

DISEÑO DE INSTALACIÓN EXPERIMENTAL PARA EL ENSAYO DE CONEXION VIGA – COLUMNA SOMETIDA A CARGAS CICLICAS.

M. Hernández Rojas¹, E. Núñez Castellanos² y C. Oyarzo Vera³

¹ Estudiante, Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, mhernandezr@ing.ucsc.cl

² Profesor Guía, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, enunez@ucsc.cl

³ Profesor Informante, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, coyarzov@ucsc.cl



RESUMEN

En estructuras de acero de marcos no arriostrados construidos en zonas de alta amenaza sísmica, se debe asegurar que la zona de conexión viga-columna cuente con la resistencia y rigidez necesaria para traspassar correctamente los esfuerzos entre los elementos permitiendo que la respuesta del sistema sea dúctil y estable. La investigación que se informa aquí tuvo como objetivo diseñar una instalación experimental, en la cual se puedan medir directamente los esfuerzos, rotaciones y deformaciones en conexiones y elementos presentes en una configuración viga-columna sometida a cargas cíclicas, esto con el fin de avanzar en la validación de conexiones para su uso en marcos a momento con requerimientos altos de ductilidad. En este caso, se desarrolla la instalación experimental que permitirá el ensayo de la conexión "EP-HSS" la cual fue estudiada numéricamente para caracterizar su comportamiento bajo cargas cíclicas, cumpliéndose los criterios establecidos en la norma americana AISC 341, 2016.

1. INTRODUCCION

1.1 Conexión EP-HSS

En el terremoto de Honshu, Japón el 2011 ($M_w=9.1$), la respuesta de los marcos a momento con columnas tipo HSS fue satisfactoria (Núñez, E. et al., 2017), lo cual indica la posibilidad de usar este sistema estructural para resistir eventos sísmicos fuertes e inclusive impactos producto de tsunamis. Con aquel objetivo en mente es que se deben desarrollar investigaciones en torno a este sistema estructural, su comportamiento, modos de falla, detalle de conexiones, etc. Dentro de las diversas formas de conectar vigas de sección I con columnas HSS, en este estudio se analiza aquella considerada por Núñez, E. et al., 2017 en donde se utilizan planchas de acero tipo end-plate previamente soldadas a la viga y a la columna de modo que en terreno la conexión se materializa utilizando pernos de acero (ver Fig. 1.1). Este tipo de conexión presenta la ventaja de no considerar soldadura en terreno, lo que es beneficioso puesto que de esta manera el montaje se realiza en un tiempo menor y con mayor calidad.

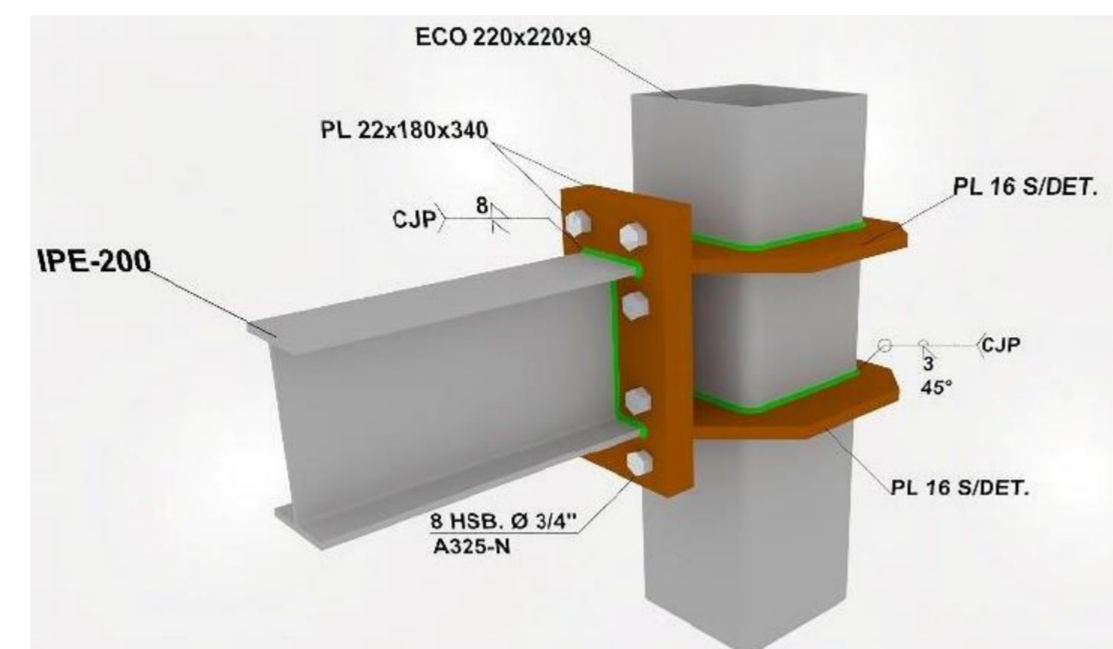


Figura 1.1. Conexión tipo EP-HSS. Fuente: Núñez et al., 2017.

1.2 Protocolo de carga

En este ensayo se aplica a la probeta el protocolo de carga FEMA/SAC (Krawinkler, 2000), idéntico al protocolo estipulado en el Capítulo K del código AISC 341, 2016 (ver Fig. 2.1). Este está definido por el ángulo de deformación entre piso (Θ) y el número de ciclos en cada etapa de carga (ver Tabla 2.1). El desplazamiento de la columna en el punto de aplicación se obtiene de la multiplicación entre el ángulo Θ y la distancia entre el punto de aplicación de la carga y la rótula de la columna, de 252 [cm] en este caso.

