \text{ t}$

Ffu > ΦR_n . Requiere atiesadores de columna (placas de continuidad)

Placa de Extremo Modelo 4E (4 tornillos extendida y atiesada)	
Proyecto: Examen Recepcional	Conexión: PL-03
Ubicación: Ejemplo 3	Elaboró: Ing. Ricardo Ramírez Pérez

18. Resistencia a desgarramiento del alma de la columna

Si $dF_u > dc/2$ utilizar:

$$\Phi R_n = \Phi(0.60)F_u \left[1 + 3 \left(\frac{d}{d_c} \right) \left(\frac{F_u}{F_y} \right)^{1.4} \right] \sqrt{\frac{A_g A_n}{A_g}}$$

Si $dF_u < dc/2$:

$$N/dc = 0.045 \quad N/dc < 0.2$$

Si $N/dc < 0.2$ utilizar:

$$\Phi R_n = \Phi(0.60)F_u \left[1 + 3 \left(\frac{d}{d_c} \right) \left(\frac{F_u}{F_y} \right)^{1.4} \right] \sqrt{\frac{A_g A_n}{A_g}}$$

Si $N/dc > 0.2$ utilizar:

$$\Phi R_n = \Phi(0.60)F_u \left[1 + \left(\frac{N}{d_c} - 0.2 \right) \left(\frac{F_u}{F_y} \right)^{1.4} \right] \sqrt{\frac{A_g A_n}{A_g}}$$

$$\Phi R_n = 124.308 \text{ t}$$

$$F_u = 179.521 \text{ t}$$

$F_u > \Phi R_n$. Requiere atiesadores de columna (placas de continuidad)

19. Resistencia de las placas de continuidad

- $\Phi R_n 1 = 164.510 \text{ t}$
- $\Phi R_n 2 = 149.598 \text{ t}$
- $\Phi R_n 3 = 153.731 \text{ t}$
- $\Phi R_n 4 = 124.308 \text{ t}$

$$\min \Phi R_n = 124.308 \text{ t}$$

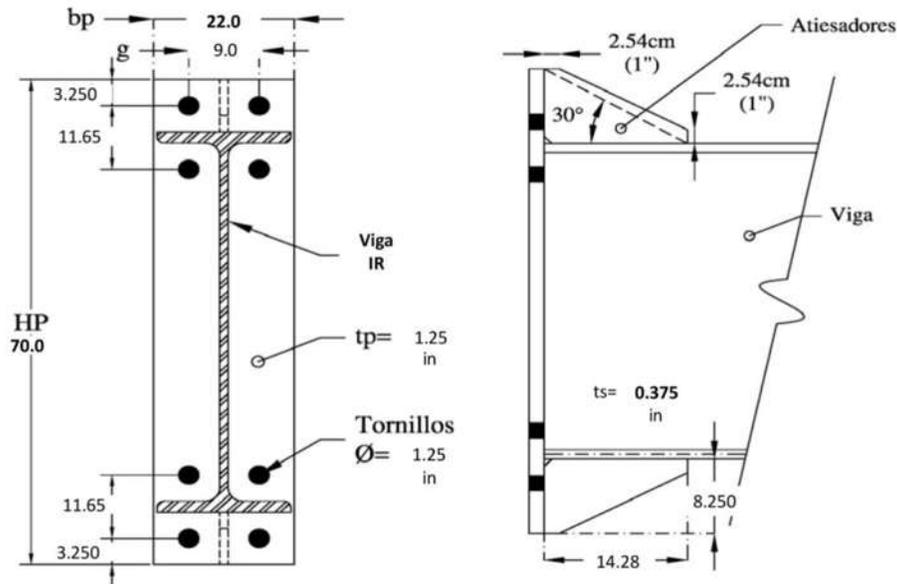
$$F_u = F_{fu} = \min \Phi R_n$$

$$F_{su} = 55.213 \text{ t}$$

20. Diseñar placas de continuidad

Resumen: $bp = 22.0 \text{ cm}$
 $Hp = 70.0 \text{ cm}$

$tp = 1.25 \text{ in}$
 $db = 1.25 \text{ in}$



Placa de Extremo Modelo 8ES (8 tornillos extendida y atiesada)	
Proyecto: Examen Receptorial	Conexión: PL-04
Ubicación: Ejemplo 4	Elaboró: Ing. Ricardo Ramírez Pérez

