

14

DESARROLLO DE HABILIDADES DE PROGRAMACIÓN: SOFTWARE SMATH STUDIO PARA CÁLCULO Y DISEÑO DE LA CONEXIÓN VIGA COLUMNA CON SECCIÓN REDUCIDA (RBS)

DEVELOPMENT OF PROGRAMMING SKILLS: SMATH STUDIO SOFTWARE FOR CALCULATION AND DESIGN OF BEAM-COLUMN CONNECTION WITH REDUCED CROSS-SECTION (RBS)

Christian Santiago Castro Mejía¹

E-mail: christian.castro.34@est.ucacue.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5937-9858>

Eduardo Dionei Palma Zambrano¹

E-mail: palmaeduardo@ucacue.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5858-5492>

¹ Universidad Católica de Cuenca. Ecuador.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Castro Mejía, C. S. y Palma Zambrano, E. D. (2024). Desarrollo de habilidades de programación: software Smath Studio para cálculo y diseño de la conexión viga columna con sección reducida (RBS). *Revista Conrado*, 20(97), 164-183.

RESUMEN

La conexión precalificada viga-columna es esencial para la resistencia sísmica de las estructuras, siendo fundamental en la formación tanto de estudiantes como de profesionales. Sin embargo, la limitada accesibilidad a costosos programas comerciales puede representar un desafío para muchos. En respuesta a esta problemática, surge CONEXIÓN RBS, un software libre que no solo ofrece una solución asequible, sino que también facilita el desarrollo de habilidades en el diseño de conexiones precalificadas a momento viga-columna con sección reducida RBS, conforme a la normativa ANSI / AISC 358 - 22. La interfaz gráfica amigable de CONEXIÓN RBS contribuye al aprendizaje intuitivo, permitiendo a los usuarios realizar cálculos y diseñar conexiones de manera automatizada. Este enfoque eficiente no solo minimiza el riesgo de errores derivados de cálculos manuales, sino que también agiliza el proceso, brindando a los usuarios la oportunidad de centrarse en comprender los conceptos y mejorar sus habilidades de diseño estructural. La inclusión de una memoria de cálculo en Smath Studio proporciona una herramienta valiosa para observar el paso a paso del diseño, enriqueciendo la comprensión del proceso. La comparación de los resultados de CONEXIÓN RBS con otros autores, con mínimas diferencias, valida la confiabilidad del software, respaldando su utilidad tanto en la práctica profesional como en el aprendizaje académico.

Palabras clave:

Conexión precalificada, viga con sección reducida, pórticos especiales a momento.

ABSTRACT

The prequalified beam-column connection is essential for the seismic resistance of structures, being fundamental in the training of both students and professionals. However, the limited accessibility to expensive commercial software can be a challenge for many. In response to this problem, CONEXIÓN RBS, a free software that not only offers an affordable solution, but also facilitates the development of skills in the design of prequalified beam-column moment connections with reduced section RBS, according to ANSI / AISC 358 - 22. The user-friendly graphical interface of CONEXIÓN RBS contributes to intuitive learning, allowing users to perform calculations and design connections in an automated manner. This efficient approach not only minimizes the risk of errors arising from manual calculations, but also streamlines the process, giving users the opportunity to focus on understanding the concepts and improving their structural design skills. The inclusion of a calculation memory in Smath Studio provides a valuable tool for observing the design step-by-step, enriching the understanding of the process. The comparison of CONEXIÓN RBS results with other authors, with minimal differences, validates the reliability of the software, supporting its usefulness in both professional practice and academic learning.

Keywords:

Prequalified connection, reduced beam section, special moment frame.

INTRODUCCIÓN

El uso del acero en estructuras a nivel mundial cada vez es más común debido a excelentes propiedades mecánicas y físicas además de tener una apariencia agradable y su excelente desempeño sismorresistente lo que ha conllevado a un crecimiento en el uso en la Ingeniería Civil y Estructural. Con movimientos sísmicos importantes como el terremoto de Northridge en California en Estados Unidos acontecido en 1994 (Kim et al., 2002; Chen et al., 2006; Aswad et al., 2020). Las estructuras presentaron fallas debido al pobre desempeño sismorresistente, al colapso parcial o total de varias estructuras y el problema fundamental, la falla de la unión viga – columna (Han et al., 2018). Esto ha generado la investigación sobre el diseño sismorresistente de uniones viga – columna frente a actividades sísmicas y la creación de normativas para el diseño de las mismas como las Americanas FEMA 350 (Chen et al., 2020), normativa ANSI / AISC 358 - 22 (detailing, fabrication and quality criteria for connections that are prequalified in accordance with the AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (herein referred to as the AISC Seismic Provisions American Institute of Steel Construction, detailing, fabrication and quality criteria for connections that are prequalified in accordance with the AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (herein referred to as the AISC Seismic Provisions 2022b) y normativas Europeas como el Eurocódigo 3 (Liu et al., 2012; Eladly & Schafer, 2021) a comprehensive investigation on stainless steel extended end-plate beam-to-column connections was carried out. A total of 180 connection configurations were numerically investigated, to establish a thorough understanding of the influence of a wide range of geometrical parameters on the behavior of this connection type commonly-used in earthquake-resistant steel structures. The initial stiffness; ultimate moment; rotation capacity; dissipative energy; ductility index; and failure patterns were compared and discussed. Furthermore, based on the data acquired from this parametric study, a simple analytical method, for predicting the moment-rotation ($M-\Phi$). Este enfoque normativo, particularmente la normativa ANSI / AISC 358 - 22, no solo establece los principios de diseño, sino que también ofrece procedimientos detallados para conexiones precalificadas a momento. La participación en ensayos reales y la adherencia a estas normativas no solo garantizan la seguridad y el rendimiento de las estructuras de acero ante movimientos sísmicos, sino que también fomentan el desarrollo de habilidades prácticas y conocimientos técnicos en profesionales e estudiantes de Ingeniería Civil y Estructural (American Institute of Steel Construction, detailing, fabrication and quality criteria for connections that are prequalified in accordance with the AISC Seismic

Provisions for Structural Steel Buildings (herein referred to as the AISC Seismic Provisions 2022b).

Ecuador está ubicado en una zona de alto peligro sísmico y ha tenido algunos sismos importantes como el de Ambato en 1949, el de Manabí y Esmeraldas en 2016 que ha dejado como resultado el colapso de muchas estructuras (Calle Castro et al., 2021), además de tener una alta probabilidad de ocurrencia sísmica. El crecimiento de las construcciones metálicas es notable debido a su rápido montaje y costo en la construcción. El desconocimiento en el diseño de los mismos profesionales de la construcción puede conllevar a problemas muy graves en especial en el fallo de la unión viga- columna sin importar el tamaño y uso de la edificación (Liu et al., 2012) esto debe garantizar la estabilidad global de la estructura ya que son elementos críticos y muy propensos a fallar (Yang & Tan, 2013) catenary action usually forms and gives rise to alternate load paths when. affected columns are severely damaged, resulting in large deformations in adjoining beams and slabs. This paper presents seven experimental tests of the performance of common types of bolted steel beam-column joints under a central-column-removal scenario. The joint types including web cleat, top and seat angle, top and seat with web angle (TSPA).

En la actualidad, los programas más utilizados para el diseño y cálculo de conexiones, como Idea Statica, Ansys y Abaqus, se basan en el método de elementos finitos, brindando la capacidad de analizar y diseñar diversas conexiones. Sin embargo, su principal desventaja radica en que los procesos de cálculos y las rutinas de diseño son realizados internamente, lo que limita la comprensión y participación activa del usuario. Estos softwares permiten únicamente observar los resultados obtenidos, haciendo que los usuarios dependan del programa sin adquirir el conocimiento de los cálculos subyacentes. Esta característica orienta estos programas hacia un enfoque más profesional que académico, dificultando su utilidad para el desarrollo de habilidades en estudiantes e ingenieros. Además, su costo elevado en el mercado representa una barrera para su adquisición, especialmente para aquellos en etapas formativas. En contraste, la incorporación de herramientas educativas y software de libre acceso podría fomentar un enfoque más educativo, permitiendo a los usuarios entender y participar activamente en el proceso de diseño, contribuyendo así al desarrollo de habilidades técnicas y analíticas en el ámbito académico y profesional.

En este proyecto, se desarrolló un algoritmo y un software libre basado en Smath Studio para el cálculo y diseño de conexiones precalificadas a momento viga-columna con sección reducida RBS, siguiendo la normativa ANSI /

AISC 358 - 22 (American Institute of Steel Construction, 2022b). Este software no solo ofrece eficiencia en los procesos de cálculo y precisión en los resultados, sino que también destaca por su interfaz gráfica intuitiva. La implementación de este software busca optimizar el tiempo de cálculo y facilitar el acceso a herramientas de diseño estructural, especialmente para estudiantes y profesionales. La codificación del software se ha diseñado de manera clara y sencilla, permitiendo que los usuarios comprendan y participen activamente en el proceso de cálculo y diseño. Esta iniciativa no solo cumple con los requisitos normativos, sino que también contribuye al desarrollo de habilidades técnicas y analíticas, proporcionando a los usuarios una valiosa oportunidad para mejorar sus capacidades en el ámbito académico y profesional.

MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo del software libre CONEXIÓN RBS ha culminado en la creación de una herramienta integral que abarca el cálculo, verificación y diseño de conexiones RBS en un pórtico especial resistente a momento. Este programa se ha concebido en concordancia con los pasos recomendados por la normativa ANSI / AISC 358 - 22 (American Institute of Steel Construction, 2022b), como se detalla en la Tabla 1, así como con normativas complementarias (American Institute of Steel Construction, 2022ac).

El empleo de CONEXIÓN RBS no solo asegura la conformidad con las pautas normativas, sino que también enfatiza el desarrollo de habilidades en ingeniería estructural. Los usuarios de este software tienen la oportunidad de aplicar teorías y principios específicos de diseño estructural en un entorno práctico y orientado a resultados tangibles. Este enfoque pedagógico permite que estudiantes y profesionales adquieran una comprensión profunda del proceso de diseño de conexiones RBS y fortalezcan sus habilidades técnicas y analíticas.

