

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RIGIDEZ A FLEXIÓN DE PANELES COMPUESTOS POR PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO Y PLACAS DE MADERA OSB TOMADAS CON TORNILLOS ANALIZANDO LA DEGRADACIÓN DE LA UNIÓN PLACAS - PERFILES DEBIDO A CICLOS DE CARGA.

Fragueiro, Agustín^a; Crespi, Lucas^a, Angulo, José^a, Roca, Dolores^a

^aFCEfyN - Universidad Nacional de Córdoba, afragueiro@unc.edu.ar, lcrespi@unc.edu.ar, joseangulo@unc.edu.ar, maria.roca@unc.edu.ar

Palabras clave: rigidez flexional, fluencia, deformación, fijaciones, unión

RESUMEN

En este trabajo se evaluó el desempeño de diversos prototipos comerciales de paneles de entepiso compuestos por perfiles C conformados en frío fijados a placas estructurales de madera OSB, con el fin de determinar su rigidez flexional ante acción de cargas perpendiculares a su plano. Estos tipos de paneles compuestos o mixtos son muy utilizados actualmente en la construcción de viviendas unifamiliares que se realizan con sistemas de construcción en seco tipo “steel framing”. Durante los ensayos, se exploraron varias configuraciones de paneles, variando los perfiles, la separación entre tornillos y la incorporación de refuerzos. Los ensayos mecánicos a flexión permitieron determinar la rigidez flexional inicial y su decaimiento tras ciclos sucesivos de carga y descarga. En todos los casos la rigidez flexional del conjunto se vio condicionada por la pérdida de eficacia de la unión atornillada a lo largo de los sucesivos ciclos de carga y descarga. Finalmente, se determinó la carga de rotura del conjunto la cual resultó causada por el pandeo local de los perfiles PGVS de menor espesor y por falla generalizada de los tornillos de unión en el caso de los perfiles PCF.

ABSTRACT

This study evaluated the performance of several commercial panel prototypes composed of cold-formed C-sections fastened to structural oriented strand board (OSB) sheathing, with the objective of determining their flexural stiffness under loads acting perpendicular to the panel plane. These composite panel systems are widely used in the construction of single-family residential buildings employing dry-construction methods such as steel framing. During the experimental program, several panel configurations were investigated by varying the section profiles, screw spacing, and the incorporation of reinforcement elements. Flexural tests were conducted to determine the initial flexural stiffness and its degradation under successive loading and unloading cycles. In all cases, the flexural stiffness of the assembly was influenced by the progressive loss of effectiveness of the screwed connection throughout the repeated loading and unloading cycles. Finally, the ultimate load capacity of the assemblies was determined. Failure was governed by local buckling of the thinner PGVS sections and by widespread failure of the connection screws in the case of the PCF sections.

A. INTRODUCCIÓN

En la construcción en seco tipo “steel framing” o similar, una de las opciones de estructura para materializar los entresijos y techos es por medio de paneles compuestos por perfiles conformados en frío vinculados a placas de madera tipo OSB o laminados contrachapados.

En busca de una mayor economía y eficiencia estructural, se intenta un trabajo conjunto de estos dos componentes generando así un “panel combinado acero-madera” buscando el beneficio directo en el aumento de la resistencia y de la rigidez flexional para cargas perpendiculares al plano del panel.

Estimar la rigidez de este sistema estructural compuesto como una sección sólida perfiles-OSB no sería correcto desde el punto de vista del comportamiento conjunto de estos materiales porque esa respuesta depende de la vinculación entre ambos. Tampoco resulta eficiente asumir únicamente la resistencia y rigidez de los perfiles sin la contribución de las placas de madera al mecanismo resistente a flexión, dado que esto resultaría muy conservador.

El trabajo conjunto de ambos materiales se logra mediante la unión con tornillos autorroscantes tipo T2 #6 que atraviesan la placa de madera y se enroscan atravesando las alas del perfil. La solicitud específica a la que serán sometidos esos tornillos, la cual representa uno de los objetivos de verificación mediante ensayos, es el corte rasante placa-perfil. Luego, dependiendo de la rigidez de la unión atornillada será el comportamiento del conjunto, cuyo resultado se pretende evaluar experimentalmente en este trabajo.

Con ese objetivo se decidió encarar el presente proyecto de investigación respaldado por la SECyT (Secretaría de Ciencia y Técnica) de la FCEfyN (Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales) de la UNC (Universidad Nacional de Córdoba) y con la colaboración de una empresa constructora del medio, especialista en construcción en seco.

Se prepararon y ensayaron los siguientes 5 tipos de paneles, todos con medida 1.22 m de ancho dadas las dimensiones comerciales de las placas de OSB (calidad estructural) que se adoptaron de 11 mm de espesor por placa.

PANEL TIPO	TIPO DE PERFILES	PLACA OSB	TORNILLOS CADA	LARGO PANEL	SEPARACION APOYOS (m)
a	PGVS 89x0.9 (montante)	11mm	20 cm	2.44	2.10
b	PGVS 89x0.9 (montante)	11mm	10 cm	2.44	2.10
c	PCF C100x40x15x2	11mm	10 cm	3.00	2.80
d	PCF C100x40x15x2	22mm	10 cm	3.00	2.80
e	PCF C120x50x15x2	22mm	10 cm	4.00	3.70

La sección transversal de los paneles mixtos acero-madera, tipo de tornillos y el esquema estático del dispositivo de ensayo se muestran en la Figura 1 con fotografías del dispositivo de ensayo en Figura 2 y Figura 3.