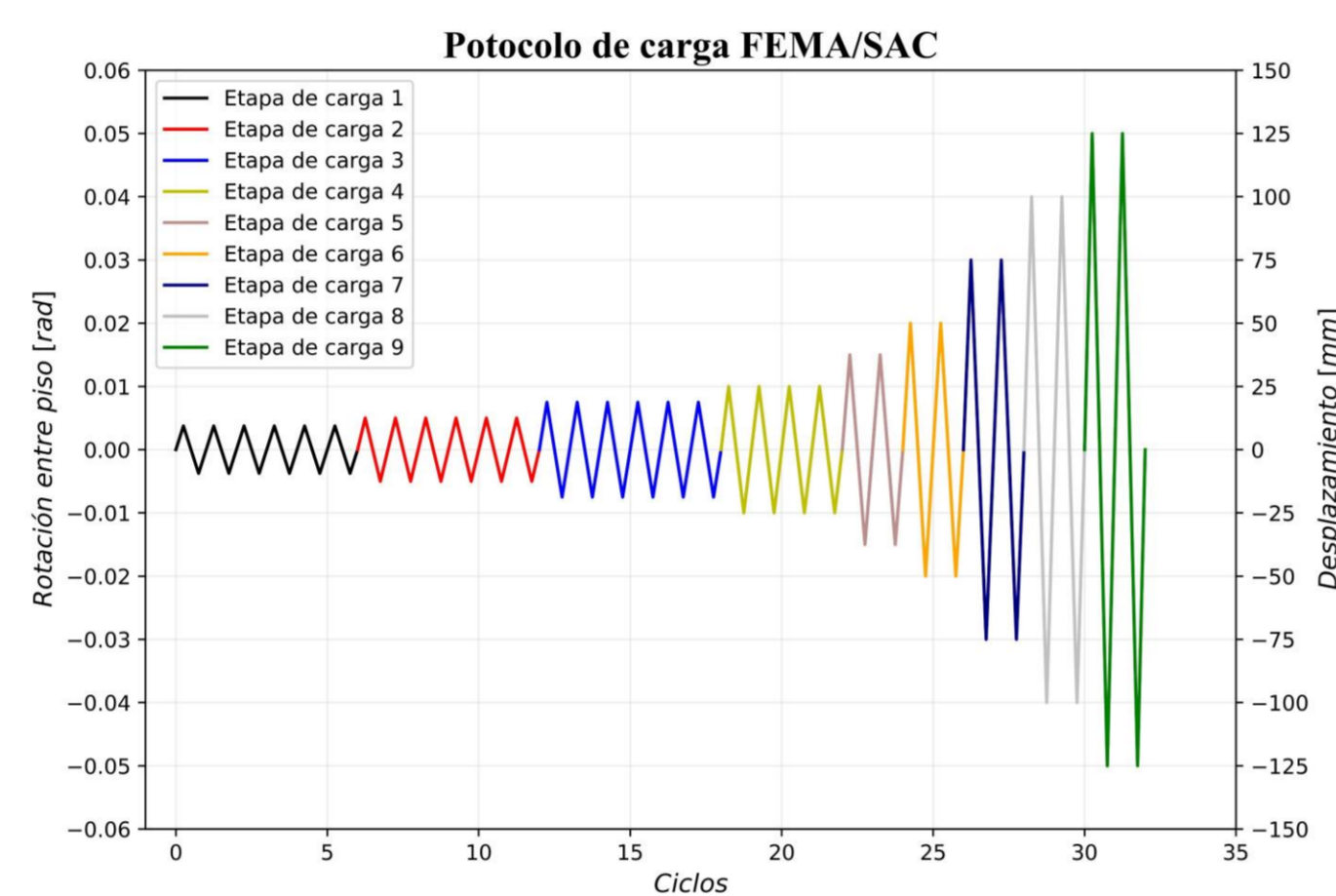


Figura 1.2. Protocolo de carga cíclica FEMA/SAC, idéntico al del código AISC 341 – Cap. K2.4b (2016).

2. METODOLOGIA

2.1 Análisis numérico

La conexión a estudiar experimentalmente involucra una columna y cuatro vigas principales que se conectan usando end-plate entre el perfil HSS de columna y los perfiles I de vigas (ver Fig. 2.1a). La configuración geométrica de los elementos se obtiene del estudio realizado por Lichtenberg, 2019. De esta manera se desarrolla la modelación de una columna conectada a sus respectivas vigas en tres dimensiones utilizando elementos tipo frames (ver Fig. 2.1b).

La instalación está diseñada para columnas de 252 [cm] y vigas d 1.15 [m] de largo. Las dimensiones de los elementos deben considerar espacio para la sujeción por medio de uniones apernadas.

