



## 8 Modelizado en Dlubal.

En el artículo *Tunis Hoeskstra, 2012, "Multi-Storey timber building*, se evalúa la rigidez teórica de un muro de entramado ligero con panel estructural, mediante el análisis pormenorizado de todos los factores que se definen en el apartado anterior. En el eurocódigo 5 (UNE-EN -1-1:2016, apartado 9.2.4.1, párrafo 4), se indica que la determinación de la resistencia al descuadre del muro debe determinarse mediante ensayo de acuerdo con la Norma Europea EN 594 o por cálculo. Careciendo de los datos necesarios para poder hacerlo mediante un cálculo para los módulos objeto de este trabajo, se han planteado los ensayos presentados en este trabajo, para determinar la rigidez de los módulos. La norma que los regula (EN-594:2011) no es de aplicación para este caso, ya que los revestimientos no son paneles estructurales propiamente. Sin embargo el comportamiento del conjunto como ya hemos visto es similar. Se ha intentado respetar lo más posible esta Norma Europea, pero también se han incluido procedimientos de la norma Americana ASTM E72 (Standard Test Methods of Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction). Hay que tener en cuenta que en ambos ensayos, en ensayo se lleva hasta la rotura de las muestras. En los ensayos que se han planteado en este trabajo, como ya se dijo en los objetivos, la limitación de la deformación es un criterio prioritario, y no es necesario llevar las muestras hasta la rotura para cumplir con el objetivo principal. Sería interesante no obstante, en siguientes investigaciones, plantear los ensayos según indican estas normas para poder elaborar una curva de comportamiento de los módulos ensayados más completa.

Elaborar un modelo para el cálculo de la estabilidad general del edificio, teniendo en cuenta todos los factores implicados sería muy complicado. En el citado artículo (*Tunis Hoeskstra, 2012, "Multi-Storey timber building*) se plantea una alternativa que simplificaría el modelo en gran medida, se trata de sustituir todo este procedimiento por una diagonal de rigidez equivalente. Dentro del concepto de rigidez del muro ya están incorporados todos los factores que influían en la deformación horizontal del muro, anclajes de tracción, modulo de cortante, modulo de elasticidad...etc. La diagonal equivalente  $K_R$  esta definida por la rigidez del muro y la geometría de éste exclusivamente.

Rigidez de la diagonal equivalente ( $k_R$ )

$$k_R = \left( 1 + \frac{h^2}{b^2} \right) R$$

- $R$  Rigidez horizontal del muro
- $h$  Altura del muro
- $b$  Longitud del muro