La implementación del programa se presenta como una herramienta formativa, ya que involucra la aplicación directa de conocimientos teóricos, fomentando el desarrollo de habilidades prácticas y la capacidad para abordar problemas específicos de diseño estructural. Por lo que la referencia constante a normativas reconocidas asegura la calidad y precisión de los resultados, contribuyendo al fortalecimiento del rigor técnico en el desarrollo de habilidades de los usuarios. Tabla 1

Tabla 1. Pasos para el diseño de la conexión RBS según la normativa ANSI / AISC 358 - 22. detailing, fabrication and quality criteria for connections that are prequalified in accordance with the AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (herein referred to as the AISC Seismic Provisions)

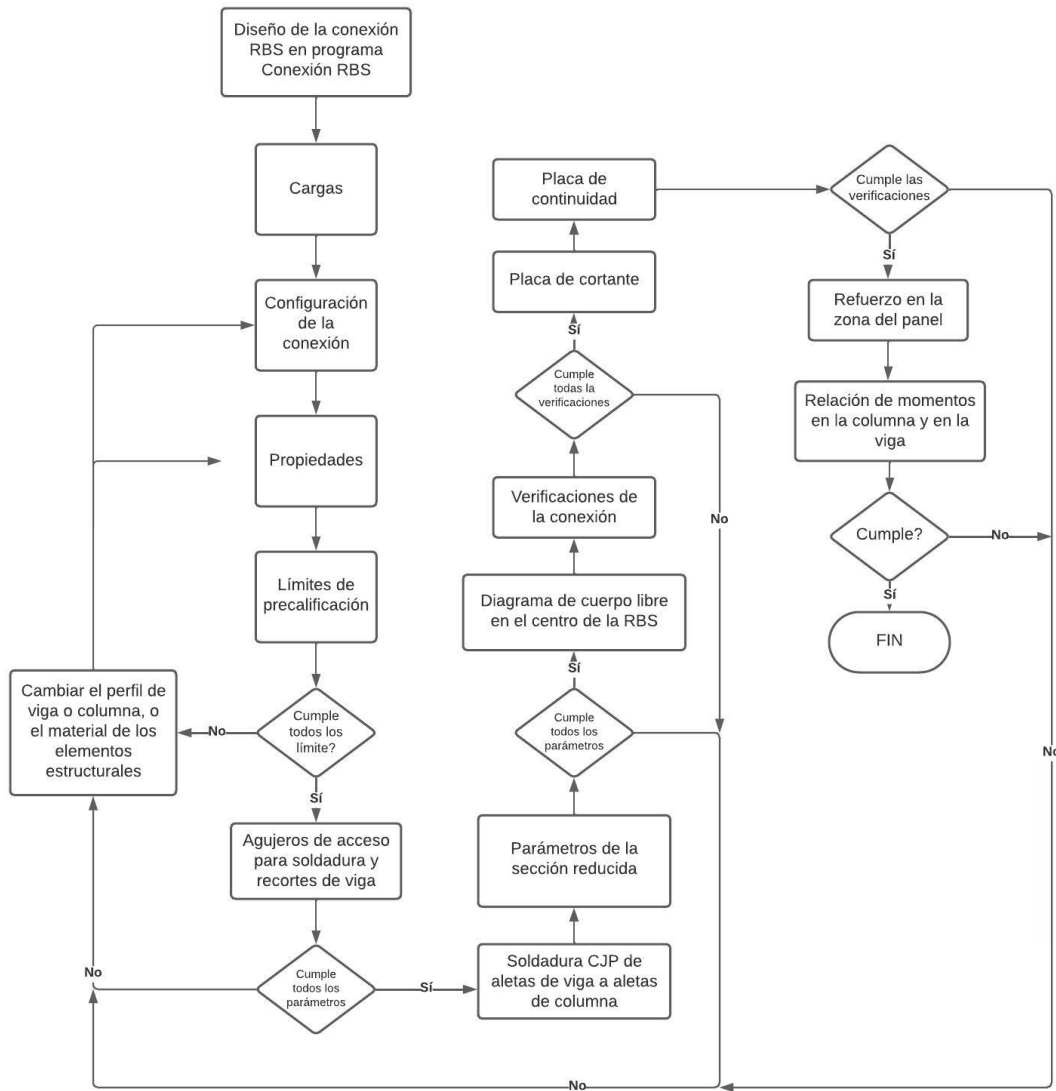
Pasos	Descripción
1	Calculamos los valores de las dimensiones a, b y c de la RBS y verificamos que estén dentro del rango indicado por la normativa.
2	Calculamos el valor del módulo plástico de sección en el centro de la sección de viga reducida, está en función del módulo plástico de sección en x, altura de la viga y espesor de la aleta de la viga.
3	Calculamos el momento máximo probable en el centro de la sección de viga reducida, está en función del factor que toma en cuenta la resistencia máxima de la conexión, factor de esfuerzo de fluencia probable, esfuerzo de fluencia y el módulo plástico de sección en el centro de la sección de viga reducida.
4	Calculamos la ubicación de la rótula plástica S_h .
5	Calculamos la fuerza cortante en el centro de la sección de viga reducida en cada extremo de la viga, previo se debe calcular la combinación de carga con la normativa (ASCE/SEI 7-22, 2022), o (IBC-Structural-22, 2022). Se debe calcular la distancia entre los centros de recortes de la RBS con el fin de elaborar un diagrama de cuerpo libre.
6	Calculamos el momento máximo probable en la cara de la columna a partir de un diagrama de cuerpo libre del segmento de viga comprendido entre el centro de la sección de viga reducida y la cara de la columna.
7	Calculamos el momento plástico de la viga basado en el esfuerzo de fluencia, factor de esfuerzo de fluencia probable y el módulo de sección plástica en x.
8	Verificamos la resistencia a la flexión de la viga en la cara de la columna.
9	Determinamos la resistencia requerida a cortante de la viga y de la conexión entre el alma de la viga y la columna, previo calculamos la fuerza cortante en la viga que resulta de la combinación de carga y verificamos la resistencia de diseño a cortante de la viga según el Capítulo G de la normativa ANSI/AISC 360-22 (American Institute of Steel Construction, detailing, fabrication and quality criteria for connections that are prequalified in accordance with the AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (herein referred to as the AISC Seismic Provisions2022c).
10	Diseñamos la conexión del alma de viga a la columna, previo calculamos la resistencia de diseño de la placa de cortante y la resistencia requerida al cortante de la viga y en la conexión viga columna.

11	Verificamos y diseñamos la placa de continuidad, previo calculamos la resistencia requerida en la cara de la columna y los estados límites locales.
12	Verificamos la zona del panel.
13	Verificamos los límites de la relación entre los momentos en la columna y en la viga.

Fuente: Elaboración de autores

Para el desarrollo del software CONEXIÓN RBS se elaboró un diagrama de flujo para mostrar la secuencia de actividades de forma ordenada y detallada del funcionamiento del programa (Figura 1).

Fig. 1: Diagrama de flujo programa CONEXIÓN RBS.



Fuente: Elaboración de autores

El software CONEXIÓN RBS contiene dos archivos, un archivo ejecutable y una memoria de cálculo en Smath Studio que el usuario podrá verificar los pasos y cálculos internos que realiza el software. En la Figura 2 se observa el icono en el escritorio del ordenador previo su instalación. El software nos brinda una interfaz gráfica entendible y muy fácil de

comprender, lo cual el usuario debe seguir los pasos en las ventanas del programa y así ir verificando los resultados y comprobaciones que lo realiza.

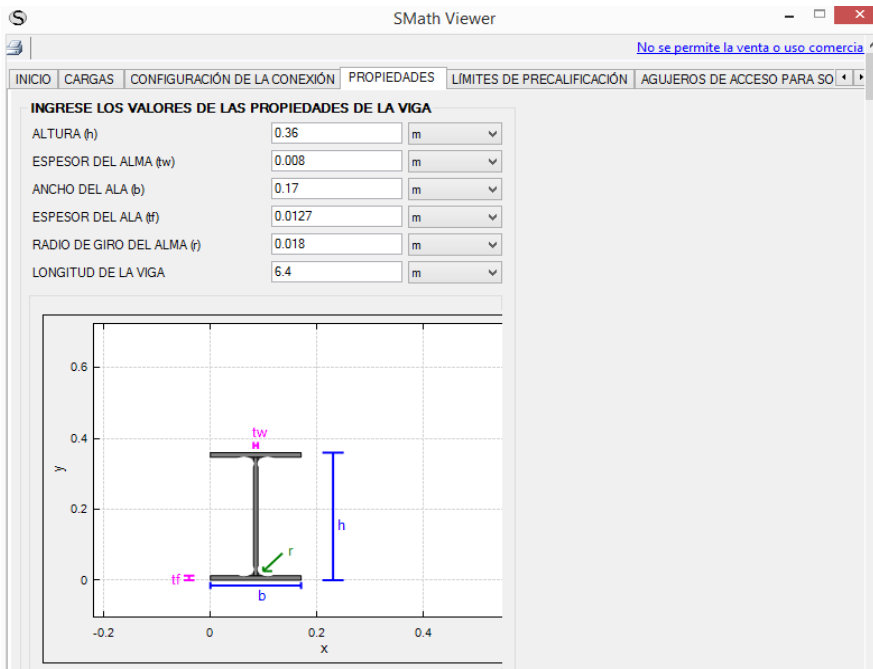
Fig. 2: Icono programa RBS.



Fuente: Elaboración de autores

El usuario debe ingresar los datos como los valores de carga axial sobre la columna, el valor de carga muerta y viva que actúa en la viga, la carga de granizo si esta lo hubiere. El usuario podrá elegir el material de sus elementos estructurales y el tipo de conexión que tiene su proyecto ya sea unilateral o bilateral. Además, como se muestra en la Figura 3 el usuario debe ingresar las propiedades de los elementos estructurales viga y columna.