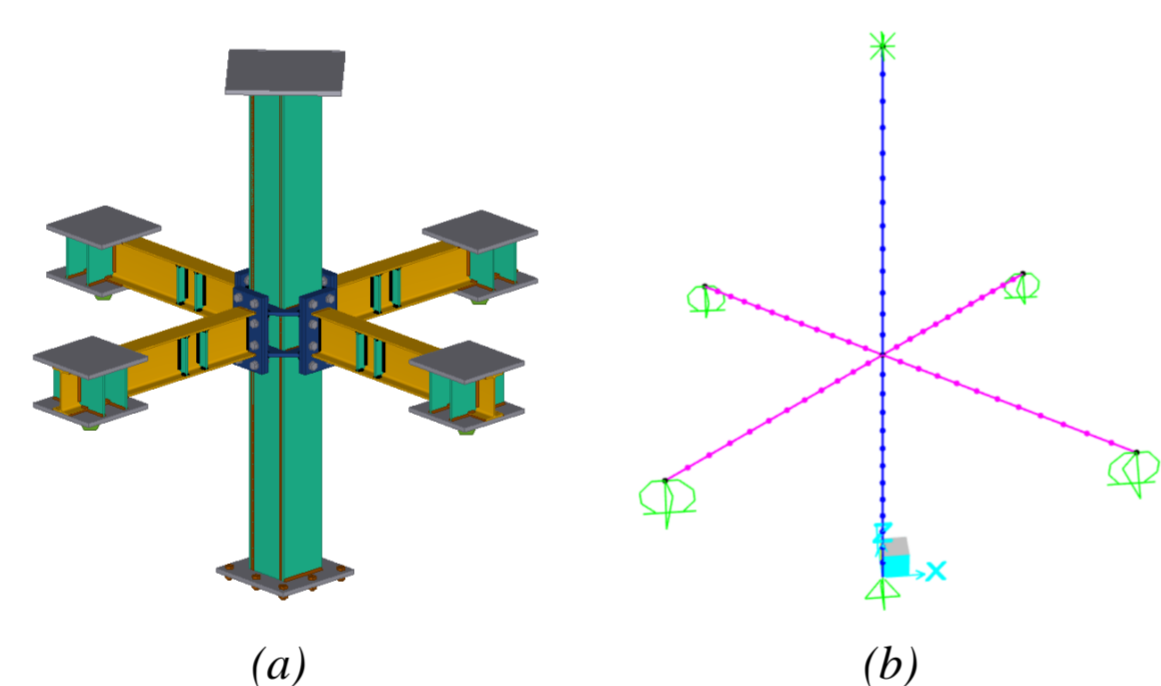


Figura 2.1. Conexión tipo EP-HSS. (a) Modelo 3D; (b) MEF.

2.2 Análisis no lineal estático

En la Figura 2.2 se muestra la curva de capacidad obtenida con el análisis estático no lineal realizado en el software SAP2000v22.2.0. Durante el análisis se consideran 12 pasos de carga. En el Step 2 con una fuerza lateral de 9.87 [tonf] y con un desplazamiento de 5.10 [cm], se produce la pérdida de rigidez en el sistema por la falla local de uno de sus componentes. La configuración incursiona hasta los 22.47 [cm] con una fuerza lateral de 12.20 [tonf] donde se produce la pérdida de resistencia y rigidez de forma global en el sistema.

En la Figura 2.3 se muestra la curva momento - rotación de la viga IPE200 obtenida con el análisis estático no lineal realizado en el software SAP2000v22.2.0. En el step 2 la viga comienza a incursionar en rango inelástico a los 8.39 [tonf-m], mayor al momento plástico calculado como $M_p = F_y Z_x = 5.31$ [tonf-m]. La viga alcanza su mayor capacidad a una rotación plástica de 0.05 [rad] con un momento de 10.65 [tonf-m].

Para el diseño de los elementos de soporte de la instalación experimental se utilizan las reacciones máximas en las vigas obtenidas con el análisis estático no lineal utilizando los criterios mencionados en AISC 360-16.

