

USE OF BOLTED FLANGE PLATE CONNECTION

R. Aguiar ^(1,2), J.C. Vielma ⁽³⁾, C. Abella ⁽⁴⁾, G. Pannillo ⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Av. General Rumiñahui s/n Valle de los Chillos, Ecuador. rraguiar@espe.edu.ec

⁽²⁾ Facultad de Ingeniería. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta Ecuador.

⁽³⁾ Escuela de Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile
juan.vielma@pucv.cl

⁽⁴⁾ Ingeniería Civil en Obras Cíviles, Universidad Católica de Temuco. Temuco, Chile
abellacarlos@yahoo.com

⁽⁵⁾ Departamento de Ingeniería Estructural. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, UCLA-CIMNE joint lab, Barquisimeto, Venezuela gino.pannillo@ucla.edu.ve

Received: July 2018. Accepted: September 2018

ABSTRACT

As the theoretical framework of the BFP Bolted Flange Plate pre-qualified connection is better known, it will be better designed. Consequently, in this paper it is presented in some detail this connection type, summarized in 17 steps. The design of this connection is recommended for steel buildings designed for areas with high seismic hazard.

The theoretical framework is complemented with the development of a numerical example and finally several practical recommendations on the BFP connection are made.

Keywords: BFP pre-qualified connection, steel structure

USO DE CONEXIÓN PLACAS APERNADAS AL ALA Y AL ALMA BFP

RESUMEN

En la medida que más se conozca el marco teórico de la conexión precalificada BFP Bolted Flange Plate se diseñará de mejor forma, razón por la cual en este artículo se presenta con cierto detalle, en 17 pasos, el diseño de esta conexión que es muy adecuada para zonas de alta peligrosidad sísmica.

El marco teórico se complementa con el desarrollo de un ejemplo numérico y finalmente se realizan varias recomendaciones prácticas sobre la conexión BFP.

Palabras Claves: Conexión Precalificada BFP; Estructura de acero.

1. INTRODUCCIÓN

En el terremoto de 2016 de Pedernales ($M=7.8$) quedó de manifiesto la bondad de la conexión BFP por sus siglas en inglés **Bolted Flange Plate**, que presentó muy buen comportamiento en el Edificio de la Unidad de Vigilancia Comunitaria UVC de la ciudad de Manta, a pesar de que, estrictamente, no fue diseñada siguiendo todo lo estipulado por el AISC 358-16.



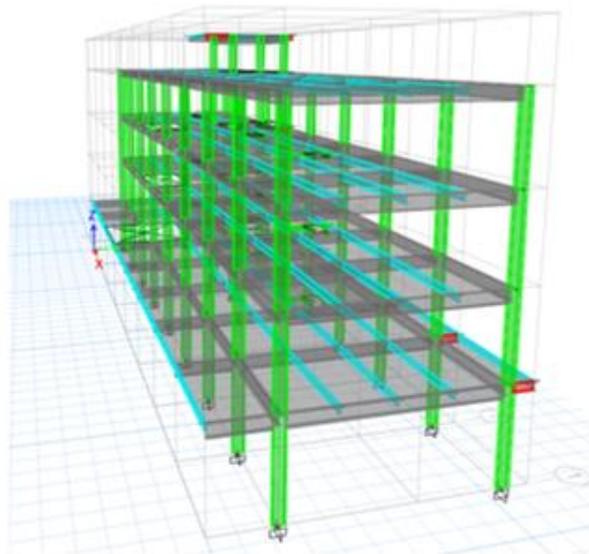
(a)



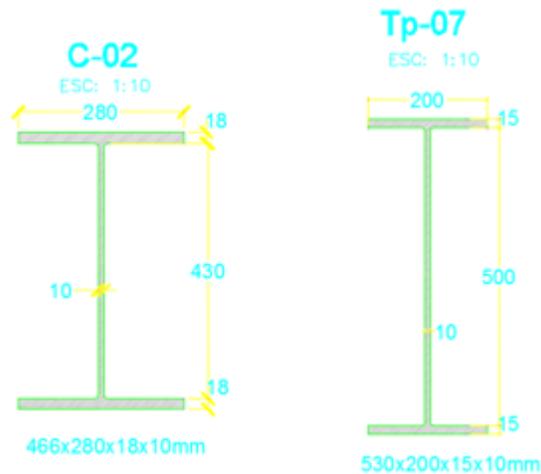
(b)

Figura 1 Conexión BFP en la Unidad de Vigilancia Comunitaria de Manta; a) Detalle en que se observa que la viga no llega al nudo, hay una separación de 2 mm; b) vista de la placa horizontal que tiene menos ancho que la viga, también se observa la placa colaborante Deck. Fuente: Aguiar *et al.* (2016)

Es importante analizar esta conexión, que tuvo un buen comportamiento durante el terremoto de 2016 ($M=7.8$). Para el efecto se empieza indicando que se construyeron columnas de acero HEA, que luego fueron recubiertas con hormigón, para dar la apariencia de que la estructura es de hormigón armado, por eso en la fotografía de la figura 1 a, se ve las huellas del hormigón que ha sido retirado en la rehabilitación.



(a)



(b)

Figura 2 a) Estructura de acero de UVC de Manta; b) Sección tipo de columna y viga de acero A572. Fuente: Aguiar *et al.* (2016)

La estructura, ver figura 2 a, es de acero A572 de grado 50, con perfiles tipo "I" para las vigas y tipo "H" para las columnas. En las vigas la sección

transversal es de 530/200/15/10 mm, y las columnas de 466/280/18/10; en la figura 2 b, se indican las secciones transversales que se ha identificado como TP-07 para la viga y C-02 para la columna.

En sentido transversal la luz es de 9.0 m, y en sentido longitudinal las luces son de 5.0 m. En la figura 2 a, se observa que en la planta baja se tienen vigas en voladizo en los dos sentidos. En la parte inferior de estas vigas se construyó paredes de bloque sin elementos confinantes y como era de esperarse tuvieron demasiado daño. Aguiar *et al.* (2016)

El objetivo de este artículo no es analizar el daño de la estructura de la UVC durante el terremoto de 2016, sino hacer comentarios a los elementos utilizados en la conexión BFP, para esto se debe indicar que la placa horizontal de la conexión es de 16 mm, de espesor y se emplearon pernos A 490 de 25 mm, de diámetro y 75 mm, de longitud; en cambio en la placa vertical el espesor de la placa es de 10 mm, con pernos A325 de 19 mm, de diámetro y 50 mm, de longitud, el ancho de la placa vertical es de 13 cm. En la figura 1, se observa el número de pernos utilizados. A continuación se indican algunos comentarios a la conexión de BFP de la UVC de Manta.

- El ancho de la placa horizontal es menor que el ancho del perfil de la viga; esto está correcto; se puede permitir que sean de igual tamaño. Lo que está insuficiente es el espesor de la placa horizontal de 16 mm, para una viga con dimensiones similares a una IPE 500. El espesor depende de la geometría del perfil de la viga y de la luz, básicamente; en el ejemplo numérico que se realiza posteriormente con una viga IPE 400 con una luz menor se ve que el espesor de la placa horizontal es 30 mm.
- El número de pernos empleados para la conexión parece ser el adecuado.
- Tienen placa de continuidad del mismo espesor que el de la placa horizontal, esto está correcto considerando el comentario del espesor de la placa horizontal ya realizado.

Para terminar con el análisis de las conexiones BFP de la UVC se indica que a pesar de que no cumplí con todo lo indicado por el AISC 358 16 (espesor de placa horizontal) la conexión presentó muy buen comportamiento durante el terremoto de 2016.

Ahora en forma muy rápida se presenta estas conexiones utilizadas en la construcción de los nuevos Centros de Investigación y de Post Grado de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, para ello en la fotografía izquierda de la figura 3, se aprecia como llegaron las columnas cuadradas tubulares con las placas horizontales y verticales, de la conexión, que están conectadas por soldadura de penetración completa al perfil de la columna. En la fotografía de la derecha se observa una columna en la cual se colocará un perfil IPE 550; lo que se hace en obra es colocar los pernos. Aguiar (2017).

El avance de una construcción de acero es muy rápido y más limpio que en una construcción de hormigón. Lo que demanda más tiempo es en el dibujo de los planos estructurales, debido a la gran cantidad de detalles que se tienen.



Figura 3 Placas Horizontales y vertical que van con soldadura de penetración completa al perfil de la columna.

En lo que sigue, se indica la geometría de las placas y pernos utilizados en la construcción de la ESPE, con un ligero comentario.