Donde:  $b = n \text{ paneles} \cdot b_1$

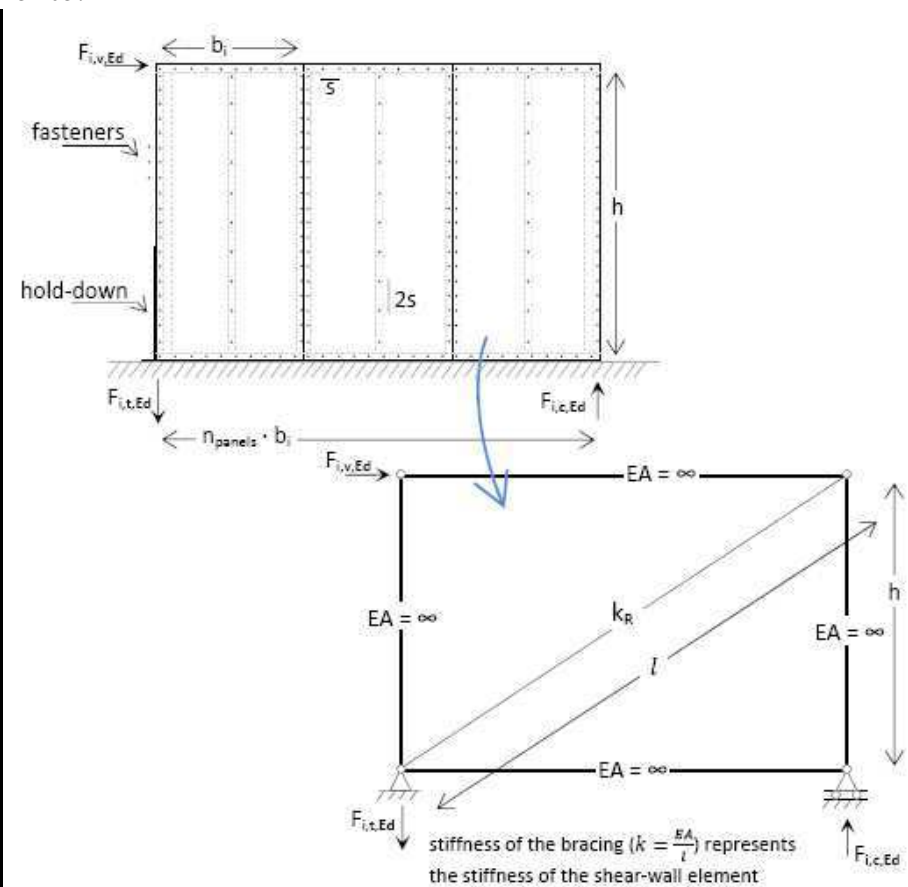


Imagen 36: *Tunis Hoeskstra, 2012, "Multi-Storey timber building*.

En el artículo se desarrolla y justifica esta fórmula y se llegó a la conclusión que esta fórmula es válida no solo para el módulo ensayado, con las dimensiones del mismo, sino también para todo el conjunto de un muro formado por  $n$  paneles (módulos).

De los resultados obtenidos del segundo ensayo, el realizado a los módulos con su revestimiento, se ha obtenido el valor de la rigidez horizontal del muro:



**Modulo A**  $R_A = 566.7 \text{ N/mm}$

**Módulo B**  $R_B = 660.6 \text{ N/mm}$

La diagonal equivalente, para los **módulos** formados por **dos columnas** de paja, aplicando la fórmula mostrada (imagen 36) tiene como resultado una Rigidez equivalente de:

<b>Modulo A</b>	donde/ $h=2\text{m}, b=1.90\text{m}$	<b><math>K_{RA} = 2.10 * R_A = 1190 \text{ N/mm}</math></b>
<b>Modulo B</b>	donde/ $h=1.97\text{m}, b=1.89\text{m}$	<b><math>K_{RB} = 2.08 * R_B = 1374 \text{ N/mm}</math></b>

Si el modelizado se va a realizar por **módulos** compuestos por una **única columna** de balas de paja, el resultado obtenido para la rigidez del muro en el ensayo, hay que dividirla entre dos (ya que en el ensayo se disponía de dos columnas en cada módulo). Por tanto la diagonal equivalente en este caso es:

<b>Modulo A</b>	donde/ $h=2\text{m}, b=0.95\text{m}$	<b><math>K_{RA} = 5.43 * R_A = 1539 \text{ N/mm}</math></b>
<b>Modulo B</b>	donde/ $h=1.97\text{m}, b=0.945\text{m}$	<b><math>K_{RB} = 5.30 * R_B = 1751 \text{ N/mm}</math></b>

Un detalle que hay que tener en cuenta a la hora de modelizar, es, que es necesario modelizar las barras que forman los montantes testeros y durmientes como barras de una rigidez infinita, de tal manera que las cargas gravitacionales que introduzcamos en el modelo, no produzcan deformaciones por flexión que afecten a la diagonal equivalente. Por tanto este modelo nos servirá exclusivamente para estudiar la estabilidad general del edificio, no para el estudio de las barras frente a sus sollicitaciones.

Si el modelizado se realiza con Dlubal, programa de elementos finitos que permite introducir barras con diferentes propiedades, al material asignado a la estructura de madera se le debe modificar el módulo de elasticidad dándole un valor muy elevado, y la diagonal equivalente se introduce como una barra tipo “muelle”, con una rigidez axial  $C_{1,1} =$  al  $K_R$  calculado anteriormente.

De esta manera el modelo se deformará horizontalmente tal y como se han comportado los módulos ensayados en laboratorio.



## 8.1 Ejemplo de modelizado.

En la imagen 37 se observa el módulo ensayado con un muelle incorporado del valor de la diagonal equivalente ( $K_R$ ) obtenida mediante los cálculos expuestos en el capítulo 8, donde se ha aplicado en la cabeza del muro, la carga misma carga que se aplicó en el ensayo realizado. Se produce en este modelizado una deformación de 8mm en la dirección y plano de la aplicación de la carga, tal y como sucedió en el ensayo. Este módulo se pueden replicar para formar las paredes de una edificación y aplicándole las cargas de viento en paredes y cubierta, estudiar la estabilidad general del edificio.

