

Ejemplo práctico: Casa familiar de Constantin, Ploiesti, Rumanía

Este ejemplo práctico describe una casa piloto, de estructura de acero, fabricada en Ploiesti, Rumanía, zona de alta actividad sísmica. La estructura está compuesta por perfiles de acero, conformados en frío. Se aplicaron metodologías de diseño sísmico, en los paneles de los cerramientos, hechos con chapas nervadas de acero o paneles OSB (por sus siglas en inglés "Oriented strand board", paneles de fibra orientada), que pueden resistir una carga de sismo.



Casa familiar de Constantin

Índice

1.	El logro	2
2.	La visión del cliente	2
3.	La visión del arquitecto	2
4.	La visión del ingeniero	4
5.	Generalidades y la visión del contratista de acero	9
6.	Equipo del proyecto	10

1. El logro

En los últimos años, las casas con estructura de acero, se han utilizado en la construcción de viviendas, en muchos países europeos, incluyendo Rumanía. Si se comparan con las soluciones tradicionales, las propiedades de los perfiles conformados en frío, pueden explotarse para aprovechar las ventajas técnicas y económicas de la ligereza de las estructuras, facilidad de prefabricación, velocidad del montaje y mayor calidad.

Tradicionalmente, se consideraba que las estructuras de acero conformadas en frío eran ineficaces para los edificios situados en zonas sísmicas. Por lo tanto, en la mayoría de los reglamentos de diseño sísmico, estos tipos de estructuras no se admiten. Este caso ofrece pruebas de lo contrario – los edificios residenciales con estructura de perfiles conformados en frío son muy eficaces en zonas sísmicas.

2. La visión del cliente

Emanuel Constantin, Propietario

Cuando empecé a planificar mi propia casa familiar, sólo conocía las dimensiones del edificio, en base a los límites de propiedad y mis preferencias personales. En esta situación, aspectos tales como una construcción rápida y sencilla, buena relación calidad-precio, solución de construcción en seco, aislamiento térmico y acústico adecuado y resistencia a terremotos eran los criterios principales.

Mi especialidad no está relacionada con el área de la construcción. Sin embargo, gracias a mi participación en el negocio de la industria de la construcción, pude encontrar la solución adecuada: una casa con una estructura de acero conformada en frío.

Tras las primeras conversaciones con el arquitecto, cada vez me atraía más la solución de una casa de acero. En comparación con una estructura clásica de ladrillo, tuve el convencimiento de que los criterios principales iniciales podrían verse resueltos con la solución de acero conformado en frío.

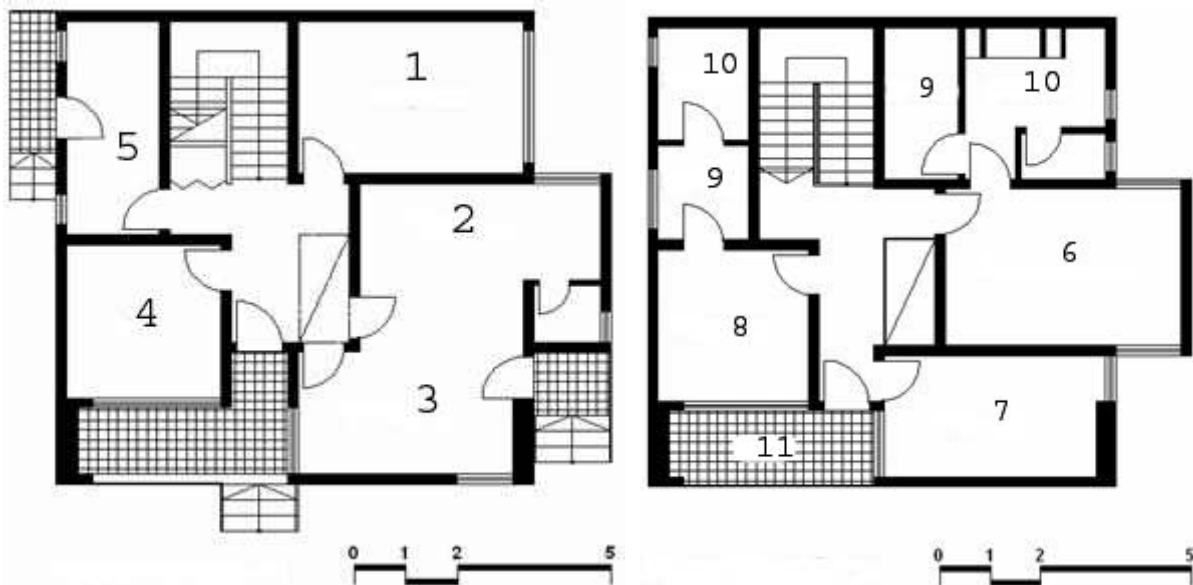
Al final tomé la decisión de construir una casa de acero. Su construcción, me llevó 3 meses. Desde agosto de 2005, he vivido con mi familia en una casa de acero, que, desde el exterior, tiene el aspecto de una casa tradicional. Puedo confirmar que todas las características mencionadas anteriormente, incluido un buen comportamiento en caso de sismo, han sido comprobadas mediante pruebas de laboratorio.

