

DEVELOPMENT AND PROGRAMMING OF END-PLATE 4E AND 8ES CONNECTIONS IN ACCORDANCE WITH THE ANSI / AISC 358-16 REGULATIONS.

Pannillo Gino ⁽¹⁾, **Vielma Estefanía** ⁽²⁾, **Ocanto Willians** ⁽³⁾, **Vielma Juan** ⁽⁴⁾

⁽¹⁾Departamento de Ingeniería Estructural. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, UCLA-CIMNE joint lab, Barquisimeto, Venezuela gino.pannillo@ucla.edu.ve

⁽²⁾Ingeniero Civil. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, UCLA-CIMNE joint lab Barquisimeto, Venezuela estefaniavelma21@gmail.com

⁽³⁾Ingeniero Civil. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, UCLA-CIMNE joint lab Barquisimeto, Venezuela wia.1992@gmail.com

⁽⁴⁾Escuela de Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile juan.vielma@pucv.cl

Received: February 2019. Accepted: January 2020

ABSTRACT

The main objective of this research is to develop a program capable of analyzing and checking the design of metallic connections of the End-Plate 4E and 8ES type, based on the ANSI / AISC 358-16 standard; under four different types of nodes depending on their location within a steel structure and also performs the study of the behavior of structures with 4E connections, through static and dynamic plane analysis. The execution of this program entitled Bolted End-plate Connections "BEC" was carried out through a programming language and at the same time the graphical user interface, which also includes the design spectra proposed in the COVENIN 1756:2001 standard and micro-zoning seismic according to the ordinance project for seismic buildings, Barquisimeto, Venezuela. The results obtained in the "BEC" program were compared with different references, with quite low differences and with it the acceptance of them.

Keywords: Extended End-Pate 4E, Extended End-Plate 8ES, Interactive design.

DESARROLLO Y PROGRAMACIÓN DE CONEXIONES TIPO END-PLATE 4E Y 8ES CONFORME A LA NORMATIVA ANSI / AISC 358-16.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo fundamental desarrollar un programa, capaz de analizar y chequear el diseño de conexiones metálicas de tipo End-Plate 4E y 8ES basándose en la norma ANSI/AISC 358-16; bajo cuatro tipos distintos de nodos dependiendo de su ubicación dentro de una estructura de acero y además realiza el estudio del comportamiento de la estructuras con conexiones 4E, mediante el análisis estático y dinámico plano. La ejecución de este programa titulado *Bolted End-plate Connections "BEC"* se llevó a cabo mediante un lenguaje de programación y a su vez la interfaz gráfica de usuario, que además incluye los espectros de diseño propuesto en la norma COVENIN 1756:2001 y la

microzonificación sísmica de acuerdo al proyecto de ordenanza para edificaciones sismorresistentes, Barquisimeto, Venezuela. Los resultados obtenidos en el programa “BEC” fueron comparados con distintas referencias, con diferencias bastantes bajas y con ello la aceptación de los mismos.

Palabras Claves: Conexión End-Plate 4E, Conexión End-Plate 8ES, Diseño interactivo.

1 INTRODUCCIÓN

El 17 de enero de 1994 la ciudad de Los Ángeles fue sorprendida por un sismo de magnitud 6.7, causando la muerte de 72 personas, dejando más de 12000 heridos y pérdidas alrededor de 25 mil millones de dólares. Los primeros reportes emitidos acerca de las condiciones de las estructuras de acero no revelaron daños importantes; estos reportes estaban basados en daños observados en elementos estructurales no obstruidos por elementos de cerramiento. Meses después, grupos de ingenieros y equipos de investigación realizaron inspecciones minuciosas en esas estructuras, las cuales revelaron importantes daños estructurales, entre ellos, fallas frágiles en conexiones viga-columna (Ver Figura 1).

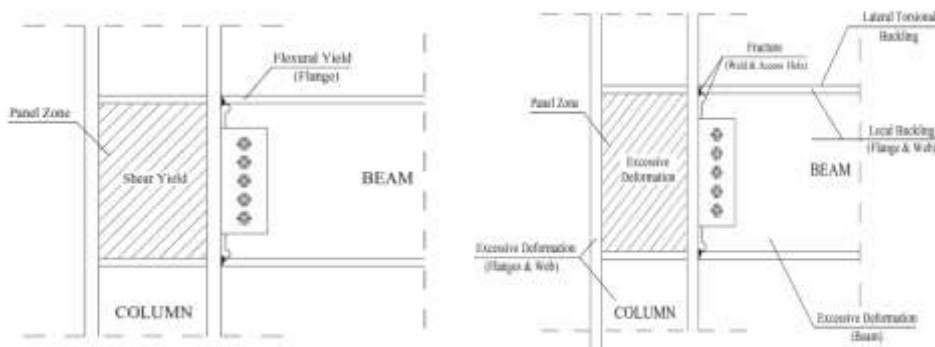


Figura 1. Conexiones típicas y modos de fallas. Fuente: [1]

Básicamente las estructuras de acero deben garantizar un comportamiento dúctil, el cual se puede lograr a través del concepto columna fuerte – viga débil, donde la conexión es capaz de resistir y transmitir a la columna todos los momentos producidos en la viga, formándose en ésta una rótula plástica la cual permite disipar la energía y proporciona seguridad a la columna. Es allí donde radica la importancia del diseño de las conexiones, ya que si la columna falla, se puede ver comprometida la integridad estructural de la edificación. En el caso de Northridge, a pesar de que las estructuras afectadas por el sismo no colapsaron, estas experimentaron un daño estructural limitado. Sin embargo, el comportamiento no fue el anticipado, lo cual se tradujo en grandes pérdidas económicas como consecuencia del daño ocurrido en las conexiones como se observa en la Figura 2; incluso en el caso de estructuras que fueron diseñadas para movimientos del terreno mayor al experimentado.

Este evento sísmico marca un punto importante dentro de la ingeniería estructural, ya que el desempeño de las estructuras no fue el esperado, siendo este hecho motivo para revisión de códigos y procedimientos de diseño, sobre todo en el área de las conexiones viga-columna. Se ha demostrado que históricamente, la

mayor recurrencia de fallas en estructuras de acero se presenta en el sistema de conexiones, razón por la cual la Agencia Federal de Administración de Emergencia (FEMA) posteriormente al evento sísmico Northridge, reunió universidades y profesionales para formar un equipo con la finalidad de investigar las causas de los daños durante el sismo y como reducirlos durante eventos futuros. Como resultado de las investigaciones, todas las recomendaciones fueron tomadas por el Instituto Americano para Construcciones de Acero (AISC), con el objetivo de ensayar conexiones utilizando especímenes a escala real, y así probar la ductilidad de las mismas. Los resultados de estos ensayos fueron tomados e incluidos en el documento ANSI/AISC 358-16 [2].