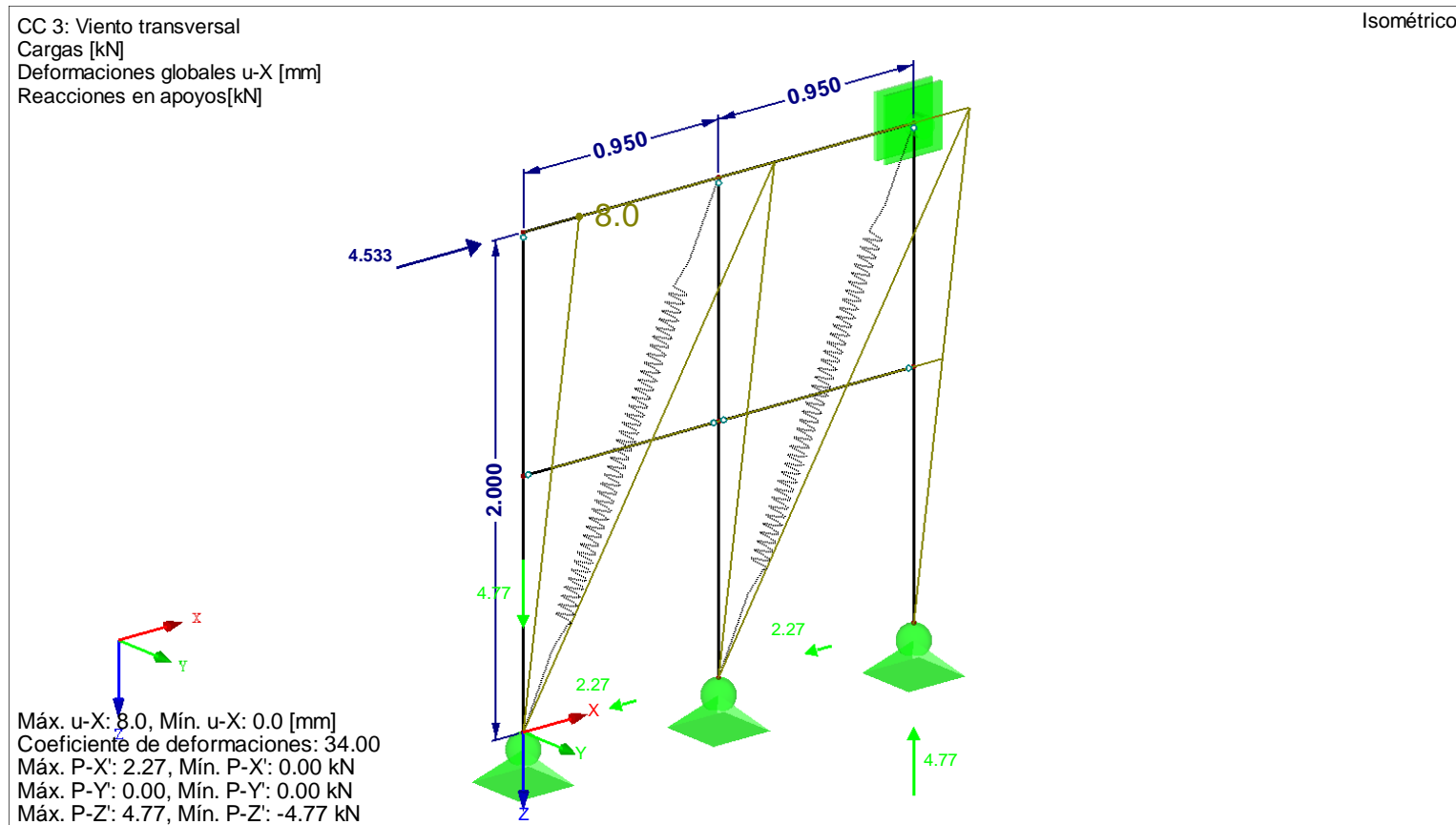


Imagen 37: Modelizado del Módulo A ensayado