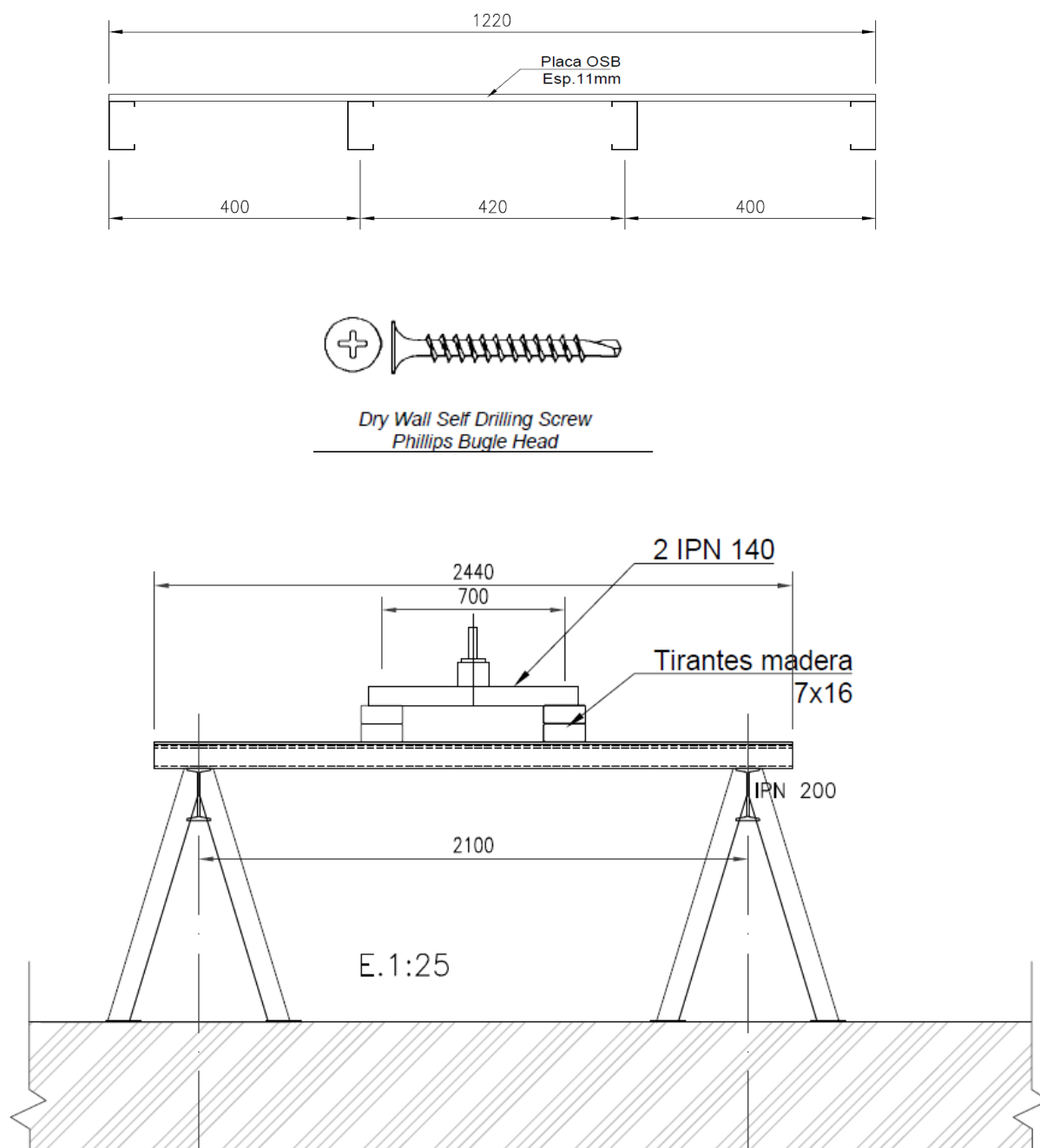
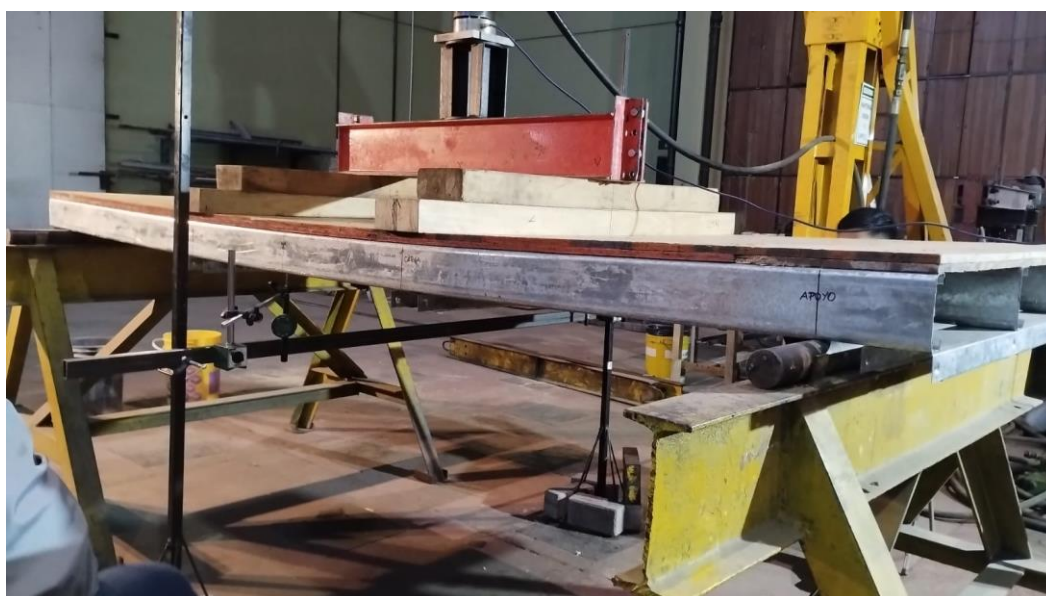


Figura 1. Sección transversal de los paneles en estudio y dispositivo de carga para paneles tipo (a) y (b)



*Figura 2. Dispositivo de ensayo con PGVS 89x0.9 y tornillos cada 20 cm.
L= 2.44m*



*Figura 3. Dispositivo de ensayo con PCF C120x50x15x2 y tornillos cada 10 cm.
L= 4.00 m*

B. ENSAYOS

En esta sección se describe el procedimiento empleado en cada uno de los ensayos realizados que forman parte del presente estudio. Primeramente, cabe una aclaración sobre unidades de fuerza, los gráficos se confeccionaron con unidades de fuerza de sistema métrico (kgf) debiendo el lector aplicar la relación correspondiente: $1 \text{ kgf} \Rightarrow 0.0098 \text{ kN} \approx 0.01 \text{ kN}$ si lo necesita. En los gráficos, la línea recta roja representa el comportamiento ideal de los perfiles de acero en flexión con respuesta recta elástica.

En primer lugar, se ensayó un panel tipo (a) generando 5 ciclos de carga/descarga con saltos incrementales de 200 kgf (2 kN). El objetivo de estos ensayos fue evaluar la rigidez flexional inicial del panel compuesto y el comportamiento de esta a través de los sucesivos ciclos de ensayo debido a la posible degradación de la unión OSB-perfil, obteniendo finalmente la carga de rotura, la cual se produjo producto del pandeo local del alma de los perfiles en los apoyos. Estos ensayos de prueba permitieron ajustar la cantidad de ciclos futuros y determinar la amplitud de la carga para los próximos ensayos. En la Figura 4 se presentan los registros carga-desplazamiento obtenidos. Se llegó a una carga máxima con un valor próximo a 1900 kgf (19 kN). Esta prueba permitió corroborar que la falla se daba en los apoyos por abolladura del alma de los perfiles de acero y no en el centro del tramo, tal y como fuera previsto originalmente. El momento límite elástico M_y para los perfiles solos en estos paneles se alcanzaría para una carga de 2350kgf (23.5kN).