- Las placas horizontales: superior e inferior son del mismo tamaño y tienen un ancho de 279 mm, y un espesor de 25 mm. Este espesor es adecuado en el Ejemplo que se realiza posteriormente el espesor de la placa es de 30 mm, pero el ancho de la placa es de 180 mm.
- Se utilizaron 10 pernos A325 de 7/8" de diámetro y 3 ½" de longitud, para la placa horizontal.
- El espesor de la placa vertical es de 12 mm, tiene un ancho de 12 mm, y se emplearon 5 pernos de 7/8" de diámetro y 2 ¼" de longitud.

2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

La conexión BFP es una conexión precalificada del ANSI/AISC 358-16, de tal manera que constituye una garantía su utilización. A continuación se indica en forma resumida el procedimiento de cálculo de esta conexión. Vielma (2017), Abella C., Pannillo (2017), Briceño (2012).

- 1) Se determina el Momento Máximo de la rótula plástica M_{pr} en la viga

$$C_{pr} = \frac{F_{yb} + F_{ub}}{2 F_{yb}} \leq 1.2$$

$$M_{pr} = C_{pr} R_{yb} Z_x F_{yb}$$

Donde: F_{yb} ; F_{ub} son el esfuerzo de fluencia del acero de la viga y el esfuerzo último del acero de la viga; R_{yb} es la relación de esfuerzos cedentes de la viga ($R_{yb} = 1.5$) de acuerdo a AISC 341-10 Tabla A3.1; Z_x es el módulo plástico de la sección. En definitiva M_{pr} es la capacidad a flexión que tiene la viga, en base a esta capacidad se determina posteriormente el cortante, de tal manera que se desea que la falla sea por flexión en lugar de corte.

- 2) Calcular el máximo diámetro del perno, d_b para prevenir la ruptura por tensión del ala de la viga. Para agujeros estándar con dos filas se tiene:

$$d_b \leq \frac{b_{bf}}{2} \left(1 - \frac{R_{yb} F_{yb}}{R_{tb} F_{ub}} \right) - 3 \text{ mm} \left(\frac{1}{8} \text{ pulg} \right)$$

Las variables todavía no definidas son: b_{bf} es el ancho del ala de la viga; R_{tb} es la relación de esfuerzos a tracción del acero utilizado en la viga ($R_{tb} = 1.2$) de acuerdo a AISC 341-10 Tabla 1. Para un acero A36 $F_{yb} = 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$; $F_{ub} = 4080 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$. Al reemplazar estos valores el máximo diámetro del perno a utilizar es:

$$d_b \leq 0.19 b_{bf} - 3 \text{ mm}$$

En forma aproximada y para tenerlo presente se puede decir que para acero A36, el diámetro máximo de los pernos es $d_b \leq 0.2 b_{bf}$
Una vez que se selecciona el diámetro del perno a utilizar, se debe verificar que la distancia entre el perno y el borde, que se denomina L_c sea mayor a la indicada en la Tabla 1. Se destaca que si se trabaja con distancias mínimas se tendrá una placa de longitud pequeña donde puede fallar por desgarramiento al estar los pernos tan unidos.

Tabla 1 Distancia mínima de espaciamiento entre el perno y un borde L_c .
Fuente: AISC 358-10

Diámetro del perno		Distancia mínima	
16 (mm)	½ (pulg)	22 (mm)	¾ (pulg)
20	5/8	26	7/8
22	¾	28	1
24	7/8	30	1 1/8
27	1	34	1 ¼
30	1 1/8	38	1 ½
36	1 ¼	46	1 5/8
>36	> 1 1/4	1.25 d	1 ¼ d

- 3) Determinación de las dimensiones de las placas horizontales (Tentativo). Por lo tanto se debe asumir un grosor de la placa t_p , estimar el ancho b_{fp} teniendo en cuenta el ancho del ala, el diámetro de los pernos y la distancia a los bordes L_c . El largo de la placa se encuentra en función del número de pernos que se necesita. En este punto también **se determina el cortante**

nominal por perno r_n considerando la falla por cortante y aplastamiento, como el menor valor que se halla de las tres siguientes ecuaciones

$$r_n = \text{menor} \left\{ \begin{array}{l} 1.0 F_{nv} A_b \\ 2.4 F_{ub} d_b t_{bf} \\ 2.4 F_{up} d_b t_p \end{array} \right\}$$

Donde A_b es el área nominal del perno sin la parte enroscada en mm^2 ; F_{nv} es la resistencia nominal al cortante del perno en $\frac{kg}{mm^2}$; F_{ub} es el esfuerzo de ruptura del acero de la viga en $\frac{kg}{mm^2}$; d_b es el diámetro del perno en mm ; t_{bf} es el espesor del ala del perfil de la viga en mm ; F_{up} es el esfuerzo de ruptura del acero de la placa horizontal en $\frac{kg}{mm^2}$; t_p es el espesor de la placa horizontal en mm . El valor de r_n se halla en kgf desde un punto riguroso es kgf .

- 4) Determinación del número de pernos en las placas horizontales (Tentativo)

$$n \geq \frac{1.25 M_{pr}}{\phi_n r_n (d + t_p)}; \quad \phi_n = 0.9$$

Se recuerda que M_{pr} se determinó en el paso 1, r_n en el paso 3, d es la altura de la viga; t_p es el espesor de la placa horizontal.

- 5) Se halla la localización de la rótula plástica S_h

$$S_h = S_1 + s \left(\frac{n}{2} - 1 \right)$$

Siendo S el espaciamiento entre pernos; S_1 es la distancia del primer perno al borde del ala de la columna; n es el número de pernos en la placa horizontal. La figura 4, ayuda a entender la ecuación; en esta gráfica S_0 es la distancia libre entre la columna y la viga; S_2 es la distancia al borde del ala de viga y la plancha (placa) del ala. La longitud de la placa horizontal L_p se puede estimar en función de S_h más la distancia al borde y una cierta holgura.

El análisis se realiza considerando dos filas de pernos en la placa horizontal identificada en la figura 4, como plancha del ala.

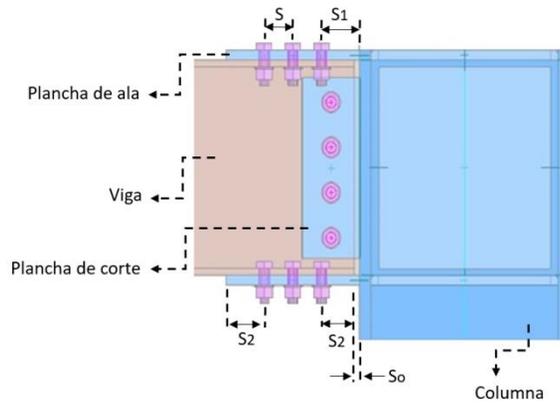


Figura 4 Nomenclatura utilizada para la separación de pernos

- 6) Se encuentra el cortante último V_h en la rótula plástica, en cada extremo.

$$V_h = \frac{W_u * L_h}{2} + \frac{2 * M_{pr}}{L_h}$$

$$L_h = L - 2 * S_h$$

Donde W_u es la carga uniforme por unidad de longitud, que gravita sobre la viga debido a los estados de carga que se consideran. L es la luz libre; L_h es la distancia entre rotulas plásticas; M_{pr} fue encontrado en paso 1. Con esta ecuación se espera que primero se de la falla de flexión que es dúctil.

- 7) Se obtiene el momento esperado en el cara de la columna M_f

$$M_f = M_{pr} + V_h S_h$$

Antes de continuar, vale la pena hace un comentario al procedimiento decálculo del AISC para la conexión BFP. El momento plástico es igual al producto del módulo plástico de la sección Z_x por la fluencia del acero F_{yb} . Pero se evalúa $M_{pr} = C_{pr} R_{yb} Z_x F_{yb}$, de tal manera que M_{pr} es un valor bastante alto y ahora el momento en la cara de la columna M_f , es un valor más grande, de tal manera que el AISC es bastante riguroso en el cálculo de la conexión BFP.

- 8) Fuerzas en el ala F_{pr} bajo la acción del momento M_f

En la figura 5, se resume en forma gráfica los pasos dados con los cuales se halla las fuerzas de corte en el ala F_{pr} , a partir de la ubicación de la rótula plástica s_h . Luego se determina el cortante V_h considerando que la viga va a alcanzar su máxima capacidad a flexión M_{pr} . Con esto se determina el momento en la rótula plástica M_f , que dan origen a la determinación de la fuerza en el ala F_{pr} con la siguiente ecuación.

$$F_{pr} = \frac{M_f}{(d + t_p)}$$

Se recuerda que d es la altura del perfil IPE y t_p es el ancho de la placa horizontal.