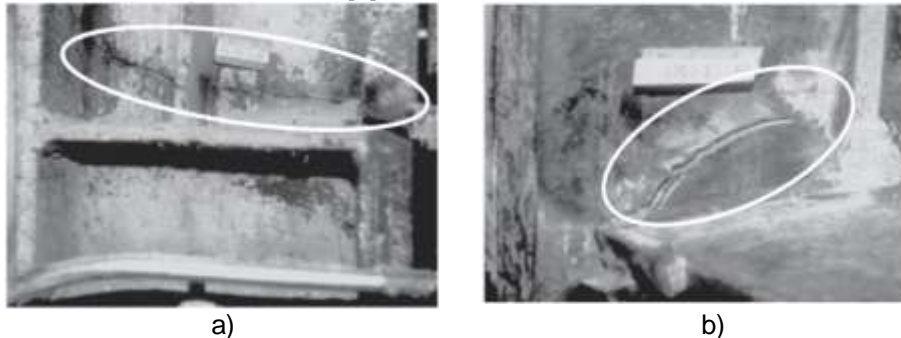


Figura 2. Fallas comunes en las conexiones viga-columna de las estructuras de acero en Northridge. Fuente: [1]

El código americano ANSI/AISC 358-16 [2] ha estandarizado a nivel mundial una serie de conexiones precalificadas resistentes a momento; siendo una de ellas la conexión de plancha extrema extendida resistente a momento (Extended End Plate), la cual es una conexión que ha sido utilizada a nivel mundial; consiste en una plancha de acero soldada al extremo de la viga, que queda unida al ala de la columna por medio de pernos de alta resistencia completamente tensionados. Este tipo de conexiones pueden ser utilizadas con rigidizadores entre la plancha y el ala de la viga. Existen tres configuraciones de este tipo de conexión (Ver Figura 3), los mismos fueron ensayados y precalificados por el ANSI/AISC 358-16 [2] para ser utilizados en zonas de alta amenaza sísmica.

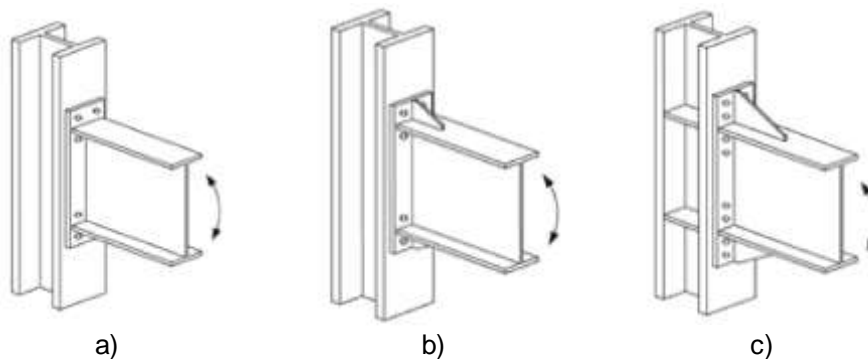


Figura 3. Conexiones típicas de plancha extrema. a) Cuatro pernos sin rigidizador (4E) b) Cuatro pernos con rigidizador (4ES) y c) Ocho pernos con rigidizador (8ES). Fuente: [2]

La normativa Venezolana para el diseño de estructuras de acero COVENIN 1618:98 [3] no establece un procedimiento de diseño para las conexiones de plancha extrema, por esta razón, el proyectista de estructuras de acero se ve

obligado a revisar otras normativas que contengan los lineamientos a seguir para este tipo de conexiones. El código americano ANSI/AISC 358-16 [2] describe el procedimiento de diseño y detallado para algunos tipos de conexiones resistentes a momento, para ser utilizadas en estructuras con requisitos de ductilidad alta e intermedia, incluyendo limitaciones geométricas en las conexiones, calidad de materiales, dimensiones de los perfiles, tipo y calidad de la soldadura, entre otros.

De acuerdo a lo antes planteado la presente investigación muestra el diseño de un programa de cálculo estructural que verifica el diseño de conexiones precalificadas tipo End-Plate, específicamente la conexión cuatro pernos sin rigidizador (4E) y la conexión de ocho pernos con rigidizador (8ES) siguiendo los lineamientos de la norma sismorresistente AISC/ ANSI 358-16 [2], con el fin de agilizar los cálculos y proporcionar una herramienta mediante una interfaz gráfica intuitiva y sirva de apoyo a la hora de comparar resultados.

2 DESARROLLO

Los sistemas aporticados soportan las fuerzas laterales por medio de la resistencia a flexión y corte de las vigas y columnas. Los desplazamientos laterales son resistidos a través de la rigidez a flexión de los elementos y la restricción de la rotación relativa entre vigas y columnas en la conexión. La AISC 341-16 [4] clasifica a los sistemas aporticados para cumplir requerimientos específicos de diseño y detallado con baja ductilidad (OMF), ductilidad intermedia (IMF) y alta ductilidad (SMF). Los sistemas aporticados con alta ductilidad (Ver Figura 4), los son frecuentemente utilizados como parte de sistemas resistentes a fuerzas sísmicas en edificaciones diseñadas para resistir la acción sísmica con cierta disipación de energía. Las vigas, columnas y las conexiones se diseñan y detallan para resistir múltiples ciclos de deformaciones inelásticas.

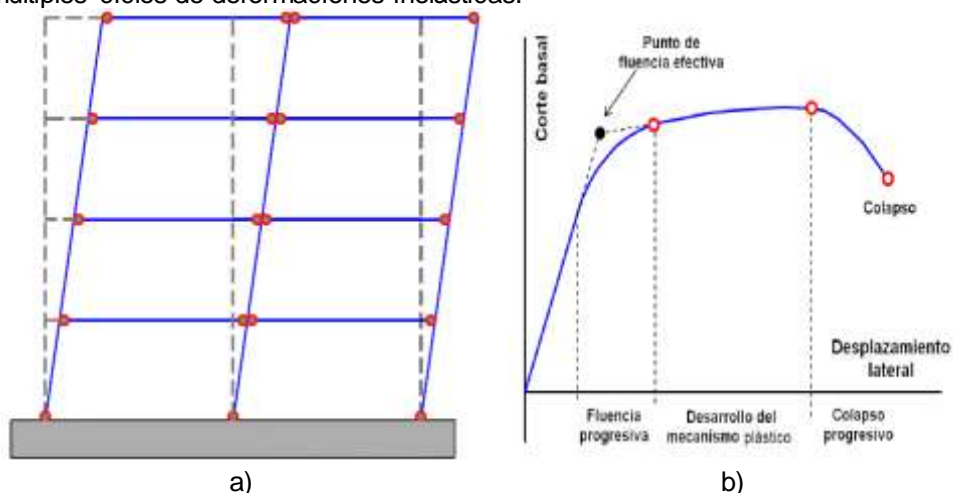


Figura 4. Comportamiento estructural. a) Mecanismo de deformación plástica y b) respuesta corte basal-desplazamiento lateral. Fuente: [5]

Con el objetivo de evitar las fallas en las conexiones viga-columna observadas en el terremoto de Northridge ocurrido en California, USA las especificaciones sísmicas vigentes requieren el uso de conexiones precalificadas en

pórticos. Se entienden como aquellas conexiones que han sido validadas en forma experimental, ya sea como parte del proyecto que se desarrolla o bien en ensayos previos que se encuentran debidamente documentados.

El diseño de una conexión se realiza a partir del cálculo de la resistencia que tiene cada uno de los elementos que la componen [6] como se observa en la Figura 5, frente a las características de falla que pueda presentar. La falla de una conexión puede manifestarse en los elementos conectados, en los elementos de conexión, o en los conectores, por esta razón se debe evaluar la resistencia de cada una de las partes de la unión y determinar la menor de todas las resistencias que ellas aportan, siendo esta resistencia la que gobierna el diseño.