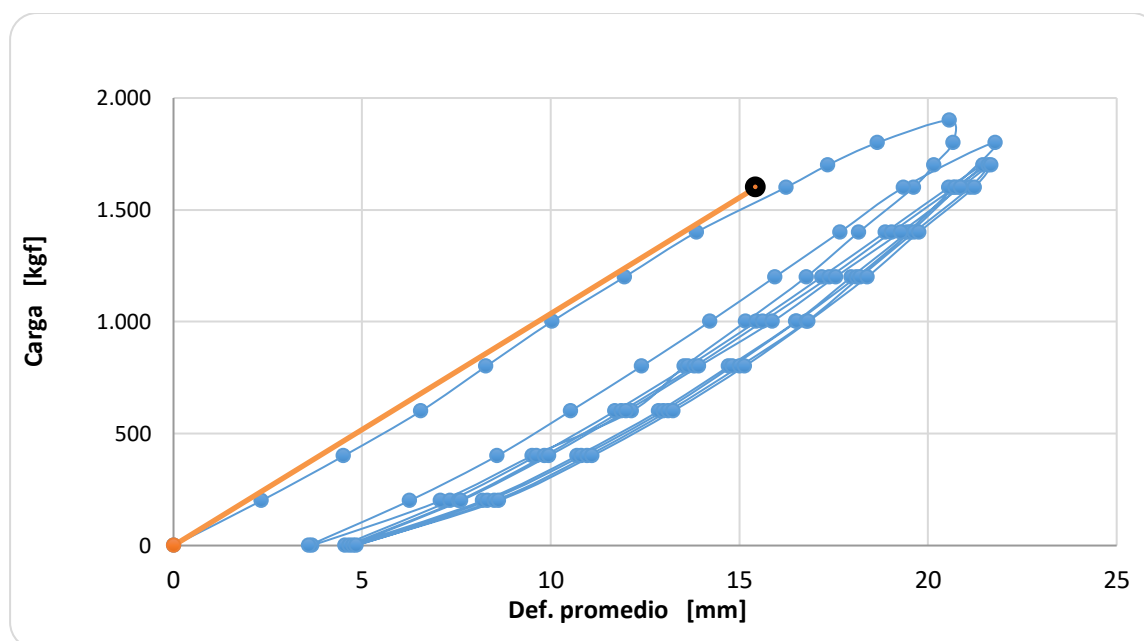


Figura 4. Curvas carga-desplazamiento en ensayo de panel (a) sin refuerzo en apoyos.

Teniendo en cuenta que los primeros ensayos realizados quedaron condicionados a un límite de carga máximo definido por el pandeo local de los apoyos, se decidió reforzar los mismos y realizar un único ciclo de carga hasta rotura de este nuevo esquema a fin de tener idea sobre la carga límite máxima. En la Figura 5 se muestra

la curva con estos resultados. Se alcanzó la rotura para una carga del orden de 2350 kgf (23.5 kN).

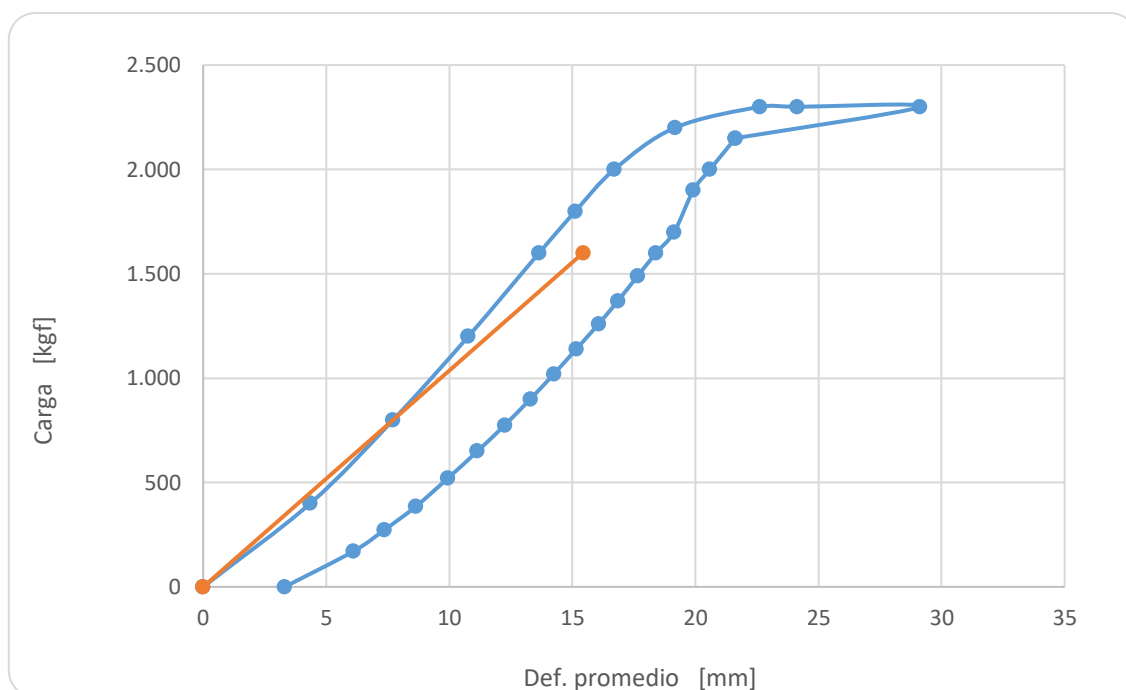


Figura 5. Curva carga-desplazamiento en ensayo de panel (a) con refuerzo en apoyos.