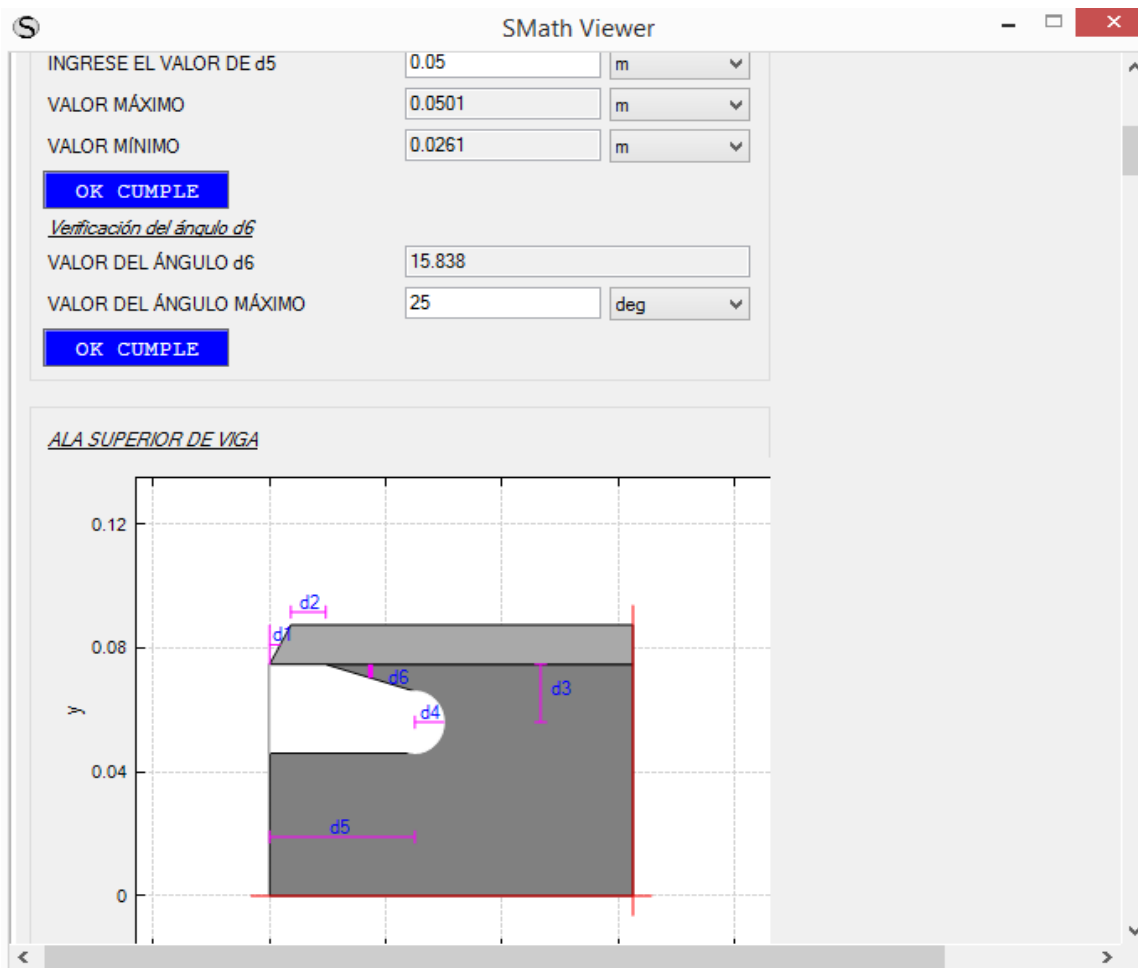
Fig. 3: Ingreso de propiedades de elementos estructurales en el programa CONEXIÓN RBS.



Fuente: Elaboración de autores

El software CONEXIÓN RBS verifica los valores máximos establecidos de precalificación en vigas y columnas como establece la normativa ANSI / AISC 358 - 22 (American Institute of Steel Construction detailing, fabrication and quality criteria for connections that are prequalified in accordance with the AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (herein referred to as the AISC Seismic Provisions (2022b) detailing, fabrication and quality criteria for connections that are prequalified in accordance with the AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (herein referred to as the AISC Seismic Provisions). En la figura 4 el software calcula las dimensiones de los orificios de acceso para soldadura y recortes de viga, Además el software calcula la soldadura CJP necesaria en la conexión de alas de viga a alas de columna y establece los parámetros de la sección reducida de la viga con los valores máximos y mínimos de a, b y c.

Fig. 4: Dimensiones de los orificios de acceso para soldadura en el software CONEXIÓN RBS.

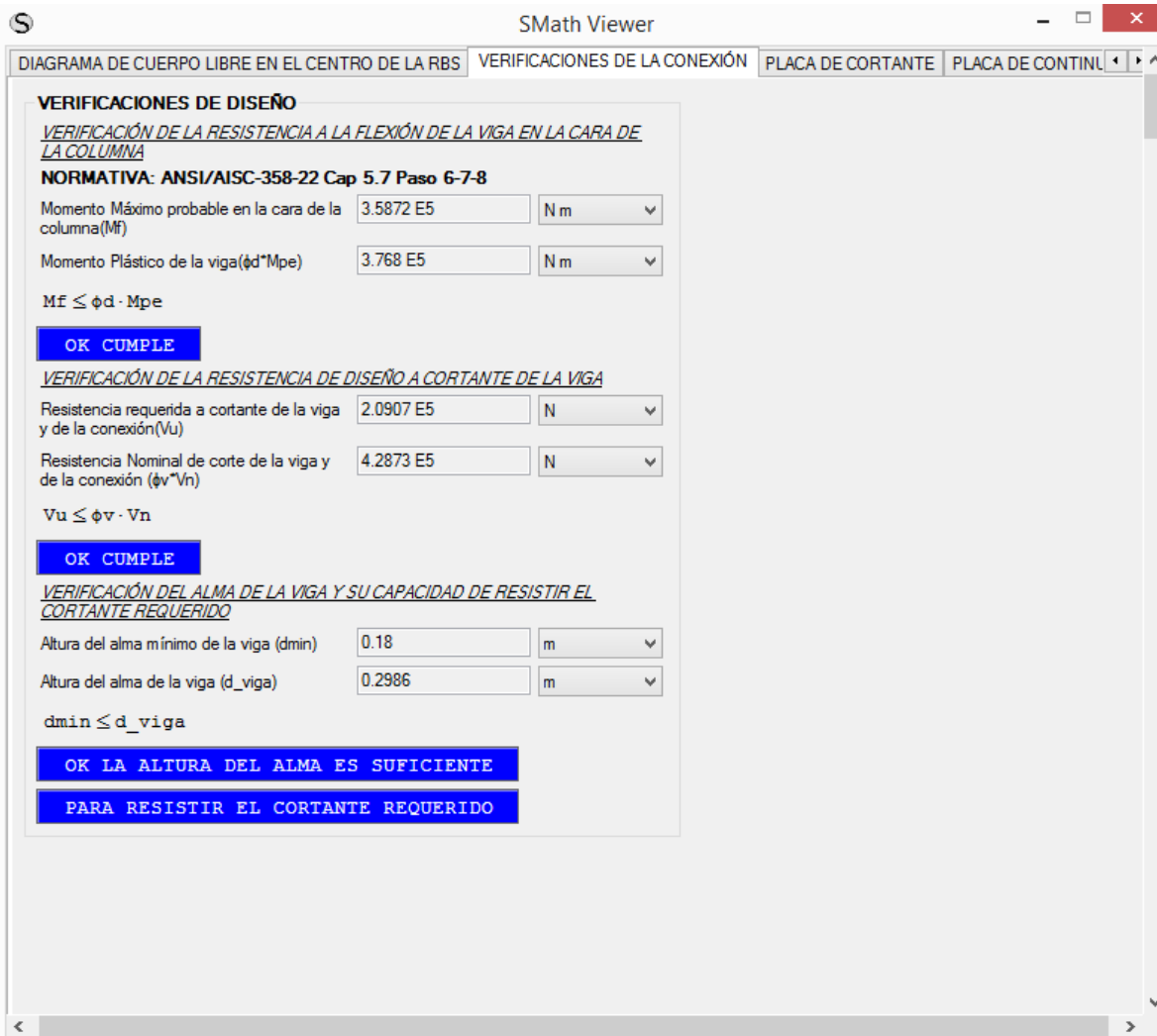


Fuente: Elaboración de autores

El software CONEXIÓN RBS no solo simplifica el proceso de diseño, sino que también se destaca por su contribución al desarrollo de habilidades en ingeniería estructural. El programa realiza cálculos esenciales, como determinar el momento máximo posible, la fuerza cortante en el centro de la sección reducida de la viga, el momento máximo posible en la cara de la columna, y la resistencia necesaria a cortante de la viga y de la conexión. Además, proporciona información crucial sobre la ubicación potencial de la rótula plástica en la conexión. En la Figura 5, se evidencian las verificaciones realizadas por el software de acuerdo a la normativa (American Institute of Steel Construction, 2022), incluyendo la verificación de la resistencia a la flexión de la viga en la cara de la columna, que depende del momento máximo en esa ubicación y el momento plástico de la viga. Asimismo, se verifica la resistencia de diseño a cortante de la viga, la cual se basa en la resistencia requerida a cortante de la viga y la conexión, junto con la resistencia nominal de corte de ambos elementos. También se evalúa la resistencia del alma de la viga para resistir el cortante requerido, considerando la altura de la viga.

El programa emite mensajes informativos en las verificaciones de cada pestaña, indicando si se cumple (OK CUMPLE, color azul) o no cumple (NO CUMPLE, color rojo) con los requisitos normativos, proporcionando además posibles soluciones. Este enfoque interactivo no solo guía al usuario en la aplicación de las normativas, sino que también fomenta el aprendizaje activo y el desarrollo de habilidades prácticas al brindar retroalimentación inmediata.

Fig. 5: Verificaciones de la conexión en el software CONEXIÓN RBS.