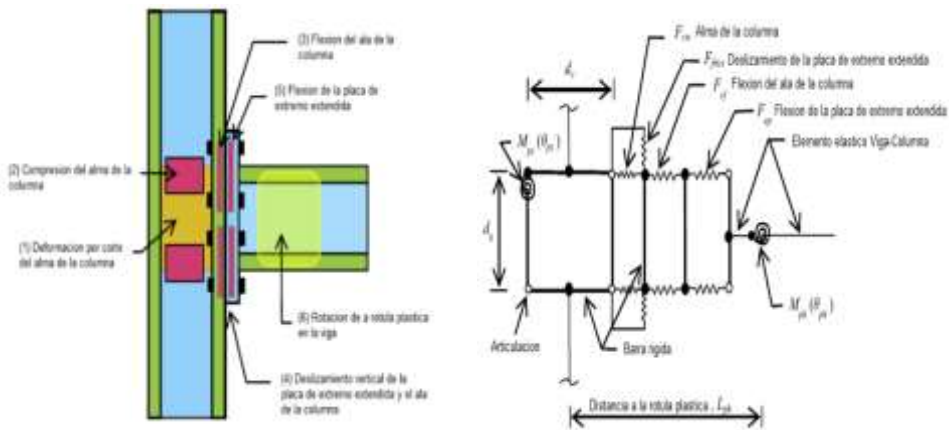


Figura 5. Modelo analítico de los componentes de la conexión. Fuente: [6]

Para este trabajo se hará énfasis en las conexiones metálicas de tipo plancha extrema con cuatro pernos sin rigidizador (4E) y ocho pernos con rigidizador (8ES) en pórticos resistentes a momentos; para ello se tomara como base fundamental los aspectos expuestos en la Norma ANSI/AISC 358-16 [2] en su capítulo 6 titulado BOLTED UNSTIFFENED AND STIFFENED EXTENDED END-PLATE MOMENT CONNECTIONS; como se muestra en la Figura 6 y Figura 7.

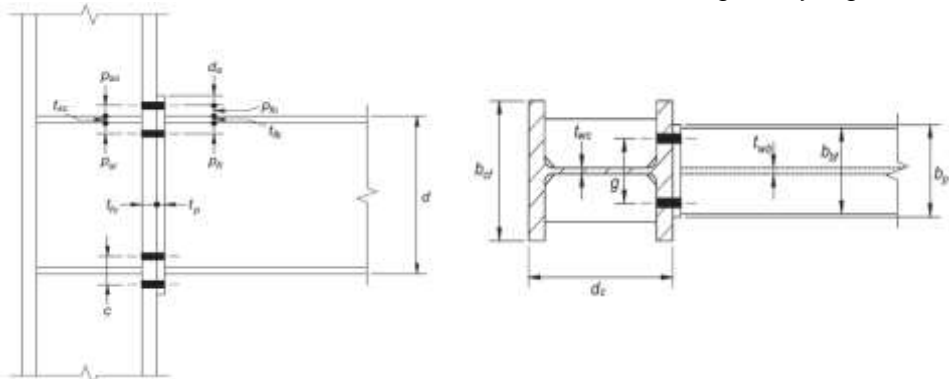


Figura 6. Geometría de la conexión tipo End-Plate cuatro pernos sin rigidizador (4E). Fuente: [2]

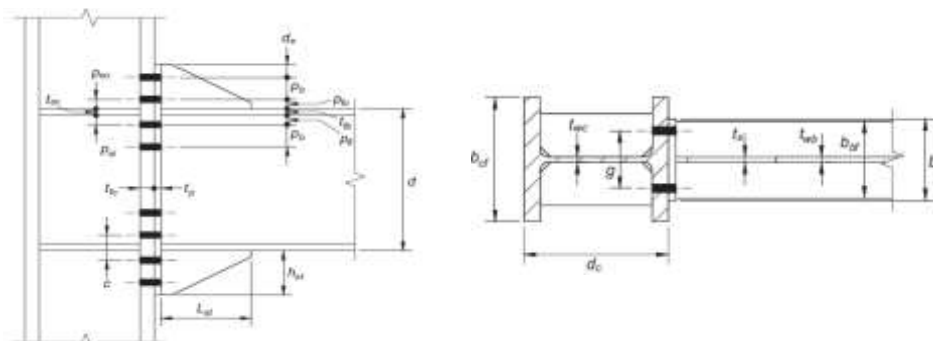


Figura 7. Geometría de la conexión tipo End-Plate ocho pernos con rigidizador (8ES). Fuente: [2]

Las conexiones de tipo End-Plate, como se expuso anteriormente, están precalificadas para usarse en pórticos especiales a momento (SMF) y en sistemas de pórticos intermedios a momento (IMF) dentro de las limitaciones expuesta por las especificaciones normativas descrita para el sistema, límites de precalificación en miembros de vigas y columnas, zona panel, relación columna fuerte-viga débil, placas de continuidad, pernos, configuración y detallado de la conexión, ancho de placa, características del rigidizador y tipo de soldadura. Para realizar el chequeo de la conexión End-Plate conforme a la normativa AISC/ANSI 358-16 [2], se procede con la siguiente secuencia de pasos descritos en el capítulo 6:

Diseño de plancha extrema y pernos

- Paso N° 1: Calcular el momento en la cara de la columna.
- Paso N° 2: Seleccionar una de las dos configuraciones posibles y establecer los valores preliminares para la geometría de la conexión indicadas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Adicionalmente seleccionar el grado de acero de los pernos.

Tabla 1. Parámetros y Limitaciones de la Pre-Calificación. Fuente: [2]

Parámetro	Cuatro Pernos Sin Rigidizar (4E)		Ocho Pernos Rigidizado (8ES)	
	Máximo in (mm)	Mínimo in (mm)	Máximo in (mm)	Mínimo in (mm)
t_{bf}	$\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{3}{8}$ (10)	1 (25)	$\frac{9}{16}$ (14)
b_{bf}	$9\frac{1}{4}$ (235)	6 (152)	$12\frac{1}{4}$ (311)	$7\frac{1}{2}$ (190)
d	55 (1400)	$13\frac{1}{4}$ (349)	36 (914)	18 (457)
t_p	$2\frac{1}{4}$ (57)	$\frac{1}{2}$ (13)	$2\frac{1}{2}$ (64)	$\frac{3}{4}$ (19)
b_p	$10\frac{3}{4}$ (273)	7 (178)	15 (381)	9 (229)
g	6(152)	4(102)	6(152)	5(127)
p_{fi}, p_{fo}	$4\frac{1}{2}$ (114)	$1\frac{1}{2}$ (38)	2(51)	$1\frac{5}{8}$ (41)
p_b	-	-	$3\frac{3}{4}$ (95)	$3\frac{1}{2}$ (89)

- Paso N° 3: Determinar el diámetro del perno requerido en función de la configuración seleccionada.
- Paso N° 4: Seleccionar el diámetro del perno tentativo, pero no menor al obtenido en el paso anterior.

- Paso Nº 5: Calcular el espesor requerido para la plancha extrema en función del mecanismo de la línea de plastificación que se observa en la Figura 8 y Figura 9.