Estos primeros resultados permitieron observar que la pendiente de carga en el primer ciclo es casi paralela a la pendiente teórica del conjunto de perfiles metálicos sin tener en cuenta ningún aporte de rigidización de las placas de OSB tal como se habría esperado. Esta importante constatación permitió deducir que la fijación de la placa de OSB a los perfiles metálicos con tornillos distribuidos cada 20 cm no logra una mejoría inicial en la rigidez flexional del conjunto. Sin embargo, a medida que aumenta la carga y la deformada por flexión, con el progreso de ciclos de carga-descarga, la rigidez flexional se incrementa para valores de carga del orden del 50% de su capacidad máxima. El esfuerzo rasante aprieta los tornillos contra la madera y de este modo, se produce el efecto de trabajo conjunto entre la madera y el acero, modificando la rigidez flexional compuesta que se pone de manifiesto en los ciclos subsiguientes. Este efecto de los tornillos que “se ajustan” contra el OSB impide la recuperación elástica del panel compuesto una vez que la carga se ha retirado por completo. En el gráfico descarga-desplazamiento ilustrada se observa un recorrido paralelo y con cierto valor de deformación remanente. A continuación, se llevó a cabo un nuevo ensayo, con el objeto de replicar las primeras conclusiones obtenidas, incluyendo, además, la evaluación de lo que sucede para niveles de carga que se encuentran por encima de los 1800 kgf (18 kN). Se observó que, a partir de este nivel de carga, ocurre la degradación de la unión en la interfase placa/perfil. Esto se verifica en el gráfico al notar como se iguala la pendiente de la curva de carga/deformación del conjunto placa-perfil a la rigidez teórica de los perfiles actuando solos, sin la colaboración de la placa OSB. La Figura 6 muestra los resultados alcanzados para el ensayo descrito.

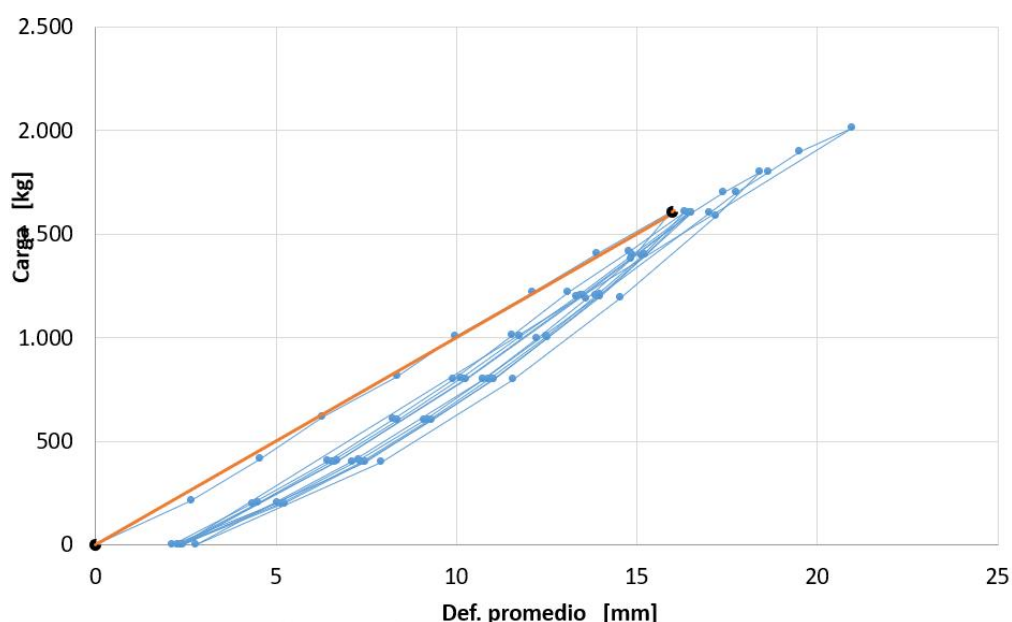


Figura 6. Curva carga-desplazamiento en ensayo de panel (a) con refuerzo en apoyos.

En función de lo observado en los paneles de prueba ejecutados, se confeccionó un nuevo panel tipo (a) con un protocolo de ensayos ya establecido, donde se repitieron ciclos de carga-descarga para un nivel de 1600 kgf (16 kN) (donde no se habría apreciado niveles de fallas prematuros), cuyos resultados se muestran en la Figura 7. Una vez alcanzado este nivel de carga en los diferentes ciclos, se continuó incrementando la misma en saltos de 100 kgf (1 kN) por cada ciclo adicional, hasta alcanzar el valor de rotura del panel (en torno a los 2000 kgf) (20 kN) en el cual se manifestaron abolladuras de los perfiles en centro del tramo como muestra la fotografía de Figura 8.

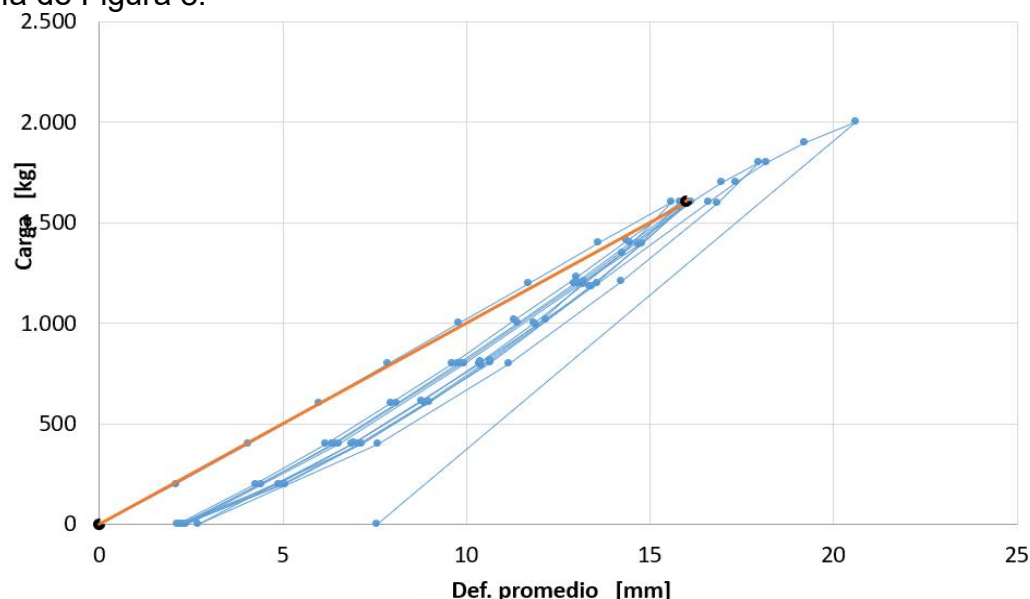


Figura 7. Curva carga-desplazamiento en ensayo de panel (a).



Figura 8. Abolladura de perfiles en zona central

Se prosiguió con la secuencia de los ensayos, pero en esta oportunidad con el panel tipo (b), cuyos resultados se reflejan en la Figura 9 que se muestra a continuación.