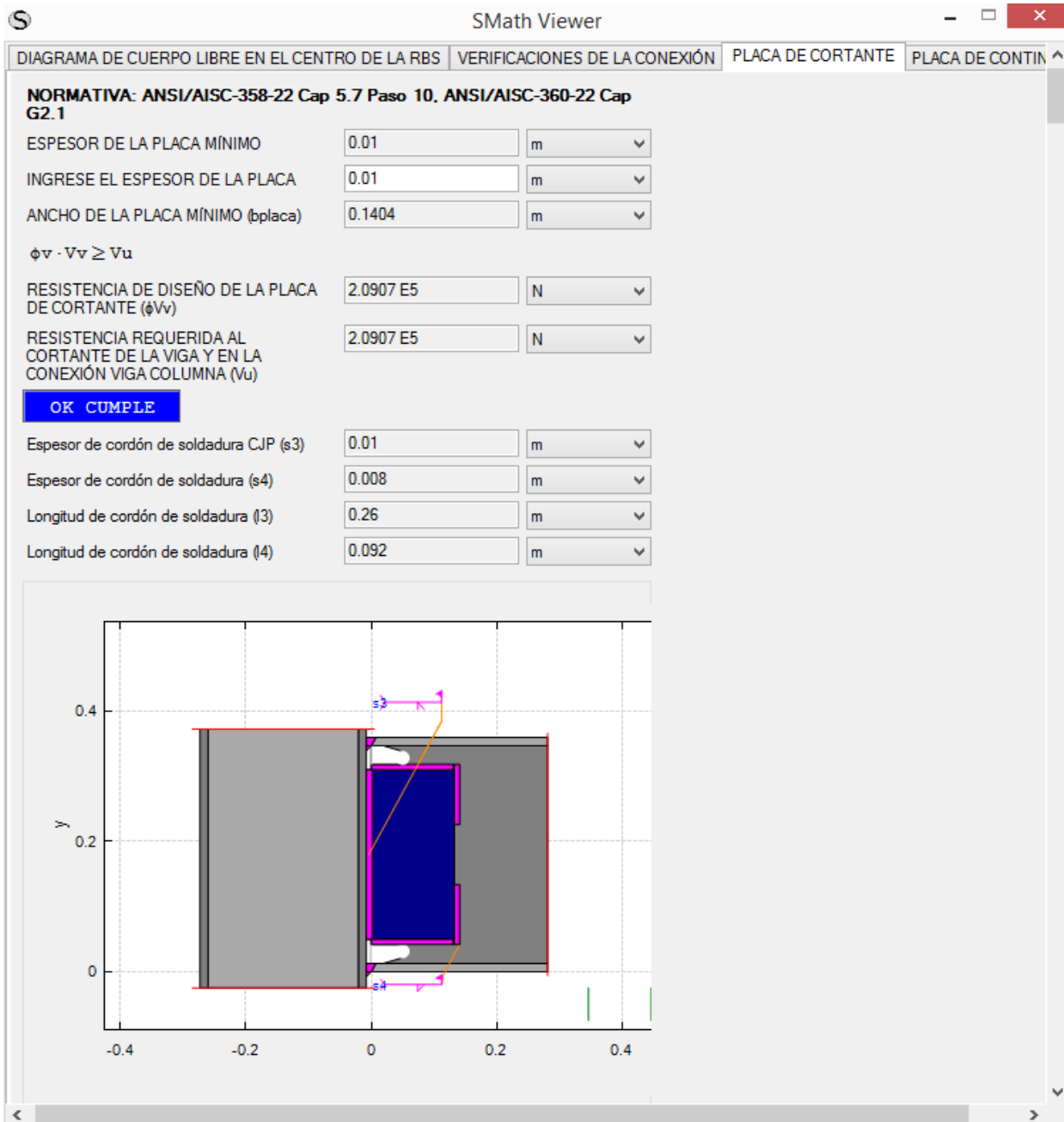


Fuente: Elaboración de autores

La Figura 6 del software CONEXIÓN RBS demuestra su capacidad para diseñar la placa de cortante esencial que une el alma de la viga con el ala de la columna. Realiza cálculos precisos para determinar el espesor mínimo de la placa, su ancho, el espesor y la longitud de la soldadura, mientras verifica la resistencia de diseño y la resistencia requerida al cortante tanto en la viga como en la conexión viga-columna. Además, el software evalúa la necesidad de una placa de continuidad y, en caso afirmativo, establece las dimensiones y soldaduras necesarias. La zona del panel, crítica en la conexión, es minuciosamente verificada, determinando si requiere refuerzo y, de ser así, el programa calcula las dimensiones necesarias.

Este proceso no solo asegura la conformidad con la normativa ANSI / AISC 358 - 22 (American Institute of Steel Construction, 2022b), sino que también potencia el desarrollo de habilidades en ingeniería estructural. La aplicación práctica de conceptos teóricos, la interpretación de resultados y la toma de decisiones con base en las verificaciones proporcionadas por el software contribuyen significativamente al fortalecimiento de habilidades prácticas y analíticas en el diseño de conexiones viga-columna.

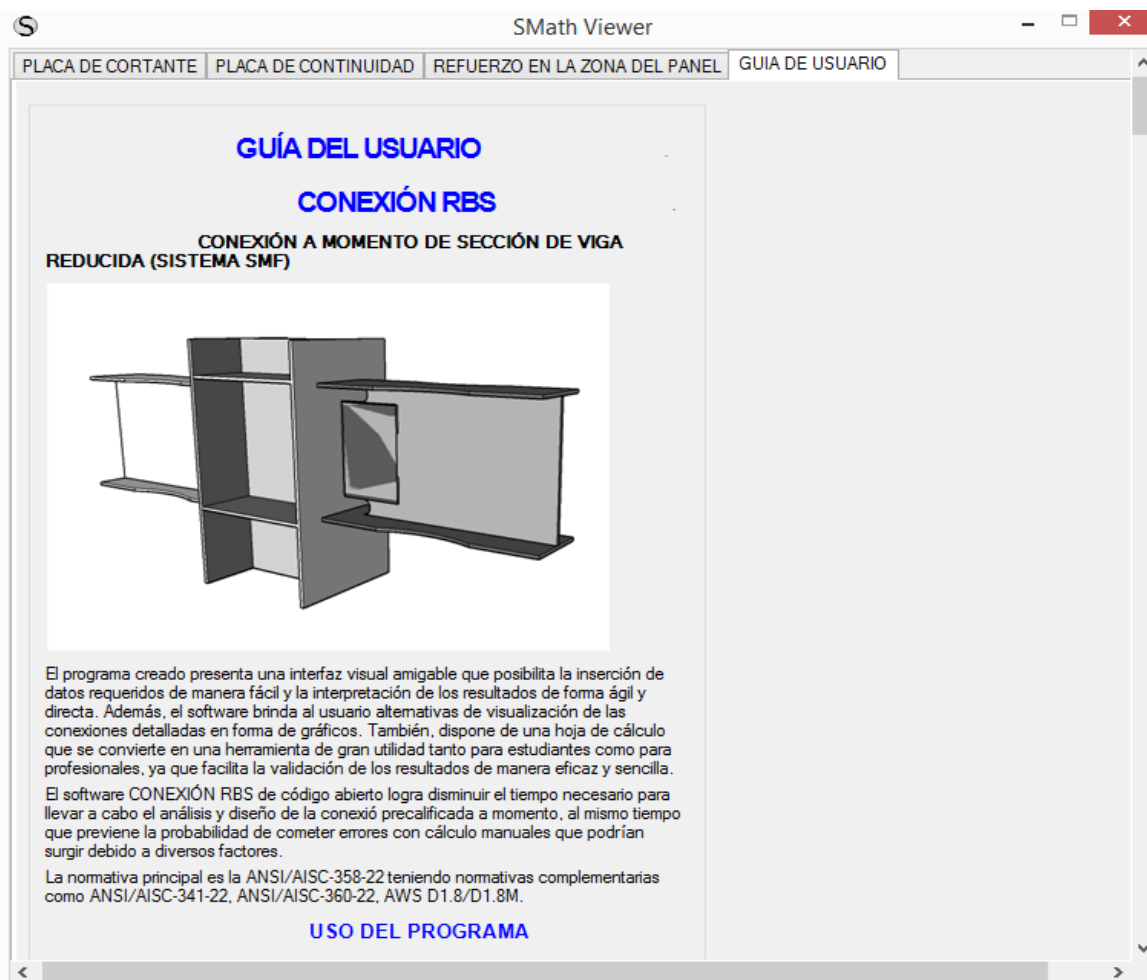
Fig. 6: Diseño de la placa de cortante en el software CONEXIÓN RBS.



Fuente: Elaboración de autores

La Figura 7 de CONEXIÓN RBS presenta una guía detallada para el preciso uso del programa, asegurando el diseño exacto de conexiones viga-columna precalificadas a momento con sección reducida RBS en pórticos resistentes a momento. Además de simplificar la operatividad del software, actúa como una valiosa herramienta de aprendizaje al fomentar el desarrollo de habilidades mediante orientación clara y detallada. Funciona no solo como un medio de cálculo y diseño, sino como un recurso educativo interactivo que fortalece habilidades técnicas y analíticas en ingeniería estructural, permitiendo a los usuarios participar activamente en cada etapa del diseño.

Fig. 7: Guía de usuario del software CONEXIÓN RBS.



Fuente: Elaboración de autores

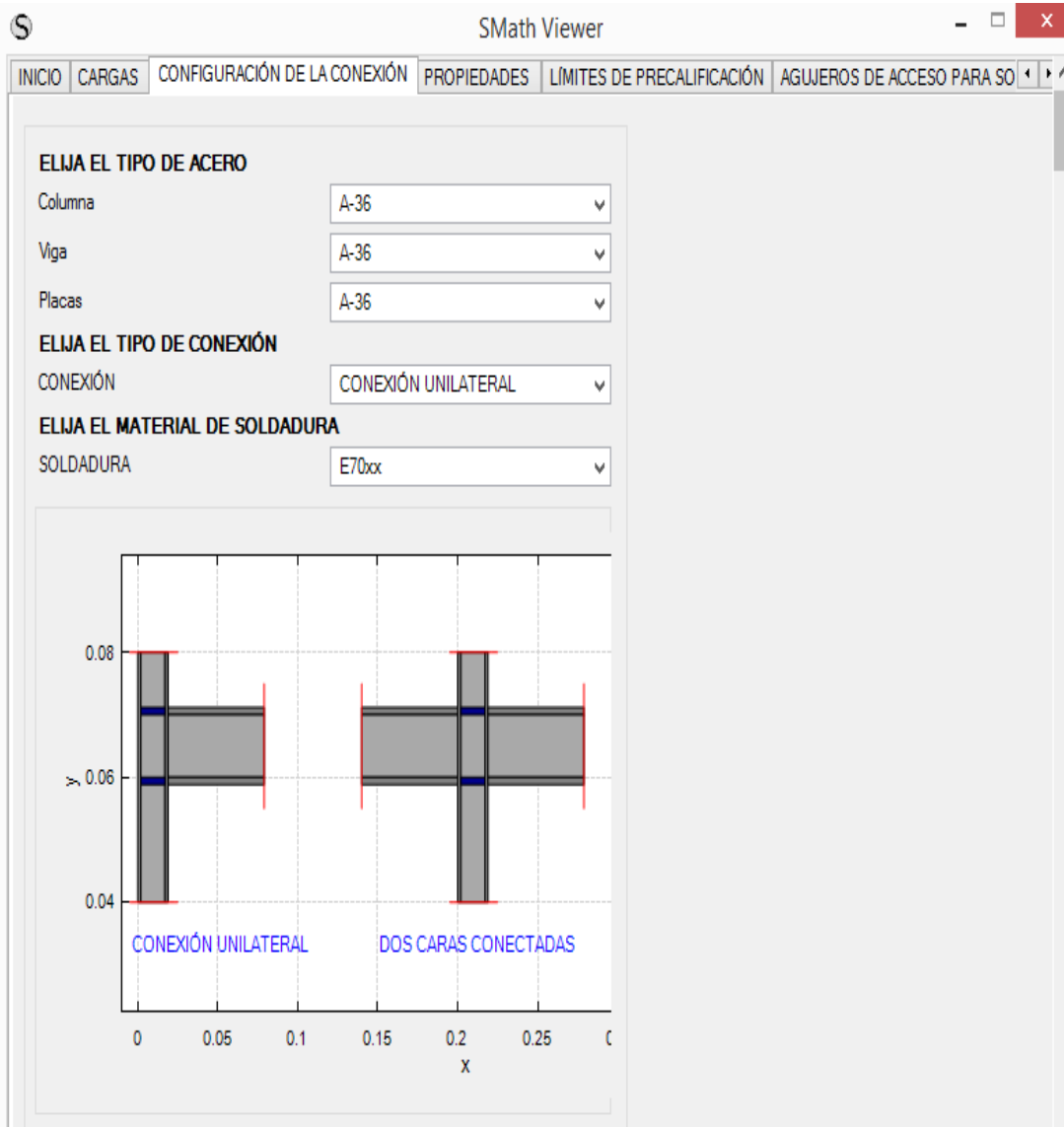
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se procederá a realizar un ejemplo con el propósito de verificar el funcionamiento del programa CONEXIÓN RBS y comparar los resultados obtenidos con los de Pannillo et al. (2018), siguiendo las pautas de la normativa ANSI / AISC 358 - 22 (American Institute of Steel Construction, 2022b). Este ejercicio se centrará en una conexión de un pórtico especial a momento con sección de viga reducida RBS, específicamente una conexión unilateral que implica un perfil de columna HEB-400 conectado a una viga de sección IPE-360, ambos fabricados con acero ASTM A36. La elección de un electrodo de 70Ksi para la soldadura contribuye a la configuración del ejemplo.