DATOS:
 $V_u = 18.15$ t
 $Muc = -$ t-m
 $E = 2100000$ kg/cm²

NOTAS: para acero ASTM A922, $F_y = 3515$ kg/cm²
 Tornillos ASTM A490, $F_v = 4200$ kg/cm²
 Muc obtenido del Análisis Estructural

Viga: 160
 IR 533 x 84.6
 $d_p = 53.50$ cm
 $tw_b = 1.03$ cm
 $bf_b = 16.60$ cm
 $tf_b = 1.65$ cm
 $kb = 3.50$ cm
 $gramil = 9.00$ cm
 $Z_{xb} = 2114.00$ cm³
 $F_{yb} = 3515$ kg/cm²
 $F_{ub} = 4570$ kg/cm²

Columna: 112
 IR 356 x 162.1
 $dc = 36.40$ cm
 $tw_c = 1.33$ cm
 $bf_c = 37.10$ cm
 $tf_c = 2.18$ cm
 $kc = 4.00$ cm
 $(h/tw)_c = 21.35$
 $gramil = 14.00$ cm
 $Z_{xc} = 3146.00$ cm³
 $F_{yc} = 3515$ kg/cm²
 $F_{uc} = 4570$ kg/cm²

DISEÑO DE LA VIGA

1. Momento de diseño de la conexión (Muc)

$$M_{pua} = 1.1 R_p F_y Z_{ca}$$

$R_y = 1.1$
 $M_{pe} = 89.91$ t-m

Localización de la articulación plástica

$$l_p = l_{ca} + l_p$$

$h_{st} = 14.750$ cm
 $l_{st} = 25.548$ cm
 $L_p = 28.405$ cm

$$M_{ca} = M_{pe} + V_p l_p$$

$Muc = 95.067$ t-m
 $Muc = 95.067$ t-m

2. Datos para el Modelo 8ES

Geometría de la placa:

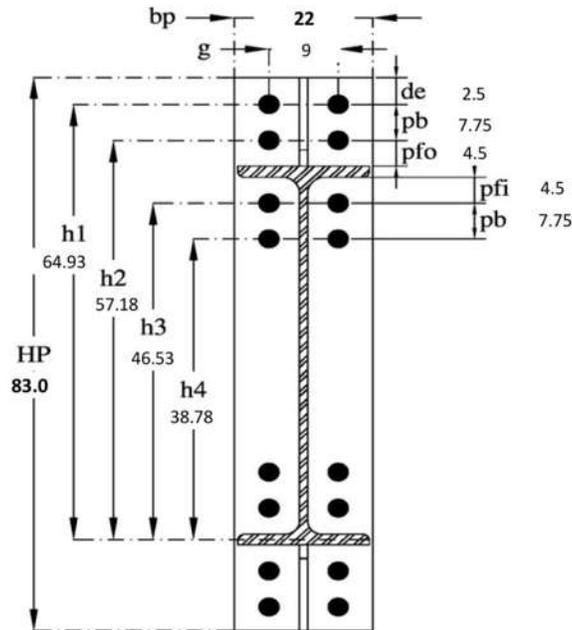
$bp = bf + (1in) = 19.14$ cm
 $bp = 22$ cm
 $P_{fi} = 4.5$ cm
 $P_{fo} = 4.5$ cm
 $P_b = 7.75$ cm
 $de, p = 2.5$ cm
 $de = 2.5$ cm
 $g = 9$ cm
 $H_{p,p} = 83.0$ cm
 $H_p = 83.0$ cm

 $h_1 = 64.93$ cm
 $h_2 = 57.18$ cm
 $h_3 = 46.53$ cm
 $h_4 = 38.78$ cm

Material de la placa:

$F_{yp} = 3515$ kg/cm²
 $F_{up} = 4570$ kg/cm²
 F_t (tornillos) = 6330 kg/cm²

NOTAS: $F_t = 7945$ kg/cm² para tornillos ASTM A490
 $F_t = 6330$ kg/cm² para tornillos ASTM A325



Placa de Extremo Modelo 8ES (8 tornillos extendida y atiesada)	
Proyecto: Examen Recepcional	Conexión: PL-04
Ubicación: Ejemplo 4	Elaboró: Ing. Ricardo Ramírez Pérez