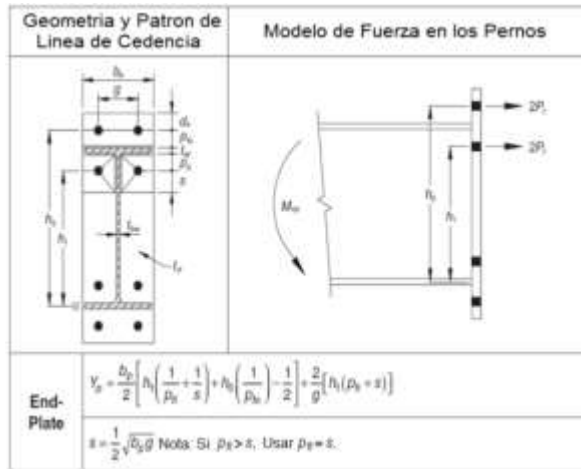


Figura 8. Conexión con cuatro pernos sin rigidizar (4E), parámetro del mecanismo de línea de plastificación de la plancha. Fuente: [2]

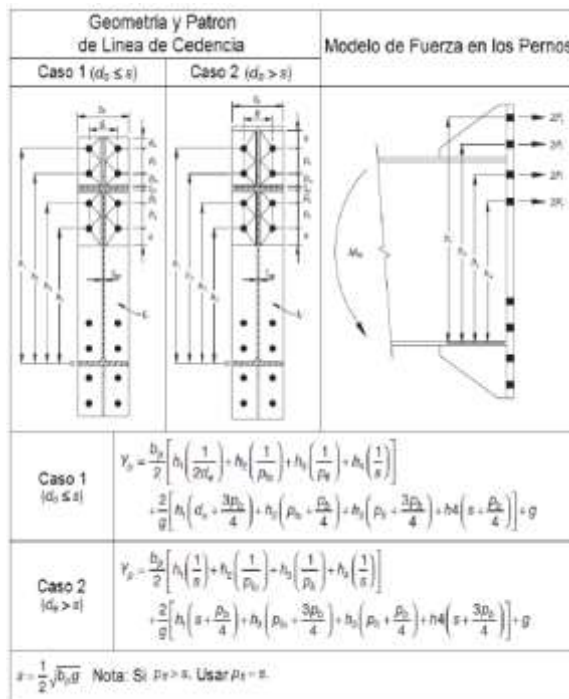


Figura 9. Conexión con ocho pernos rigidizada (8ES), parámetro del mecanismo de línea de plastificación de la plancha. Fuente: [2]

- Paso Nº 6: Seleccionar el espesor de la plancha extrema, no menor al paso anterior.
- Paso Nº 7: Determinar la fuerza mayorada en las alas de la viga.

- Paso Nº 8: Chequear la plastificación por corte de la plancha no rigidizada (4E), de no cumplirse debe aumentar el espesor o cambiar el espesor de la plancha extrema extendida.
- Paso Nº 9: Verificar la ruptura por corte de la plancha no rigidizada (4E), de no cumplirse debe aumentar el espesor o cambiar el espesor de la plancha extrema extendida.
- Paso Nº 10: Determinar la altura y espesor del rigidizador para la conexión (4ES) y (8ES), y realizar el diseño de la soldadura entre el rigidizador, ala de la viga y plancha extrema.
- Paso Nº 11: Calcular la resistencia a la fractura por corte en los pernos; en la ala a compresión.
- Paso Nº 12: Verificar la resistencia al aplastamiento y desgarre de la plancha y ala de la columna.
- Paso Nº 13: Determinar la soldadura de unión, entre las alas y alma de la viga con la plancha extrema.

Diseño del lado de la columna

- Paso Nº 1: Verificar el espesor requerido para el ala de la columna en función del mecanismo de la línea de plastificación indicado en la Figura 10 y Figura 11. En el caso que el espesor no sea suficiente se incrementará el tamaño de la columna o se añadirán placas de continuidad.

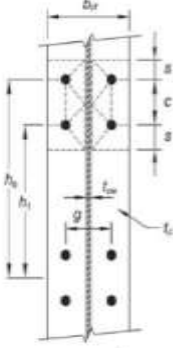
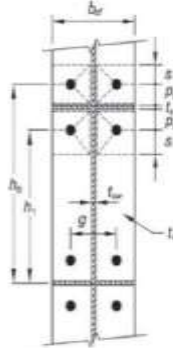
Geometría del ala de la columna no rigidizada y líneas de plastificación.	Geometría del ala de la columna rigidizada y líneas de plastificación.
	
<p>Ala de la columna no rigidizada</p>	$Y_c = \frac{b_{cf}}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_1 \left(s + \frac{3c}{4} \right) + h_0 \left(s + \frac{c}{4} \right) + \frac{c^2}{2} \right] + \frac{g}{2}$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_{cf} g}$
<p>Ala de la columna rigidizada</p>	$Y_c = \frac{b_{cf}}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{zi}} \right) + h_0 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{zo}} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_1 (s + p_{zi}) + h_0 (s + p_{zo}) \right]$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_{cf} g} \text{ nota: Si } p_{zi} > s, \text{ use } p_{zi} = s$

Figura 10. Conexión con cuatro pernos sin rigidizar (4E), parámetro del mecanismo de línea de plastificación del ala de la columna. Fuente: [2]

- Paso Nº 2: Determinar la resistencia a flexión del ala de la columna.
- Paso Nº 3: Calcular la resistencia a la plastificación del alma de la columna; sin rigidizador.
- Paso Nº 4: Verificar la resistencia al pandeo del alma de la columna en el ala de la viga a compresión; para columnas no rigidizadas.
- Paso Nº 5: Determinar la resistencia al aplastamiento del alma de la columna en el ala de la viga a compresión; para columnas no rigidizadas.
- Paso Nº 6: En caso de requerir placas de continuidad, calcular la resistencia y diseñar conforme al "capítulo E" del código ANSI/AISC 341-16 [4]; adicionalmente determinar la soldadura.
- Paso Nº 7: Verificar el diseño de la zona panel; conforme al código ANSI/AISC 341-16 [4].

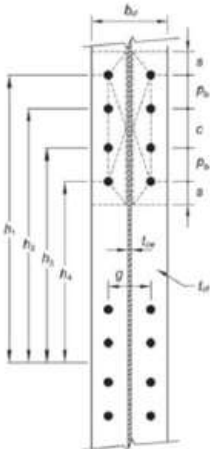
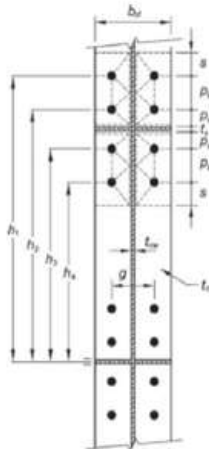
Geometría del ala de la columna no rigidizada y líneas de plastificación.	Geometría del ala de la columna rigidizada y líneas de plastificación.
	
<p>Ala de la columna no rigidizada</p>	$Y_c = \frac{b_{cf}}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} \right) + h_4 \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_1 \left(p_b + s + \frac{c}{s} \right) + h_2 \left(\frac{p_b}{2} + \frac{c}{4} \right) + h_3 \left(\frac{p_b}{2} + \frac{c}{2} \right) + h_4 (s) \right] + \frac{g}{2}$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g}$
<p>Ala de la columna rigidizada</p>	$Y_c = \frac{b_{cf}}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} \right) + h_2 \left(\frac{1}{p_{s0}} \right) + h_3 \left(\frac{1}{p_{s1}} \right) + h_4 \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_1 \left(s + \frac{p_b}{4} \right) + h_2 \left(p_{s0} + \frac{3p_b}{4} \right) + h_3 \left(p_{s1} + \frac{p_b}{4} \right) + h_4 \left(s + \frac{3p_b}{4} + p_b^2 \right) \right] + g$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_{cf} g} \text{ nota: Si } p_{si} > s, \text{ use } p_{si} = s$

Figura 11. Conexión con ocho pernos rigidizada (8ES), parámetro del mecanismo de línea de plastificación del ala de la columna. Fuente: [2]

3 METODOLOGÍA

De acuerdo a la naturaleza del problema planteado, esta investigación se considera del tipo aplicada, ya que ella depende de los descubrimientos y avances de la investigación básica y se enriquece con ellos, caracterizándose por su interés en la aplicación, utilización y consecuencias prácticas de los conocimientos. Por otra parte, también se considera como un proyecto de tipo factible, ya que consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades.