La altura del entrepiso se fija en 3.04 m, mientras que la viga tiene una distancia de 6.4 m. Las cargas aplicadas incluyen una carga axial de 1470997.5 N sobre la columna, una carga muerta de 18828.76 N/m sobre la viga y una carga viva de 9414.38 N/m también sobre la viga. Al abrir el programa CONEXIÓN RBS y dirigirse a la pestaña CARGAS, se ingresan todas las cargas actuantes en los elementos estructurales. En la pestaña CONFIGURACIÓN DE LA CONEXIÓN, ilustrada en la Figura 8, se elige el material ASTM A36 para todos los elementos estructurales, así como el tipo de soldadura con un electrodo 70xx. La pestaña PROPIEDADES permite ingresar las características de la viga IPE 360 y la columna HEB-400.

Este ejemplo no solo valida la eficacia del programa en cumplir con las normativas y proporcionar resultados comparables, sino que también impulsa el desarrollo de habilidades al requerir la aplicación práctica de conocimientos en el diseño estructural bajo condiciones específicas.

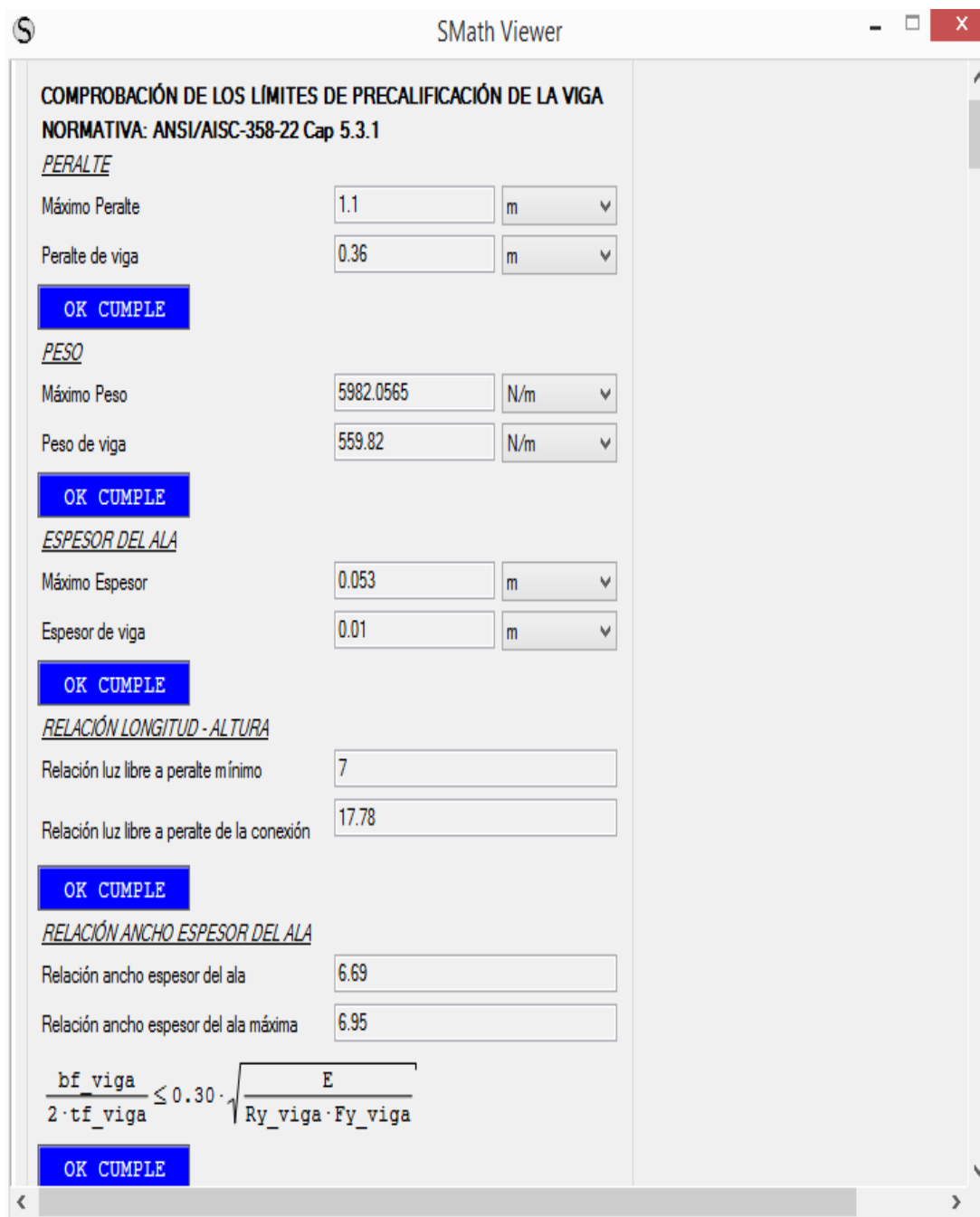
Fig. 8: Configuración de la conexión en el software CONEXIÓN RBS.



Fuente: Elaboración de autores

En la Figura 9 el software realiza las verificaciones de precalificación de vigas y columnas en el cual se evalúa el peralte, peso, espesor del ala, relación longitud – altura, relación ancho espesor del ala y alma, todo cumpliendo con los lineamientos de la normativa ANSI / AISC 358 - 22 (American Institute of Steel Construction detailing, fabrication and quality criteria for connections that are prequalified in accordance with the AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (herein referred to as the AISC Seismic Provisions (2022b) detailing, fabrication and quality criteria for connections that are prequalified in accordance with the AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (herein referred to as the AISC Seismic Provisions. La viga IPE 360 y la columna HEB-400 cumplen con todos los límites de precalificación.

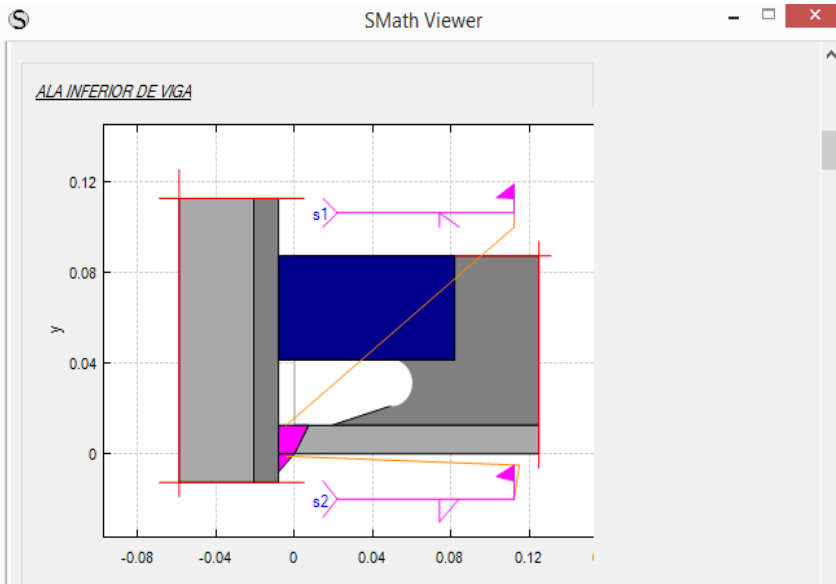
Fig. 9: Límites de precalificación de elementos estructurales en el software CONEXIÓN RBS.



Fuente: Elaboración de autores

En la pestaña ORIFICIOS DE ACCESO PARA SOLDADURA Y RECORTES DE VIGA, el software nos ha calculado unas dimensiones máximas y mínimas de d1, d2, d3, d4, d5 y d6. Como usuarios hemos puesto los valores en su rango y el software lo comprueba. En la Figura 10 el software nos calcula la soldadura necesaria para la unión de aletas de viga a aletas de columnas especificándonos los valores de cordones de soldadura denominados s1 y s2.

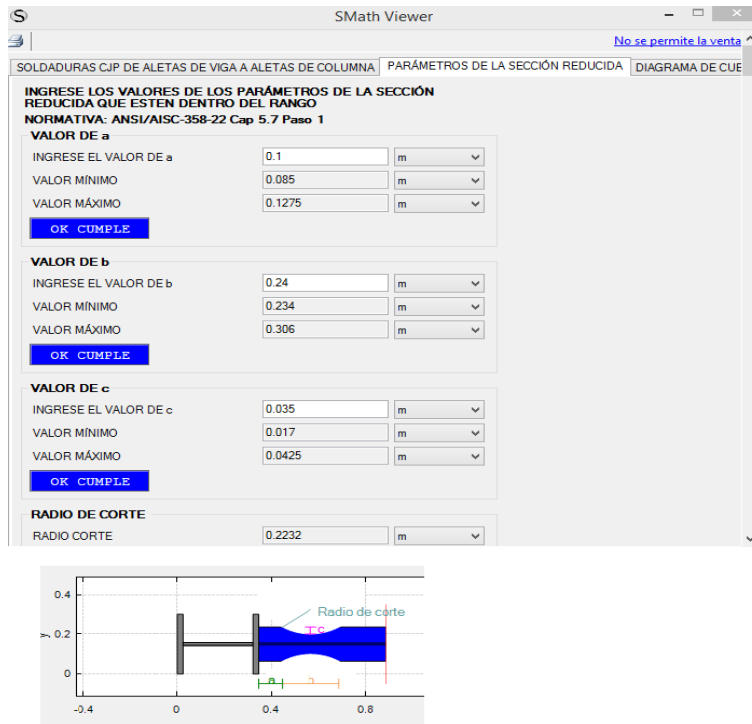
Fig. 10: Soldadura CJP de aletas de vigas a aletas de columnas en el software CONEXIÓN RBS.



Fuente: Elaboración de autores

En la pestaña PARÁMETROS DE LA SECCIÓN REDUCIDA el programa calcula los valores máximos y mínimos de las dimensiones a, b, c y calcula el radio de corte necesario para la sección reducida de la viga. En la Figura 11 como usuarios hemos puesto los valores en el rango especificado cumpliendo con todos los parámetros.