3. Diámetro de tornillo requerido

$$d_{b,req'd} = \sqrt{\frac{3M_{np}}{F_u F_t (h_1 + h_2 + h_3 + h_4)}} \quad \Phi = 0.75$$

$$db,req'd = 2.479 \text{ cm}$$

4. Diámetro de tornillo preliminar y momento sin fuerzas de palanca

$$db,req'd = 0.98 \text{ in}$$

$$db = 1 \text{ in} \quad (\text{en 16avos de pulgada})$$

Resistencia a tensión de los tornillos. Ecuación para el caso de conexiones de 4 tornillos

$$P_t = F_t A_s = F_t \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \quad P_t = 32.07 \text{ t}$$

$$M_{np} = 133.05 \text{ t-m}$$

$$\Phi M_{np} = 99.78 \text{ t-m}$$

$$M_{np} = 2P_t(h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \quad Muc = 95.07 \text{ t-m} \quad \Phi M_{np} > Muc \therefore \text{OK!}$$

5. Grosor de placa necesario

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{h_p d} \quad \Phi b = 0.9$$

$$S = 7.036 \text{ cm} \quad pfi < s \therefore \text{OK!}$$

$$pfi = 4.5 \text{ cm}$$

$$\therefore S = 7.036 \text{ cm}$$

$$de = 2.5 \text{ cm} \quad de < S \therefore \text{Caso 1}$$

Caso 1: $de < S$

$$h_c = \frac{1}{2} \left[h_p \left(\frac{de}{S} \right) + h_1 \left(\frac{de}{S} \right) + h_2 \left(\frac{de}{S} \right) + h_3 \left(\frac{de}{S} \right) \right]$$

$$= \frac{1}{2} \left[h_p \left(\frac{2.5}{7.036} \right) + h_1 \left(\frac{2.5}{7.036} \right) + h_2 \left(\frac{2.5}{7.036} \right) + h_3 \left(\frac{2.5}{7.036} \right) \right] + d$$

Caso 2: $de > S$

$$h_c = \frac{1}{2} \left[h_p \left(\frac{S}{de} \right) + h_1 \left(\frac{S}{de} \right) + h_2 \left(\frac{S}{de} \right) + h_3 \left(\frac{S}{de} \right) \right]$$

$$= \frac{1}{2} \left[h_p \left(\frac{7.036}{2.5} \right) + h_1 \left(\frac{7.036}{2.5} \right) + h_2 \left(\frac{7.036}{2.5} \right) + h_3 \left(\frac{7.036}{2.5} \right) \right] + d$$

$$d_{b,req'd} = \sqrt{\frac{3M_{np}}{h_c F_u F_t}} \quad \therefore Y_p = 851.609 \text{ cm}$$

$$t_{p,req'd} = 2.028 \text{ cm}$$

6. Selección de grosor de placa

$$t_{p,req'd} = 0.80 \text{ in}$$

$$tp = 1.125 \text{ in}$$

7. Fuerza en los patines de la viga factorizada

$$F_{fu} = \frac{2M_{np}}{d = 9.75} \quad Ffu = 183.35 \text{ t}$$

8. Cortante de la porción que sobresale de la placa

$$\Phi R_n = 0.9(0.6F_u)A_g F_u \quad \Phi R_n = 119.32 \text{ t}$$

$$Ffu/2 = 91.68 \text{ t} \quad Ffu/2 < \Phi R_n \therefore \text{OK!}$$

9. Ruptura por cortante de la porción que sobresale de la placa

$$A_n = [h_p - 2(d_n + \frac{1}{2} \phi)] t_p \quad A_n = 46.53 \text{ cm}^2$$

$$\Phi R_n = 95.70 \text{ t}$$

$$\Phi R_n = 0.75(0.6F_u)A_n \quad Ffu/2 = 91.68 \text{ t} \quad Ffu/2 < \Phi R_n \therefore \text{OK!}$$

Placa de Extremo Modelo 8ES (8 tornillos extendida y atiesada)	
Proyecto: Examen Receptional	Conexión: PL-04
Ubicación: Ejemplo 4	Elaboró: Ing. Ricardo Ramírez Pérez