3. La visión del arquitecto

Mihai Mutiu, Arquitecto del proyecto, S.C. Network Management Ltd., Timisoara, Rumanía

Las dos características principales de este edificio de dos plantas son el uso de una estructura de perfiles conformados en frío, para una casa particular, que constituye un nuevo método en Rumanía, y una solución arquitectónica restringida por una ubicación limitada.

Desde el punto de vista arquitectónico, el principal desafío del proyecto fue ubicar esta casa en una parcela de forma irregular de sólo 168 m². El edificio resultante en forma de cubo tenía finalmente 84 m² de área edificada en cada una de las dos plantas (véase la Figura 3.1), hasta el máximo permitido por la reglamentación urbanística. Dada la proximidad de los edificios en las propiedades adyacentes, la siguiente dificultad fue buscar el equilibrio entre el nivel adecuado de vistas, luz natural y privacidad. Se colocaron dos tragaluces por encima del hueco de la escalera y el pasillo para ofrecer un zona iluminada y privilegiar el centro. La Figura 3.2. muestra una vista interior



Planta inferior

Planta superior

- | | | |
|-------------|-------------------------|-------------|
| 1. Comedor; | 5. Lavadero | 9. Vestidor |
| 2. Cocina | 6. Dormitorio principal | 10. Baño |
| 3. Salón | 7. Librería | 11. Terraza |
| 4. Estudio | 8. Dormitorio | |

Figura 3.1 *Planta inferior y superior de la casa de Constantin*

La decisión de utilizar una estructura de perfiles de acero conformados en frío surgió cuando el constructor quiso aprovechar esta oportunidad, para buscar soluciones de ingeniería más eficientes y verificar los costes de construcción.

A pesar de que el cliente aceptó una nueva solución estructural, el conjunto de nuevas prioridades funcionales, produjo varias distribuciones fragmentadas, principalmente en la planta inferior.

Es este caso, hay que decir que no se utilizó al máximo un sistema estructural que pudo haber creado una solución arquitectónica más ligera. Sin embargo, se consiguió una construcción de buena calidad, con alto nivel de aislamiento térmico y acústico y bajos costes de construcción.