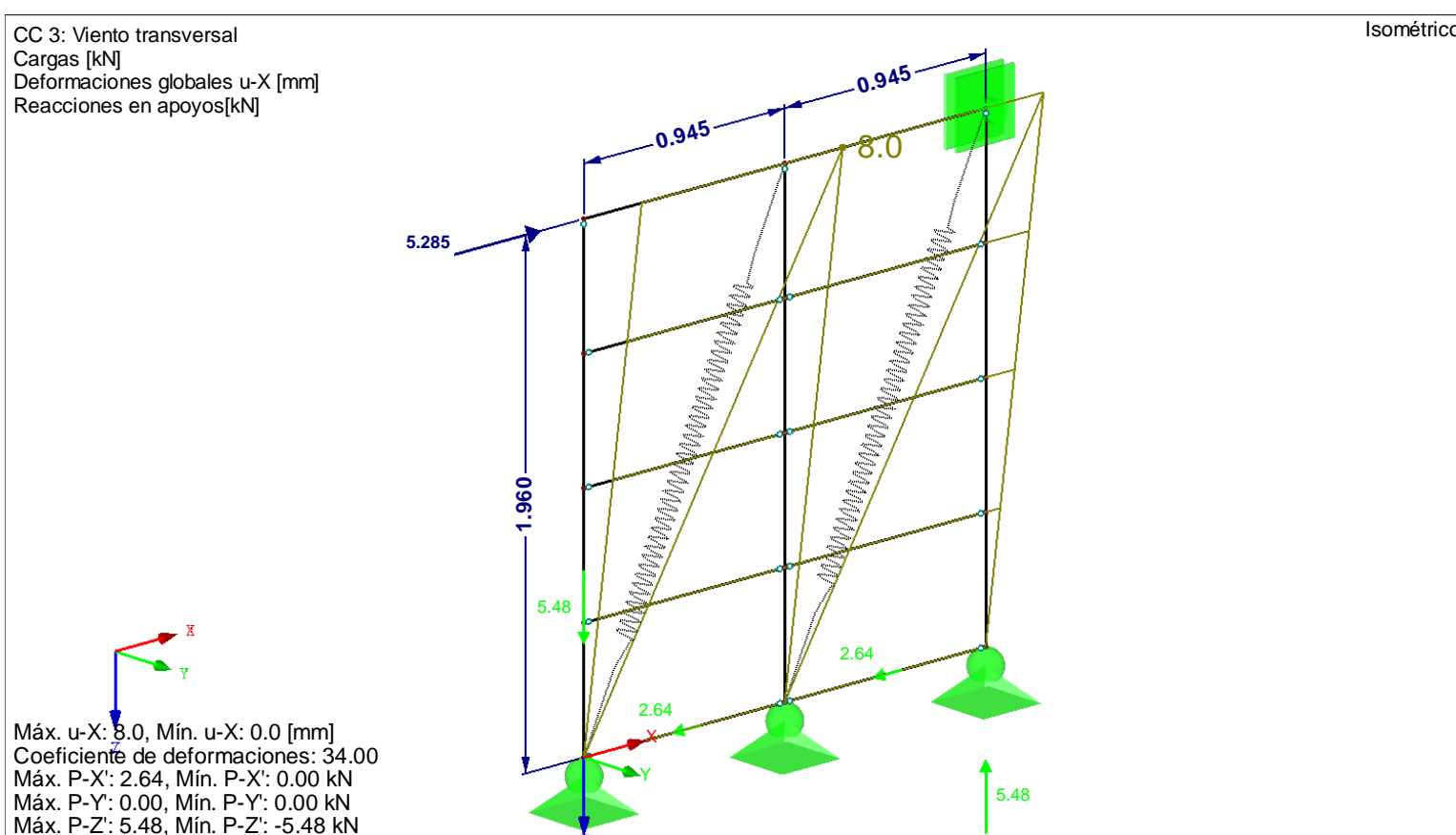
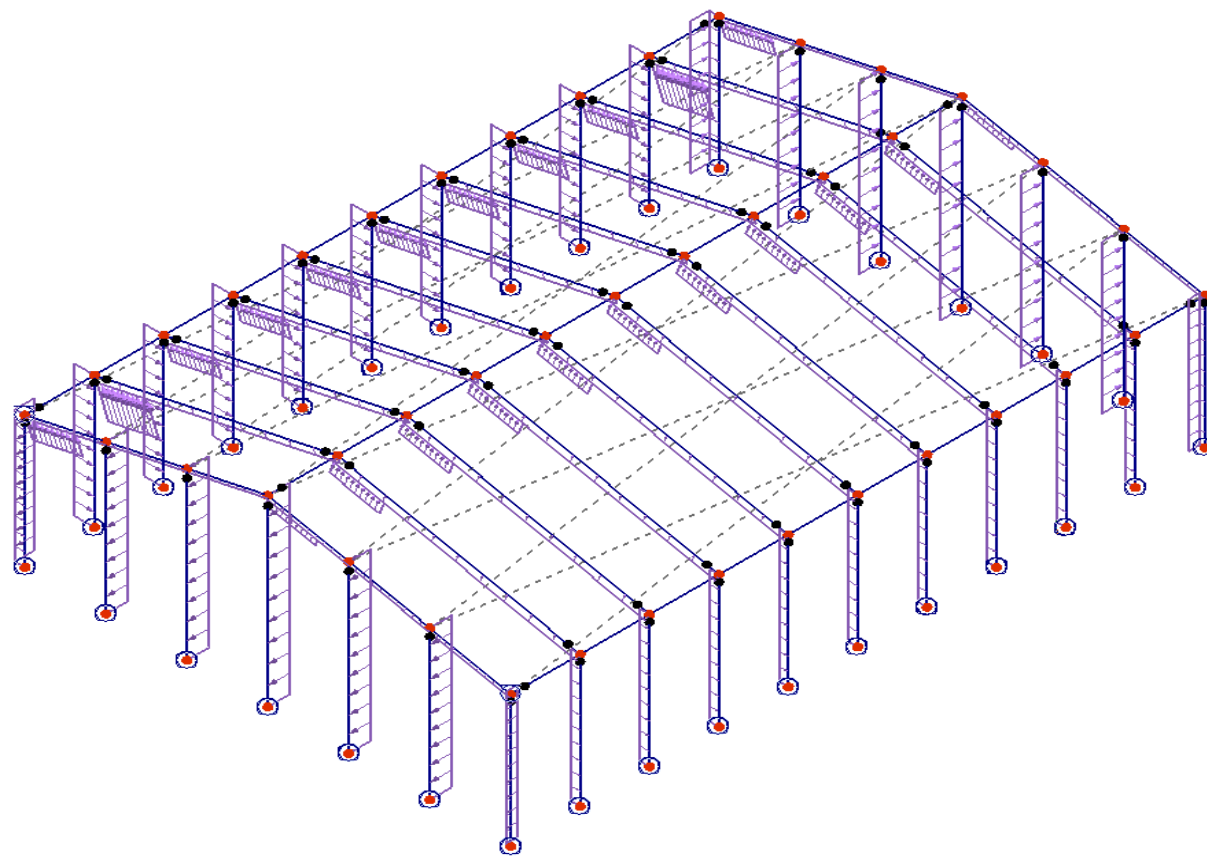