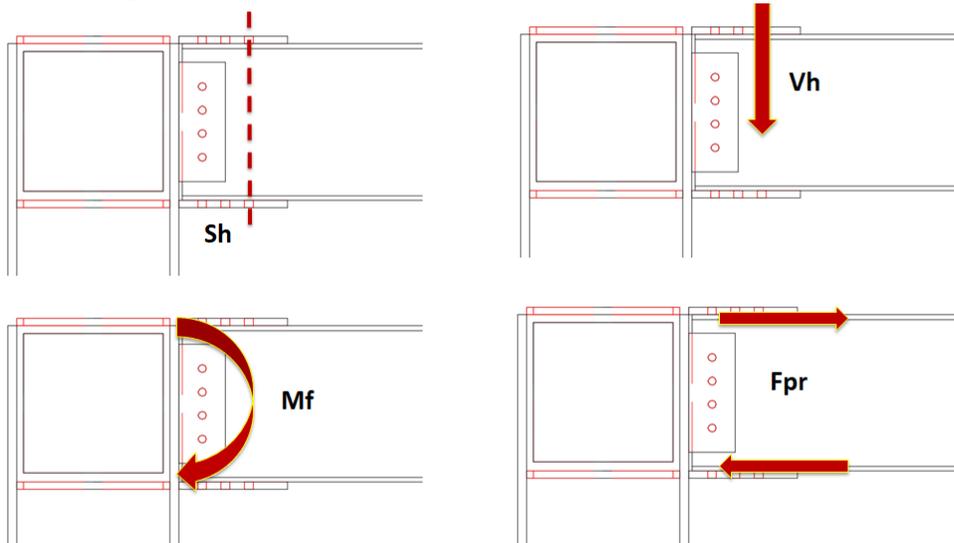


Figura 5 Pasos para calcular las fuerzas de corte en el ala F_{pr}

- 9) Confirmación que el número de pernos del Paso 4, es el adecuado.

$$n = \frac{F_{pr}}{\phi_n r_n}; \quad \phi_n = 0.9$$

- 10) Verificación que el espesor de la placa que en el Paso 3, era tentativo sea el adecuado.

$$t_p = \frac{F_{pr}}{\phi_d F_y b_{fp}}; \quad \phi_d = 1.0$$

Recordando b_{fp} es el ancho de la placa horizontal de acero.

- 11) Verificación de que la placa horizontal no falle por ruptura por tensión.

$$A_e = [b_{fp} - 2 * (d_b + 1)] * t_p \leq 0.85 * b_{fp} * t_p$$

$$R_n = F_{up} * A_e$$

$$F_{pr} \leq \phi_n R_n; \quad \phi_n = 0.75$$

Donde: d_b es el diámetro de perno; F_{up} esfuerzo último de acero de placa

12) Verificación por bloque de cortante

Se verifica si se va a producir desgarramiento de una porción del elemento conectado. Para su evaluación se asume que en los planos de falla se produce una fractura a tensión y fluencia al cortante y viceversa. En base a este estudio se debe optimizar la distancia entre los pernos y la distancia al borde, de tal manera que la resistencia al bloque de cortante depende de los planos de falla que pueden presentarse, ver figura 6

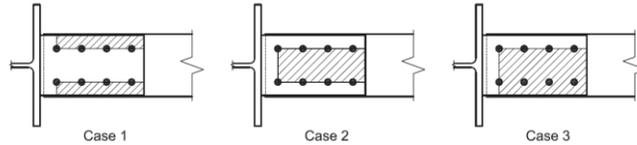


Figura 6 Posibles planos de falla en la verificación al Bloque de cortante

- Fluencia a cortante y fractura a tensión

$$R_n = 0.6 F_y A_{gv} + F_u A_{nt}$$

- Fluencia a tensión y fractura a cortante

$$R_n = 0.6 F_u A_{nv} + F_y A_{gt}$$

El valor de R_n es el menor valor que se halla con las dos ecuaciones. Por lo que también se expresa de la siguiente manera.

$$R_n = 0.6 F_u A_{nv} + F_y A_{gt} \leq 0.6 F_y A_{gv} + F_u A_{nt}$$

Donde: A_{nv} es el área neta de cortante, que depende del plano de falla, se debe trabajar con el menor valor de los tres casos indicados en la figura 6; A_{gv} es el área gruesa de corte; A_{nt} es el área neta a tracción.

$$A_{nt} = b_{fp} * t_p$$

$$A_{gv} = L_p * t_p$$

El valor de A_{nv} depende de la longitud de la placa L_p ; de la distancia S_1 ; de la distancia L_c (que son función de los tres planos de falla) y depende de la altura de la placa t_p . Finalmente se debe verificar:

$$F_{pr} \leq \phi_n R_n; \quad \phi_n = 0.75$$

13) Verificación de la Placa bajo estado límite de pandeo a compresión.

Se debe verificar que $\frac{KL}{r} \leq 25$. Si no lo es se debe incrementar las dimensiones de la placa.

$$KL = 0.65 S_1$$

$$r = \frac{t_p}{\sqrt{12}}$$

$$R_n = F_{yp} A_g = F_{yp} b_{fp} t_p$$

$$F_{pr} \leq \phi_n R_n$$

Se recuerda que S_1 es la distancia al primer perno; F_{yp} es el límite de fluencia del acero de la placa horizontal; b_{fp} es el ancho de la placa; t_p es el espesor de la placa; F_{pr} es la fuerza lateral que actúa en la placa.

- 14) Se determina el V_u requerido para la viga y el de la conexión entre el alma de la viga y la columna. Este cortante deberá ser menor que la capacidad $\phi_v V_n$

$$V_u = \frac{2 M_{pr}}{L_h} + \frac{W_u L_h}{2}$$

$$V_u \leq \phi_v V_n$$

Para calcular la capacidad a corte nominal V_n se debe verificar que:

$$\frac{h}{t} \leq \frac{418}{\sqrt{F_{yb}}}; \quad \frac{h}{t} = \frac{d - 2t_{bf}}{t_{bw}}$$

Nótese que la relación h/t es función de la altura del perfil IPE denominada d , del espesor del ala t_{bf} y del espesor del alma t_{bw} .

Si:

$$\frac{h}{t} \leq \frac{418}{\sqrt{F_{yb}}} \quad \rightarrow V_n = 0.6 F_{yb} A_w$$

$$\frac{418}{\sqrt{F_{yb}}} < \frac{h}{t} \leq \frac{523}{\sqrt{F_{yb}}} \quad \rightarrow V_n = \frac{0.6 F_{yb} A_w * 418 h * t_{bw}}{\sqrt{F_{yb}}}$$

$$\frac{523}{\sqrt{F_{yb}}} < \frac{h}{t} \leq 260 \quad \rightarrow V_n = \frac{13200 A_w}{(h t_{bw})^2}$$

$$A_w = (d - 2 * t_{bf}) * t_{bw}$$

Se deberá tener cuidado con las unidades para encontrar con que ecuación se halla el cortante nominal, se trabaja con unidades imperiales.

- 15) Diseño de la conexión simple a corte.

En la tabla 2, se indican todos los controles que se deben realizar con el cortante último V_u hallado en el Paso 14

Tabla 2 Estados límites para la conexión apernada entre el alma de la viga y el ala de la columna: Fuente: Briceño (2012) y Abella y Panillo (2017)