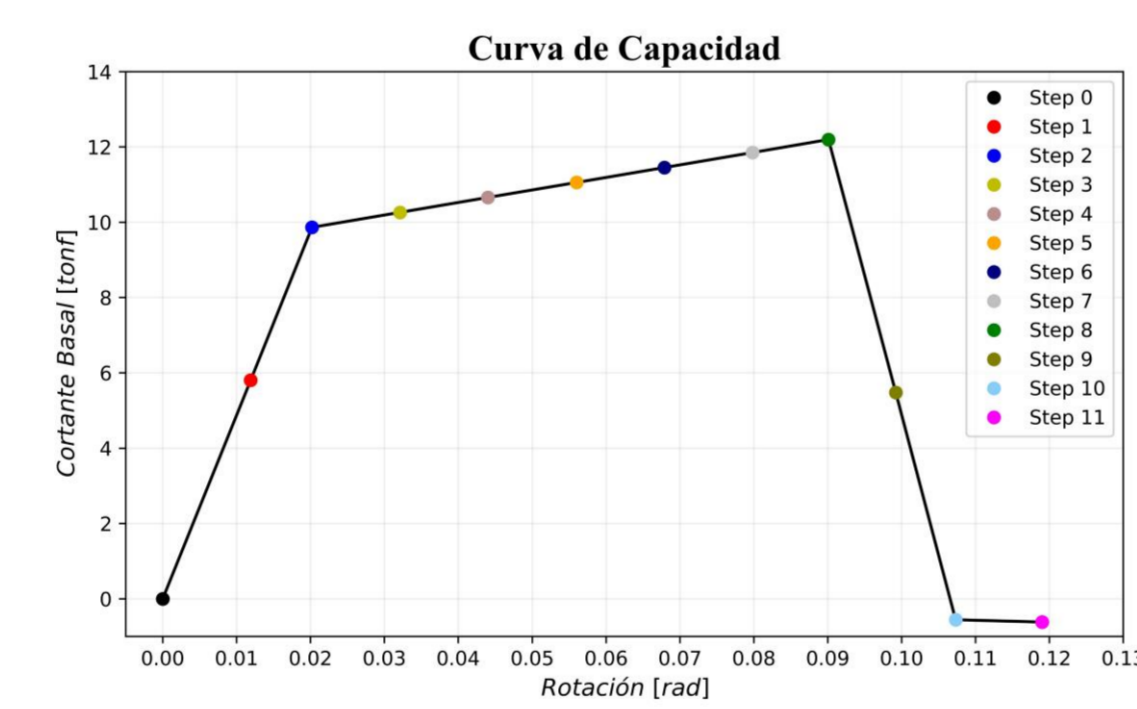


Figura 2.2. Curva de capacidad. Fuente: SAP2000v22.2.0

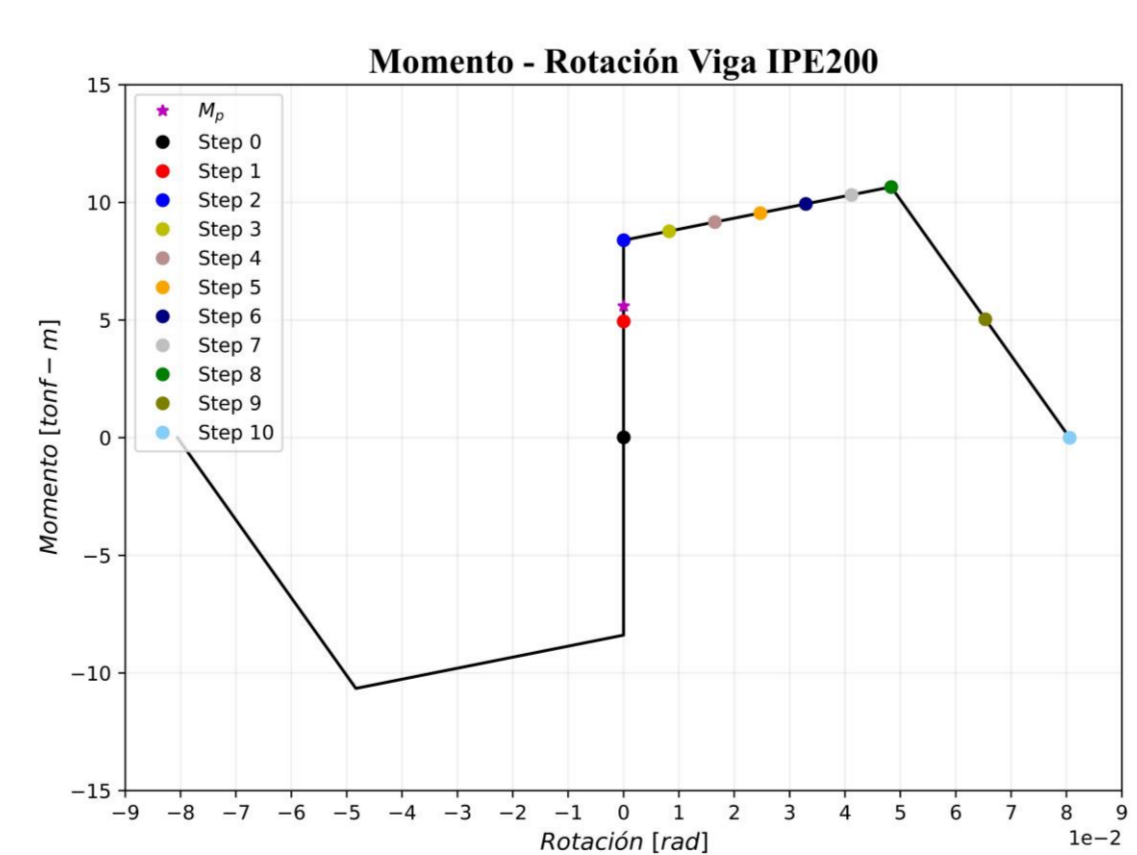


Figura 2.3. Diagrama momento-rotación viga. Fuente: SAP2000v22.2.0

3. RESULTADOS

3.1. Elementos que componen la instalación experimental

De acuerdo a los requerimientos de la instalación experimental de interés para esta investigación se muestra en la figura 3.1 todos los componentes necesarios para el correcto desarrollo del ensayo experimental.

- Conexión viga – pórtico.
- Conexión base - columna.
- Conexión pórtico - losa de reacción.
- Conexión arriostramiento lateral de vigas.
- Conexión actuador – columna.
- Conexión arriostramiento superior
- Conexión actuador – muro de reacción.

