



ESTRUCTURA DE CASA DE MADERA DE MARCO RÍGIDO CON ARTICULACIONES DE CLAVIJAS DE MADERA DURA ENCOLADAS

RIGID FRAME WOODEN HOUSE STRUCTURE JOINTED WITH GLUED IN HARDWOOD DOWELS

Benitez Alejandro ^{1*}, Itagaki Naoyuki², Soares Rafaela R.³, Nogara Pierre⁴

¹Centro universitario Tacuarembó - Udelar. Tacuarembó, Uruguay, Dr. Arq. PDU Procesos Industriales de la Madera

²Universidad Prefectural de Akita. Akita, Japón, Dr. Ing. Departamento de Materiales

³Centro Universitario Uninovafapi. Teresina, Piauí, Brasil, Arq. Departamento de arquitectura

⁴FADU – Udelar, Instituto de la Construcción, Montevideo, Uruguay, MSc. Arq. Instituto de la Construcción

* Contacto: alejandro.benitez@cut.edu.uy

CÓDIGO: 4600056

Resumen

En una estructura de madera, es difícil unir rígidamente los elementos estructurales, como en una estructura de acero. Estas articulaciones son un método que inserta clavijas de madera dura entre los miembros estructurales y se rigidiza con el encolado.

Desarrollamos la unión combinada con clavijas de madera dura y pernos metálicos de 16 mm. Las clavijas de 12 mm de diámetro hechas de arce duro se pegan a la columna y viga de madera laminada encolada de madera de Sugi de sección 120 x 360 mm, con adhesivos de poliuretano para hacer las muestras de las juntas. Se ensayaron 3 partes del marco para medir la resistencia al momento que conforman las juntas del marco portal de dos pisos. Como resultado de la prueba sobre la unión viga-columna del segundo piso, el momento máximo fue de aproximadamente 35 kN·m y la rigidez rotacional fue de aproximadamente 5,500 kN·m/rad. La rigidez rotacional de la unión viga-columna del primer piso fue casi igual a la del segundo piso. Sin embargo, dado que la viga había fallado, su valor de momento máximo fue del 70%. Como resultado de la prueba sobre la articulación de la columna y la fundación, el momento máximo fue de aproximadamente 20 kN·m y la rigidez rotacional fue de aproximadamente 6,500 kN·m/rad. El rendimiento estructural de un marco rígido de dos pisos se analizó a partir de los resultados de estas pruebas. Como resultado del análisis, se estimó la fuerza de resistencia horizontal definitiva.

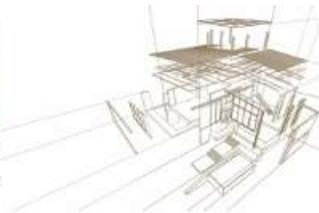
Palabras-clave: joint, rigid frame, wooden house structure, moment-resisting test

Abstract

In wooden structure, it is difficult to join structural members rigidly since there is no method of unifying material like welding of steel structures. The joint with glued-in hardwood dowels is the method of inserting hardwood dowels between structural members, and hardening with glue.

We developed the joint combined with glued-in hardwood dowels and bolts. Dowels of 12mm in diameter made of hard maple are glued into column and beam members of Sugi glulam with polyurethane adhesives to make joint specimens. The diameter of a bolt is 16mm, and the section of a column and a beam is 120x360mm. Moment-resisting tests about 3 type joint parts in a two-story portal frame using this joint were carried out. As a result of the test about the beam-column joint of 2nd story, the maximum moment was approximately 35kN·m and the rotational stiffness was approximately 5,500 kN·m/rad. The rotational stiffness of the beam-column joint of 1st story was almost equal to that of 2nd story. However, since the beam had failed, its maximum moment value was 70%. As a result of the test about the sill-column joint, the maximum moment was approximately 20kN·m and the rotational stiffness was approximately 6,500 kN·m/rad. The structural performance of a two-story portal frame was analyzed from these test results. As a result of analysis, the ultimate horizontal resistant force was estimated.

Keywords: joint, rigid frame, wooden house structure, moment-resisting test



1. INTRODUCCIÓN

Construir un muro de apoyo para asegurar la resistencia de terremotos es una solución acertada en una estructura. Para un proyecto de conformación reducida en un terreno en donde se espera incluir la vivienda, un local comercial y garaje la propuesta estructural puede ser difícil. El marco rígido en tal sentido, resulta una solución efectiva para tal fin. El desarrollo de la técnica de conectar una columna y una viga rígidamente es necesario para establecer la construcción de los marcos.

En una estructura de madera, es difícil unir rígidamente los elementos estructurales, ya que no existe un método para unificar materiales como la soldadura de estructuras de acero. La unión con clavijas de madera dura pegadas, es un método que inserta clavijas de madera dura entre los miembros estructurales.