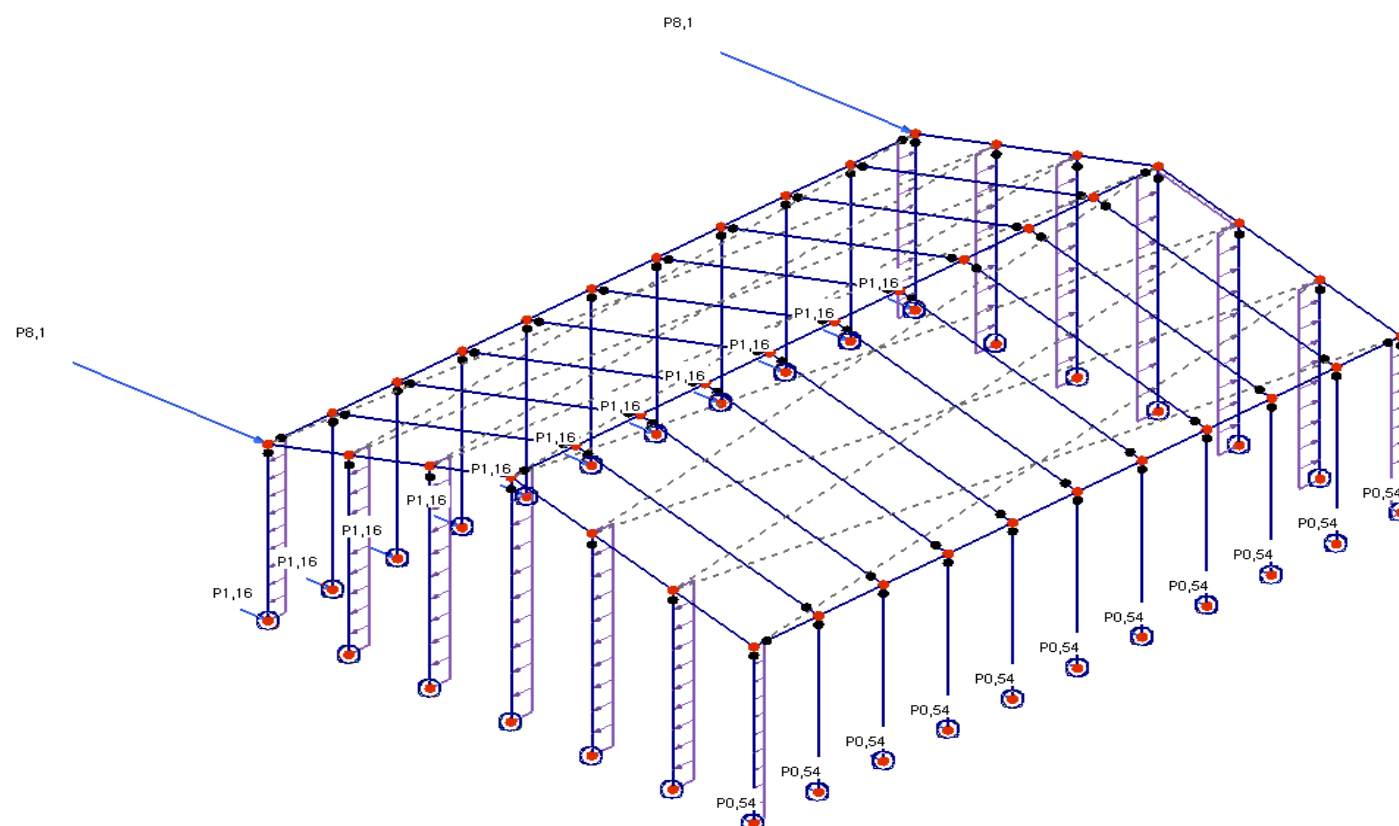
Imagen 38: Modelizado del Módulo B ensayado