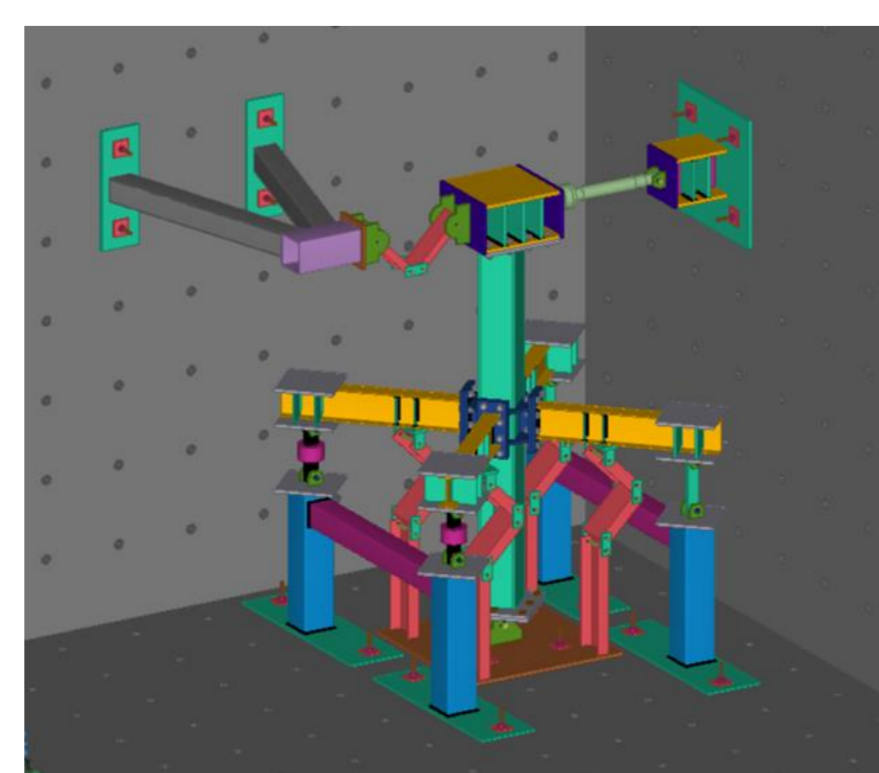


Figura 3.1. Instalación experimental 3D.

3.1.1 Conexión viga – pórtico.

Se diseñó para resistir los esfuerzos de tracción y compresión máximos provocados por el movimiento cíclico de la probeta en los extremos de la viga. Esta conexión considera pernos, placas de acero y rigidizadores. Todos los elementos son diseñados bajo los criterios de la norma AISC 360, 2016. En la figura 3.2 se muestra el detalle de la conexión.

Fuerzas de diseño y relaciones demanda/capacidad						
Nº	Elemento	Características	Axial [tonf]	Corte [tonf]	Momento [tonf-m]	D/C
16	Pernos	1/2"	9.76	0.00	0.00	0.41 ^a
8	Placas	350x350 [mm]	8.01	0.00	0.00	
4	Rigidizadores	150x200 [mm]	9.76	0.00	0.00	0.1 ^b
	Soldadura	6 [mm]	2.44	0.00	0.00	

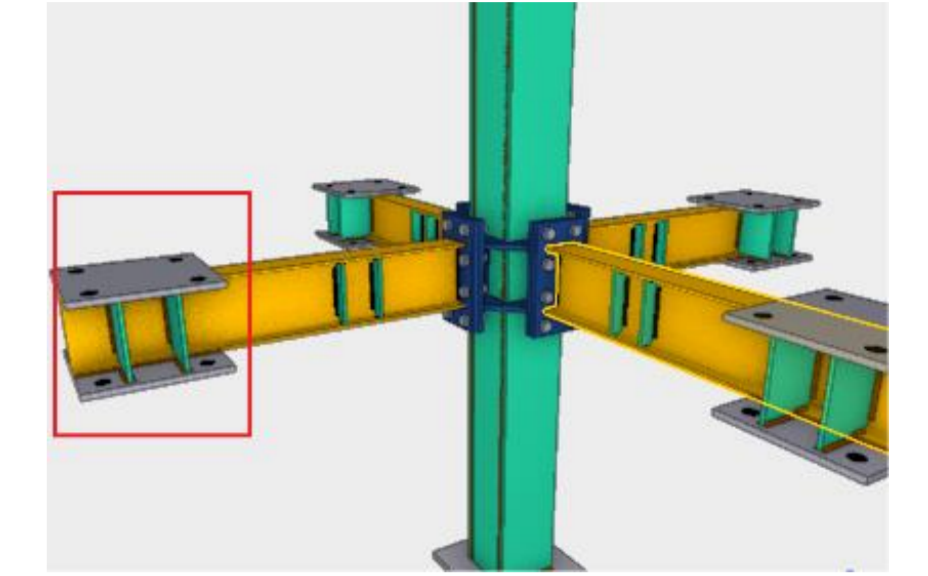


Figura 3.2. Conexión viga – pórtico.

3.1.2 Conexión base – columna.

Esta es una de las conexiones que deben resistir mayor esfuerzo, ya que la carga cíclica del ensayo proporcionada por el actuador hidráulico produce los mayores esfuerzos cortantes en esta zona. Para realizar el diseño se realizó un modelo numérico para determinar las sollicitaciones máximas en la placa, pernos de anclaje y pasador. (ver Fig. 3.3).

Fuerzas de diseño y relaciones demanda/capacidad						
Nº	Elemento	Características	Axial [tonf]	Corte [tonf]	Momento [tonf-m]	D/C
8	Pernos	1/2"	5.20	12.20	0.00	0.42 ^b
2	Placas	420x420 [mm]	8.01	0.00	0.00	
2	Placas pasador	63x50 [mm]	5.20	0.00	0.00	0.21 ^c
1	Pasador	40 [mm]	5.20	0.00	0.09	0.96 ^d
1	Placa base	1050x950 [mm]	5.20	12.20	0.00	
4	Pernos de anclaje	1"	2.26	0.00	0.00	0.19 ^e