10. Soldaduras de atiesadores de placa

i) Dimensionamiento

$$L_{req'd} = L_{ps} + L_{ps} + d_e$$

$$L_{req'd} = L_{ps} \left(\frac{F_u}{F_y} \right)$$

hst =	14.750	cm	ts,req'd =	1.03	cm
Lst =	25.548	cm	ts,req'd =	0.41	in
Fys =	3515	kg/cm ²	ts =	0.438	in
ts,req'd =	1.03	cm	ts =	1.111	cm

ii) Chequeo de Pandeo Local

$$\frac{h_{st}}{t_s} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$0.56((E/Fys)^{.5}) = 13.688$$

$$hst/ts < 0.56((E/Fys)^{.5}) = \therefore \text{Ok!}$$

$$L_s \geq 1.79 h_{st} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$0.56((E/Fys)^{.5}) = 1.080$$

$$ts > 0.56((E/Fys)^{.5}) = \therefore \text{Ok!}$$

11. Resistencia a cortante de los tornillos a compresión

nb =	8	tornillos	$V_u < \phi R_n = \phi(n_s)F_y A_s$
Fv =	3375	kg/cm ²	
Ab =	5.07	cm ²	
ϕR_n =	102.61	t	Vu < ϕR_n \therefore OK!
Vu =	18.15	t	

12. Desgarramiento de los tornillos

i) Placa de extremo

Lc =	5.05	cm	$R_n = 1.2L_c t_p F_u > 2.4d_s t_p F_u$
Rn =	79.16	t	$\bar{R}_n < \bar{Resistencia} \therefore$ Aumentar el grosor de la placa
Resistencia =	79.61	t	

ni =	6	tornillos internos	$V_u < \phi R_n = (n_s) \phi R_n$ (tornillos internos)
no =	2	tornillos externos	$+ (n_e) \phi R_n$ (tornillos externos)
ϕR_n =	475.61	t	
Vu =	18.15	t	Vu < ϕR_n \therefore OK!

ii) Patín de la columna

ϕR_n =	362.85	t	
Vu =	18.15	t	Vu < ϕR_n \therefore OK!

13. Soldaduras

i) De los patines de la viga a la Placa

tfb =	16.500	mm	
tfc =	21.800	mm	tfMAX = 21.800 mm
			Tamaño de soldadura = 8 mm

\therefore Utilizar soldadura de 8mm con Electrodo E70

ii) Del alma de la viga a la Placa

D =	0.694	cm	
D =	4.370	in/16	
Longitud Efectiva de Soldadura =	25.100	cm	
D2 =	0.231	cm	Dmax = 4.370 in/16
D2 =	1.454	in/16	Dreal = 5 in/16
			Dreal = 0.79 cm

Placa de Extremo Modelo 8ES (8 tornillos extendida y atiesada)	
Proyecto: Examen Receptorial	Conexión: PL-04
Ubicación: Ejemplo 4	Elaboró: Ing. Ricardo Ramírez Pérez

DISEÑO DE LA COLUMNA

14. Revisión de la columna a flexión

i) Sin atiesadores de columna

$$c = \frac{1}{2} \left[\sqrt{h^2 + 4s^2} + h \right] \quad s = 9.14 \text{ cm}$$

$$c = 10.65 \text{ cm}$$

$$Y_c = 792.41 \text{ cm}$$

$$tfcReq'd = 2.10 \text{ cm}$$

$$tfc = 2.18 \text{ cm}$$

$tfcReq'd < tfc \therefore$ No requiere atiesadores de patín de columna

ii) Con atiesadores de columna

Como no se requieren, ignorar este inciso

$$c = \frac{1}{2} \left[\sqrt{h^2 + 4s^2} + h \right] \quad ts = 0.5 \text{ in}$$