Para el análisis de las conexiones End-Plate 4E y 8ES se tomaron en cuenta cuatro condiciones de nodos: nodo interno, nodo interno tope, nodo fachada y nodo fachada tope descritos en la Figura 12 y Figura 13.

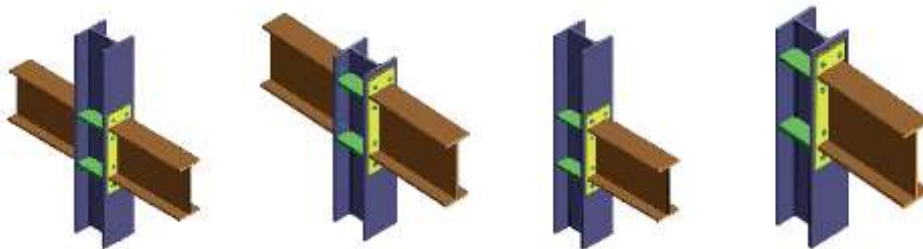


Figura 12. Diferentes tipos de nodos, configuración 4E: a) nodo interno tope, b) nodo fachada tope, c) nodo fachada y d) nodo interno. Fuente: Los Autores

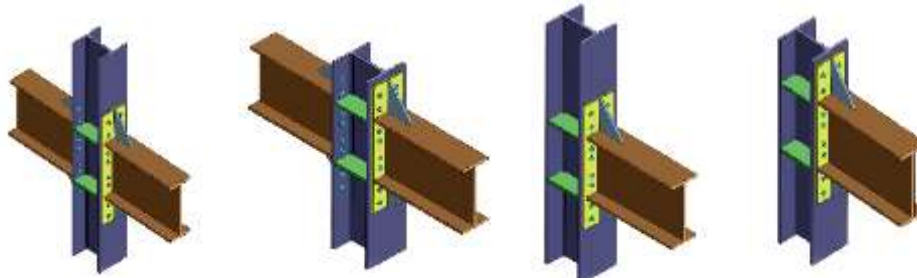


Figura 13. Diferentes tipos de nodos, configuración 8ES: a) nodo interno tope, b) nodo fachada tope, c) nodo fachada y d) nodo interno. Fuente: Los Autores

El programa Bolted End-Plate Connections (BEC) consiste en un software el cual ofrece una interfaz gráfica amigable y modificable para la introducción de datos de entrada, a través de los módulos se ingresa los parámetros de la conexión, cargas actuantes, propiedades de los elementos entre otros. En función de estos datos será verificada la conexión siguiendo el procedimiento especificado en las normas ANSI/AISC 358-16 [2], en la Figura 14 se observa la ventana grafica de inicio.

Todos los módulos que conforman el programa BEC contienen un código base que contiene todas las variables globales del sistema que permite que la información pase de una interfaz a otra y el orden de ejecución del mismo programa, cada una de las interfaces usadas por el programa BEC están conformadas por dos archivos, el primero es una archivo figura que contiene la información de cómo se verá cada interfaz gráfica, posición de cada uno de sus elementos en su entorno y un archivo fuente el cual contiene todas las líneas de código que hacen funcionar

cada uno de los elementos, dentro del mismo se dispone de todas las líneas de código que conforman la interfaz de manera ordenada y separada por elemento. En la Figura 15 se muestra la interfaz de la configuración del nodo.



Figura 14. Ventana de inicio del programa BEC. Fuente: Los Autores

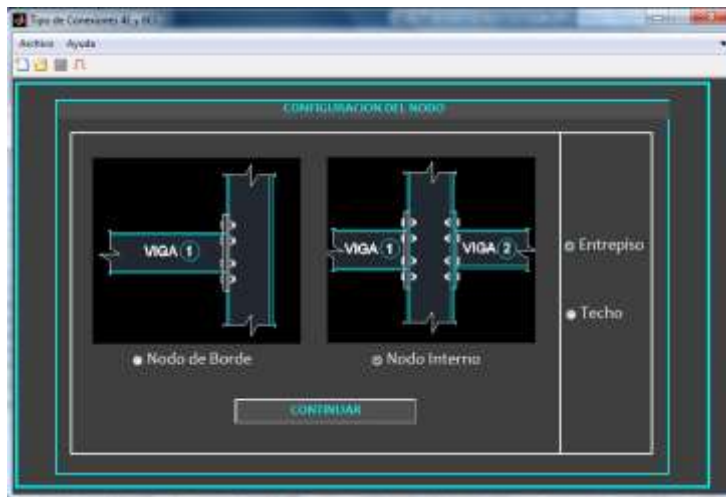


Figura 15. Configuración del Nodo. Fuente: Los Autores

En lo que respecta a la estructuración del programa, una vez introducidos los datos se ejecutara el programa a través de los diferentes botones dispuestos para ello, por medio de los cuales se mostraran los resultados obtenidos. Adicionalmente el programa está capacitado para modelar el pórtico; utilizando el análisis dinámico plano, en función de los datos se calcula la matriz de rigidez de cada elemento para así formar la matriz global de la estructura, en la cual se incluye la rigidez de la conexión (solo disponible para el caso 4E), luego por medio de la misma se determina las fuerzas y desplazamientos nodales en dirección de los ejes globales. La matriz de rigidez global en conjunto con la matriz de masas permitirá obtener la respuesta dinámica modal resolviendo el problema de auto valores y auto vectores, por medios de los espectros de aceleración para cada modo de vibración y con los métodos de combinación se obtiene la respuesta en función desplazamientos y reacciones en la estructura. En la Figura 16 se observa el flujograma del programa BEC.