Estados Límites	Ecuación
Resistencia cortante de perno	$R_n = n_v F_{nv} A_b$ $\phi R_n > V_u; \quad \phi = 1$
Aplastamiento del agujero (Ver Nota 1)	$R_n = \min(1.2 L_c t_{ps} F_{up}; 2.4 d_{bw} t_{ps} F_{up})$ $\phi R_n > V_u; \quad \phi = 0.75$
Plastificación por corte en: <ul style="list-style-type: none"> • Placa vertical • Alma de la viga 	$R_n = 0.6 F_{yb} * A_{gplaca} = 0.6 F_{yb} L_p t_{ps}$ $R_n = 0.6 F_{yb} * A_{galma} = 0.6 F_{yb} (d - 2t_{bf}) t_{bw}$ $\phi R_n > V_u; \quad \phi = 1$
Ruptura de placa	$R_n = 0.6 * F_{ub} * A_{nv}$ $A_{nv} = A_{gplaca} - n_v d_{hw} t_{ps}$ $\phi R_n > V_u; \quad \phi = 0.75$
Bloque de Corte en placa vertical	$R_n = 0.6 F_{ub} A_{nv} + F_{ub} A_{nt} \leq 0.6 F_{yb} A_{gv} + F_{ub} A_{nt}$ $N_{tw} = L_{eh} - \frac{d_{hw}}{2} \rightarrow A_{nt} = N_{tw} * t_{ps}$ $N_{sl} = L_c + L'_c (n_v + 1) \rightarrow A_{nv} = N_{sl} * t_{ps}$ $N_{gl} = d_e + s_p (n_v - 1) \rightarrow A_{gv} = N_{gl} * t_{ps}$ $\phi R_n > V_u; \quad \phi = 0.75$
Bloque de corte en alma de viga	Las ecuaciones son las mismas de Bloque de Corte en placa vertical cambia t_{ps} por t_{bw} $\phi R_n > V_u; \quad \phi = 0.75$
<p>Donde: n_v es el número de pernos en la placa vertical; F_{nv} es la resistencia al corte de los pernos; A_b es el área de cada perno; L_c es la distancia del orificio al borde o la distancia entre orificios; t_{ps} es el espesor de la placa vertical; F_{up} es el esfuerzo último del acero de la placa; d_{bw} es el diámetro del perno en la placa vertical; L_p es la longitud de la placa vertical; t_{bf}, t_{bw}, espesor del ala y alma de IPE; F_{yb}, F_{ub} es la fluencia y esfuerzo último de acero de placa; d_{hw} es el diámetro del perno; L_{eh} es la longitud horizontal al borde, desde un perno; N_{tw} es el ancho neto a tracción; N_{sl} es la longitud neta al corte; N_{gl} es la longitud gruesa al corte; d_e es la distancia mínima al borde; s_p es la separación entre pernos; L_c es distancia del orificio al borde; L'_c es la distancia entre orificios</p>	
<p>Nota 1.- La ecuación indicada de R_n reporta la resistencia de un solo perno, debe evaluarse por separado un perno interior y un perno exterior. La resistencia total es la suma de la resistencia de cada perno.</p>	

La figura 7, es un complemento a la nomenclatura utilizada en la figura 4 y que ayudan a entender en forma gráfica el significado de algunas variables que aparecen en la tabla 2 y en el desarrollo del artículo, por esto a continuación se indica su significado a pesar de que en algunos casos ya se lo había indicado; b_{fp} es el ancho de la placa; g es el gramil, distancia comprendida entre centros de pernos de la misma fila; L_{eh} es la distancia desde el centro del perno al borde de la placa en dirección horizontal; L_{ev} es la distancia desde el centro del perno al borde de la placa en dirección vertical; L_c es la distancia libre entre el borde de la

perforación considerada y el borde de la perforación adyacente o el borde del material.

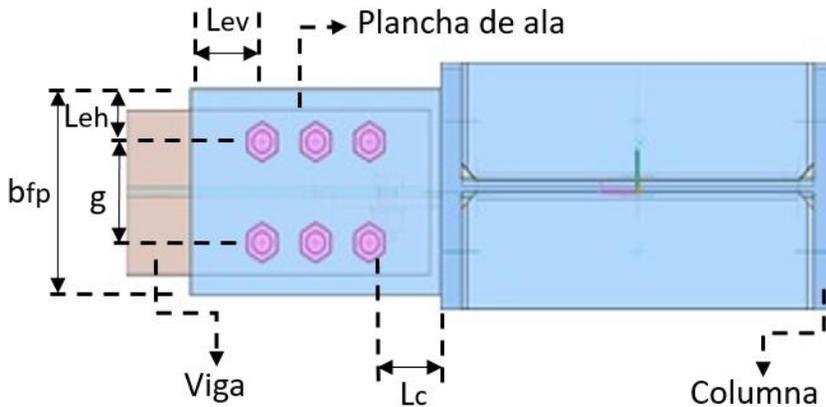


Figura 7 Nomenclatura utilizada para la conexión BFP.

16) Diseño de placas de continuidad.- Se debe realizar dos controles, uno en la zona a compresión y otro en la zona a tracción.

- **Zona a Compresión**

$$T_{uf} = \frac{M_u}{d + t_p} + \frac{N_u}{2}$$

Donde: M_u, N_u , son el momento y carga axial que se transmiten al ala de la columna; d es la altura de la viga IPE; t_p es el espesor de la placa horizontal; T_{uf} es la fuerza a compresión en placa superior. Ahora bien se debe verificar si esta fuerza es mayor que la fuerza de plastificación del alma B_{ry} o la fuerza de pandeo del alma. Si es mayor se requiere armadura de continuidad en la zona de compresión

- Fuerza de Plastificación del alma B_{ry}

$$B_{ry} = 0.8 t_{cw} * (t_{bf} + 10 * t_{cf}) * F_{yc}$$

Donde: t_{cw}, t_{cf} , espesor del alma y ala de la columna; t_{bf} espesor del ala de la viga; F_{yc} es el límite de fluencia del acero de columna.

- Fuerza de Pandeo del alma B'_{ry}

$$B'_{ry} = 1.45 * 0.8 * t_{cw}^2 * \sqrt{F_{yc} * 200}$$

Finalmente:

$$B_r = \text{menor} (B_{ry}, B'_{ry})$$

Si $B_r > T_{uf}$ no se requiere placa de continuidad en la zona de Compresión.

- **Zona a Tracción**

- Fuerza de tracción en el ala T_r

$$T_r = 7 * 0.9 * t_{cf}^2 * F_{yc}$$

- Fuerza de diseño de una placa P_s

$$P_s = \frac{\text{mayor}(T_{uf} - B_r; T_{uf} - T_r)}{2}$$

- **Diseño de placas de continuidad**

- Ancho de placa tomando en cuenta dimensiones del ala de columna

$$b_{s1} = 0.5 * (b_{cf} - t_{cw})$$

- Ancho de placa tomando en cuenta dimensiones del ala de viga

$$b_{s2} = 0.5 * (b_{bf} - t_{cw})$$

Donde b_{cf} , b_{bf} , son el ancho de los perfiles de columna y viga.

$$b_s = \text{menor}(b_{s1}, b_{s2})$$

- Ancho útil de placa b'_s

$$b'_s = b_s + \frac{t_{cw}}{2} - r_c$$

Siendo r_c el radio de esquina del perfil.

- Espesor de la placa por plastificación t_{s1}

$$t_{s1} = \frac{P_s}{0.9 b'_s F_{yp}}$$

- Espesor de la placa por crippling t_{s2}

$$t_{s2} = b_s \frac{\sqrt{F_{yp}}}{188}$$

Donde F_{yp} es el límite de fluencia de la placa. Finalmente t_s es el mayor valor de t_{s1} y t_{s2} .

Para verificar si se requiere o no placas de continuidad, el código establece la siguiente ecuación en función del espesor del ala de la columna:

$$t_{cf} \geq \max \left\{ 0.4 \sqrt{1.8 b_{bf} t_{bf} \frac{R_{yb} F_{yb}}{R_{yc} F_{yc}}}; \frac{b_{bf}}{6} \right\}$$

Es conveniente y práctico que el espesor de la placa de continuidad sea el mismo que el espesor de la placa horizontal.

- 17) Verificación de la zona de panel.- Normalmente a una columna llegan dos vigas, las mismas que transmiten momentos a la conexión que a su vez se convierten en fuerzas horizontales como las indicadas en la figura 8. Ahora bien se debe verificar si en el panel que se forma entre las alas de la viga y las placas de continuidad no se requirieren placas horizontales para soportar las fuerzas horizontales que se observan en la figura 8.



Figura 8 Fuerzas horizontales que se transmiten

Las fuerzas horizontales que llegan al nudo es función de la capacidad de momento de las vigas que concurren al nudo. En el ejemplo que se indica en el siguiente numeral se explica más sobre este tema.

Como se podrá apreciar no es nada fácil diseñar una conexión BFP, por lo que se requiere un programa de ordenador, para su diseño. En el presente estudio se utilizó el desarrollado por Vielma *et al.* (2017).

3 UN CASO DE APLICACIÓN

En una estructura, se tiene una columna esquinera HEA-400, a la que llega una viga IPE-400. Se desea diseñar la conexión BFP que se indica en la figura 9. Las placas horizontales que vienen soldadas a la columna son de 360/180/30 mm, el ancho de la placa se ha considerado igual al ancho del perfil IPE-400, el largo de 360 mm, tiene que ver con la cantidad de pernos A490 de 7/8" por 3 1/2" que se utilizan en cada placa se tiene 2 filas, con 5 pernos cada

una, dando un total de 10 pernos en cada placa. La placa vertical es de 300/130/15 mm y va con 5 pernos A490 de 7/8" por 2 1/4".