Koizumi (Koizumi 2001) llevó a cabo la prueba de resistencia al momento sobre esta articulación y aclaró que era muy alta la rigidez y la resistencia. Sin embargo, el fracaso de la misma es la fragilidad. En el caso del montaje de la unión con adhesivo y su curado en el sitio de la construcción, es más difícil. Para poner esta junta en práctica para una construcción, tenemos que resolver estos problemas.

Desarrollamos una junta con clavijas de madera dura pegados y pernos, controlando así la fragilidad del fallo. Además, también desarrollamos la estructura rígida para una casa.

2. ESTRUCTURA DE CASA DE MADERA DE MARCO RÍGIDO CON ARTICULACIONES DE CLAVIJAS DE MADERA DURA ENCOLADAS

2.1 JUNTAS PEGADAS CON CLAVIJAS DE MADERA DURA

La unión con clavijas de madera dura pegadas es un método en el cual se insertan clavijas de madera dura entre los miembros estructurales y se pegan con cola poliuretánica. Investigaciones previas se han informado (Koizumi 2001, Jorgen 2001, Koizumi 1998, Koizumi 1998a, Sazaki 1999, Koizumi 1999). Koizumi presentó su teoría basada en el modelo Volkersen. Itagaki propuso la articulación con clavijas de madera dura pegadas utilizando complementariamente el método de pernos para aplicar esta teoría (Kameizawa 2006). El ejemplo de la junta viga-columna se muestra en la Figura 1.

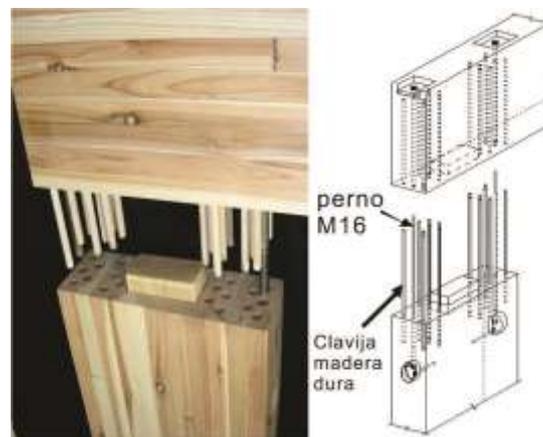
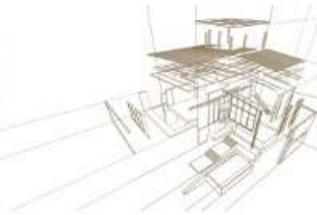


Figura 1 Junta con tacos y clavijas de madera dura pegados y pernos metálicos



2.2 ESTRUCTURA DE MADERA DE MARCO RÍGIDO

En la figura 2 se muestra un esquema de la estructura de marco rígido de la casa unida con clavijas de madera dura pegados (Itagaki 2006). Tres marcos rígidos están dispuestos delante y detrás del cuerpo del edificio. Estos seis cuadros resisten la fuerza horizontal. Las alturas por piso es de 2,727 mm, y la altura máxima es de 6,716 mm. El espacio total es de 93m². El marco de construcción es simple tipo caja.