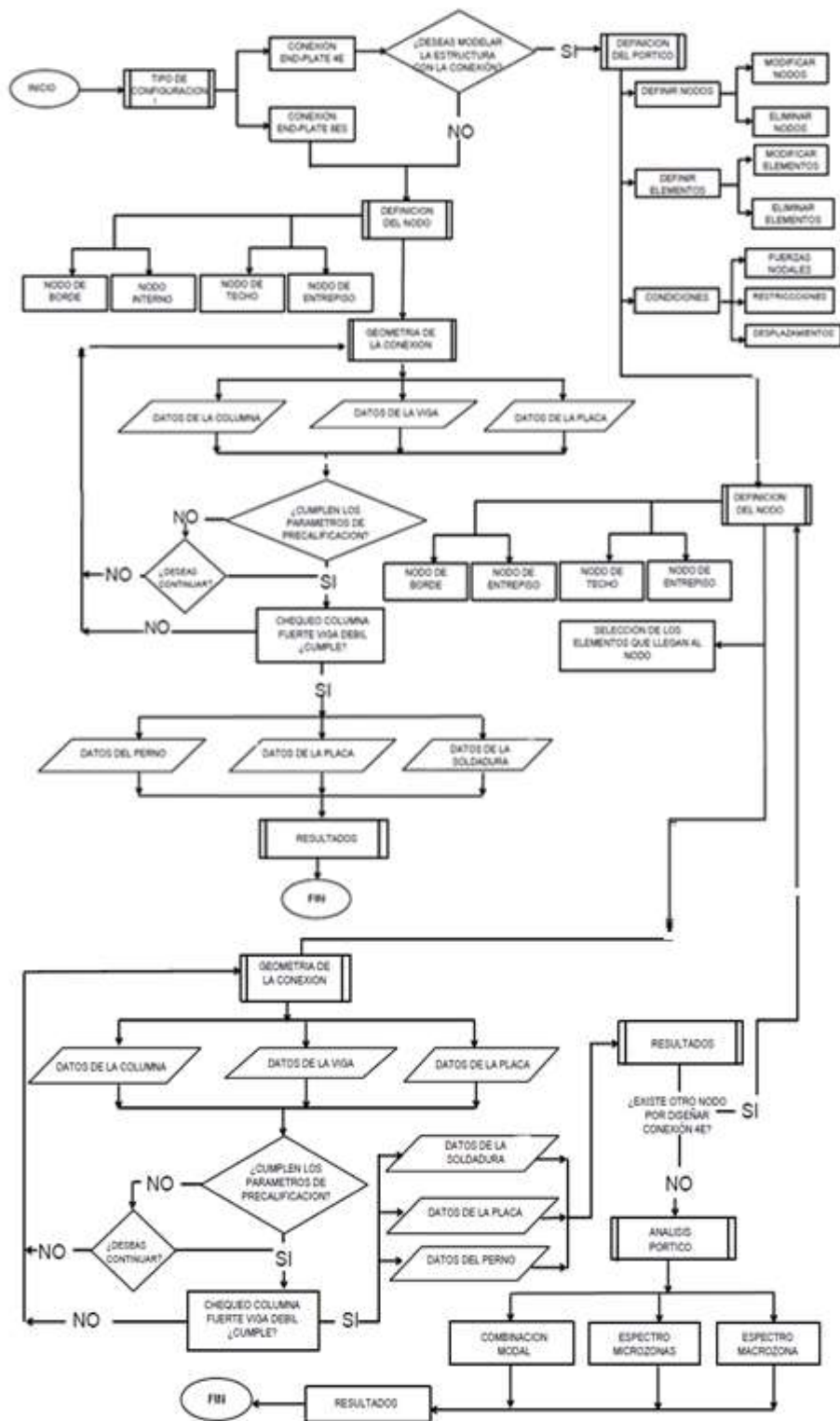


Figura 16. Flujograma del programa BEC. Fuente: Los Autores

4 RESULTADOS

Ejemplo 1 Conexión End-Plate Configuración 4E

A continuación se observa en la Figura 17; los datos preliminares para el diseño de la conexión en el programa modular BEC. Se establece la configuración y se define el nodo; como interno y de entrepiso.

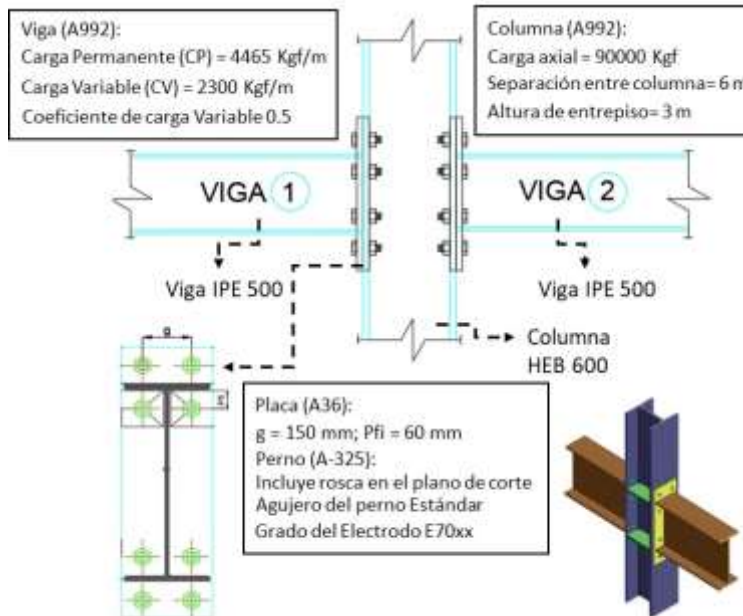


Figura 17. Ejemplo de la Conexión 4E. Fuente: Los Autores

Una vez seleccionada la configuración 4E; se visualiza la interfaz gráfica de la configuración del nodo (Ver Figura 15), en la misma se presenta las opciones que permiten al usuario seleccionar el tipo de nodo para la conexión, en este caso interno y de entrepiso, se presiona el botón *CONTINUAR*. Seguidamente se despliega la ventana gráfica que se observa en la Figura 18, la cual contiene una serie de comandos que permiten el ingreso de datos y definición de la geometría, como: Datos de la Columna, Datos de la Viga, Datos de la Placa. Una vez ingresado los datos se presiona el botón *Calcular*, el cual muestra un mensaje que indica que todos los parámetros cumple con la norma y se puede continuar ("La conexión es Precalificada"), posteriormente se procede a verificar el diámetro de los pernos, el espesor definitivo de la placa y la soldadura. Al finalizar de introducir los datos se presiona el botón definido como *SIGUIENTE* (Ver Figura 18), al presionarlo se podrán introducir los datos de la viga 2 por ser el caso de un nodo interno, en caso contrario el botón es definido como *RESULTADOS*.

En la Figura 19 se observa el ingreso de la información de la viga 2; al presionar el botón *Calcular*, se activa el botón *Chequeo del Nodo*, mediante el cual se verifica el criterio columna fuerte- viga débil; finalmente el programa solicita al usuario si ¿Se consideran los efecto de deformación plástica del panel en la estabilidad del pórtico?, al dar clic a la opción *VER RESULTADOS*; se mostrara la interfaz de resultados.

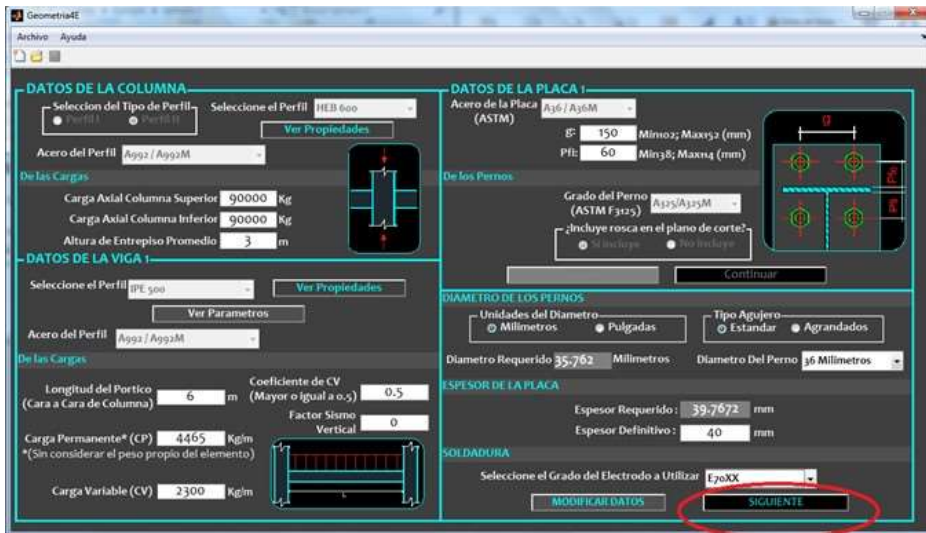


Figura 18. Geometría de la Conexión 4E Viga 1 Ejemplo 1. Fuente: Los Autores



Figura 19. Geometría de la Conexión 4E Viga 2 Ejemplo 1. Fuente: Los Autores

La ventana gráfica que muestra los resultados de la conexión; que se observa en la Figura 20, contiene una serie de pestañas organizada de izquierda a derecha y definidas de la siguiente manera: *Geometría*, *Placas Adicionales*, *Soldadura* y *Tabla de Resultados*. En la pestaña *Geometría* se muestra un panel con la información del tipo de perfil de la viga y de la columna, el acero correspondiente a cada uno, contiene además los parámetros y geometría de la Conexión End-Plate, su configuración, altura, ancho y espesor de la placa, el diámetro del perno, grado del acero, el tipo de agujero y su diámetro. Esta a su vez contiene dos pestañas adicionales definidas como *Viga1* y *Viga2* que cumplen la función de visualizar la geometría de la conexión para cada viga.