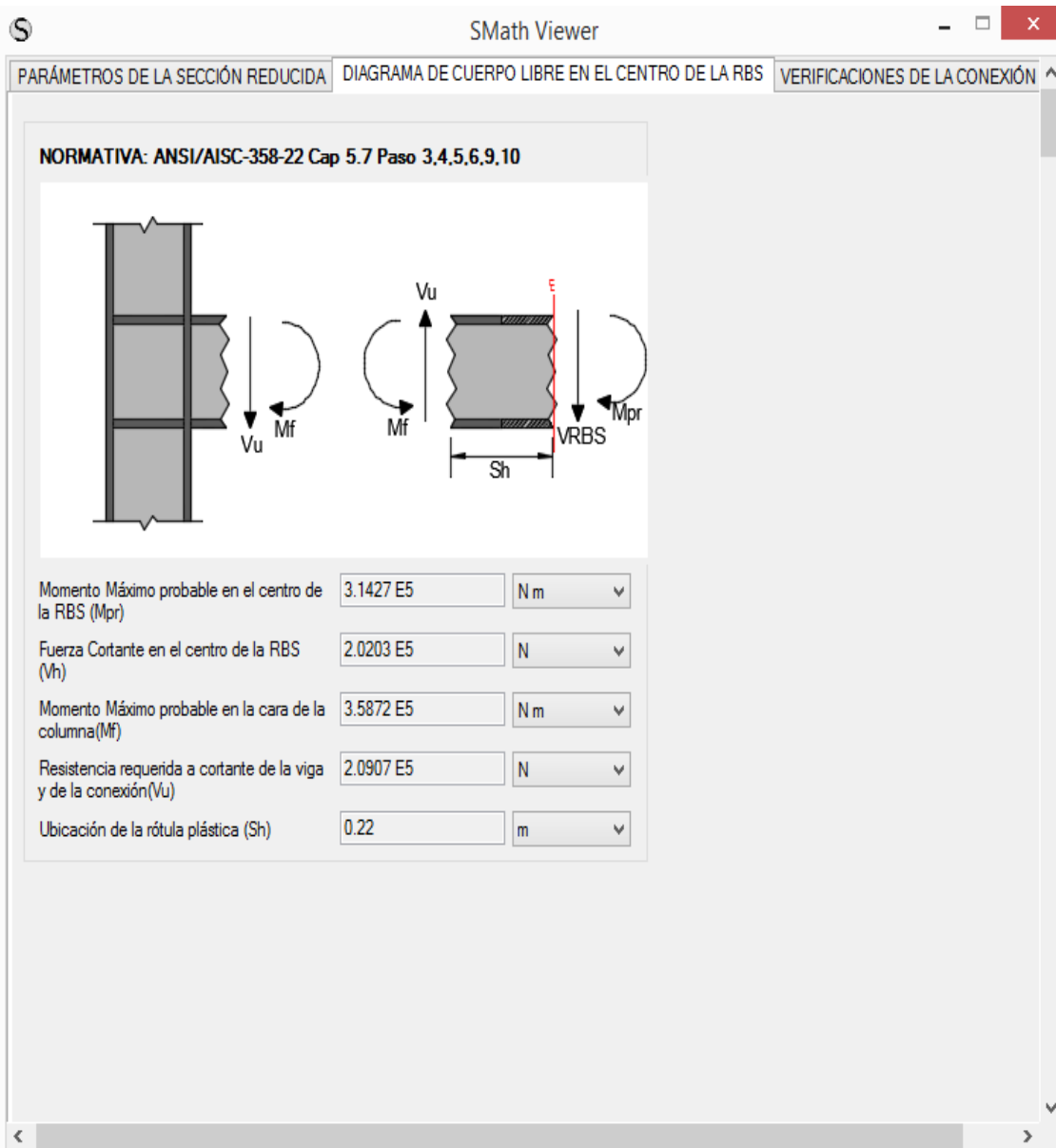
Fig. 11: Parámetros de la sección reducida en el software CONEXIÓN RBS.



Fuente: Elaboración de autores

En la Figura 12 el software mediante un diagrama de cuerpo libre proporciona al usuario los valores que se producen de momento máximo y fuerza cortante en el centro de la RBS, momento máximo que se produce en la cara de la columna, la resistencia requerida a cortante de la viga y de la conexión y la ubicación de la rótula plástica. Estos valores pueden ser comparados con otros autores o a su vez son necesarios para ingresar como dato en programas comerciales.

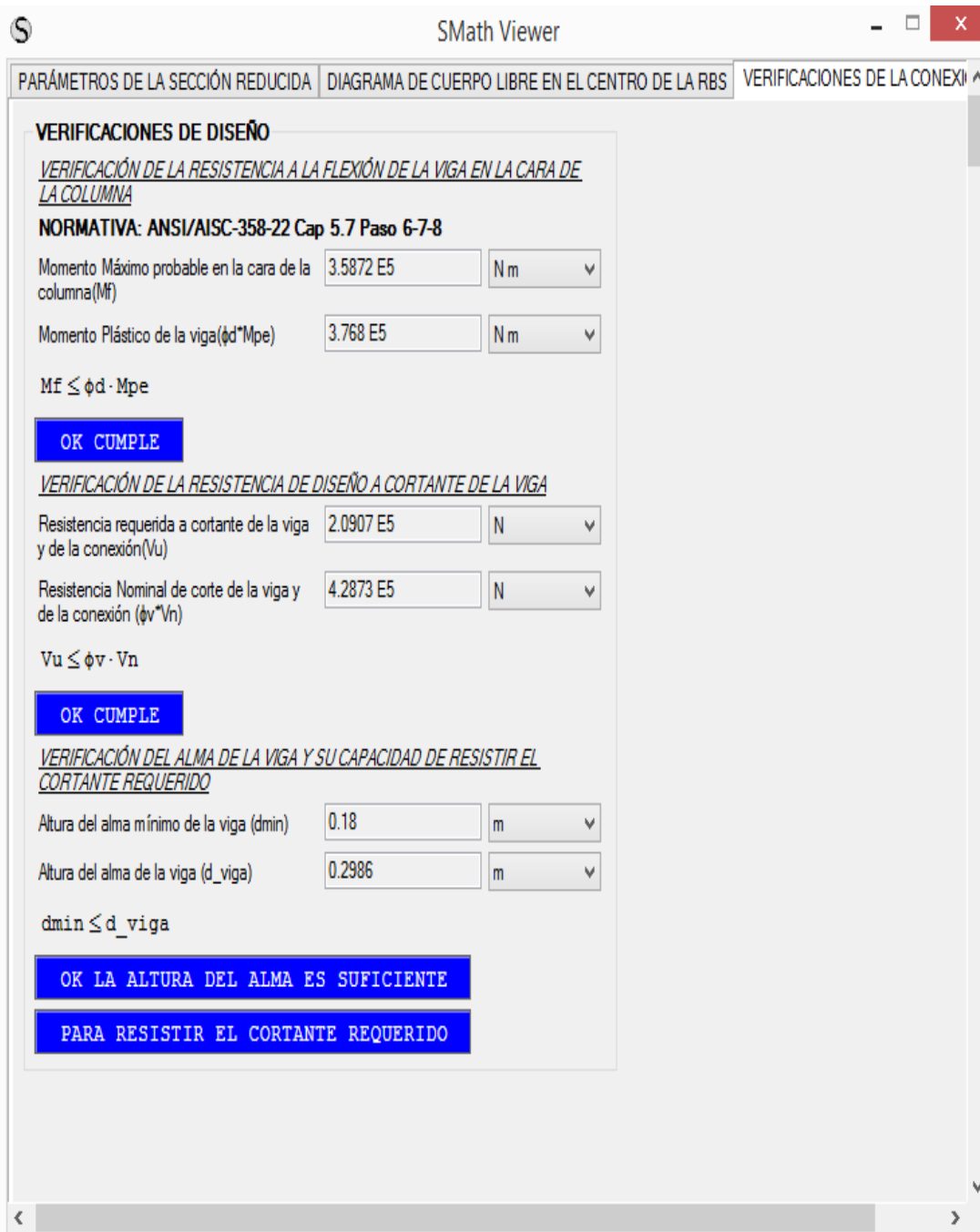
Fig. 12: Diagrama de cuerpo libre en el centro de la RBS en el software CONEXIÓN RBS.



Fuente: Elaboración de autores

En la Figura 13 todas las verificaciones de diseño cumplen, es decir el momento en la cara de la columna es totalmente soportado, así como el cortante último que se produce en la viga y la conexión, La altura de la viga es suficiente para resistir el cortante requerido.

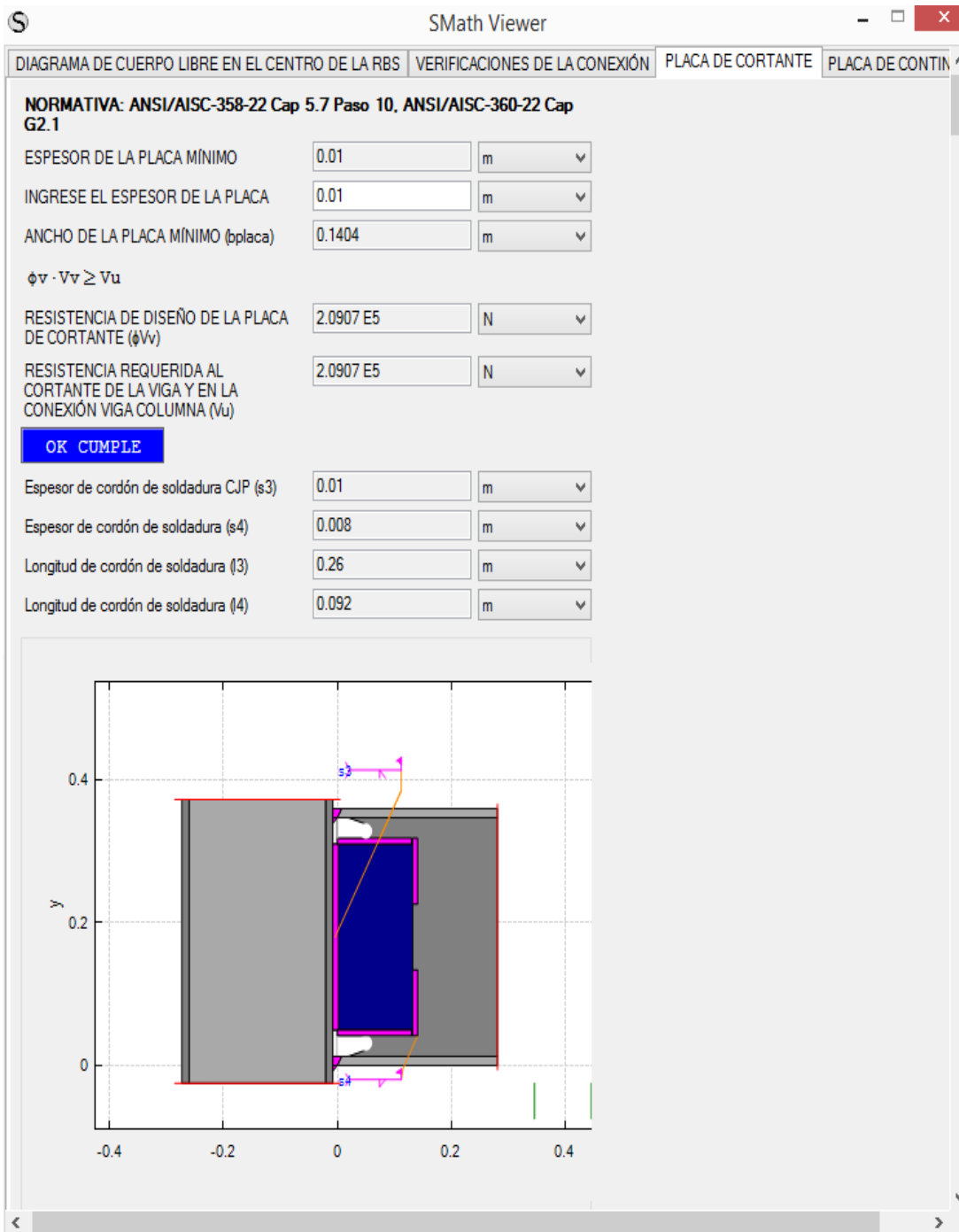
Fig. 13: Verificaciones de la conexión RBS en el software CONEXIÓN RBS.