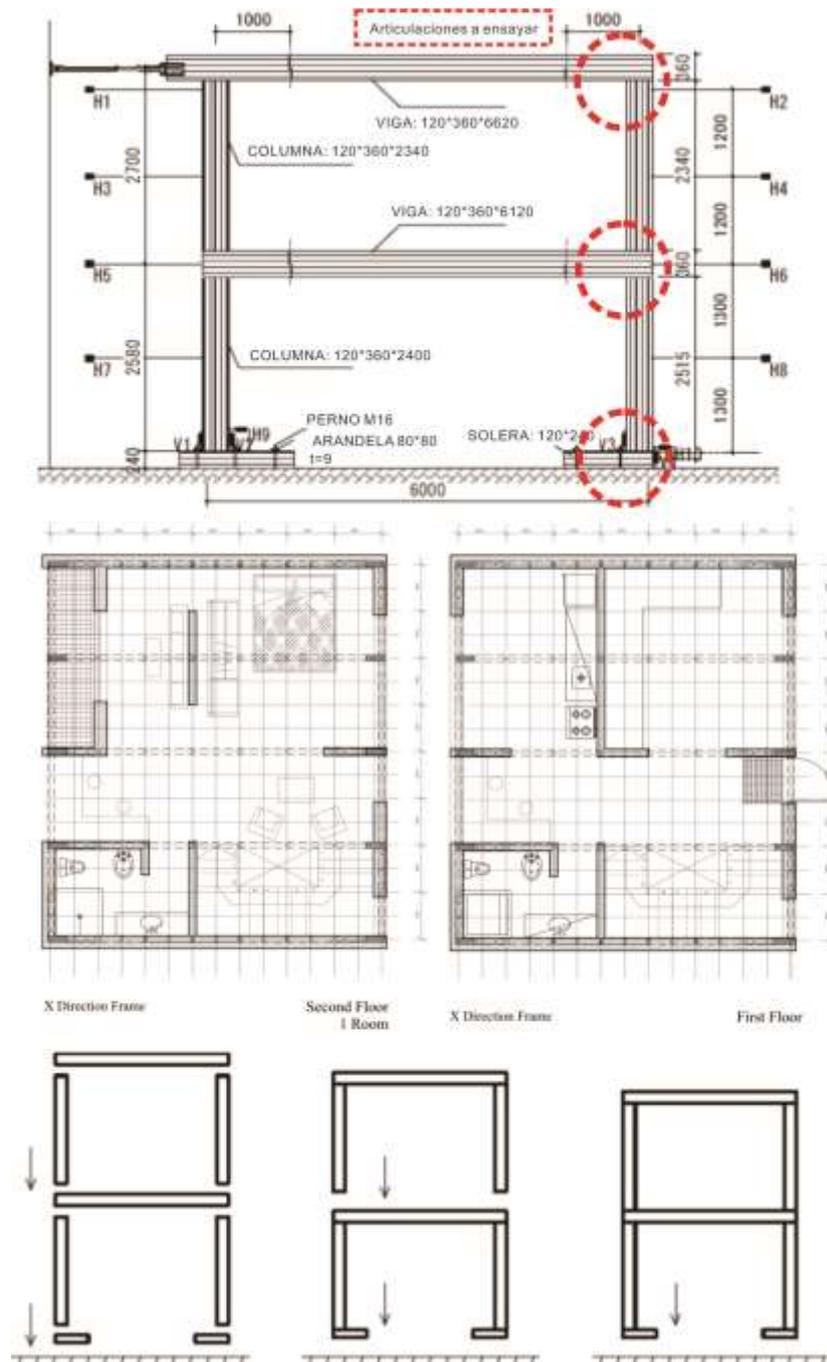
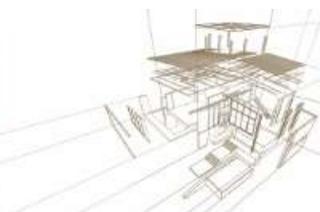


Figura 2 Estructura de marco rígido y montaje



2.3 JUNTAS DEL MARCO RÍGIDO

En la figura 3 se detallan las uniones del marco rígido. Las clavijas de 12 mm de diámetro hechas de arce duro se pegan en la columna y la viga con adhesivos de poliuretano para hacer las juntas a ensayar. La columna y la viga estaban hechas de sugi (cedro japonés, *Cryptomeria japonica*) con un grado de resistencia JAS (estándar agrícola japonés) de E75-F240 (el módulo de elasticidad es $7500\text{N} / \text{mm}^2$, el módulo de ruptura es $24\text{N}/\text{mm}^2$). La sección de una columna es $120 \times 360 \text{ mm}$. Los pernos se combinan para evitar la disminución rápida de la fuerza de resistencia después de que fallen las clavijas de madera (Kameizawa 2006a). El diámetro de los pernos es de 16 mm. La ubicación de las clavijas de madera dura y pernos en cada junta es la misma. La profundidad de la clavija en la columna es de 96 mm, el resto es de 120 mm. El propósito de esto es que las clavijas colaboren gradualmente.

3 RESISTENCIA AL MOMENTO SOBRE LAS JUNTAS DEL MARCO RÍGIDO

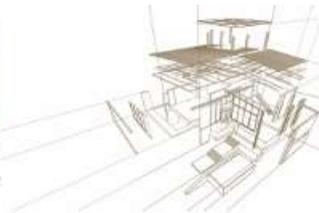
3.1 ESPÉCIMEN Y MÉTODO DE PRUEBA

Se probaron tres juntas de tipo (DBT6, DBT8 y DBS7) que se muestran en la Figura 3. Las pruebas de resistencia al momento se llevaron a cabo como se muestra en la Figura 4. DBT6 es un modelo de una cuarta parte del marco rígido. Se supone que el centro de la columna y el centro de la viga son un punto de apoyo. DBT8 es un modelo por el cual la columna del primer piso y el segundo piso se dividen al medio. DBS7 es un modelo del marco del marco rígido del primer piso en la mitad inferior.

En la etapa donde el ángulo de deformación de cada junta alcanzó un valor de: $1/300$, $1/200$, $1/150$, $1/100$, $1/75$ y $1 / 50\text{rad}$, la dirección de la carga fue cambiada, empujada y tensionada. La carga se incrementó hasta que el ángulo de rotación alcanzó $1 / 10\text{rad}$. Bajo la aplicación de carga, medimos continuamente el desplazamiento de la articulación y de los miembros.