En el caso de la pestaña *Placas Adicionales* se visualiza un panel que contiene y muestra la información de las placas de refuerzo, en caso de necesitarlas la columna será reforzada con placas de continuidad y placas adosadas al alma de la misma. (Ver Figura 21)



Figura 20. Pestaña Geometría Ejemplo 1. Fuente: Los Autores



Figura 21. Pestaña Placas adicionales Ejemplo 1. Fuente: Los Autores

La pestaña *Soldadura*, muestra un panel que contiene toda la información detallada de la soldadura de la conexión, la unión alma y ala de la viga con la placa, como se observa en la Figura 22. En el caso de la pestaña *Tabla de Resultados*, al presionarla se visualiza una tabla que contiene los resultados de todos los parámetros calculados dentro del Programa *BEC*, la misma contiene cuatro columnas en las cuales se especifica: Descripción, Valor, Unidades y Referencias. (Ver Figura 23).



Figura 22. Pestaña Soldadura Ejemplo 1. Fuente: Los Autores

DESCRIPCION	TABLA DE RESULTADOS	
	Viga 1	Viga 2
DISTANCIAS Y FUERZAS ACTUANTES EN EL PORTICO		
Longitud del Portico (L)	6.00	Mts
Distancia entre Rotulas Plasticas (Lh)	5.50	Mts
Distancia desde la cara de la Columna a la Rotula Plastica (Sh)	0.25	Mts
Carga Permanente (Cp)	9495.00	Kgf/m
Carga Variable (Cv)	2300.00	Kgf/m
Fuerza cortante mayorada (Vgravity)	6617.33	Kgf
Fuerza Cortante al Final de la Viga (Vu)	53609.93	Kgf (6.8 - 2)
Momento Maximo Probable en la Rotula Plastica (Mpr)	97383.83	Kgf.m (2.4 - 1)
Momento en la Cara de la Columna (Mf)	110786.31	Kgf.m (6.8 - 1)
Fuerza en el ala de la viga (Ffu)	228897.33	Kgf (6.8 - 6)
Relación entre el límite de elasticidad esperado y el límite de elasticidad mínimo (Ry)	4.31	Adimensional
Módulo de sección plástica efectiva de la sección (Za)	2190.00	cm³
Factor de fuerza máxima de la conexión (Cpr)	1.15	Adimensional (2.4 - 2)
Fy de la viga	3315.00	Kgf/cm²
Fu de la viga	4570.00	Kgf/cm²
Fy de la columna	3315.00	Kgf/cm²
Fu de la columna	4570.00	Kgf/cm²

Figura 23. Pestaña Tabla de Resultados Ejemplo 1. Fuente: Los Autores

Los resultados obtenidos con el programa *BEC* han sido comparados con los obtenidos por otros autores. La diferencia de en porcentaje se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$Diferencia\% = 100\% \times \left(\frac{BEC\ resultados}{otros\ resultados} - 1 \right) \tag{1}$$

A continuación se muestra una Tabla comparativa de resultados donde se puede observar el porcentaje de diferencia entre ellos. En general los valores obtenidos mediante el programa *BEC*, que se observan en la Tabla 2; difieren en menos de 0.90%, por lo cual son aceptables.

Tabla 2. Validación de Resultados de la Configuración 4E. Fuente: Los Autores

Parámetro	BEC	[7]	Diferencia (%)
Momento máximo probable (Kgf x m)	97384	97386	0.002
Corte en la rótula plástica (Kgf)	53609.93	53610.72	0.001
Momento máximo probable en la columna (Kgf x m)	110786.31	110786.54	0.0002
Diámetro requerido de los pernos (mm)	35.76	35.8	0.112
Espesor requerido de la placa (mm)	39.76	39.75	0.025
Fuerza factorizada actuando en el ala de la viga (Kgf)	228897.33	228897.4	0.00
Resistencia nominal por corte en los pernos (Kgf)	138146.13	138555.12	0.295
Resistencia nominal al aplastamiento/desgarramiento en la placa (Kgf)	385804.8	385805.4	0.0002
Momento de flexión local en las alas de la columna (Kgf x m)	86076.23	86076.96	0.001
Resistencia nominal a flexión local de la columna (Kgf)	177843.45	177844.94	0.001
Resistencia nominal aplastamiento/al desgarramiento en la columna (Kgf)	289353.6	289352.222	0.0005
Resistencia nominal del ala de la columna (Kgf)	171761.7	171761.7	0.00
Resistencia nominal por pandeo local del alma de la columna (Kgf)	134941.72	134041.7	0.671
Fuerza de cedencia en el ala de la viga (Kgf)	14016.,25	140164	0.0002
Fuerza de diseño para la soldadura de filete (Kgf)	88733.07	88733.4	0.0004
Espesor requerido para la soldadura de filete (mm)	10.97	10.91	0.549
Espesor requerido de la soldadura en el alma por corte (mm)	5.48	5.51	0.544
Espesor requerido para la soldadura por flexión en el alma (mm)	5.66	5.71	0.875
Resistencia necesaria para el diseño de las placas (Kgf)	256732	256732.08	0.00
Espesor de las placas de continuidad (mm)	15.44	15.58	0.898
Fuerza cortante de Diseño en la columna (Kgf)	73857.54	73857.69	0.0002
Resistencia a corte en la columna en la zona de panel (Kgf)	165765.6	165756.1	0.006
Corte de diseño en la Zona de Panel (Kgf)	383937.12	383937.11	0.00
Resistencia requerida para el diseño de las placas adosadas (Kgf)	259612.92	259620.04	0.003

Ejemplo 2 Conexión End-Plate Configuración 8ES

A continuación se observa en la Figura 24; los datos preliminares para el diseño de la conexión en el programa modular BEC. Se establece la configuración y se define el nodo; como interno y de entrepiso.

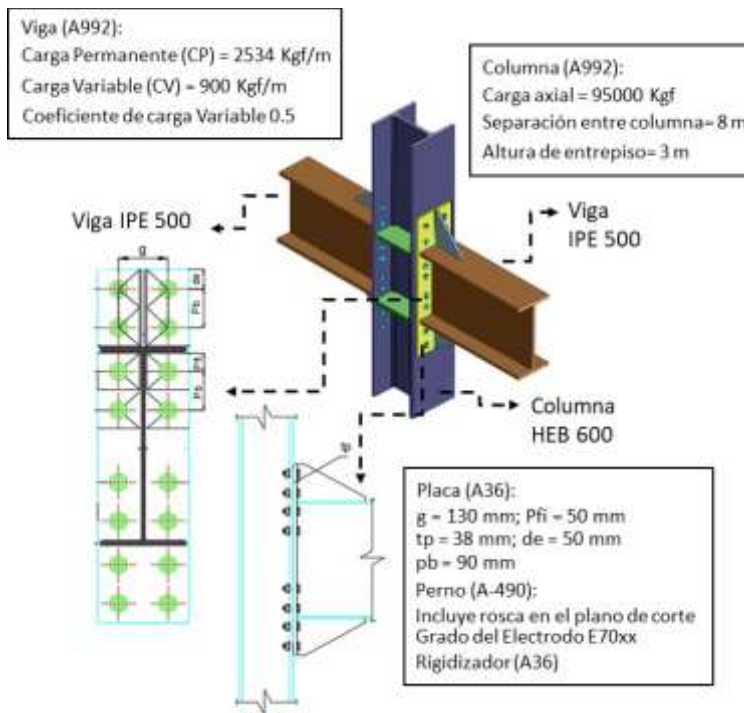


Figura 24. Ejemplo de la Conexión 8ES. Fuente: Los Autores

Una vez seleccionada la configuración 8ES; se visualiza la interfaz gráfica de la configuración del nodo (Ver Figura 15), en este caso interno y de entrepiso, se presiona el botón *CONTINUAR*. El procedimiento a seguir es similar al Ejemplo 1 con el ingreso de datos y definición de la geometría. Una vez ingresado los datos y verificar que los parámetros cumplen con la norma, se procede a verificar el diámetro de los pernos, el espesor definitivo de la placa y rigidizador, adicionalmente la soldadura y el criterio columna fuerte- viga débil. De la Figura 25 a 28, se muestra la interfaz de resultados organizada de la siguiente manera: *Geometría, Placas Adicionales, Soldadura y Tabla de Resultados*.