Por otra parte, las placas de continuidad, al igual que la viga IPE-400 y la columna HEA-400 son de acero A36. El ancho de la placa de continuidad es de 90 mm, (la mitad del ancho del perfil IPE-400 y menor a la mitad del ancho del perfil HEA, la longitud es de 352 mm (dimensión de la columna menos dos veces el espesor del ala) y 30 mm de espesor que es el mismo que el de la placa horizontal. En la figura 9, se ha acotado la distancia S_h donde se produce la rótula plástica.

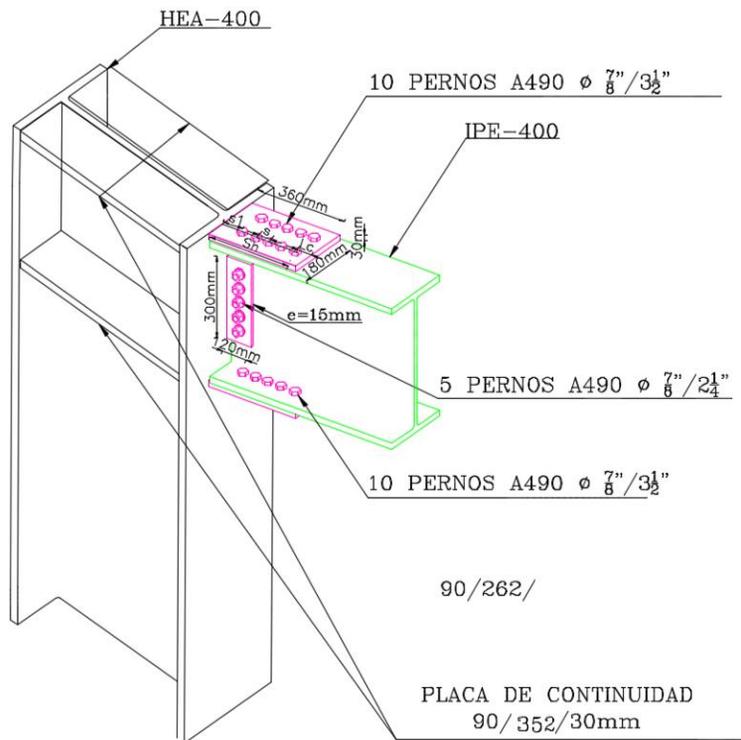


Figura 9 Conexión BFP entre una columna HEA-400 y una viga IPE-400.

- **Propiedades de viga IPE-400**

Perfil utilizado:		IPE-400
Altura de la viga:	d=	400 mm
Ancho de la viga:	b_{bf} =	180 mm
Espesor del alma:	t_{bw} =	8,6 mm
Espesor del ala:	t_{bf} =	13,5 mm
Peso de la viga:	w_b =	66,3 kgf/m
Modulo de seccion:	Z_x =	1310,00 cm ³
Radio de esquina:	r_b =	21,0 mm

• **Perfil de columna HEA-400**

Perfil utilizado:		HEB-400
Altura de la columna:	$d_c=$	400 mm
Ancho de la columna	$b_{cf}=$	300 mm
Espesor del alma:	$t_{cw}=$	13,5 mm
Espesor del ala:	$t_{cf}=$	24 mm
Modulo de seccion:	$Z_{xc}=$	3125,38 cm ³
Radio de esquina:	$r_c=$	27,0 mm
Tope ala de viga-Tope de columna	$S_o=$	0,00 mm

• **Propiedades de Placa Horizontal**

Espesor de la Placa:	$t_p=$	30 mm
Ancho de la Placa:	$b_p=$	180 mm
Gramil:	$g=$	80 mm
Distancia entre pernos internos al ala:	$P_{fi}=$	50 mm
Distancia Pernos-Ala de viga:	$P_{fo}=$	50 mm
Distacia Perno-Borde Placa:	$d_e=$	50 mm
Diámetro de Perno	$d_b=$	24 mm
Número de Pernos en dos filas	$n=$	10

• **Propiedades de Placa Vertical**

Número de pernos en placa vertical	$n=$	5
Diámetro de cada perno	$d_b=$	24 mm
Espesor de placa	$t_p=$	15 mm
Distancia desde al borde de un perno	$L_{eh}=$	40 mm

• **Acero utilizado en Viga, Columna, Placa Horizontal y Vertical**

Tipo de acero:		ASTM A36
Esfuerzo de fluencia del acero:	$F_{yb}=$	2530 kgf/cm²
Esfuerzo ultimo del acero:	$F_{ub}=$	4080 kgf/cm²
Relacion de esfuerzos cedentes:	$R_y=$	1,20
Relacion de esfuerzos tracción:	$R_t=$	1,20 AISC 341-10

• **Propiedades de los Pernos utilizados**

Tipo de perno:		ASTM A490 (CR)
Capacidad nominal a traccion:	$F_{nt}=$	7940 kgf/cm²
Capacidad nominal a corte:	$F_{nv}=$	4220 kgf/cm²

Los pernos son de alta resistencia A490, cuyas propiedades han sido indicadas, si se usa pernos A325 la capacidad nominal a tracción y corte son menores y se debe incrementar el número de pernos.

- **Propiedades de la Placa de continuidad**

Considerar Placa de continuidad en el diseño:		SI
Espesor del rigidizador:	$t_{cp} =$	30 mm
Tipo de acero:		ASTM A36
Esfuerzo de fluencia del acero:	$F_{ycp} =$	2530 kgf/cm²
Esfuerzo ultimo del acero:	$F_{ucp} =$	4080 kgf/cm²

- **Propiedades de la soldadura**

Tipo de electrodo:		E70XX
Capacidad nominal a traccion:	$F_{EXX} =$	4920 kgf/cm²
Tipo de soldadura:		
Ala de la viga a la Placa (CJP):		13,5 mm
Ala de la viga a la Placa (Filete):		8 mm
Alma de la viga a la Placa (Filete):		8 mm

A continuación se presenta en forma resumida los resultados de acuerdo al procedimiento de cálculo indicado, razón por la cual se utilizan los mismos numerales.

1. Momento máximo M_{pr} , trabajando con $R_{yb} = 1.2$ El AISC 341-10 recomienda que se trabaje con $R_{yb} = 1.5$, que se considera muy alto para los aceros que se comercializan en Ecuador.

$$M_{pr} = C_{pr} R_{yb} Z_x F_{yb} = 47726 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

2. Máximo diámetro del perno es $d_b = 31 \text{ mm}$ Se decide trabajar con pernos de 7/8 " (24 mm) para que tengan una mayor capacidad al corte.

$$d_b \leq \frac{b_{bf}}{2} \left(1 - \frac{R_{yb} F_{yb}}{R_{tb} F_{ub}} \right) - 3 \text{ mm}$$

3. Dimensiones de la placa horizontal.- Con la dimensión del perno, se ingresa en la tabla 1 y se obtuvo que $L_c = 30 \text{ mm}$ que es la distancia mínima al borde; se decide trabajar con 50 mm. Por otro lado, como criterio se considera que el ancho de la placa b_{fp} sea igual al ancho del ala del IPE (puede ser menor). Ahora habrá que ver para las dos filas de pernos si se cumple con la distancia mínima al borde. Por otra parte, para el espesor de la placa t_p se hicieron varios intentos para que cumplan con todos los requerimientos de: tensión, corte, desgarramiento y pandeo; luego de varios intentos se llegó a:

$$t_p = 30 \text{ mm} \quad b_{fp} = 180 \text{ mm}$$

De acuerdo al procedimiento indicado, en este apartado solo se debe colocar las dimensiones tentativas, las mismas que deben ser verificadas con los cálculos posteriores.

4. Determinación del número de pernos.

- Cortante Nominal por perno

$$r_n = \text{menor} \left\{ \begin{array}{l} 1.0 F_{nv} A_b \\ 2.4 F_{ub} d_b t_{bf} \\ 2.4 F_{up} d_b t_p \end{array} \right\} = \text{menor} \left\{ \begin{array}{l} 19090.83 \text{ Kgf} \\ 31726.08 \text{ Kgf} \\ 70502.4 \text{ Kgf} \end{array} \right\} \rightarrow r_n = 19090.83 \text{ Kgf}$$

- Cálculo del número de pernos

$$n \geq \frac{1.25 M_{pr}}{\phi_n r_n (d + t_p)}; \quad \phi_n = 0.9 \quad n = 9$$

Se decide colocar 10 pernos; 2 filas de 5 pernos cada una.