3.2 RESULTADO DEL ENSAYO DEL ENCUENTRO VIGA-COLUMNA SOBRE SEGUNDO PISO

Un ejemplo de la relación entre el ángulo de rotación y el momento de la parte de la unión se muestra en la Figura 5. La Figura 6 muestra la curva envolvente de la relación entre la rotación ángulo y el momento de la parte conjunta en el lado de compresión. Los valores de las propiedades estructurales se calcularon a partir del modelo perfecto de elasto-plasticidad al que se sustituyeron las curvas envolventes (HOWTEC 2001). Los resultados se muestran en la Tabla 1.



La fuerza resistente permisible para carga temporal se asumió $15.41 \text{ kN} \cdot \text{m}$.

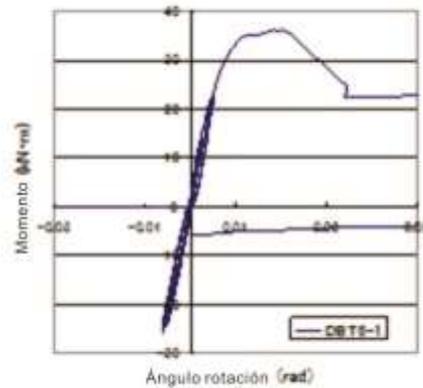


Figura 5: Relación entre el ángulo de rotación y el momento de la articulación

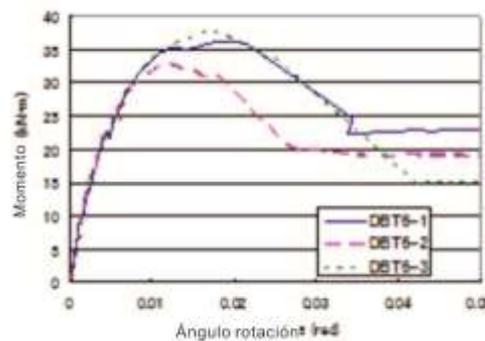


Figure 6: Relación del ángulo de rotación y el momento en la articulación

Tabla 1: Propiedades estructurales de la articulación

Ensayo	θ_f (rad)	M_f (kN·m)	K (kN/m/rad)	M_{max} (kN·m)	θ_u (rad)	μ	Valor 5th percentil con 7.5% coeficiente		
							M_a (kN·m)	$2/3M_{max}$ (kN·m)	M_u (kN·m)
DBT6-1	0.0037	20.21	5427	36.23	0.0215	3.43			
DBT6-2	0.0031	18.08	5794	33.07	0.0181	3.40			
DBT6-3	0.0039	20.48	5293	37.55	0.0248	3.79			
DBT6-Asi	0.0036	19.62	5505	35.61	0.0215	3.54	15.41	18.90	15.41

donde:

- θ_f : Ángulo de rotación del punto de fluencia
- M_f : Momento del Punto de fluencia
- K : Rigidez rotacional
- M_{max} : Momento máximo
- θ_u : Ángulo de rotación final
- μ : Factor de ductilidad
- M_a : Momento admisible

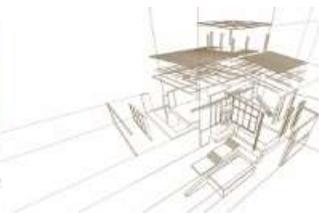


Figure 7: extracción de clavijas de madera

3.3 RESULTADO DEL ENSAYO DEL ENCUENTRO VIGA-COLUMNA SOBRE PRIMER PISO

La Figura 8 muestran un ejemplo de la relación entre el ángulo de rotación y el momento de la parte de la junta. La figura 9 muestra la curva envolvente en el lado de compresión. Los valores de las propiedades estructurales se enumeraron en la Tabla 2. Cuando el ángulo de rotación alcanzó $1 / 150\text{rad}$, se produjo una grieta desde el borde de la viga hasta la fibra (Figura 10), y la carga disminuyó. Posteriormente, la grieta que se produjo desde la esquina de la junta progresó, se conectó con la grieta a lo largo de la fibra de la viga, el fallo de flexión se produjo en la viga con un sonido fuerte (Figura 10). Como resultado, la carga disminuyó considerablemente.