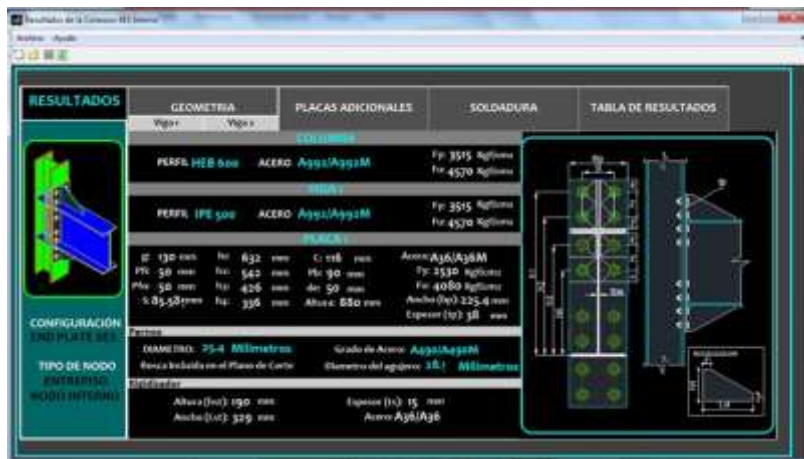


Figura 25. Pestaña Geometría Ejemplo 2. Fuente: Los Autores



Figura 26. Pestaña Placas adicionales Ejemplo 2. Fuente: Los Autores



Figura 27. Pestaña Soldadura Ejemplo 2. Fuente: Los Autores



Figura 28. Pestaña Tabla de Resultados Ejemplo 2. Fuente: Los Autores

A continuación se muestra una Tabla comparativa de resultados donde se puede observar el porcentaje de diferencia entre ellos, con base a la ecuación (1). En general los valores obtenidos mediante el programa *BEC*, que se observan en la Tabla 3; difieren en menos de 5%, por lo cual son aceptables.

Tabla 3. Validación de Resultados de la Configuración 8ES. Fuente: Los Autores

Parámetro	BEC	[8]	Diferencia (%)
Momento máximo probable (Kgf x m)	97386	97377	0.009
Corte en la rótula plástica (Kgf)	41217	41218	0.002
Momento máximo probable en la columna (Kgf x m)	112510.56	112514.8	0.004
Diámetro requerido de los pernos (mm)	22.8	22.3	2.24
Espesor requerido de la placa (mm)	30.7	31	0.968
Fuerza factorizada actuando en el ala de la viga (Kgf)	232460	232468.7	0.004
Espesor requerido del rigidizador (mm)	11.77	12	1.92
Resistencia nominal al aplastamiento/desgarramiento en la placa (Kgf)	699958.28	689121.778	1.57
Resistencia nominal aplastamiento/al desgarramiento en la columna (Kgf)	618964	628975	1.59
Resistencia nominal del alma de la columna (Kgf)	236450	247895	4.62
Resistencia nominal por pandeo local del alma de la columna (Kgf)	157990	157994.64	0.003
Resistencia nominal por aplastamiento en el alma de la columna (Kgf)	184680	184136.3	0.295
Resistencia necesaria para el diseño de las placas (Kgf)	227920	227945.44	0.011
Espesor de las placas de continuidad (mm)	15.44	16	3.50
Fuerza cortante de Diseño en la columna (Kgf)	75007.04	75009.86	0.004
Resistencia a corte en la columna en la zona de panel (Kgf)	230302.8	227946.1	1.03
Corte de diseño en la Zona de Panel (Kgf)	389913	389927.54	0.004
Resistencia requerida para el diseño de las placas adosadas (Kgf)	217185.9	217210.29	0.011

5 CONCLUSIONES

- El programa modular *BEC* es una herramienta para el diseño de conexiones precalificadas tipo End-Plate configuraciones 4E y 8ES, así como también presenta como aporte la capacidad de realizar el análisis del comportamiento estructural de la edificación en caso de ser diseñada con la configuración 4E. Aunado a esto, posee una interfaz gráfica sencilla, de fácil entendimiento con visualización de resultados.

- En la validación del Programa *Bolted End-Plate Connections* se realizaron comparaciones con otros autores donde las diferencias representaron un porcentaje inferior al 5%, con lo cual los resultados obtenidos utilizando el programa *BEC* son aceptables.
- El programa *BEC* permite el diseño de conexiones End-Plate con la capacidad de evaluar los 4 posibles casos de junta y realiza el análisis estructural del pórtico de manera sistematizada, reduciendo así el tiempo de ejecución. El manual de usuario contiene los pasos y recomendaciones necesarios para el funcionamiento del programa *BEC*.
- El programa *BEC* está capacitado para el análisis modal, así como también obtener los desplazamientos y reacciones; tanto para el análisis del comportamiento estructural sin tomar en cuenta la conexión End-Plate 4E como para el análisis incluyendo la rigidez que aporta la misma. Es importante resaltar que se requieren estudios posteriores para evaluar el comportamiento de la conexión en rango no lineal.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. S. Elnashai y L. Di Sarno , *Fundamentals of Earthquake Engineering*, Londres: Wiley, 2008.
- [2] ANSI/AISC 358-16, «Prequalified Connections For Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications,» American Institute of Steel Construction , Chicago , 2016.
- [3] COVENIN 1618:1998, «ESTRUCTURAS DE ACERO PARA EDIFICACIONES. MÉTODO DE LOS ESTADOS LÍMITES,» FONDONORMA, Caracas, 1998.
- [4] ANSI/AISC 341-16, «Seismic Provisions for Structural Steel Buildings,» American Institute of Steel Construction , Chicago, 2016.
- [5] F. J. Crisafulli, *Diseño Sismorresistente de Construcciones de Acero*, Santiago de Chile: Asociación Latinoamericana del Acero- Alacero, 2014.
- [6] R. Aguiar, J. C. Vielma, C. Abella y G. Pannillo, «Use of Bolted Flange Plate Connection,» *Revista Internacional de Ingeniería en Estructuras*, vol. 23, nº 3, pp. 245-272, 2018.
- [7] C. Abella, «Programa para análisis y diseño de estructuras aporticadas de acero, diseño de conexiones y curvas de comportamiento para las conexiones de plancha extrema extendida 4ES bajo las especificaciones del AISC,» UCLA, Barquisimeto, Venezuela, 2017.
- [8] R. Luna, «Modelación para la precalificación de conexión a momento usando perfiles armados,» Universidad del Valle, Santiago de Cali , 2014.

- [9] A. Hernández y P. Hernández, «Diseño de un instrumento de cálculo para las conexiones precalificadas según AISC 358-10 aplicando la herramienta Microsoft Excel,» Universidad Central de Venezuela , Caracas, 2012.