$$c = 1.27 \text{ cm}$$

$$pso = 4.690 \text{ cm}$$

$$tfc = 133.593 \text{ cm}$$

$$tfcReq'd = 1.757 \text{ cm}$$

$$tfc = 2.180 \text{ cm}$$

$tfcReq'd < tfc \therefore$ Se acepta con atiesadores de patín de columna

15. Resistencia necesaria del atiesador

Como no se requieren, ignorar este inciso

$$\Phi M_{cr} = \Phi_p F_{cr} Y_c + \Phi_p F_{cr} Y_{ps}$$

$$\Phi M_{cr} = 119.133 \text{ t-m}$$

$$\Phi R_n = 229.765 \text{ t}$$

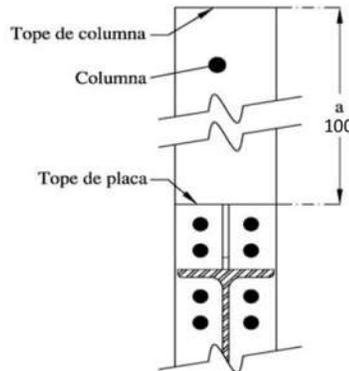
$$F_{fu} = 183.350 \text{ t}$$

$F_{fu} > \Phi R_n$

16. Revisión de pandeo local en el alma de la columna

a = 100 cm
 dp = 53.5 cm
 Ct = 1

NOTA: "a" es la distancia de la cima de la columna al patín superior de la viga
 a > dp



$$\Phi R_n = \Phi C_c (44 F_u + N + 22 F_u) F_{cr} L_{cr}$$

N = 1.650 cm
 $\Phi R_n = 146.630 \text{ t}$
 Ffu = 183.350 t

$F_{fu} > \Phi R_n \therefore$ Requiere atiesadores de columna

17. Revisión a pandeo del alma de la columna en el patín de la viga

h = 28.400 cm
 Distancia de aplicación de Ffu = 50.000 cm
 dc/2 = 18.200 cm

dFfu > dc/2

Si dFfu > dc/2 utilizar:

Si dFfu < dc/2 utilizar:

$$\Phi R_n = \frac{0.6 F_u A_g F_{cr}}{\lambda}$$

$$\Phi R_n = \frac{0.6 F_u A_g F_{cr}}{\lambda}$$

$\Phi R_n = 153.731 \text{ t}$
 Ffu = 183.350 t

$F_{fu} > \Phi R_n \therefore$ Requiere atiesadores de columna (placas de continuidad)

Placa de Extremo Modelo 8ES (8 tornillos extendida y atiesada)			
Proyecto:	Examen Recepcional	Conexión:	PL-04
Ubicación:	Ejemplo 4	Elaboró:	Ing. Ricardo Ramírez Pérez

18. Resistencia a desgarramiento del alma de la columna

Si $dFfu > dc/2$ utilizar:

$$\phi R_n = \phi 0.80 t_c \left[1 + 3 \left(\frac{d}{4t_c} \right) \left(\frac{t_w}{t_c} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{F_u A_g C_{98}}{e_c}}$$

Si $dFfu < dc/2$:

$$N/dc = 0.045 \quad N/dc < 0.2$$

Si $N/dc < 0.2$ utilizar:

$$\phi R_n = \phi 0.40 t_c \left[1 + 3 \left(\frac{d}{4t_c} \right) \left(\frac{t_w}{t_c} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{F_u A_g C_{98}}{e_c}}$$

Si $N/dc > 0.2$ utilizar:

$$\phi R_n = \phi 0.40 t_c \left[1 + \left(\frac{N}{dc} - 0.2 \right) \left(\frac{t_w}{t_c} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{F_u A_g C_{98}}{e_c}}$$

$$\phi R_n = 124.308 \text{ t}$$

$$F_{fu} = 183.350 \text{ t}$$

$F_{fu} > \phi R_n$ ∴ Requiere atiesadores de columna (placas de continuidad)