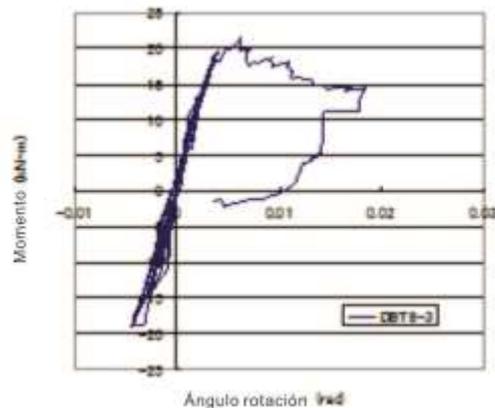


Figure 8: Relación del ángulo de rotación y el momento de la articulación

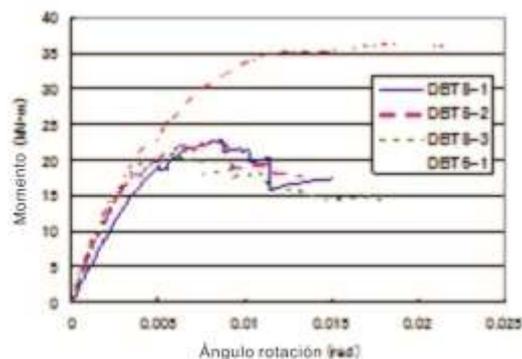


Figure 9: Relación del ángulo de rotación y el momento en la articulación

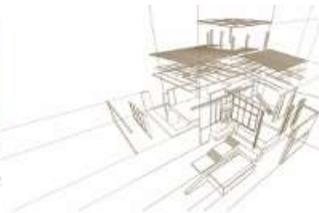


Tabla 2: Propiedades estructurales de la articulación

Ensayo	θ_y (rad)	M_y (kN·m)	K (kN·m/rad)	M_{max} (kN·m)	θ_u (rad)	μ	Valor 53 percentil con 75% confianza		M_p (kN·m)
							M_p (kN·m)	$2/3 M_{max}$ (kN·m)	
DBT8-1	0.0037	15.33	4727	24.71	0.0114	2.38			
DBT8-2	0.0025	15.35	6021	24.36	0.0125	3.44			
DBT8-3	0.0020	13.48	6641	23.25	0.0111	3.62			
DBT8-ave	0.0026	14.72	5797	24.11	0.0117	3.15	10.47	13.36	10.47

donde:

- θ_y : Ángulo de rotación del punto de fluencia
- M_y : Momento del Punto de fluencia
- K : Rigidez rotacional
- M_{max} : Momento máximo
- θ_u : Ángulo de rotación final
- μ : Factor de ductilidad
- M : Momento admisible



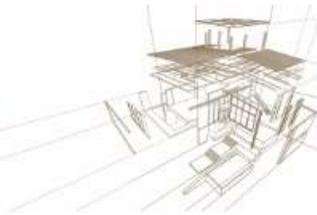
Figure 10 Falla de la articulación

La rigidez rotacional de DBT8 es casi la misma que DBT6, pero el momento del límite elástico y la rigidez máxima son bajos. En DBT8, la clavija de madera no se despegó ya que la falla y flexión ocurrió en la unión de la viga. La ductilidad es menor que DBT6. Se calculó el valor del quinto percentil con un nivel de confianza del 75% del momento de rendimiento y el valor de 2/3 del momento máximo. La fuerza de resistencia admisible para la carga temporal se supuso 10.47kN·m.

3.4 RESULTADO DEL ENSAYO DEL ENCUENTRO COLUMNA-SOLERA

La Figura 11 muestra un ejemplo de la relación entre el ángulo de rotación y el momento de la parte de la unión. La Figura 12 muestra la curva envolvente en el lado de compresión. Los valores de las propiedades estructurales se publican en la Tabla 3. Cuando el ángulo de rotación alcanzó 1 / 150rad, la división a lo largo de la dirección de la fibra ocurrió en la esquina del conector de la base. En 1 / 100rad, la falla a flexión ocurrió en la esquina del encuentro entre columna y solera, y la fuerza de resistencia disminuyó. (Figura 13)

La rigidez rotacional de DBS7 es un poco más alta que DBT6 y DBT8, pero el momento del límite elástico y la rigidez máxima es más baja. En DBS7, la clavija de madera no se retiró ya que la falla y doblado ocurrió en el encuentro de la solera. La ductilidad es menor que DBT6.



Se calculó el valor del 5^{to} percentil con un nivel de confianza del 75% del momento de fluencia y el valor de 2/3 del momento máximo. La fuerza de resistencia admisible para una carga temporal se estimó del momento de fluencia obtenidos en 6,75 kN·m.