A modo de ejemplo práctico, y al margen de los objetivos expuestos en el segundo capítulo, se propone, estudiar la estabilidad de un edificio de una planta de 9.5 m de longitud y 6.65 m de anchura, cuyos muros están contruidos con el sistema constructivo de columna, el sistema B de este trabajo. La altura de los muros es de 2.5m y la de la cumbrera 3.3m. La cubierta es a dos aguas con una pendiente del 30%. Las cargas aplicadas vienen definidas por el Documento Básico SE-AE del CTE. El edificio está situado en una zona climática de invierno 2 (Anejo E del DB SE-AE) a 540m de altitud, y con un valor básico de velocidad del viento correspondiente a una zona C (Anejo D del DB SE-AE) con un grado de aspereza del entorno correspondiente a una categoría II (Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia). En la imagen 39, se observa el modelo realizado con el programa de cálculo matricial Estrumad, que se ha empleado para calcular la incidencia en los muros transversales del viento en la fachada longitudinal y cubierta.



*Imagen 39: Viento Hipótesis de viento transversal.*



*Imagen 40: Carga puntual sobre fachada transversal como resultante de la incidencia de la hipótesis de viento en fachada longitudinal.*



Se ha hecho la misma operación con una hipótesis de carga sobre la fachada transversal y su incidencia como una carga puntual en la fachada longitudinal. Se ha modelizado el edificio con el programa de elementos finitos Dlubal. Por simplificar el ejemplo mostrado, solamente se tienen en cuenta estas dos hipótesis con sus cargas puntuales. Solamente se han modelizado los muros del edificio, incorporando eso sí ciertas aberturas en estos muros, eliminado los muelles en dichas aberturas. El resultado del desplome de las fachadas en ambos planos se puede apreciar, en las imágenes 41 y 42.