19. Resistencia de las placas de continuidad

$$\phi R_n 1 = 229.765 \text{ t}$$

$$\phi R_n 2 = 146.630 \text{ t}$$

$$\phi R_n 3 = 153.731 \text{ t}$$

$$\phi R_n 4 = 124.308 \text{ t}$$

$$\min \phi R_n = 124.308 \text{ t}$$

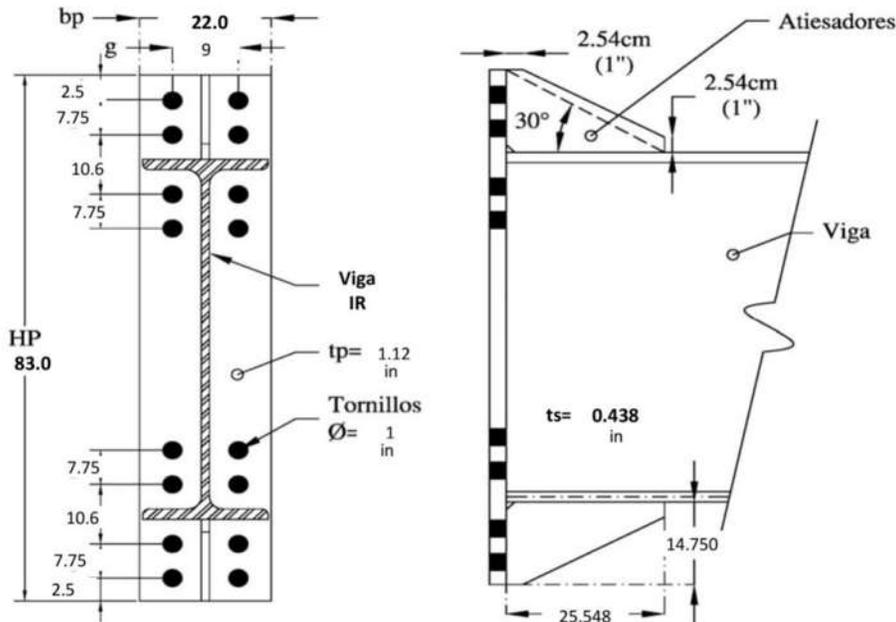
$$F_{su} = F_{fu} - \min \phi R_n$$

$$F_{su} = 59.042 \text{ t}$$

20. Diseñar placas de continuidad

Resumen: $b_p = 22.0 \text{ cm}$
 $H_p = 83.0 \text{ cm}$

$t_p = 1.125 \text{ in}$
 $d_b = 1 \text{ in}$



CAPITULO 6: CONCLUSIONES

Las placas de extremo resultan importantes puesto que sin ellas las conexiones rígidas en estructuras de acero tendrían que hacerse directamente de la viga a la columna, mediante soldaduras, ocasionando que no hubiera un elemento que pudiese tomar esfuerzos extraordinarios, como viento o carga sísmica, que vendrían a afectar de manera directa a los elementos estructurales principales.

Los modelos expuestos en esta tesis tienen un montaje bastante sencillo en cuanto se refiere a procedimiento constructivo, basta soldarlas apropiadamente al extremo de las vigas, preparar los agujeros en la columna, colocar y atornillar. Si bien pueden darse complicaciones de ajuste, las laminillas en forma de dedo resultan de bastante utilidad, además de sencillas de colocar, cuando se compara con, por ejemplo, alguna conexión soldada que requiera, aparte de las mismas laminillas, que un obrero esté soldando en obra a varios metros del piso.

Son conexiones que demandan mucha precisión en la preparación de la obra: es muy importante tener el cuidado de detallar minuciosamente la longitud de las vigas, para evitar las laminillas en lo posible, tener precisión al perforar los agujeros por los que pasaran los tornillos y tener en cuenta los factores climáticos, en especial la temperatura en el día del montaje, puesto que la dilatación térmica puede jugar una mala pasada si se corta la sección de la viga de una medida “demasiado” justa. Incluso con estas precauciones, podemos decir que tenemos un proceso previo al montaje de la estructura porque todos estos ajustes se hacen en el taller, a excepción, claro está, de inconvenientes que surjan en obra.

Hay que evitar, a toda costa, el utilizar agujeros de acceso para soldadura, debilitan al elemento perforado y, más importante, cambian patrones de fractura, lo cual hace que las condiciones para las que se están diseñando sean diferentes a las reales. Esto se puede evitar con los preparativos adecuados, si nos vemos en la necesidad de utilizar agujeros de acceso quiere decir que, o bien falló el dimensionamiento, o el procedimiento constructivo fue equivocado. Cuando se hace correctamente no hay necesidad alguna de soldar estas conexiones en obra.

Dentro de los numerosos estudios acerca del detallamiento de las placas de extremo, podemos decir que las contribuciones de los investigadores abarcan, de una manera muy general, experimentación con las placas de extremo, sometiéndolas a diferentes patrones de carga sísmica y variando la distribución de los tornillos en la placa de extremo; otras contribuciones incluyen cambios en el procedimiento de diseño que usaron para analizar las fuerzas actuantes en la conexión y consideraciones que simplificaban los procedimientos de diseño. Un ejemplo de estas simplificaciones es la reducción del número de comportamientos como placa, eliminando el comportamiento como placa intermedia y dejando solamente los comportamientos como gruesa y delgada.