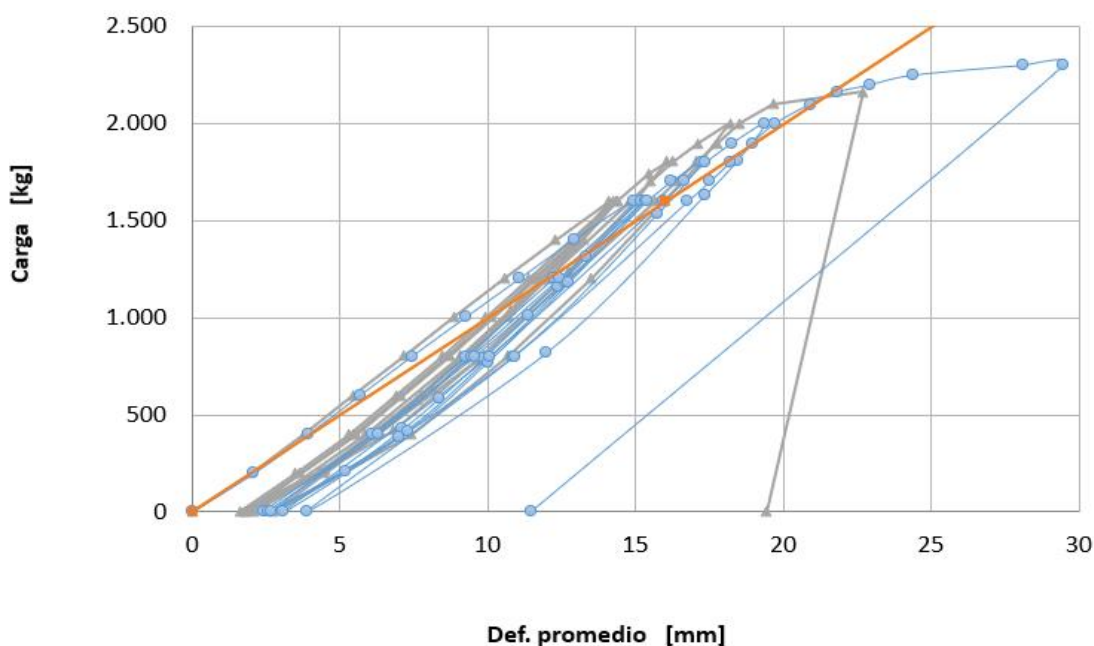


Figura 9. Curva carga-desplazamiento en ensayo de panel (b) con refuerzo en apoyos.

Sobre los paneles (b) se repitió el procedimiento descrito para los paneles (a). La diferencia entre estos paneles radica en la separación entre los tornillos de fijación perfil/OSB: cada 10 cm en vez de cada 20 cm. A su vez, se consideran los refuerzos practicados en los apoyos al igual que fuera realizado en los paneles previos.

De esta manera se logró un comportamiento notablemente diferente al evidenciado en los paneles (a). Para los paneles (b), la carga de rotura alcanzada fue superior a la de los paneles (a), llegando a valores del orden de 2280 kgf (22.8 kN).

Estos ensayos permitieron observar que la rigidez flexional inicial de la sección compuesta era superior a la teórica que correspondía a los perfiles actuando como sección simple. Esta conclusión indicaría que una mayor densidad de tornillos en la unión placa/perfil contribuye a esa mayor rigidez flexional inicial del conjunto.

Asimismo, se volvió a constatar el efecto de la rigidización del sistema estructural por el acomodamiento de los tornillos contra el OSB a medida que se incrementa la carga de ensayo.

Otra evidencia conocida y ratificada en estas pruebas fue que este mecanismo genera un valor de deformación permanente luego de la descarga completa del panel, aun con valores de carga inferiores a los de la falla de los perfiles.

En dos nuevos paneles(b), cuyos resultados se reflejan en las Figura 10 y 11, se repitió el procedimiento antes mencionado, obteniendo resultados similares. En el caso de la Figura 11 se observó una rigidez flexional inicial un poco menor, atribuida a variables propias de la fabricación del panel.

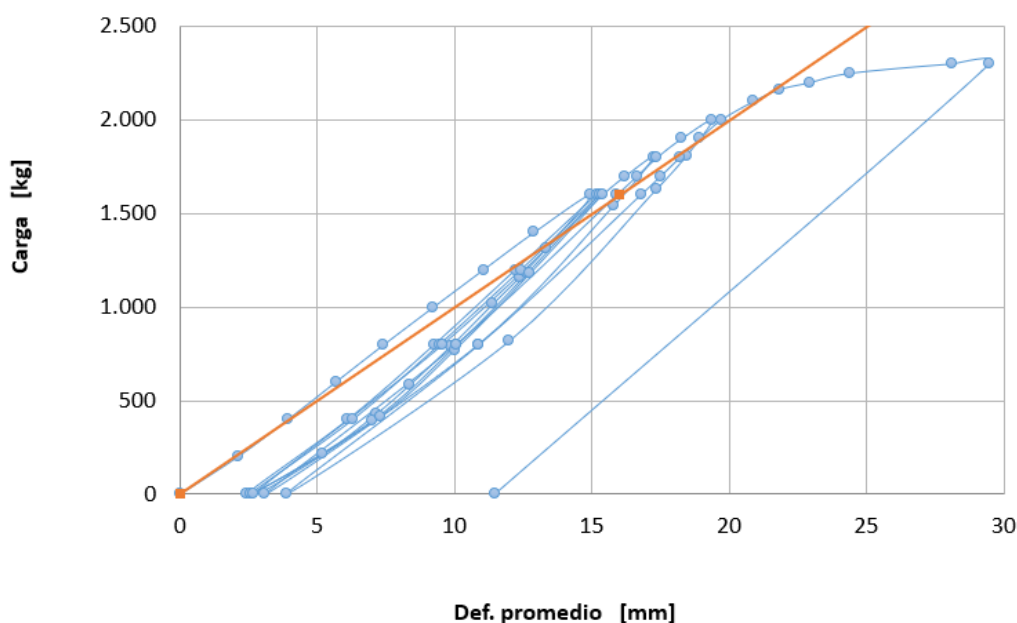


Figura 10. Curva carga-desplazamiento en ensayo de panel (b) con refuerzo en apoyos. Repetición de ensayo en nuevo panel.