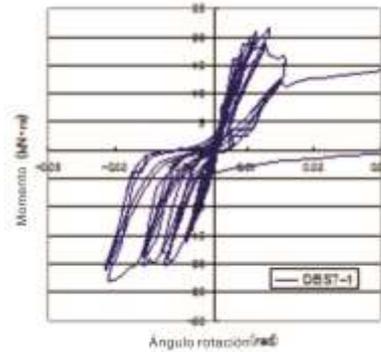


Figure 11: Relación entre el ángulo de rotación y el momento de la articulación

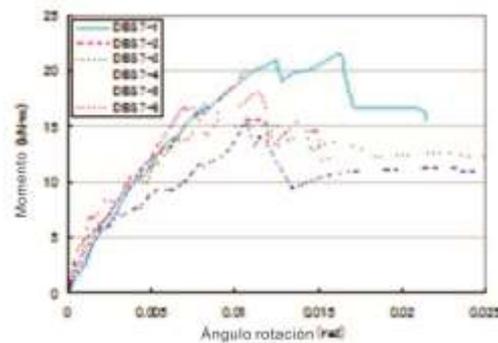


Figure 12: Relación del ángulo de rotación y momento en la articulación

Tabla 3: Propiedades estructurales de la articulación

Ensayo	θ_f (rad)	M_f (kN.m)	K (kN.m/rad)	M_{max} (kN.m)	θ_u (rad)	μ	Valor 5º percentil con 75% confianza		M_d (kN.m)
							M_f (kN.m)	$2/3 M_{max}$ (kN.m)	
DBS7-1	0.0021	12.43	5960	23.90	0.0084	2.30			
DBS7-2	0.0017	11.29	6685	19.18	0.0048	1.76			
DBS7-3	0.0011	8.46	7413	16.67	0.0064	3.11			
DBS7-4	0.0017	10.65	6418	20.00	0.0042	1.54			
DBS7-5	0.0013	7.76	6114	15.37	0.0033	1.58			
DBS7-6	0.0017	11.27	6616	18.01	0.0046	1.89			
DBS7_Ave	0.0016	10.31	6534	18.85	0.0033	2.03	6.75	8.81	6.75

donde:

- θ_f : Ángulo de rotación del punto de fluencia
- M_f : Momento del Punto de fluencia
- K : Rigidez rotacional
- M_{max} : Momento máximo
- θ_u : Ángulo de rotación final
- μ : Factor de ductilidad
- M_d : Momento admisible



Figura 13: Falla de la articulación

4 ANÁLISIS DE UN MARCO RÍGIDO DE 2 PISOS

4.1 MODELO DE ANÁLISIS

Se realizó un análisis incremental estático sobre un marco de dos pisos. El modelo de análisis se muestra en la Figura 14. Se supone que la fuerza horizontal se agrega desde el lado izquierdo del modelo de acuerdo con la distribución vertical para el coeficiente de esfuerzo cortante por piso. El momento final (M_u) de la viga se calcula con un módulo de sección que reduce en un 20% el tamaño de la sección.

Viga sobre segundo piso: tamaño de sección 120x360 mm, $M_u = 49.7\text{kN}\cdot\text{m}$

Viga sobre primer piso: tamaño de sección 120x420 mm, $M_u = 67.7\text{kN}\cdot\text{m}$

Se instala el mismo resorte giratorio en el extremo de la columna, en la viga y la articulación de la columna. La bisagra se instala en la intersección con la columna en la viga. Además, la bisagra está instalada en la base de la columna. La propiedad mecánica del resorte giratorio y la bisagra se instalaron como resultado de las pruebas de resistencia al momento explicadas en el punto 3.

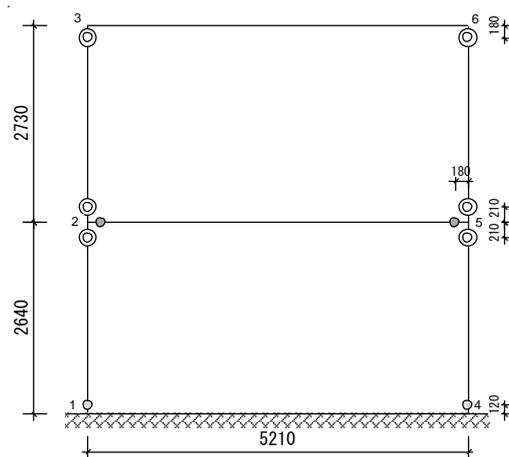
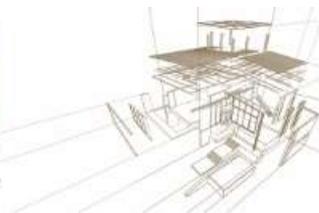


Figura 14: Análisis de marco rígido de dos pisos



4.2 MODELOS DE RELACIÓN ENTRE EL ÁNGULO DE ROTACIÓN Y EL MOMENTO DE LAS UNIONES

La propiedad mecánica de este resorte giratorio en el extremo de la columna es como un modelo bi-lineal para conectar el punto máximo con el punto de fluencia de DBT6 que se muestra en la Figura 15.

La bisagra en la intersección con la columna en la viga tiene una propiedad mecánica como modelo trilineal para conectar el punto máximo con con el punto de fluencia y el punto final de DBT8 que se muestra en la Figura 16.

La propiedad mecánica de la bisagra de la base de la columna es como un modelo trilineal para conectar el punto máximo con el punto de fluencia y el punto final de DBS7 que se muestra en la Figura 17.