En el campo de la investigación se tomaron diferentes filosofías de diseño en las que se le daba una mayor importancia a uno u otro miembro de la conexión, lo cual conlleva que algunas de los procedimientos de diseño se consideren como muy conservadores para alguno de sus miembros, al considerarlos como “débiles” y con esto exagerar las medidas de dichos elementos. Siendo un procedimiento experimental, resulta lógico que se hagan estas suposiciones hasta no tener los resultados. Nos damos cuenta entonces de que la filosofía del procedimiento de diseño presentado aquí es el de columna fuerte, conexión fuerte y viga débil, ya que se considera a la viga como la única que experimenta una deformación por flexión y en la que se crea una articulación plástica. Una evidencia más de este criterio de diseño es simplemente observar la configuración de los modelos 4ES y 8ES que consideran siempre atiesar el patín de la viga, mientras que la 4E podemos decir que es porque la viga no resultó ser tan débil ante las deformaciones que se le aplican.

Hay 4 elementos esenciales para diseñar las placas de extremo: el momento de diseño de la conexión, la resistencia de los tornillos, la de la placa y la resistencia a flexión de la columna. Estos se revisan a lo largo de los 20 pasos del procedimiento de diseño, aunados a una lista de estados límites en los que se determina si los miembros resisten las cargas aplicadas, si es necesario reforzarlos con atiesadores o si, cabalmente, se requiere cambiar la sección de los elementos conectados.

En el campo de las investigaciones, encontramos las llamadas líneas de fluencia, llamadas así porque son las guías por las cuales podría manejarse la deformación de la placa, por la cual fluyen. Hay 2 métodos para analizar éstas líneas: el del trabajo virtual y el del equilibrio. Para nuestro caso, estamos frente a un procedimiento de diseño en el que se utilizó el método del trabajo virtual que consiste, a grandes rasgos, en aplicar una deformación imaginaria a un sistema en equilibrio, producto de una fuerza adicional y asumiendo que el trabajo interno y el externo, ambos virtuales, serán iguales y el desplazamiento virtual sería igual a uno real en las condiciones calculadas.

Pasando al procedimiento de diseño en sí, observamos que lleva una secuencia fácil de seguir aunque, en ciertos pasos, puede volverse un poco tedioso y complicado el proponer las dimensiones que requerimos. Es por eso que se adjuntan las ayudas de diseño en este trabajo. De esta manera resulta muy eficaz el proponer medidas a la placa y obtener valores para las iteraciones que tengamos necesidad de hacer, sin tener que recurrir a empezar desde cero cada vez. Hay que tener cuidado al momento de proponer, particularmente, los espacios entre los tornillos: dimensiones muy pequeñas pueden ocasionar problemas para atornillar las conexiones mientras que muy grandes pueden aumentar de manera innecesaria el tamaño de la placa.

Comparemos ahora las placas diseñadas en los ejemplos 1, 2 y 4. La única diferencia entre estas placas era el modelo elegido (4E, 4ES y 8ES). Las dimensiones obtenidas fueron las siguientes:

- Placa 4E: 22x70cm, espesor de 1 ¼”, requiere atiesadores de columna, 8 tornillos en total de 1 ¼”
- Placa 4ES: 22x70cm, espesor de 1 ¼”, requiere atiesadores de columna, 8 tornillos en total de 1 ¼”
- Placa 8ES: 22x83cm, espesor de 1 1/8”. Requiere atiesadores de columna, 16 tornillos en total de 1”

Observamos que, aparentemente, no hay diferencia alguna entre los modelos 4E y 4ES, salvo la presencia de los atiesadores del patín de la viga. Las dimensiones son iguales. Al comparar la placa de estos modelos con la de 8 tornillos, vemos que la de esta última conexión es 13cm más larga pero, también, un poco más delgada. Esta variación en el grosor de la placa podría ser importante al momento de diseñar pues algunos espesores son más comerciales que otros.

Un punto importante a notar aquí es el diámetro de los tornillos de las conexiones ejemplificadas. Si bien los modelos 4E y 4ES requieren la mitad de los tornillos que la conexión 8ES, los de ésta son del muy comercial diámetro de 1” y, probablemente, más sencillos de conseguir y, al ser más livianos, también más baratos.