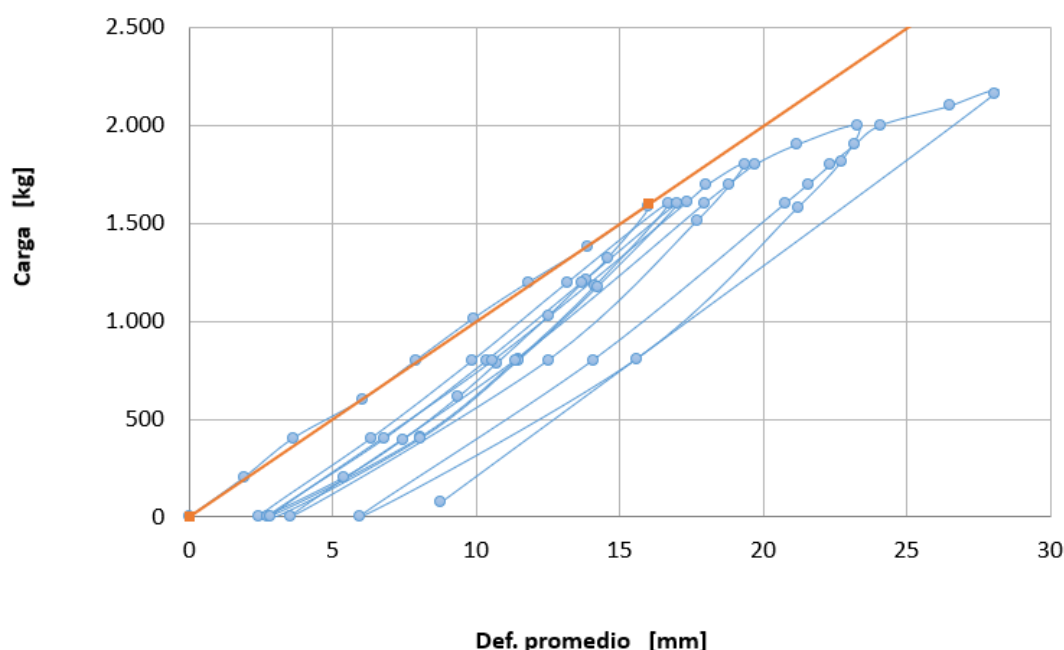


Figura 11. Curva carga-desplazamiento en ensayo de panel (b) con refuerzo en apoyos. Repetición de ensayo en nuevo panel.

De la comparativa entre el comportamiento de los paneles (a) respecto a los paneles (b) se observan curvas diferentes: los paneles (a) con tornillos cada 20 cm presentan una rigidez inicial menor a la de los paneles (b) que tienen tornillo cada 10 cm.

Se continuó con los ensayos sobre los otros paneles tipo (c), (d) y (e), esta vez constituidos con perfiles de mayor inercia. Se emplearon dos prototipos: un panel de 1.22m de ancho por 3.0m de largo con una estructura de perfiles conformados en frío tipo C100x40x15x2 (panel c y d) y un panel de 1.22m de ancho por 4.0m de largo con perfiles C120x50x15x2.5 (panel e). En un primer prototipo se trabajó con tornillos de fijación cada 20 cm sin refuerzos en apoyos y con una sola placa OSB de 11 mm tal como se venía trabajando antes. La figura 12 muestra sección del panel.



Figura 12. Sección y giro resultante en panel (c).

Los resultados del ensayo se muestran en la Figura 13.

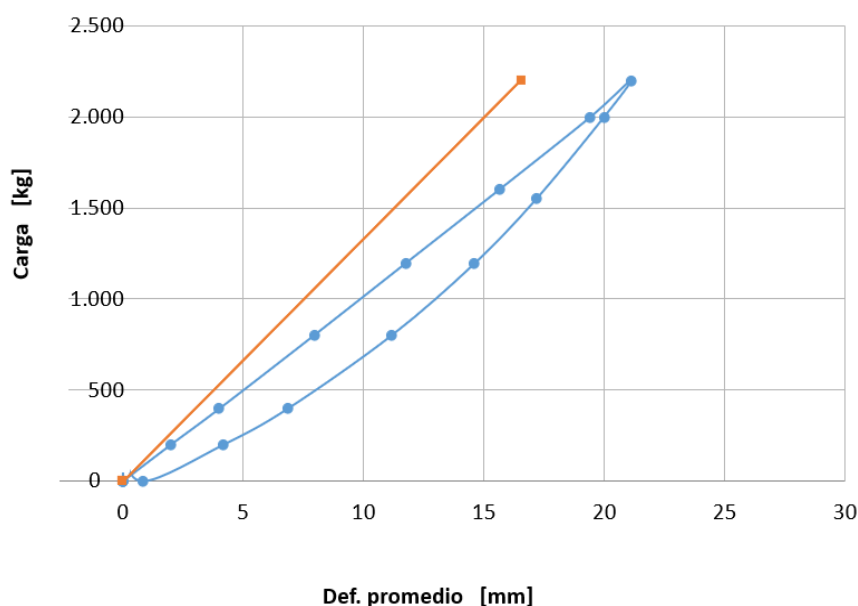


Figura 13. Curva carga-desplazamiento en ensayo de panel (c) sin restricción a giro en apoyos y tramo.

Este ciclo de carga permitió observar una rigidez flexional inicial bastante menor a la teórica para perfiles actuando solos. Estos resultados y la observación del panel cargado permitieron constatar que en los ensayos ocurría un notorio giro torsional de los perfiles C lo cual se traduce en una respuesta a flexión según una rigidez equivalente, menor a la correspondiente al eje fuerte, producto del giro torsional y flexional alrededor del eje de menor inercia, dado que se trata de perfiles C no simétricos respecto del eje vertical. En la Figura 14 se muestra un esquema con la rotación de la sección transversal indicada en zona central del panel.

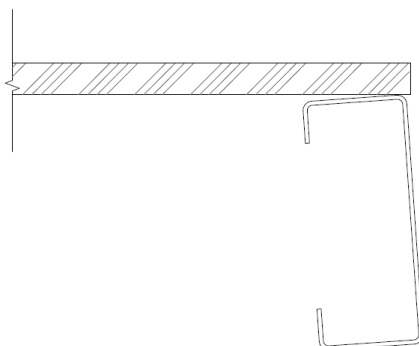


Figura 14. Giro de la sección en tramo.

En estos casos, a diferencia de los anteriores, el panel OSB no logra impedir el giro del perfil C100 y por lo tanto el comportamiento es sustancialmente distinto a los ensayos realizados sobre los paneles con PGVS 89x0.9 (paneles a y b).

A fin de eliminar el giro referido de los perfiles, se decidió bloquear la rotación de los perfiles en sus extremos y en los tercios de su longitud entre apoyos, obteniendo de este modo el siguiente resultado que se muestra en la Figura 15.