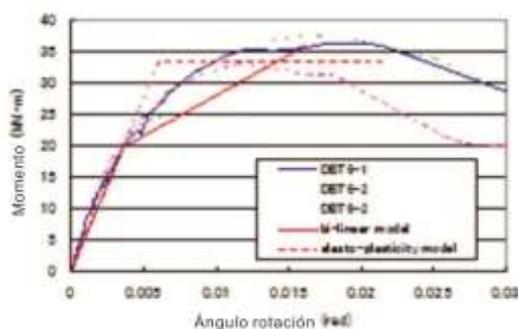


Figura 15: Modelo de comportamiento de la deformación en DBT6

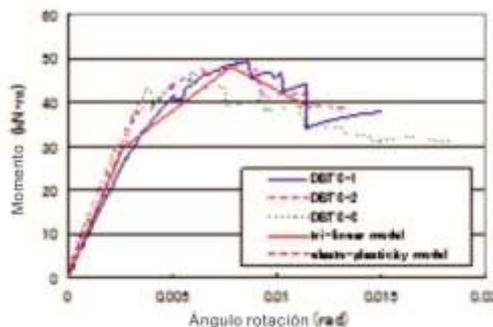


Figura 16: Modelo de comportamiento de la deformación en DBT8

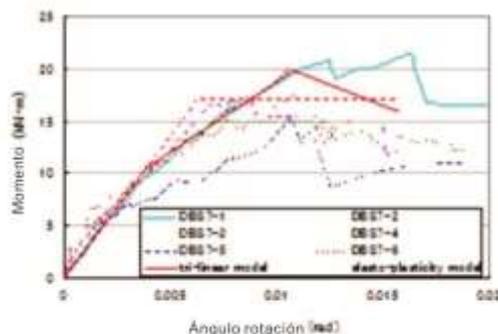
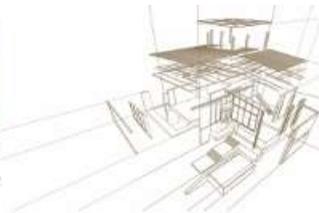


Figure 17: Modelo de comportamiento de la deformación en DBS7



4.3 RESULTADOS DE ANÁLISIS

La relación entre el ángulo de rotación y esfuerzo cortante por piso obtenida de acuerdo con el resultado del análisis incremental estático se muestra en la Figura 18. El marco puede colapsar cuando ocurre la falla de flexión en la viga, por lo que se supone que el esfuerzo cortante inmediatamente antes en la articulación de la viga alcance el punto máximo es la capacidad de carga horizontal.

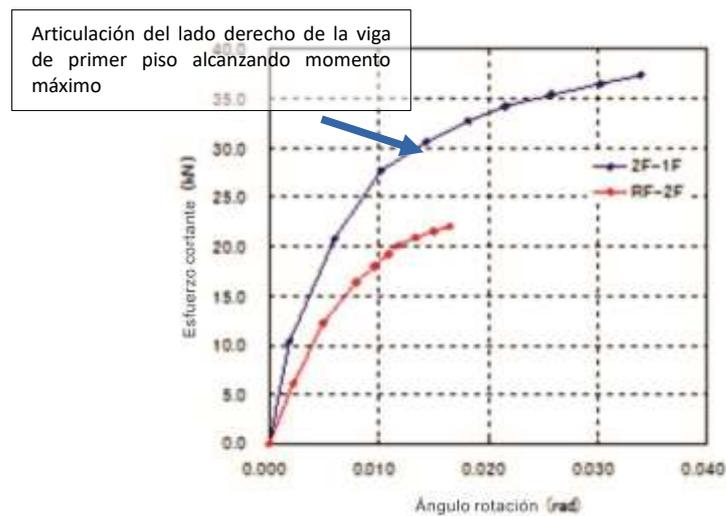


Figura 18: Relación entre el ángulo de rotación y la fuerza de corte por piso

El diagrama de momento y el diagrama de esfuerzo cortante se muestran en la Figura 19 y la Figura 20, respectivamente.