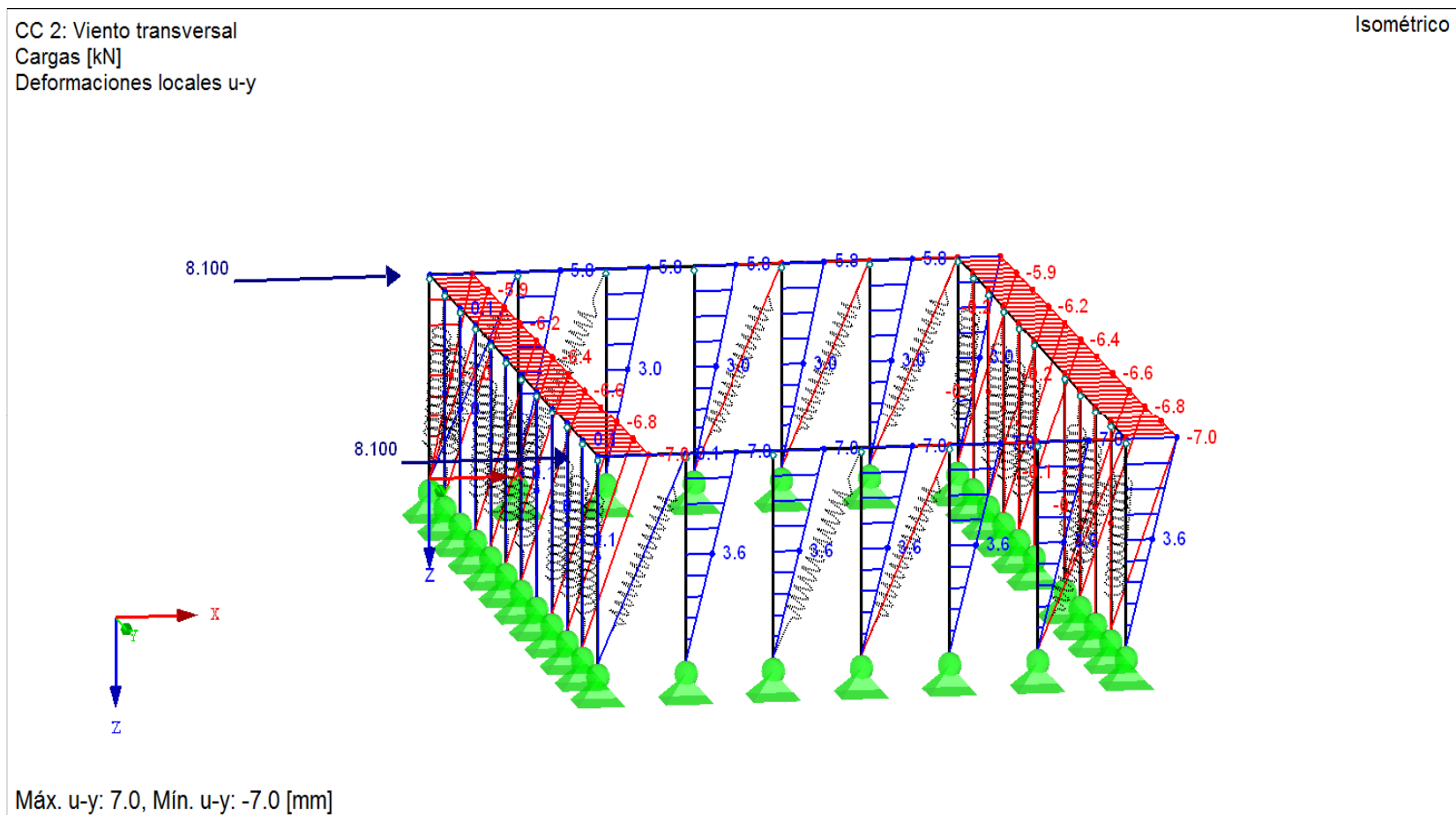


Imagen 41: Desplazamiento en Hipótesis de Viento transversal.