Fuente: Elaboración de autores

En la Figura 14 el software diseña la placa de cortante. La base y el espesor de la placa deben ser suficientes para soportar la resistencia requerida que se produce al cortante de la viga y en la conexión viga columna. Para el presente diseño con el espesor y ancho de placa recomendado por el software cumplimos con la verificación de la resistencia al cortante y continuamos con el diseño de la conexión viga columna con sección reducida.

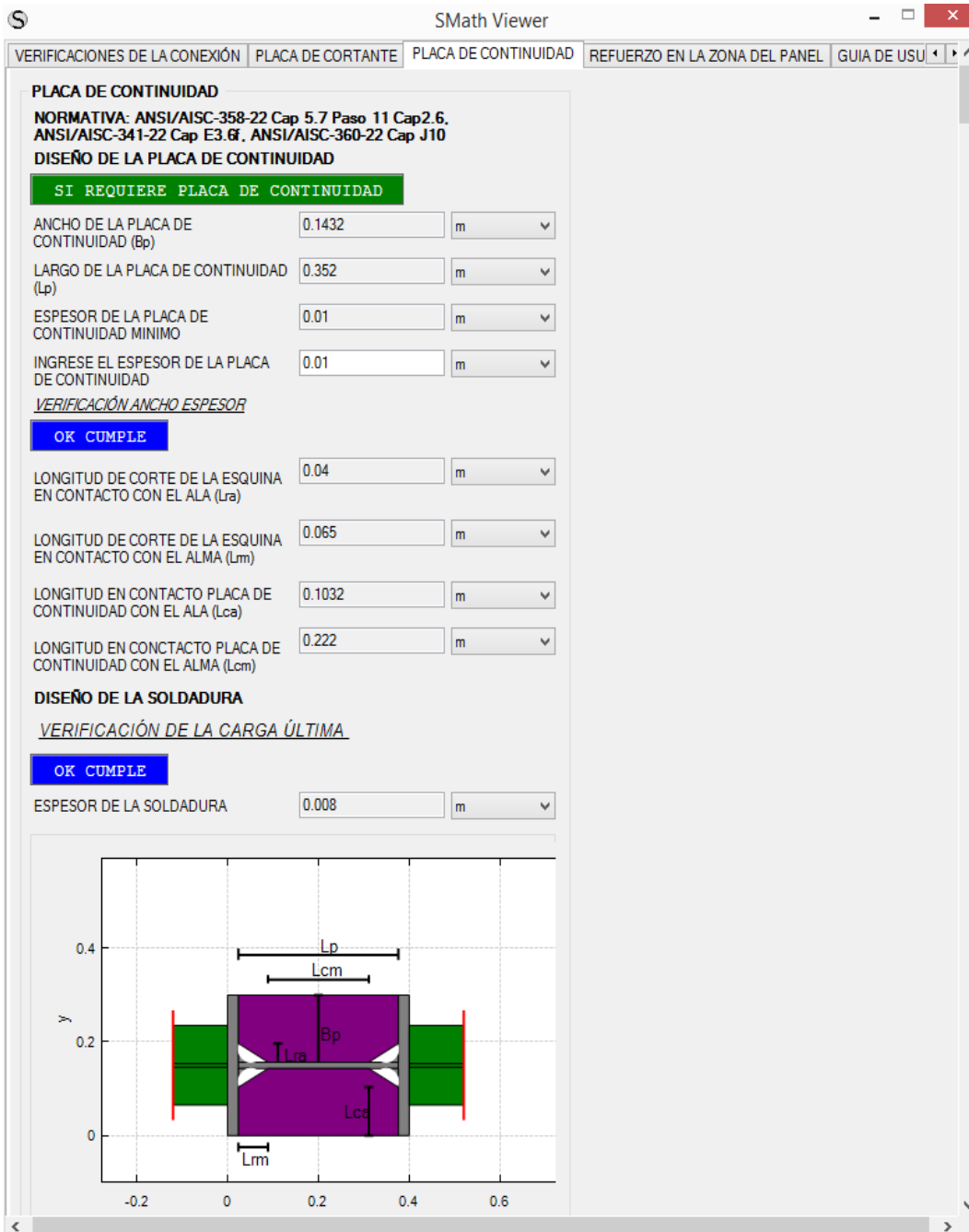
Fig. 14: Diseño de la placa de cortante en el software CONEXIÓN RBS.



Fuente: Elaboración de autores

En la Figura 15, el software realiza el diseño de la placa de continuidad, recomendando su uso si es necesario y cumpliendo con la verificación de ancho y espesor. Proporciona todas las dimensiones necesarias de la placa, así como las longitudes de contacto del ala y del alma. Este proceso no solo facilita la eficiencia en el diseño, sino que también contribuye al desarrollo de habilidades al guiar al usuario en la aplicación práctica de conceptos de continuidad estructural y verificación de dimensiones, fortaleciendo así sus habilidades técnicas en ingeniería estructural.

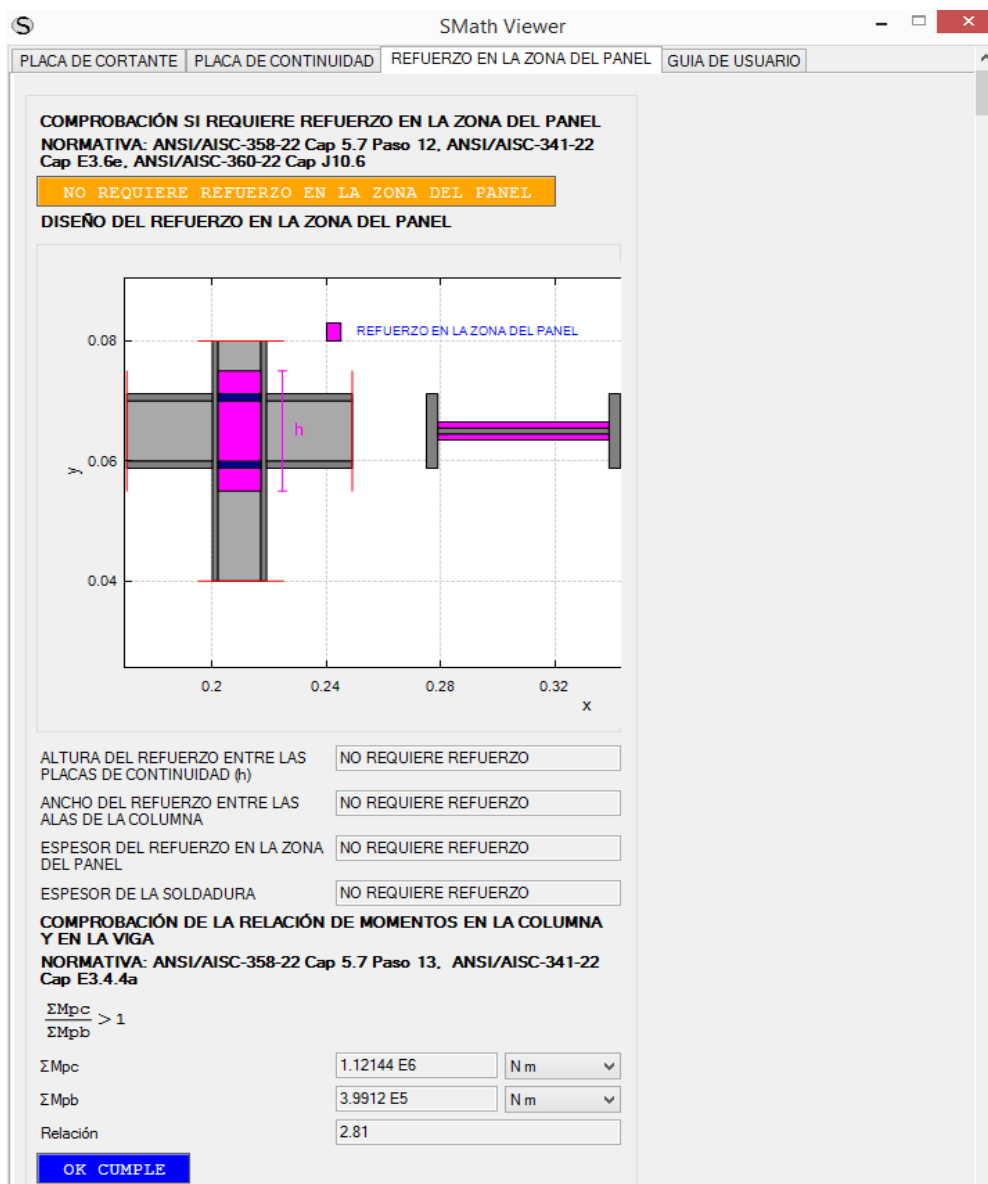
Fig. 15: Diseño de la placa de continuidad en el software CONEXIÓN RBS.



Fuente: Elaboración de autores

En la Figura 16, el software informa al usuario que no es necesario reforzar la zona del panel, proporcionando una valiosa evaluación estructural. Además, realiza la verificación de la condición “columna fuerte viga débil”, donde la sumatoria de momentos en la columna debe ser mayor que la sumatoria de momentos en la viga, fortaleciendo la comprensión del usuario sobre la distribución de cargas y promoviendo el desarrollo de habilidades analíticas en el diseño estructural. Este enfoque no solo asegura la eficacia del software sino también contribuye al crecimiento de habilidades prácticas en ingeniería estructural.

Fig. 16: Refuerzo en la zona del panel en el software CONEXIÓN RBS.



Fuente: Elaboración de autores

Los resultados logrados con el software CONEXIÓN RBS se han comparados con los resultados de Pannillo et al. (2018), con el fin de identificar las similitudes y determinar la diferencia que existe entre los mismos. Tabla 2

Tabla 2. Comparación de valores.