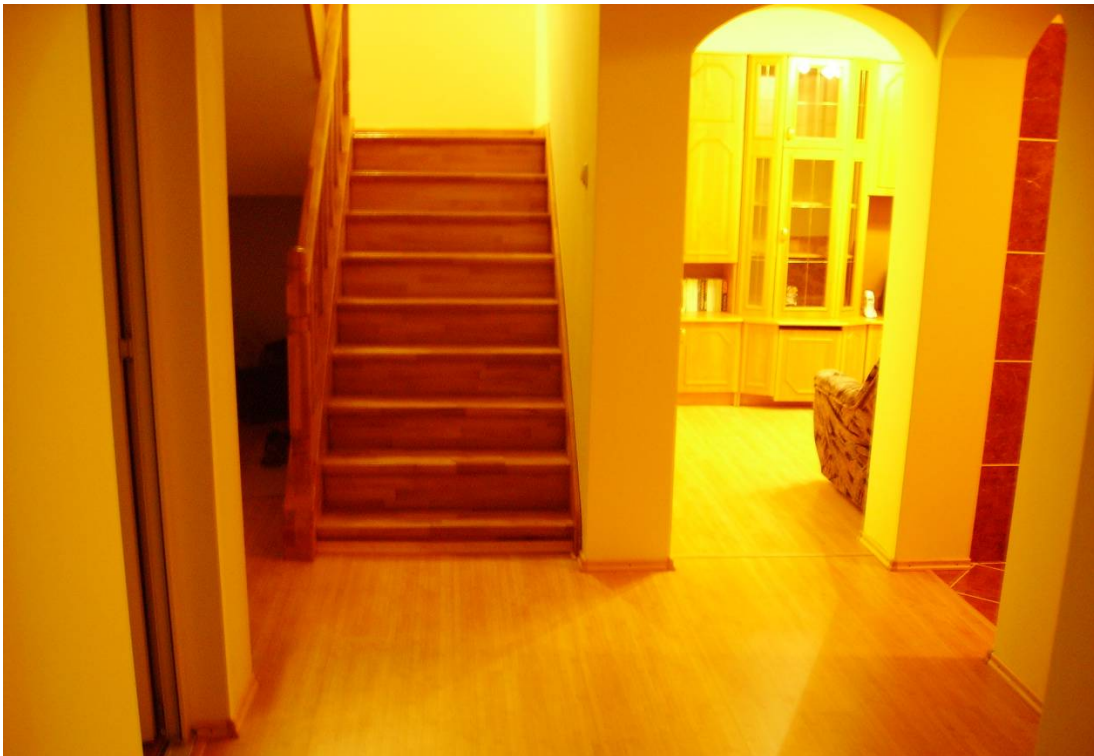


Figura 3.2 Vista interior - escalera

4. La visión del ingeniero

Ludovic Fülöp, PhD, Ingeniero de proyecto, BRITT Ltd., Timisoara, Rumanía

Prof. Dan Dubina, Dr., FIStructE, Ingeniero de pruebas, “Politehnica” Universidad de Timisoara, Rumanía

4.1 Diseño de la estructura

La estructura de la Figura 4.1 es una casa unifamiliar de dos plantas. Debido a que el edificio está en el límite de la propiedad, fue imposible incluir aberturas de ventanas en el eje 1 y D (véase la Figura 4.1). Esta, fue también una de las razones por las que el tejado se fabricó con una sola pendiente. Las dimensiones del edificio son 9 m (ejes A–D) por 10,5 m de anchura (ejes 1–4). Cada planta tiene una altura de 2,75 m y la pendiente del tejado es de 30°.

La estructura de acero está compuesto por perfiles en C, conformados en frío (C150/1,5) a intervalos de 600 mm, con un espesor de 1,5 mm y fijados con tornillos autoroscantes. El canto de los perfiles es de 150 mm, que está determinada por el espesor de los cerramientos. Los cerramientos portantes de la losa son perfiles C200/1,5 colocados a intervalos de 600 mm, dimensionados más para controlar las vibraciones del forjado, que por los requisitos de resistencia. Las correas del tejado son perfiles Z150/1,5 a intervalos de 1 200 mm.