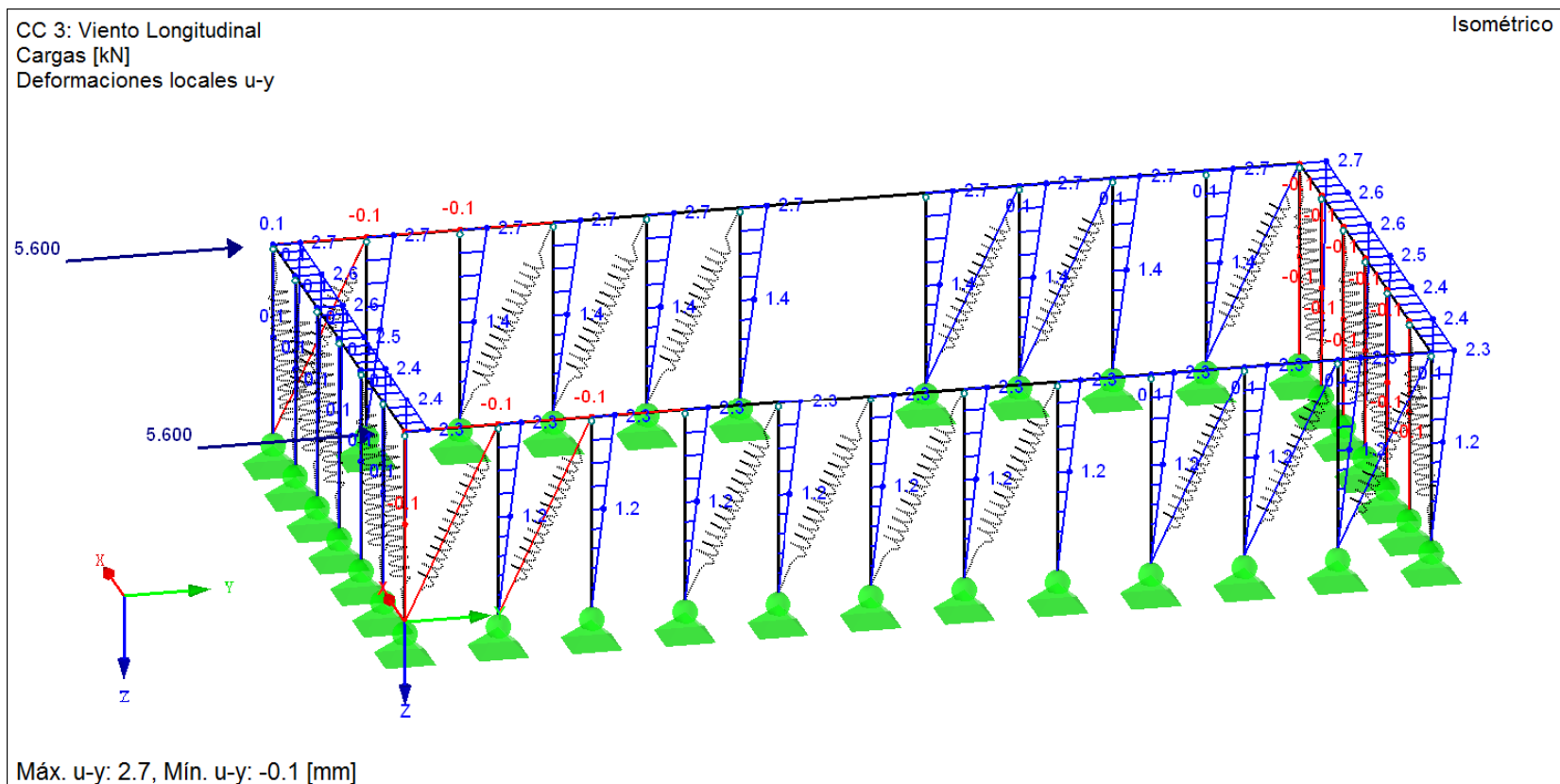


Imagen 42: Desplazamiento en Hipótesis de Viento longitudinal.

Teniendo en cuenta que la limitación normativa permite un desplazamiento horizontal de 10mm (1/250), como ya se comentó en la página 34 del presente documento, el sistema resulta lo suficientemente rígido en este caso.