Sabemos que cualquiera de estas placas debería de satisfacer las condiciones para las que fueron diseñadas, es decir, podrían conectar correctamente una viga y una columna como las del ejemplo en cuestión pero ¿cuál de las placas de los 3 modelos resulta la más adecuada para utilizar en un caso real? Estructuralmente: cualquiera, económicamente: depende del proveedor, pero podemos aventurarnos a decir que lo más económico sería utilizar la placa del modelo 4E, comparte las mismas dimensiones que la 4ES pero no lleva atiesadores de patín para la viga, de lo que ya eliminamos el coste de 2 placas y no afectamos el espacio en que podemos construir con estos elementos verticales. El único inconveniente probable sería entonces el diámetro no tan común de los tornillos que utiliza.

Después de esta comparación de las placas diseñadas, podemos comprender por qué es la placa de modelo 4E la más utilizada de estas tres configuraciones de placa de extremo: es la más económica, la más sencilla y no interfiere en absoluto en la colocación de un sistema de piso sobre la viga.

Sin embargo, siempre será necesario definir cuál de las opciones resulta ser la más adecuada para cada caso, pues la placa 4E puede tener un par de ventajas en los aspectos económicos y de montaje sobre los otros modelos pero también es la que menos esfuerzos puede resistir. Bien se podría tratar de diseñar siempre para una placa del modelo 4E y, en dado caso que ese modelo nos arroje una placa muy grande o muy gruesa, probar a diseñar un modelos 4E5. De manera análoga, pasar el diseño a una placa 8E5 cuando los demás modelos resulten insuficientes. Por fortuna, junto con este escrito se presentan también unas ayudas de diseño que nos permitirán de una manera muy veloz diseñar los tres modelos para las conexiones requeridas y comparar ampliamente las posibilidades de cada una de las opciones que tenemos.

Si bien podrían utilizarse las ayudas de diseño para hacer un “catálogo” de conexiones con elementos que varíen de una a otra conexión, sería complicado encontrar las conexiones exactas para cada proyecto y dichas tablas no nos exentarían del hecho de tener que diseñar la conexión en turno. Sin embargo, podría hacerse como una guía de diseño para buscar un dimensionamiento adecuado en menos iteraciones. Este tipo de tablas las podemos encontrar en diversos manuales de la AISC y resultan interesantes, pero se puede diseñar perfectamente sin necesidad de usarlas.

Es necesario, siempre, saber el marco teórico de lo que se está calculando y no sólo sustituir fórmulas, ya sea se utilicen o no ayudas de diseño. En este caso resulta bastante importante pues estamos diseñando uno de los elementos que, sobre todo en construcciones de pocos niveles, se llegan a menospreciar de fea manera. Sabemos que las fallas en elementos de acero son súbitas y, por ejemplo, una falla por cortante en los tornillos de una conexión podría llevar abajo toda la estructura. Es deber del estructurista nunca hacer menos todos los elementos que atañen a la construcción.

BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Design Guide 4: Extended End-Plate Moment Connections Seismic and Wind Applications (Second Edition)
Autores: Thomas M. Murray, Ph.D., P.E. y Emmett A. Sumner, Ph.D., P.E.
- ❖ FEMA 350: Recommended Seismic Design Criteria for New Moment-Frame Buildings
Autor: Federal Emergency Management Agency
2002
- ❖ FEMA 353: Recommended specifications and Quality Assurance Guidelines for Steel Moment-Frame Construction for Seismic Applications
Autor: Federal Emergency Management Agency
- ❖ AISC 1999 LRFD Specification for Structural Steel Buildings
Autor: Cynthia J. Lanz
1999
- ❖ Manual of Steel Construction
Autor: American Institute of Steel Construction
2001
- ❖ Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges
Autor: American Institute of Steel Construction
2000
- ❖ Standard Specifications for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes and Sheet Piling
Autor: American Society for Testing and Materials
2001
- ❖ AWS Structural Welding Code
Autor: American Welding Society
2005
- ❖ Seismic Provisions for Structural Steel Buildings
Autor: American Institute of Steel Construction
2005
- ❖ Normas Técnicas Complementarias del RCDF
Autor: Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal

- ❖ Design Guide 13 Wide-Flange Column Stiffening at Moment Connections – Wind and Seismic Applications
Autor: Charles J. Carter, PE. American Institute of Steel Construction
Chicago, IL
2003

- ❖ AISC/MBMA Design Guide 16 Flush and Extended Multiple-Row Moment End-Plate Connections
Autores: Thomas M. Murray, PE., Ph.D. y W. Lee Shoemaker, PE., Ph.D.