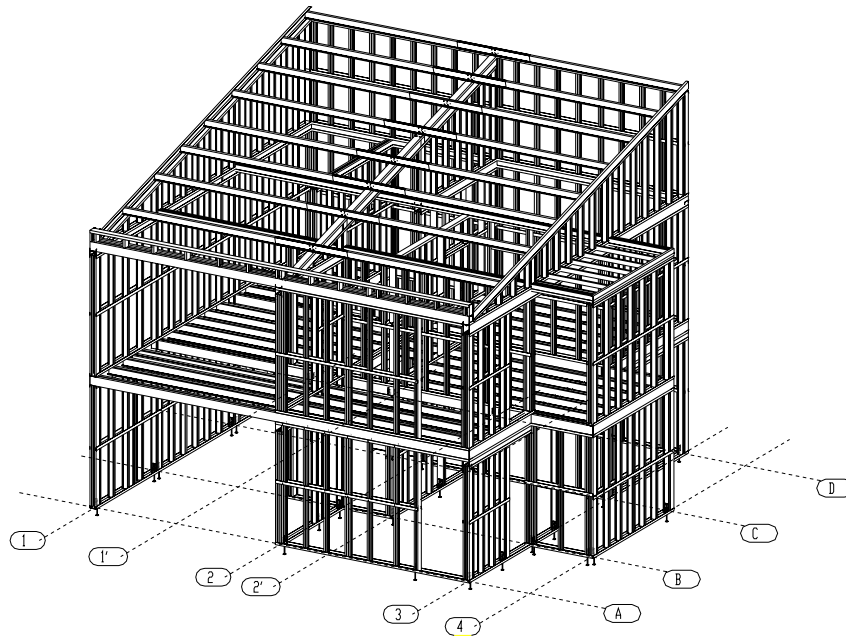


Figura 4.1 Estructura de acero

Los cerramientos se reforzaron con chapas OSB colocadas a ambos lados de los cerramientos estructurales (Figura 4.2). Los diafragmas del forjado se diseñaron originalmente según el mismo principio de recubrimiento con chapas OSB. Esta solución se cambió a un revestimiento de chapa nervada de acero a nivel de la losa y en el tejado. No se utilizó recubrimiento de hormigón en la losa.

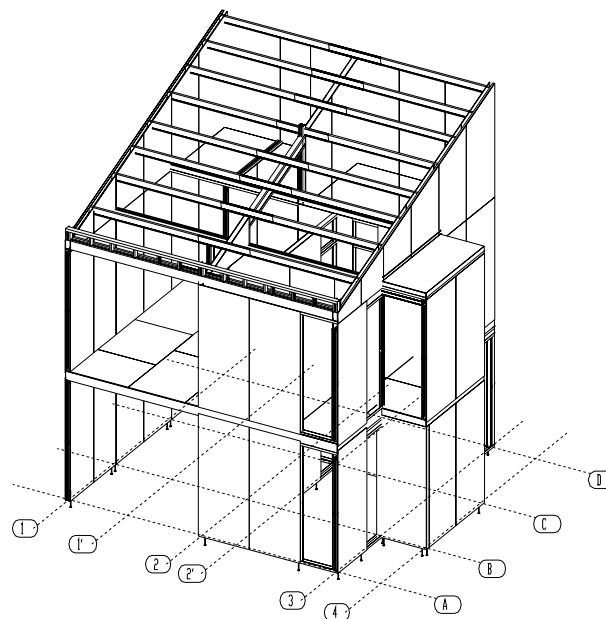


Figura 4.2 Representación del revestimiento OSB estructural

La Figura 4.3 muestra la estructura en dos fases diferentes:(a) la estructura de acero terminado, (b) la estructura de acero con todos los paneles OSB portantes montados.