5. Localización de rótula plástica y longitud de placa horizontal

$$S_h = S_1 + s \left(\frac{n}{2} - 1 \right) \quad L_p = S_h + S_1$$

Distancia hacia la primera fila de per	S ₁ =	50,00	mm
Número estimado de pernos	n=	9,00	pernos
Paso o separación de los pernos	s=	50,00	mm
Localización de la rótula plástica	S _n =	250,00	mm
Longitud de las placas	L _p =	300,00	mm

La longitud calculada de la placa e 300 mm, sin embargo se deja que esta placa sea de 360 mm, de esa manera se tendrá un mayor espaciamiento entre pernos lo que repercute en un mejor desempeño al desgarre de la placa.

6. Determinación del cortante último.- Se tiene una luz libre entre columnas de L = 5.80 m.

$$V_h = \frac{W_u * L_h}{2} + \frac{2 * M_{pr}}{L_h}$$

$$L_h = L - 2 * S_h$$

Distancia entre rótulas plásticas (Lh)	L _n =	5,30	m
Corte por gravedad	V _{gravedad} =	878,48	
Corte último	V _n =	18888,26	kgf

7. Momento esperado en la cara de la columna M_f

$$M_f = M_{pr} + V_h S_h = 52447.98 \text{ Kgf} * m$$

8. Fuerzas en el ala F_{pr} bajo la acción del momento M_f

$$F_{pr} = \frac{M_f}{(d + t_p)} = 121972.06 \text{ Kgf}$$

9. Confirmación del número de pernos.- Se obtienen 9 pernos pero se colocarán 10 pernos.

$$n = \frac{F_{pr}}{\phi_n r_n}; \quad \phi_n = 0.9$$

10. Cálculo del espesor de la placa

$$t_p = \frac{F_{pr}}{\phi_d F_y b_{fp}} = 2.68 \text{ mm}; \quad \phi_d = 1.0$$

El espesor de la placa que se halla es muy bajo 2.68 mm. Pero se lleva a 30 mm, por el control de tensión que se ve a continuación y otros controles que se hacen posteriormente.

11. Verificación de que la placa no falle por tensión

$$A_n = [b_{fp} - 2 * (d_b + 1)] * t_p \leq 0.85 * b_{fp} * t_p$$

$$R_n = F_{up} * A_e$$

$$F_{pr} \leq \phi_n R_n; \quad \phi_n = 0.75$$

Área neta de las placas	$A_n =$	3900,00	mm ²			
Área neta de las placas	$A_n =$	0	\leq	3900,00	\leq	4590
Área neta de las placas verificada	$A_n =$	3900,00	mm ²			
Tensión de ruptura a tracción:	$R_n =$	159120,00	kgf			
Verificación del esfuerzo en la placa:						
	$\phi_n =$	0,75				
Fuerza actuante en la placa del ala:	$F_{pr} =$	0	\leq	121972,06	\leq	119340

La fuerza en el ala $F_{pr} = 121972.06 \text{ kg}$, que es la demanda es mayor que la capacidad $\phi_n R_n$ que es de 119340 kg. Por lo tanto, no verifica. Estrictamente se debe incrementar el ancho de la placa b_{fp} o el espesor de la placa t_p . Con $b_{fp} = 180 \text{ mm}$ y con $t_p = 30 \text{ mm}$, no cumple. Sin embargo se deja ya que si se calcula $A_n = 0,85 * b_{fp} * t_p$ el valor sería 4590 mm² y con esta cantidad la capacidad a tensión sería ligeramente superior a la demanda.

Lo importante de este numeral es que el usuario vea que $b_{fp} = 180 \text{ mm}$ y $t_p = 30 \text{ mm}$; son valores mínimos.

12. Verificación de que la placa bajo estado límite de ruptura al corte.

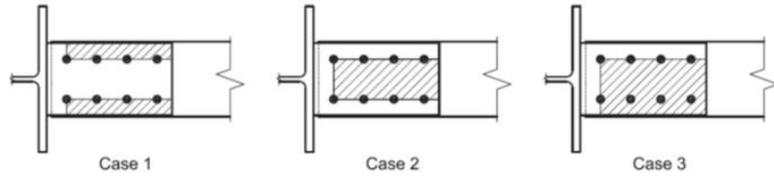
$$R_n = 0.6 F_u A_{nv} + F_y A_{gt} \leq 0.6 F_y A_{gv} + F_u A_{nt}$$

Esta tensión es definida en el Capítulo J, de la especificación ANSI/AISC 360.

$$R_n = 631584.0 \text{ kgf}$$

El área neta de corte es la definida para el Caso 1, de la siguiente figura.

$$A_{nv} = 16800.00 \text{ mm}^2$$



El área neta a tracción

$$A_{nt} = 5400,00 \text{ mm}^2$$

El área gruesa a corte

$$A_{gv} = 9000,00 \text{ mm}^2$$

$$U_{bs} = 1,00$$

Fuerza actuante en la placa del ala: $F_{pr} = 0 \leq 121972,06 \leq 410530$

Se recuerda que la fuerza actuante en el ala, $F_{pr} = 121972.06 \text{ kg}$ (demanda) en este caso es menor que la capacidad $0.6 * 631584 = 410530 \text{ kg}$. De tal manera que no hay problema de ruptura al corte.

13. Verificación de la placa bajo estado límite de pandeo a compresión

Esta tensión se halla definida en la sección J4.4 del Capítulo J, de las especificaciones del ASCI (ANSI/AISC 360)

Esbeltez de las placas	3,75	≤ 25	[VERIFICA]	KL/r
Si se cumple, se puede usar la ecuación				
	$R_n =$	136620,00	kgf	$P_n = F_y A_g$
	$\phi_n =$	0,90		
Fuerza actuante en la placa del ala:	$F_{pr} =$	0	$\leq 121972,06 \leq 122958$	[VERIFICA]

Nótese que la capacidad a pandeo a compresión es ligeramente superior a la demanda, es decir se tiene un diseño en el límite. No se puede pensar en que está sobredimensionada la conexión.

14. Verificación de la capacidad al corte

$$\frac{h}{t_w} = \frac{400 - 2 * 13.5}{8.6} = 43.37$$

La relación $\frac{h}{t_w}$ es menor a $\frac{418}{\sqrt{F_{yb}}}$. La última relación en kg/cm^2 , es la

siguiente. $2.24 \sqrt{\frac{2100000}{2530}} = 64.54$. Luego: $V_n = 0.6 F_{yb} A_w = 0.6 * 2530 * (40 - 2 * 1.35) * 0.86 = 48694 \text{ kgf}$.

El cortante actuante considerando que se va a plastificar la sección por flexión más el cortante debido a carga vertical.

$$V_u = \frac{2 M_{pr}}{L_h} + \frac{W_u L_h}{2} = 18888.26 \text{ kgf}$$

Que es menor a la capacidad. Luego cumple.

15. Diseño de la placa vertical a corte

• Corte en los pernos

Número de pernos en placa vertical	n=	5	pernos
Área en cada perno	A _b =	452,39	mm ²
Capacidad a corte de perno	F _{nv} =	4220	kgf/cm ²
Fi	∅=	1,00	
Capacidad del perno	V _{nv} =	95454,15	kgf

El cortante actuante $V_u = 18888.26 \text{ kgf}$ es menor que el resistente $V_{nv} = 95454.15 \text{ kgf}$. Por lo tanto Verifica.

• Aplastamiento en los pernos

Serparación mínima entre los pernos	sp=	50,00	mm	
Distancia mínima hacia el borde	de=	50,00	mm	
Separación de pernos	sp=	57,75	mm	50 [VERIFICA]
Diámetro de los pernos del alma	d _{bw} =	22,00	mm	
Diámetro de los orificios	d _{hw} =	23,81	mm	
Distancia del orificio al borde	L _c =	38,09	mm	
Distancia entre orificios	L _c =	33,94	mm	
Espesor de placa	t _p =	15,00	mm	
Esfuerzo de fluencia del acero placa	F _{yp} =	2530	kgf/cm ²	
Esfuerzo ultimo del acero placa:	F _{up} =	4080	kgf/cm ²	
Resistencia por perno al final	R _n =	27976,05	kgf	
Resistencia por otros pernos	R _n =	24923,70	kgf	
Fi	∅=	0,75		
Capacidad total por aplastamiento	∅R _n =	98042,40	kgf	> 18888 [VERIFICA]

• Plastificación por corte

La longitud de la placa vertical, es de $L_p = 300 \text{ mm}$, con esta dimensión también se cumple la plastificación por corte. El programa lo cálculo con $L_p = 373 \text{ mm}$ que es igual al alto del perfil IPE-400 menos 2 veces la altura del ala.