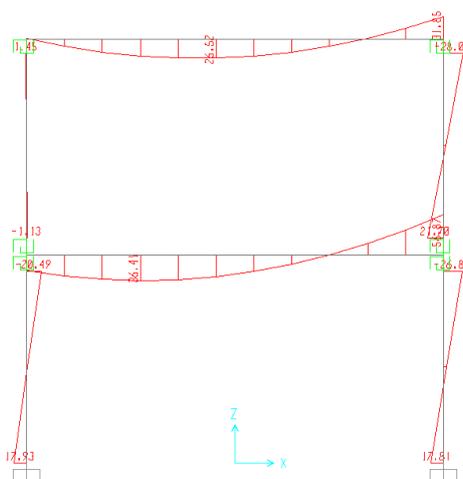


Figura 19: Diagrama de momentos

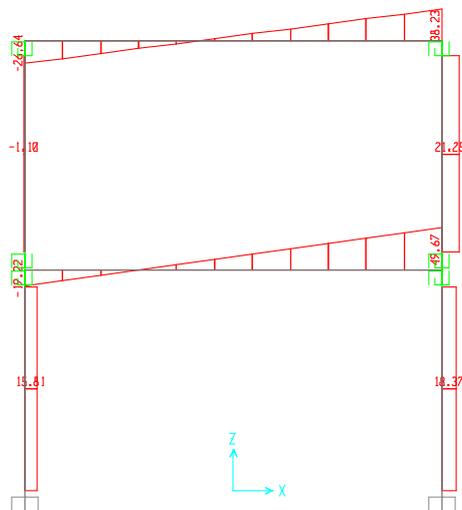


Figura 20: Diagrama de esfuerzo cortante

5 CONCLUSIONES

Desarrollamos la unión combinada con clavijas de madera dura encoladas y pernos. Se llevaron a cabo pruebas de resistencia al momento sobre 3 tipos de unión de un marco rígido de dos pisos usando esta unión.

Como resultado de la prueba sobre la unión viga-columna del segundo piso, el momento máximo fue de aproximadamente $35 \text{ kN} \cdot \text{m}$ y la rigidez rotacional fue de aproximadamente $5,500 \text{ kN} \cdot \text{m}/\text{rad}$. La rigidez rotacional de la unión viga-columna del primer piso fue casi igual a la del segundo. Sin embargo, dado que la viga había fallado, el valor de momento máximo fue del 70%. Como resultado de la prueba sobre la unión entre la solera y la columna, el momento máximo fue de aproximadamente $20 \text{ kN} \cdot \text{m}$ y la rigidez rotacional fue de aproximadamente $6.500 \text{ kN} \cdot \text{m}/\text{rad}$.

El rendimiento estructural de un marco rígido de dos pisos se analizó a partir de los resultados de estas pruebas. Como resultado del análisis, la fuerza de resistencia horizontal final se estimó en 34.18 kN para el primer piso y 20.15 kN para el segundo piso.

AGRADECIMIENTOS

Parte de este trabajo se realizó como parte de "El proyecto de promoción de proyectos de investigación semillas en uso práctico" (con el apoyo de la universidad de la prefectura de Akita) y el proyecto de colaboración industria-academia-gobierno en el área de la cuenca de "Yoneshiro", con el apoyo del Ministerio de Educación, Cultura, Deportes, Ciencia y Tecnología de Japón (MOMBUKAGAKUSHO), la fundación Akita Wood Technology Transfer Foundation y "El proyecto subsidiado del desarrollo de tecnología líder sobre Vivienda y Arquitectura" (con el apoyo del Ministerio de Tierra, Infraestructura y Transporte).



REFERENCIAS

Jorgen L. J., et al. (2001), "Axially Loaded Glued-in Hardwood dowels", Wood Science and Technology, 35, pp. 73-83.

Itagaki N., et al. (2006), The Development of the Rigid Frame Wooden House Structure Jointed with Glued-in Hardwood Dowels.

Japan Housing and Wood Technology Center (HOWTEC), (2001), Allowable stress design for timber frame structures house, pp 151-152

Kameizawa K., et al. (2006), "Development of a Joint Combined with Hard Wood Dowels and Tension Bolts for Wooden Structure", Proceedings of AIJ Tohoku Chapter Architectural Research Meeting, Vol. 69, Structure, pp. 183-186.

Kameizawa K., Itagaki N., Takahashi M., Kimura H. and Benitez A., (2006a) "Development of a Joint Combined with Hard Wood Dowels and Tension Bolts for Wooden Structure", Proceedings of AIJ Tohoku Chapter Architectural Research Meeting, Vol. 69, Structure, pp. 183-186.

Koizumi A., et al. (1998), "Withdrawal Properties of Hardwood Dowels in End Joints I. Evaluation of shear performance of adhesives", Journal of the Japan Wood Research Society, Vol. 44, No. 1, pp. 41-48.

Koizumi, et al. (1998a), "Withdrawal Properties of Hardwood Dowels in End Joints II. Effects of dowel diameters, Young's moduli of adherends, dowel spacings and numbers of dowels", Journal of the Japan Wood Research Society, Vol. 44, No. 2, pp. 109-115.

Koizumi A., et al. (1999), "Withdrawal Properties of Hardwood Dowels Glued Perpendicular to the Grain", Journal of the Japan Wood Research Society, Vol. 45, No. 3, pp. 230-236.

Koizumi A., et al. (2001), "Moment-resisting Properties of Post-to-sill Joints Connected with Hardwood Dowels", Journal of the Japan Wood Research Society, Vol. 47, No. 1, pp. 14-21.

Sasaki T., et al. (1999), "End Joint with Glued-in Hardwood Dowels in Timber Construction I. Bending properties of beams jointed with single row of dowels", Journal of the Japan Wood Research Society, Vol. 45, No. 1, pp. 17-24.