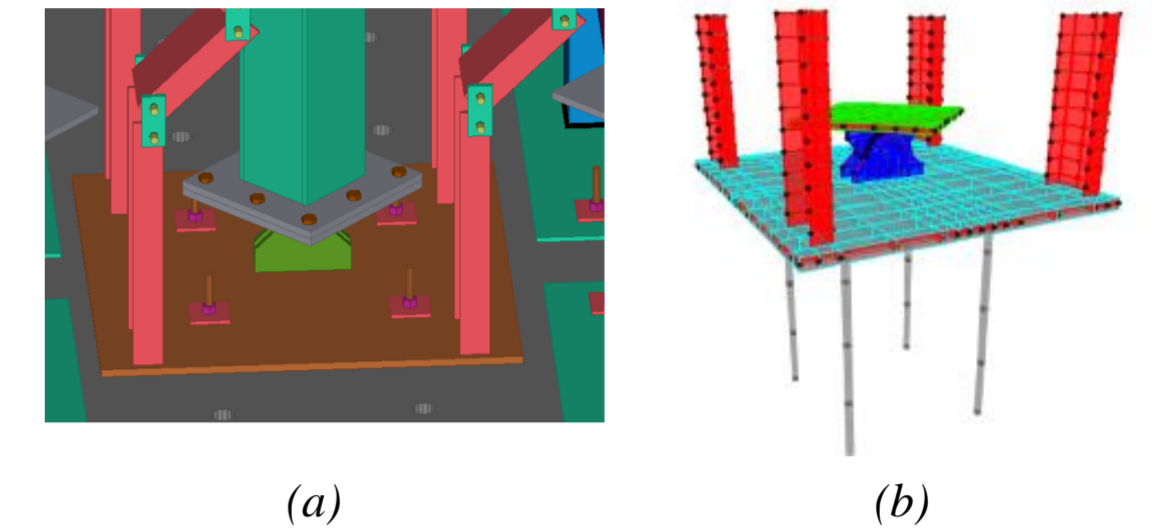


Figura 3.3. Conexión base – columna. (a) Modelo 3D; (b) MEF.

3.1.3 Conexión pórtico – losa de reacción.

Esta conexión consiste en un pórtico no arriostrado, que hace posible conectar las celdas de carga a las vigas y todo el conjunto a la losa de reacción. Se realiza un modelo numérico para determinar sollicitaciones máximas en perfiles, placas y pernos de anclaje. (ver Fig. 3.4).

Fuerzas de diseño y relaciones demanda/capacidad						
Nº	Elemento	Características	Axial [tonf]	Corte [tonf]	Momento [tonf-m]	D/C
2	Marcos	C200x5 V150x4	9.76	0.28	0.00	0.14
4	Placa base	1240x360 [mm]	9.76	0.28	0.00	
8	Pernos de anclaje	3/4"	0.01	0.00	0.00	0.01 ^f

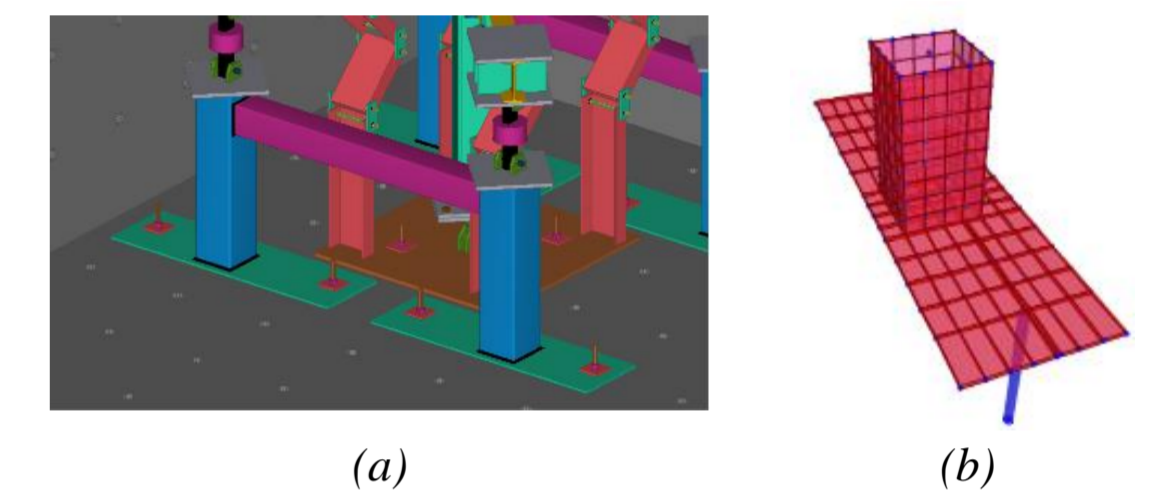


Figura 3.4. Conexión pórtico - losa. (a) Modelo 3D; (b) MEF.

3.1.4 Conexión arriostramiento lateral de vigas.

Esta conexión brinda soporte lateral a las vigas (ver Fig. 3.5) para que no existan inestabilidades por pandeo prematuro que no permitan desarrollar la máxima capacidad a flexión del perfil, se utilizan los criterios mencionados en AISC 341, 2016. La fuerza que debe soportar el arriostramiento esta en función del momento plástico probable en la zona de rótula plástica y la altura del perfil a restringir.