Parámetro	Chacón et al. (2018)	Software CONEXIÓN RBS	Diferencia %
a mínimo (m)	0.0850	0.0850	0.00%
a máximo (m)	0.1275	0.1275	0.00%
b mínimo (m)	0.2340	0.2340	0.00%
b máximo (m)	0.3060	0.3060	0.00%
c mínimo (m)	0.0170	0.0170	0.00%

Parámetro	Chacón et al. (2018)	Software CONEXIÓN RBS	Diferencia %
c máximo (m)	0.0425	0.0425	0.00%
Radio de corte	0.2232	0.2232	0.00%
ZRBS (m3)	0.0007	0.0007	0.00%
Mpr (N * m)	317698	314270	1.09%
Lh (m)	5.56	5.56	0.00%
Sh (m)	0.22	0.22	0.00%
Vh (N)	200913	202031	0.55%
Vn (N)	428807	428731	0.02%
Mf (N * m)	361904	358716	0.88%
Mpe (N * m)	379669	376797	0.76%
Mpc (N * m)	1086895	1121440	3.18%
Mpb (N * m)	375610	399123	6.26%
Mpc / Mpb	2.89	2.81	2.85%
Electrodo de soldadura	E70xx	E70xx	0.00%
Tipo de soldadura	CJP	CJP	0.00%
Espesor de la placa de cortante (m)	0.01	0.01	0.00%
¿Requiere placa de continuidad?	SI	SI	0.00%
¿Requiere refuerzo en la zona del panel?	NO	NO	0.00%

Fuente: Elaboración de autores

Para validar los resultados del software CONEXIÓN RBS, se ha llevado a cabo un ejemplo comparativo con los resultados de Johnson (2017), y siguiendo las directrices de la normativa ANSI/AISC 358-22 (American Institute of Steel Construction, 2022b). Se ha empleado una conexión de pórtico especial a momento con sección de viga reducida RBS, con una configuración bilateral que involucra una columna de perfil W 36x182 conectada a vigas de sección W 30x99 a ambos lados. Todos los elementos estructurales, incluyendo columnas, vigas y placas, están fabricados con acero ASTM A572 Gr50. Con una altura de entrepiso de 3 m y una distancia de 9.14 m entre vigas, la carga axial sobre la columna es de 257996.9 N, y las cargas en la viga se distribuyen con una combinación de 12229.69 N/m. Esta comparación no solo valida los resultados del software, sino que también fomenta el desarrollo de habilidades al aplicar la normativa y analizar las discrepancias con estudios previos, promoviendo así un enfoque crítico y analítico en el diseño estructural. Tabla 3

Tabla 3. Comparación de valores.

Parámetro	Johnson (2017)	Software CONEXIÓN RBS	Diferencia %
a mínimo (m)	0.1334	0.1334	0.00%
a máximo (m)	0.2000	0.2000	0.00%
b mínimo (m)	0.4903	0.4903	0.00%
b máximo (m)	0.6412	0.6412	0.00%
c mínimo (m)	0.0267	0.0267	0.00%
c máximo (m)	0.0667	0.0667	0.00%
Radio de corte	0.8255	0.8255	0.00%
ZRBS (m3)	0.0035	0.0035	0.00%
Mpr (N * m)	1534673	1544631	0.64%
Lh (m)	7.19	7.19	0.00%
Sh (m)	0.51	0.51	0.00%
Vh (N)	470621	473450	0.60%
Vn (N)	2060861	2060746	0.01%

Parámetro	Johnson (2017)	Software CONEXIÓN RBS	Diferencia %
Mf (N * m)	1776686	1788150	0.64%
Mpe (N * m)	1938819	1947345	0.44%
Mpc (N * m)	7936732	7913692	0.29%
Mpb (N * m)	4172643	4012832	3.98%
Mpc / Mpb	1.90	1.97	3.55%
¿Requiere placa de continuidad?	SI	SI	0.00%
Espesor de la placa de continuidad (m)	0.017	0.017	0.00%
¿Requiere reforzamiento en la zona del panel?	SI	SI	0.00%
Espesor del reforzamiento en la zona del panel	0.014	0.014	0.00%

Fuente: Elaboración de autores

CONCLUSIONES

El programa recién desarrollado no solo se distingue por su capacidad para calcular y diseñar conexiones precalificadas de manera eficiente, sino que también se centra en el desarrollo de habilidades al ofrecer una interfaz visual amigable. Esta interfaz permite a los usuarios insertar los datos necesarios de forma fácil y comprender los resultados de manera ágil y directa, fomentando así la participación activa en el proceso de diseño.

La inclusión de alternativas de visualización detallada mediante gráficos de los elementos de la conexión brinda una experiencia visual enriquecedora, promoviendo la comprensión profunda de los conceptos. Además, la presencia de una hoja de cálculo dentro del software se convierte en una herramienta valiosa para verificar el paso a paso del diseño de la conexión. Esta funcionalidad no solo facilita la validación eficaz de los resultados, sino que también se convierte en un recurso educativo esencial. Tanto estudiantes como profesionales pueden beneficiarse de esta característica, ya que les proporciona una plataforma clara y sencilla para mejorar sus habilidades de verificación y comprensión de los procesos de diseño estructural. En resumen, el programa no solo destaca por su eficacia técnica, sino que también contribuye significativamente al desarrollo de habilidades prácticas y analíticas en el ámbito académico y profesional.

Los resultados fueron comparados con Johnson (2017); y Pannillo et al. (2018), realizando los ejercicios propuestos, generando valores similares y teniendo mínimas diferencias en sus resultados. Vale la pena mencionar que en el ejercicio propuesto por Johnson (2017), diseñando con la normativa y ANSI / AISC 341 - 22 (American Institute of Steel Construction, detailing, fabrication and quality criteria for connections that are prequalified in accordance with

the AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (herein referred to as the AISC Seismic Provisions2022a), detailing, fabrication and quality criteria for connections that are prequalified in accordance with the AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (herein referred to as the AISC Seismic Provisions)ya no cumplen los límites de precalificación de vigas utilizando un perfil W30X99 en los apartados, relación ancho – espesor del ala y del alma, y de la misma manera en los límites de precalificación de columnas utilizando un perfil W36X182 en el apartado relación ancho – espesor del alma. En vista de que la versión actual de las normativas limita aún más ciertos apartados, el empleo del software CONEXIÓN RBS de código abierto no solo se presenta como una solución práctica, sino que también contribuye al desarrollo de habilidades en el ámbito de la ingeniería estructural. Este software permite una significativa reducción en el tiempo necesario para llevar a cabo el análisis y diseño de conexiones viga-columna precalificadas a momento con sección reducida RBS en pórticos especiales resistentes a momento. Al proporcionar una alternativa eficiente y accesible, el programa facilita la aplicación de los principios de diseño estructural.

El uso de CONEXIÓN RBS actúa como un mecanismo preventivo contra la probabilidad de errores derivados de cálculos manuales, una preocupación común en la ingeniería. Al automatizar procesos y minimizar la intervención manual, el software no solo optimiza la precisión de los resultados, sino que también brinda a estudiantes y profesionales la oportunidad de enfocarse en comprender los fundamentos teóricos y prácticos del diseño de conexiones viga-columna. CONEXIÓN RBS no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también promueve el desarrollo de habilidades al facilitar la aplicación práctica de conocimientos en un entorno profesional y educativo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Institute of Steel Construction. detailing, fabrication and quality criteria for connections that are prequalified in accordance with the AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (herein referred to as the AISC Seismic Provisions (2022a)). ANSI / AISC 341 - 22. *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings Supersedes the Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/publications/standards/a341-22w.pdf>
- American Institute of Steel Construction. detailing, fabrication and quality criteria for connections that are prequalified in accordance with the AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (herein referred to as the AISC Seismic Provisions (2022b)). ANSI / AISC 358 - 22. Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for. In *American Institute of Steel Construction for seismic application*. <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/publications/standards/a358-22w.pdf>
- American Institute of Steel Construction. detailing, fabrication and quality criteria for connections that are prequalified in accordance with the AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (herein referred to as the AISC Seismic Provisions (2022c)). ANSI / AISC 360 - 22. *Structural Steel Buildings*. <https://www.aisc.org/globalassets/product-files-not-searched/publications/standards/a360-22w.pdf>
- Aswad, N. H., Parung, H., Irmawaty, R., Amiruddin, A. A., & Fakhruddin. (2020). Structural ductility of RBS on castellated beam subjected to cyclic loading. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 419(1).
- Calle Castro, C. J., Maldonado Noboa, J. S., & Almache Sánchez, L. M. (2021). Seismic Vulnerability and Risk of Losses Case Study Center of the City of Azogues. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1203(3).
- Chen, C. C., Lin, C. C., & Lin, C. H. (2006). Ductile moment connections used in steel column-tree moment-resisting frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 62(8), 793–801.
- Chen, C., Qiao, H., Wang, J., & Chen, Y. (2020). Progressive collapse behavior of joints in steel moment frames involving reduced beam section. *Engineering Structures*, 225. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111297>
- Eladly, M. M., & Schafer, B. W. (2021). Numerical and analytical study of stainless steel beam-to-column extended end-plate connections. *Engineering Structures*, 240. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112392>
- Han, N., Song, S., Cui, Y., & Wu, Y. (2018). Optimally analyzing and implementing of bolt fittings in steel structure based on ANSYS. *AIP Conference Proceedings*, 1944.
- Johnson, C. M. (2017). *A comparison of Reduced Beam Section moment connection and Kaiser Bolted Bracket® moment connections in steel Special Moment Frames*. [Tesis de maestría. Kansas State University].
- Kim, T., Whittaker, A. S., Asce, M., Gilani, A., Bertero, V., Takhirov, S. M., & Asce, A. M. (2002). *Cover-Plate and Flange-Plate Steel Moment-Resisting Connections*. *Journal of Structural Engineering*, 128(4). <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9445%282002%29128%3A4%28474%29>
- Li, X., Wang, Q., & M., G. (2020). Mechanical Properties of a Novel Plastic Hinge Seismic Fuse Based on Frictional Energy Dissipation to Avoid Brittle Failures in Beam-to-Column Moment-Resistant Joints. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(5), 3695–3706.
- Liu, Y., Málaga-Chuquitaype, C., & Elghazouli, A. Y. (2012). Response and component characterisation of semi-rigid connections to tubular columns under axial loads. *Engineering Structures*, 41, 510–532. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.03.061>
- Pannillo, G., Chacón, M., & Riera, H. (2018). Desarrollo Y Programación De Conexiones Sismorresistentes Tipo Bfp Y Rbs Conforme a La Normativa Ansi/Aisc 358-16 Development and Programming of Sismic Resistant Types Bfp and Rbs Connections According To Ansi/Aisc 358-16. *Revista Gaceta Técnica*, 19(2), 201602–204730.
- Yang, B., & Tan, K. H. (2013). Experimental tests of different types of bolted steel beam-column joints under a central-column-removal scenario. *Engineering Structures*, 54, 112–130. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.03.037>
- detailed, fabrication and quality criteria for connections that are prequalified in accordance with the AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (herein referred to as the AISC Seismic Provisions