Longitud de la placa	L _p =	373,00	mm	
Área de corte de la placa	A _g =	5595,00	mm ²	
Fi	∅=	1,00		
Capacidad de la placa	∅R _n =	84932,10	kgf	48 18888 [VERIFICA]
Área de corte del alma de la viga	A _g =	3207,80	mm ²	
Fi	∅=	1,00		
Capacidad del alma de la viga	∅R _n =	48694,40	kgf	> 18888 [VERIFICA]

• **Ruptura por corte**

Área neta de corte de la placa	$A_{nv} =$	3809,06	mm ²	
Fi	$\phi =$	0,75		
Capacidad de la placa	$\phi V_n =$	69934,39	kgf	> 18888 [VERIFICA]

• **Bloque de Corte**

Verificación en la placa				
Longitud horizontal al borde	$L_{eh} =$	50,00	mm	
Ancho neto a tracción	$N_{tw} =$	38,09	mm	
Longitud neta a corte	$N_{sl} =$	173,84	mm	
Longitud gruesa a corte	$N_{gl} =$	281,00	mm	
Área neta a tracción	$A_{nt} =$	571,41	mm ²	
Área neta a corte	$A_{nv} =$	2607,66	mm ²	
Área gruesa a corte	$A_{nt} =$	4215,00	mm ²	
		87148,80	kgf	
		87297,08	kgf	
	$\phi =$	0,75		
	$\phi R_n =$	65361,60	kgf	> 18888 [VERIFICA]

• **Verificación en el alma de la viga**

Longitud horizontal al borde	$L_{eh} =$	50,00	mm	
Ancho neto a tracción	$N_{tw} =$	38,09	mm	
Longitud neta a corte	$N_{sl} =$	173,84	mm	
Longitud gruesa a corte	$N_{gl} =$	281,00	mm	
Área neta a tracción	$A_{nt} =$	327,61	mm ²	
Área neta a corte	$A_{nv} =$	1495,06	mm ²	
Área gruesa a corte	$A_{nt} =$	2416,60	mm ²	
		49965,31	kgf	
		50050,32	kgf	
	$\phi =$	0,75		
	$\phi R_n =$	37473,98	kgf	> 18888 [VERIFICA]

• **Soldadura al ala de la columna**

Momento de diseño (Mu)	$M_u =$	5575,83	kgf.m	< 59600 [VERIFICA]
Esfuerzo axial en la viga (Nu)	$N_u =$	0,00	kgf	
Brazo de momento	$A_M =$	430,00	mm	
Tracción en la Placa superior	$T_{uf} =$	12967,05	kgf	
Resistencia por mm de soldadura	$S_w =$	396,85	kgf/mm	
Resistencia de soldadura con carga	$S_{wP} =$	595,28	kgf/mm	
Espesor de la soldadura de filete	$t_{wf} =$	0,06	mm	
Espesor de la soldadura (asumido)	$t_{wf} =$	8,00	mm	

16. Diseño de la placa de continuidad

Verificación en la zona a compresión

Esfuerzo de diseño para las Placas $T_{df} = 12967,05$ kgf

Plastificación del alma

Fuerza de plastificación del alma $B_{ry} = 45307,24$ kgf > 12967,05 [VERIFICA]

Pandeo del alma

Fuerza de plastificación del alma $B_{ry} = 99843,23$ kgf > 12967,05 [VERIFICA]

Fuerza en zona de compresión $B_r = 45307,24$ kgf

Verificación en la zona a tracción

Fuerza de tracción en el ala $T_r = 57539,79$ kgf > 12967,05 [VERIFICA]

Fuerza de diseño de las Placas $F_s = -32340,19$ kgf

Fuerza de diseño en una Placa $P_s = -16170,10$ kgf

Diseño de las Placas de continuidad

Ancho de Placa por ala de col $b_{s1} = 144,50$ mm

Ancho de Placa por ala de viga $b_{s2} = 84,50$ mm

El ancho de Placas de continuidad debería ser el mínimo de los dos valores anteriores

Ancho de Placa para diseño $b_s = 84,50$ mm

Ancho de Placa útil $b'_s = 63,00$ mm

Espesor de Placa por plastificación $t_{s1} = -11,27$ mm

Espesor de Placa por crippling $t_{s2} = 2,26$ mm

Como espesor de las Placas de continuidad se toma el mismo espesor de las Placas de la conexión

Espesor de Placa $t_s = 30,00$ mm > 2,26

Espesor de la soldadura de filete $t_{wf} = -0,16$ mm [VERIFICA]

Espesor de la soldadura (asumido) $t_{wf} = 8,00$ mm

En resumen, para verificar si se requiere o no placas de continuidad, el código establece la siguiente ecuación en función del espesor del ala de la columna:

$$t_{cf} \geq \max \left\{ 0.4 \sqrt{1.8 b_{bf} t_{bf} \frac{R_{yb} F_{yb}}{R_{yc} F_{yc}}}; \frac{b_{bf}}{6} \right\}$$

Partiendo de la ecuación anterior; si el espesor del ala de la columna es menor al término obtenido, se requiere placa de continuidad. Para el caso de aplicación se tiene:

$$t_{cf} \geq \max \left\{ 0.4 \sqrt{1.8(180)(13.5) \frac{(1.20)(2530)}{(1.20)(2530)}}; \frac{180}{6} \right\}$$

$$t_{cf} \geq \max\{26.45; 30\}$$

$$t_{cf} \geq 30 \text{ mm}$$

En función de los resultados obtenidos; el espesor del ala de la columna es de **19 mm**; al no ser mayor de **30 mm**; se requiere placa de continuidad. Por otro lado el espesor requerido de la placa por plastificación y crippling es de **2.26 mm**; pero se asumió un espesor equivalente al de la placa horizontal de **30 mm**.

17. Verificación de la zona de panel

Se deben introducir aquí los momentos en los dos lados de la conexión transmitidos por las vigas

Momento en la cara de la columna	M_{fi} =	51583,11	kgf.m
Momento en la cara de la columna	M_{fi} =	0,00	kgf.m

• Corte transmitido a la zona de panel

Corte en la zona de panel	V_f =	119960,73	kg	
Espesor requerido del alma de la col	t_{rwc} =	31,93	mm	
Espesor del alma de la columna	t_{rwc} =	11,00	mm	> 31,93
Espesor de las Placas dobles	t_{db} =	20,93	mm	> 8,25
Espesor de cada Placa	t_{db} =	10,46	mm	

[Se req. Placas]
 [Placas a ambos lados]
 Se selecciona el valor

• Verificación de la esbeltez de las placas dobles

Ancho de las Placas dobles	w_{c1} =	262,00	mm	
Espesor de cada Placa	t_{db} =	1,97	mm	< 10,46

[Se usa el valor seleccionado]

Las Placas dobles pueden ir soldadas por debajo de las Placas de continuidad
 O como en este caso, ser más pequeñas que la zona encerrada por las Placas de continuidad

Alto de las Placas dobles h_{c1} = **346,00** mm Se selecciona como parte de la altura total de la viga

Uno de los momentos es cero, debido a que no llega viga, en ese sitio. Las ecuaciones utilizadas, son las siguientes:

$$V_f = \frac{M_{fi}}{d + t_p} + \frac{M'_{fi}}{d + t_p}$$

$$t_{rwc} = \frac{V_f}{0.55 * 0.9 * d_c * F_{yc}}$$

$$t'_{rwc} = t_{cw}$$

$$t_{db} = t_{rwc} - t'_{rwc}$$

$$W_{c1} = d_c - 2 * t_{cf}$$

$$t_{db} = W_{c1} * \frac{\sqrt{F_{yp}}}{670} \qquad h_{c1} = d - 2 * r_c$$

Donde d, t_p son la altura y espesor del perfil IPE; d_c, F_{yc} son la altura y fluencia del acero del perfil HEA; t_{cw}, t_{cf}, r_c son el espesor del alma, espesor del ala y radio de curvatura del perfil HEA.

Ahora bien, en función de los resultados obtenidos; partiendo del corte en la zona de panel **119960.73 Kgf**; se obtiene que el espesor requerido en el alma de la columna es de $t_{rwc} = 31.93$ mm; hasta el momento el alma de la columna **HEA-400** solo dispone de **11.00** mm; razón por la cual es necesario adosar placas al alma de la columna a ambos lados, el espesor requerido es la diferencia **20.93** mm; al dividir entre dos el espesor debe ser aproximadamente **10.46** mm; sin

embargo se puede indicar que se seleccionara **11 mm** de espesor por cada placa adosada a ambos lados del alma columna. Adicionalmente el espesor de las placas adosadas no debe ser menor a **6 mm**. En la parte superior izquierda de la figura 10, se aprecia la variable t_{rwc} , que es igual al espesor del alma del perfil HEA más dos espesores de las placas de continuidad, que son verticales de una altura d_z y un ancho w_z (figura inferior izquierda). A la derecha de la figura 10 se observa que la placa de continuidad vertical va entre las placas de continuidad.