Fuerzas de diseño y relaciones demanda/capacidad						
Nº	Elemento	Características	Axial [tonf]	Corte [tonf]	Momento [tonf-m]	D/C
4	Arriostramientos	UPN200	3.34	0.00	4.34	0.99
20	Pasadores	20 [mm]	3.34	1.50	0.30	0.82 ^b
1	Placa	18 [mm]	0.00	0.00	0.30	

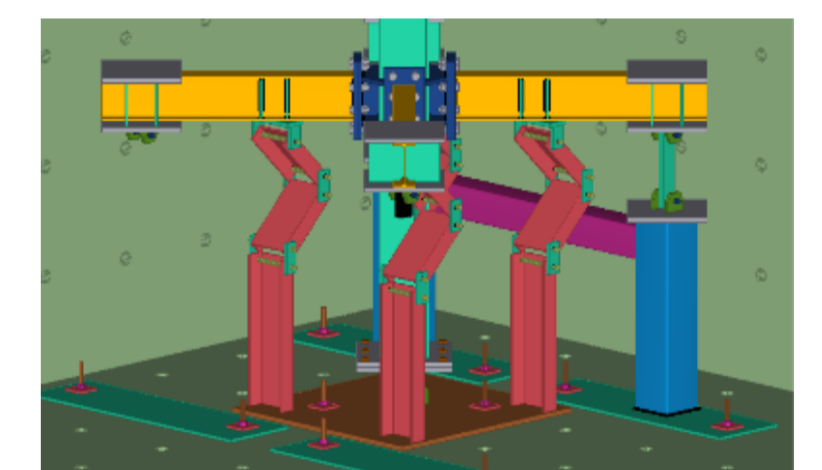


Figura 3.5. Conexión arriostramiento vigas.

3.1.5 Conexión actuador - columna.

El diseño de esta conexión se realiza con la carga máxima que puede ejercer el actuador que es de 15 [tonf]. Esta conexión considera placas de acero, pernos, rigidizadores y pasadores. (Ver Fig. 3.6).

Fuerzas de diseño y relaciones demanda/capacidad						
Nº	Elemento	Características	Axial [tonf]	Corte [tonf]	Momento [tonf-m]	D/C
2	Placas pasador	20x30 [mm]	0.00	12.20	0.00	0.44 ^f
1	Pasador	32 [mm]	0.00	6.10	0.09	0.94 ^d
6	Rigidizadores	250x242 [mm]	5.20	12.20	0.00	0.1 ^b
	Soldadura	6 [mm]	2.03	0.00	0.00	
8	Pernos	1/2"	5.02	12.20	0.00	0.42 ^b
2	Placas	500x500 [mm]	8.01	0.00	0.00	

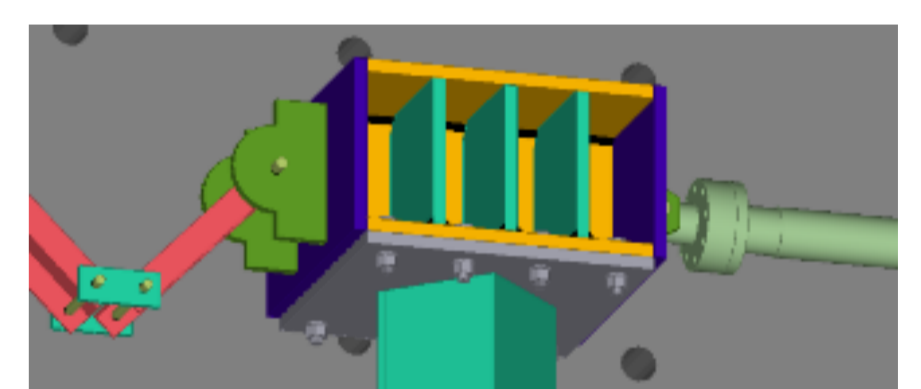


Figura 3.6. Conexión actuador - columna.

3.1.6 Conexión arriostramiento superior.

Este elemento superior tiene como objetivo el impedir que la columna se deforme fuera del plano de acción de cargas. Su diseño se realiza de acuerdo a las especificaciones del AISC 360, 2016. Se realiza un modelo numérico para determinar las sollicitaciones máximas en placas y pernos de anclaje. (Ver Fig. 3.7).

Fuerzas de diseño y relaciones demanda/capacidad						
Nº	Elemento	Características	Axial [tonf]	Corte [tonf]	Momento [tonf-m]	D/C
2	Arriostramientos	150x150x4	0.05	0.00	0.04	0.02
2	Placas base	750x750 [mm]	0.05	12.2	0	
4	Pernos de anclaje	3/4"	5.90	0.00	0.00	0.91 ^f