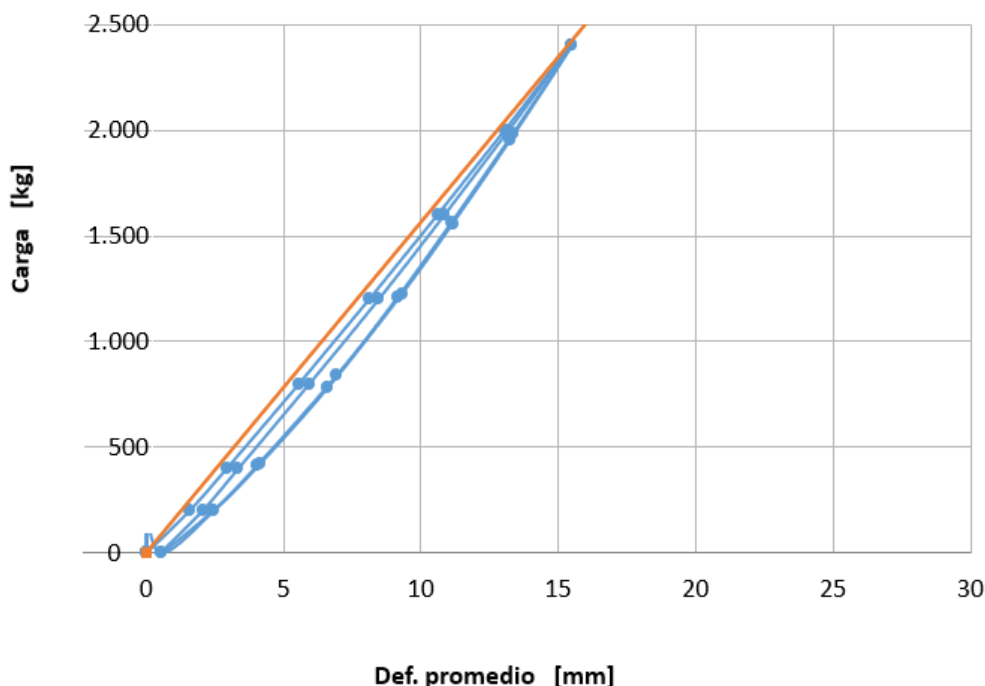


Figura 15. Curva carga-desplazamiento en ensayo de panel (c) con restricción a giro en apoyos y en los tercios de luz.

Los resultados evidenciados en la Figura 15 muestran que perfiles C100x2 con una sola placa OSB tampoco aportan una mejora en la rigidez flexional del conjunto. A la luz de ello, se decidió materializar un panel con doble placa de OSB (11+11mm) y tornillos cada 10 cm además de los arriostramientos a giro tanto en los extremos como en los tercios de la luz entre apoyos a fin de verificar si la rigidez del conjunto se veía incrementada por ese nuevo espesor de placa atornillada.

Las curvas de resultado de la Figura 16 permitieron observar una mejora sustancial de la rigidez flexional del panel (d) modificando el espesor de la placa de OSB (o colocando una doble placa como en este caso) incluso por sobre la rigidez de los perfiles metálicos actuando solos. Este resultado permite observar la relación que existe entre la inercia de los perfiles y el espesor de las placas de OSB para que su colaboración conjunta pueda contribuir a una mejora en la rigidez placa-perfil.

La carga correspondiente al momento límite elástico M_y de los cuatro perfiles del tablero trabajando solos habría sido de 2880 kgf (28.8KN) y sin embargo se logró alcanzar hasta una carga de 4200 kgf (42kN) demostrando la colaboración en el aumento de resistencia el panel OSB de 22 mm con tornillos cada 10 cm.

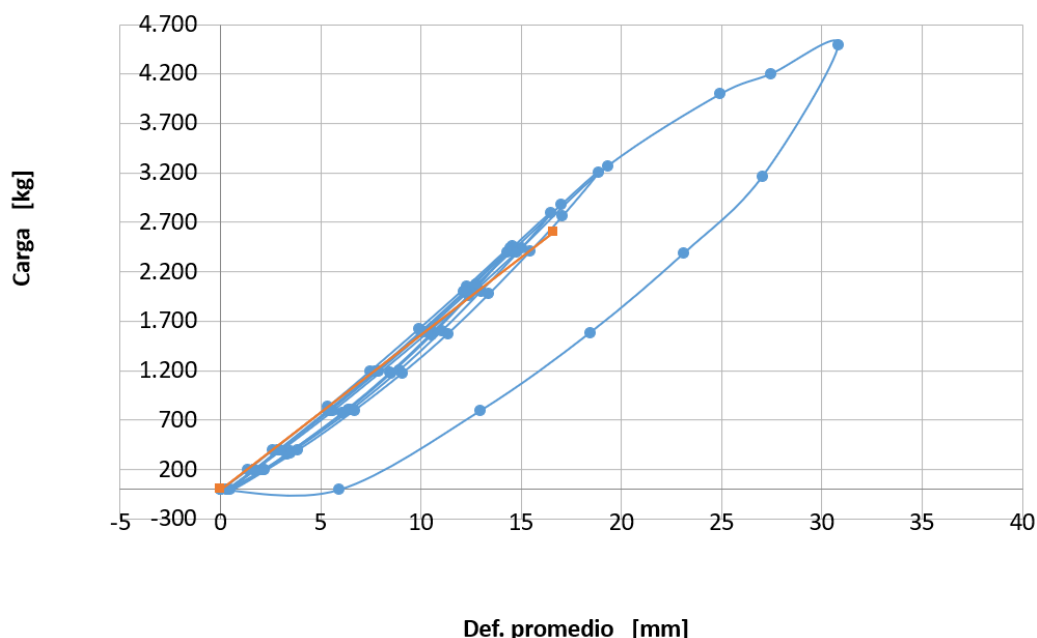


Figura 16. Curva carga-desplazamiento en ensayo de panel (d) con restricción a giro en apoyos y en los tercios de luz y doble placa OSB.

Finalmente, en la Figura 17, se muestran los resultados recogidos de la experiencia del panel (e) pero ahora para un panel fabricado con perfiles conformados en frío C120x50x15x2 de 4.00m de largo y con doble panel OSB y tornillos de fijación cada 10 cm. Además, sobre este prototipo, se han realizado las mismas restricciones de los giros en los extremos y en los tercios de la luz entre apoyos que para los paneles (d). Estos resultados muestran un notable efecto favorable de rigidización a flexión del conjunto por efecto del comportamiento compuesto.