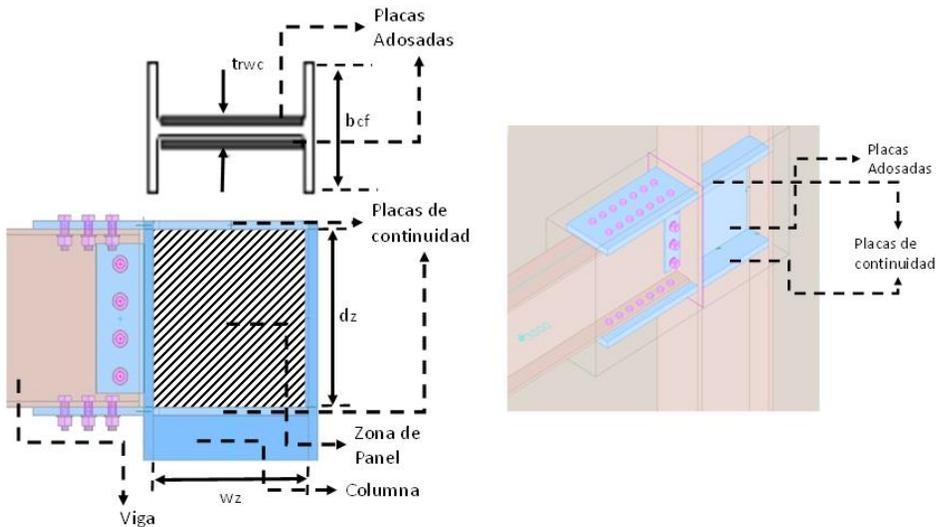


Figura 10 Placas de continuidad verticales en la zona del Panel, que tiene una altura d_z y un ancho w_z .

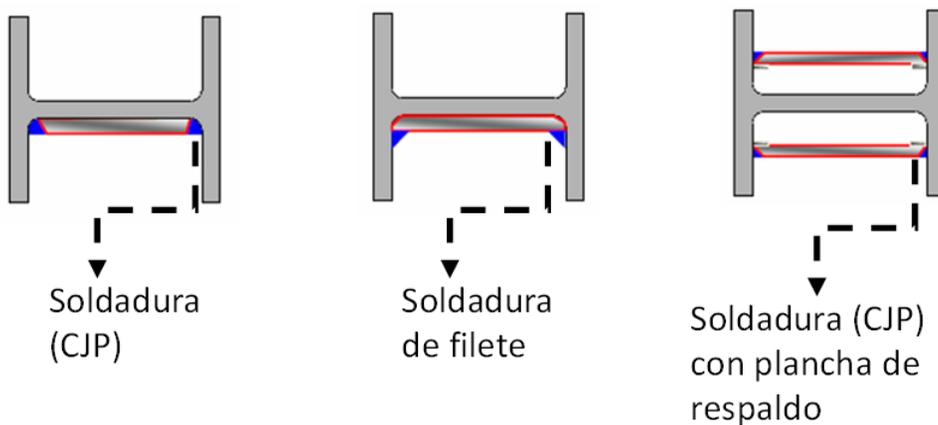


Figura 11 Posibles formas de soldadura y ubicación de las placas de continuidad.

En la figura 11, se presentan varias opciones para la colocación de la placa de continuidad vertical, las dos primeras son para el caso de que estas placas estén adjuntas al alma del perfil de la columna HEA, la diferencia se tiene en el lugar donde se realiza la soldadura: i) Para el caso de la gráfica izquierda de

la figura 11, la soldadura CJP se realiza entre la unión de la placa de continuidad y el ala de la columna; ii) Para el caso de la gráfica central, la soldadura CJP o de filete se realiza entre la placa de continuidad y el ala de la columna; iii) En el caso de la gráfica derecha las placas de continuidad no se encuentran al lado del alma y la soldadura se realiza a las alas del perfil HEA.

Finalmente, el espesor mínimo de la placa de continuidad y del alma del perfil de la columna HEA, deberá ser mayor que:

$$t \geq \frac{d_z + w_z}{90}$$

$$t \geq \frac{(d - 2t_{bf}) + (d_c - 2t_{cf})}{90}$$

Reemplazando valores se tiene.

$$t \geq \frac{(400 - 27) + (390 - 38)}{90} \geq 8.06 \text{ mm}$$

En caso de no verificar la ecuación anterior, se puede utilizar soldadura de tapón para conectar las placas entre sí.

Finalmente, en los casos en que no sea necesario colocar placas de continuidad, pero si placas adosadas, las mismas deben extenderse 150 mm como mínimo, por encima y por debajo de la altura total de las vigas que llegan al nodo.

4 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

La conexión BFP Bolted Flange Plate, demostró su eficiencia durante en el terremoto de 2016 de Pedernales, en la construcción de la Unidad de Vigilancia Comunitaria UVC de Manta. En la ciudad de Portoviejo, que también fue dañada por el terremoto se tiene otra estructura similar a la de Manta, igual su conexión tuvo un buen desempeño sísmico.

Las placas horizontales y verticales de la conexión BFP, deben ser realizadas en la fábrica o taller de la persona que va a construir la edificación, de tal manera que en el proyecto únicamente se dediquen a empernar la conexión, como sucedió en la construcción de los nuevos edificios de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, donde funcionarán los Centros de Investigación y Post Grado.

Un aspecto a tener en cuenta antes de diseñar una estructura es conocer si los materiales a emplear se consiguen en el País, para no tener que importar ya que esto a más de encarecer el Proyecto demanda más tiempo. En el Ecuador por ejemplo, a decir de un constructor se vende planchas de acero de 24 mm, de espesor de mayores espesores se debe importar.

Se recomienda que el ancho de las placas horizontales sea del mismo tamaño que el ancho de la viga IPE, una menor dimensión implica tener espesores

de la placa más altos para cumplir con todos los requisitos de diseño indicados en este artículo.

La placa vertical que trabaja a corte, tiene menores dimensiones que las placas horizontales y no necesariamente la longitud de la placa vertical debe ser igual a la altura del perfil IPE menos dos veces el espesor del ala, puede ser menor.

Para que tenga un buen desempeño al desgarre y al corte en general es conveniente que la separación entre pernos se encuentre entre 50 y 60 mm. Es verdad que esto implica una longitud de placa mayor pero vale la pena.

Es práctico que las placas de continuidad tengan el mismo espesor que las placas horizontales; se debe verificar que su ancho no sobresalga del ancho del perfil HEA y que la longitud de las mismas sea igual a la longitud del perfil HEA menos dos veces el espesor del ala.

Finalmente, pero en primer lugar, se recomienda tener un programa para el diseño de una conexión BFP en el que se pueda interactuar en función de los resultados que se van obteniendo.

REFERENCIAS

1. Abella C., Pannillo G., (2017), *Bolted Flange Plate (BFP) Moment Connection-ANSI/AISC 358-16*, Programa de cálculo en EXCEL.
2. ACI 318S-14 (2014), *Requisitos de reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14)*. Preparado por el Comité ACI 318. American Concrete Institute, 587 p.
3. Aguiar R., (2017), "Descripción de la construcción de los Bloques Estructurales con aisladores sísmicos de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE. Segunda Parte", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, **22**, (4), 459-478.
4. Aguiar R., Zevallos M., Palacios J., García L., Menéndez E., (2016), *Reforzamiento de Estructuras con Disipadores de Energía*, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 283 p.
5. AISC (2016), *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*, ANSI/AISC 358. Chicago: AISC.
6. AISC (2016), *Specification for structural steel buildings*. Chicago.
7. AISC (2010), *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, ANSI/AISC 341. Chicago: AISC.
8. ASCE 41 (2013), *Seismic rehabilitation of existing building*, American Society of Civil Engineers ASCE/SEI 41-11.
9. Briceño L., (2012), *Desarrollo de una herramienta en Excel para diseño de conexiones precalificadas de acero para sistemas de marcos especiales (SMF) e intermedios (IMF) según el Código Sísmico de Costa Rica 2010*, Proyecto final de graduación para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería en Construcción, 47 p.
10. Vielma J. C., (2017) *Conexión BFP Bolted Flange Plate*, Segundo Minicurso de Estructuras. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.