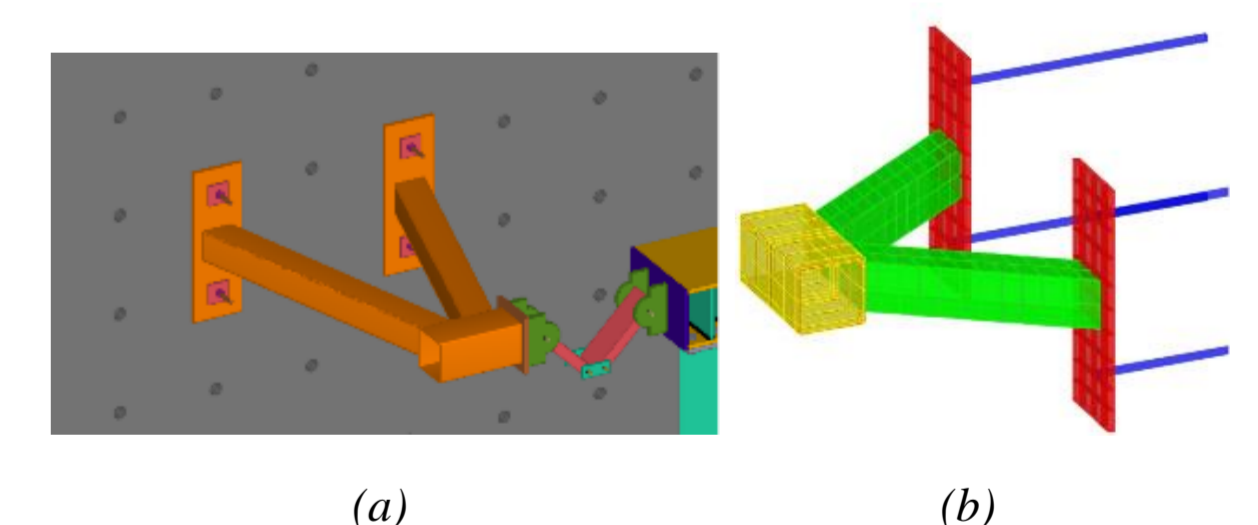


Figura 3.7. Conexión arriostramiento superior. (a) Modelo 3D; (b) MEF.

3.1.7 Conexión actuador – muro de reacción.

Esta conexión consiste en placas de acero de calidad ASTM A36 (ver Fig. 3.8). Estos elementos se diseñan considerando una resistencia solicitante igual a 15 [tonf], que es la máxima carga permitida del actuador hidráulico.

Fuerzas de diseño y relaciones demanda/capacidad						
Nº	Elemento	Características	Axial [tonf]	Corte [tonf]	Momento [tonf-m]	D/C
4	Pernos de anclaje	3/4"	12.20	5.20	0.00	0.48 ^b
1	Placa base	600x600 [mm]	8.57	0.00	0.30	
2	Placas	370x300 [mm]	12.20	5.20	0.00	
2	Placas pasador	20x30 [mm]	12.20	5.20	0.00	0.62 ^c
1	Pasador	32 [mm]	12.20	5.20	0.06	0.60 ^d

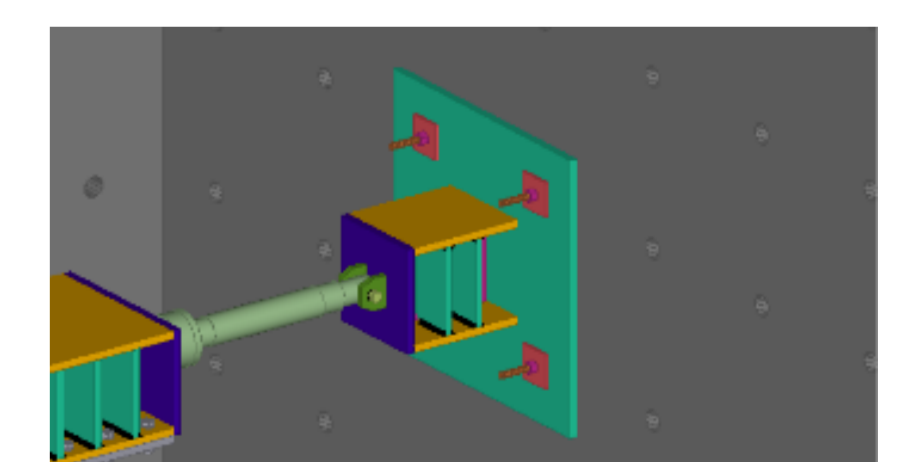


Figura 3.8. Conexión actuador – muro de reacción.

^a Falla a tracción; ^b Falla a corte; ^c Falla por aplastamiento; ^d Falla a momento

4. CONCLUSIONES

Esta investigación tenía como objetivo principal diseñar una instalación experimental para el ensayo de conexión viga – columna sometida a cargas cíclicas. Una vez finalizada la investigación algunas de las principales conclusiones y recomendaciones son las siguientes.

- Se logró cumplir con el diseño de cada componente de la instalación experimental cumpliendo con los requisitos mínimos establecidos en AISC 360, 2016.
- Se determina con el análisis no lineal estático una fuerza máxima lateral de 12.2 [tonf], un 92% menor a la fuerza máxima del actuador hidráulico igual a 150 [tonf], permitiendo reducir considerablemente las fuerzas en el diseño de la instalación experimental. La conexión incursiona hasta los 0.09 [rad] (step 8) donde se produce la pérdida de rigidez global en el sistema.
- Para la construcción de la instalación experimental se utilizan 32 pernos de 1/2", 4 pernos de anclaje de 1", 16 pernos de anclaje de 3/4", 1 pasador de 40 [mm], 20 pasadores de 20 [mm], 2 pasadores de 32 [mm], 15 placas, 8 placas base, 10 rigidizadores, además se utilizan perfiles UPN200, HSS150x150x4 y HSS200x200x5. En general las relaciones demanda/capacidad que controlan los diseños están bajo el 60 [%], siendo las fallas en tracción y corte las más influyentes. Los elementos más solicitados dentro del sistema son los pasadores, con relaciones demanda/capacidad que superan el 90 [%].
- Se recomienda, tener especial cuidado con el diseño de los componentes que den soporte lateral a vigas y columna para evitar que se presenten deformaciones fuera del plano de acción de carga o fenómenos que puedan provocar un fallido ensayo experimental de la conexión. Como recomendación general al diseño de instalaciones experimentales similares, se invita tener especial cuidado con las perforaciones en los diferentes materiales, de manera que las piezas encajen sin ser forzadas o sin tener que realizar ajustes en terreno.