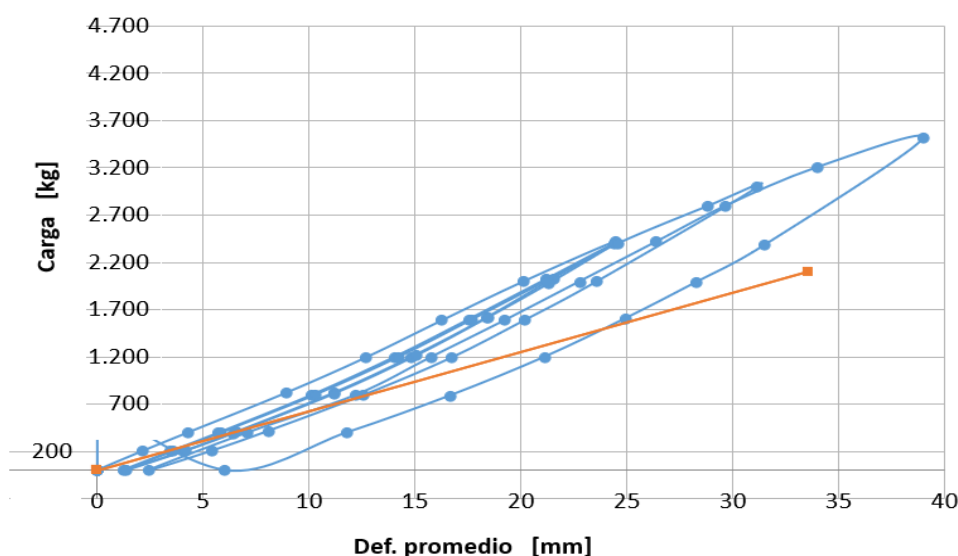


Figura 17. Curva carga-desplazamiento en ensayo de panel (e) con restricción a giro en apoyos y en los tercios de luz y doble placa OSB.

La carga correspondiente al momento límite elástico M_y de los cuatro perfiles del

tablero trabajando solos habría sido de 2330 kgf (23.3kN) y sin embargo se logró alcanzar hasta una carga de 3600 kgf(36kN) demostrando la colaboración en el aumento de resistencia el panel OSB de 22 mm con tornillos cada 10 cm.

C. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La hipótesis principal que orientó este proyecto de investigación fue identificar la mejora en la rigidización flexional que originaría la confección de un panel compuesto por perfiles metálicos y placas de OSB atornilladas en su cara comprimida comparado la rigidez teórica de los perfiles actuando solos.

Los primeros ensayos fueron realizados sobre paneles con perfiles PGVS 89x0.9. La fabricación de estos fue realizada con la técnica habitual de las empresas constructoras y de “steel framing” del medio, a fin de replicar el uso habitual de estas estructuras. Los primeros resultados mostraron que el efecto en la rigidización flexional de los paneles compuestos no se manifiesta hasta que no se alcanza un nivel de carga en el orden del 70% del momento de fluencia de los perfiles que lo componen. La interpretación de estos resultados permitió concluir que la unión con tornillos no es suficientemente rígida inicialmente y que el conjunto experimenta un aumento de la rigidez flexional en la medida que los tornillos entran en carga apretándose contra el panel OSB circundante debido a la acción del corte rasante. De todos modos, se produce una mejora sustancial en el comportamiento flexional inicial si se colocan tornillos cada 10 cm en vez de cada 20 cm vinculando el panel OSB con el lomo de los perfiles.

En cuanto a los ensayos con perfilera tipo C100x40x2mm sin rigidizadores de apoyo y de tramo, simple placa de OSB y tornillos cada 20 cm, los resultados obtenidos afectados por el giro no impedido de los perfiles fueron muy deficientes y por lo tanto no significativos para el objeto del ensayo.

Respecto a los ensayos con perfilera tipo C100x40x2mm y C120x50x2mm, empleando rigidizadores de apoyo y de tramo, doble placa de OSB sobre el perfil (sumando 22 mm de panel OSB) y colocando tornillos cada 10 cm de separación los resultados mostraron una mejora sustancial en la rigidez flexional inicial y a través de los ciclos de carga del conjunto.

D. CONCLUSIONES

Una primera conclusión en función de los resultados hallados permite afirmar que la incidencia en el aumento de la rigidez flexional del tablero respecto a los perfiles actuando solos se daría en la medida que los tornillos como elementos de unión fueran suficientemente numerosos tal como fue comprobado comparando los resultados de los paneles (a) con tornillos cada 20 cm de separación frente a los paneles (b, c, d y e) con tornillos cada 10 cm de separación.

La rigidez flexional se incrementa notablemente al aumentar el espesor de la placa OSB vinculada a los perfiles.

Los resultados alcanzados en estos ensayos permiten destacar la importancia de incluir en los manuales de construcción tipo Steel Framing, en lo referido a entepiso mixto, la especificación explícita de generar restricción al giro de secciones abiertas tipo C en este tipo de paneles ya que la no materialización de esta se traduce en un comportamiento flexional con rigidez inferior a la calculada teóricamente como sección compuesta. Esto puede lograrse mediante el uso de placa OSB en la parte superior e inferior del conjunto o mediante perfiles transversales de arriostramiento.

La cantidad de ensayos originalmente previstos para este proyecto aumentaron debido a que los resultados iniciales obtenidos se alejaban de las hipótesis teóricas del comportamiento de conjunto placa-perfil, y, por lo tanto, fue necesario buscar las explicaciones a semejantes fenómenos a través de un mayor número de ensayos, a fin de poder llegar a conclusiones coherentes con la realidad y que puedan generar aportes a esta técnica de la construcción.

Finalmente, cabe destacar, que los resultados obtenidos han sido reveladores de un comportamiento del conjunto distinto a lo que estaba previsto en la hipótesis y en la configuración inicial de los paneles, lo cual nos conduce a obtener criterios de diseño que serán de suma utilidad para aplicar en el proyecto de estructuras que usan paneles compuestos de perfiles metálicos con paneles OSB en compresión vinculados por tornillos.

E. AGRADECIMIENTOS

Este proyecto de investigación pudo realizarse gracias el importante aporte de materiales y mano de obra de las siguientes entidades y personas:

- STEEL PLEX S.A.: que proveyó gratuitamente paneles armados para los ensayos.
- LABORATORIO DE ESTRUCTURAS: el Laboratorio de Estructuras dependiente del Departamento de Estructuras de la FCEyN proporcionó el espacio necesario para el ensayo, la ayuda en mano de obra (estudiantes Rodrigo Osmerini, Alvaro Liquin, Ezequiel Catalán) para la realización de estos, colocación de dispositivos de medición tipo comparadores, uso del puente grúa, etc.