El peso propio de la estructura se calculó en: 0,45 kN/m² en el tejado, 0,70 kN/m² para la losa, 0,60 kN/m² para los cerramientos exteriores y 0,20 kN/m² para los cerramientos internos. Las otras condiciones de carga se determinaron según la normativa rumana. Se adoptó un valor de la sobrecarga de uso de la losa de 1,50 kN/m², una carga de nieve del tejado de 1,20 kN/m² y una carga de viento en la superficie expuesta a una presión máxima de 0,40 kN/m².

El diseño sísmico del edificio se realizó para una aceleración máxima del terreno (PGA) de 0,25g sin reducción $q = 1$. Esta condición debía cumplirse para satisfacer la normativa local, que no permite la reducción de fuerzas sísmicas en caso de estructuras de acero conformado en frío. Las normas son independientes del tipología estructural.

Uno de los problemas durante el diseño de esta estructura, fue la evaluación de la capacidad portante y de la rigidez del sistema de revestimiento de los cerramientos y losas. Si las losas se pueden recubrir con materiales comunes (ej.: a causa de un bajo nivel de esfuerzos), la evaluación correcta de los cerramientos es fundamental. En este caso, la extrapolación de los resultados experimentales actuales fue la base de la evaluación de la capacidad a cortante y la rigidez por metro de longitud de pared.

Para el análisis 3D, la rigidez producida por el revestimiento se ha sustituido por un arriostramiento en cruz equivalente. La estructura está sometida a torsión durante un terremoto, ya que los cerramientos en los ejes 1 y D están totalmente revestidos, mientras que en los de los ejes 3, 4 y A se ubican todas las aberturas. En estas condiciones, el panel del muro más crítico es el del eje A situado en la planta baja.

El peso propio de la estructura de acero (sin incluir el revestimiento) es de 4.600 Kg. Las masas del revestimiento y los elementos de acabado son de $M_1 = 700$ kg, $M_2 = 4.650$ kg y $M_3 = 25.200$ kg. En la situación de diseño, la masa de la estructura es $M_{design} = 32\ 700$ kg. Si sólo se tiene en cuenta la contribución de estas cargas en la masa de la estructura, los períodos naturales y las formas del modo pueden predecirse utilizando un análisis por MEF (véase la Tabla 4.1). Tenga en cuenta que el caso 3 (la estructura con acabado) sólo se ha analizado desde el punto de vista de la masa suplementaria aportada por el acabado. No se ha cuantificado ni incluido la contribución de los elementos secundarios y de acabado.

Tabla 4.1 *Propiedades dinámicas obtenidas mediante MEF*

Fase	T_1 (s)	Forma	T_2 (s)	Forma	T_3 (s)	Forma
1	0,44	Transversal	0,39	Torsional	0,35	Longitudinal
(2)	0,19	Longitudinal	0,18	Transversal	0,13	Torsional
3*	0,33	Longitudinal	0,31	Transversal	0,23	Torsional

* Nota: sólo se han cambiado las masas del caso 2. La rigidez no se ve afectada.

Las formas del modo descritas en la Tabla 4.1 contienen cierto nivel de torsión, ya que el centro de gravedad está ubicado hacia los cerramientos revestidos. Las formas de la segunda fase se muestran en la Figura 4.4.



(a) la estructura de acero terminado



(b) la estructura de acero con todos los paneles OSB portantes montados.

Figura 4.3 *La estructura durante la construcción*

4.2 Medidas in situ

Debido al uso de esta tecnología, éste se ha convertido en un proyecto *piloto* en Rumanía. Ya que la ubicación de la construcción es en una zona sísmica de alto riesgo, el procedimiento de diseño y el comportamiento sísmico de la estructura se verificaron mediante pruebas *in situ*. Con este propósito, se han estudiado las propiedades dinámicas, de las vibraciones de pequeña amplitud del edificio, mediante mediciones directas, en tres fases distintas de la construcción: (1) la estructura de acero terminado, (2) la estructura de acero con todos los paneles OSB portantes montados y (3) el edificio terminado con todos los acabados antes de su entrega al propietario.

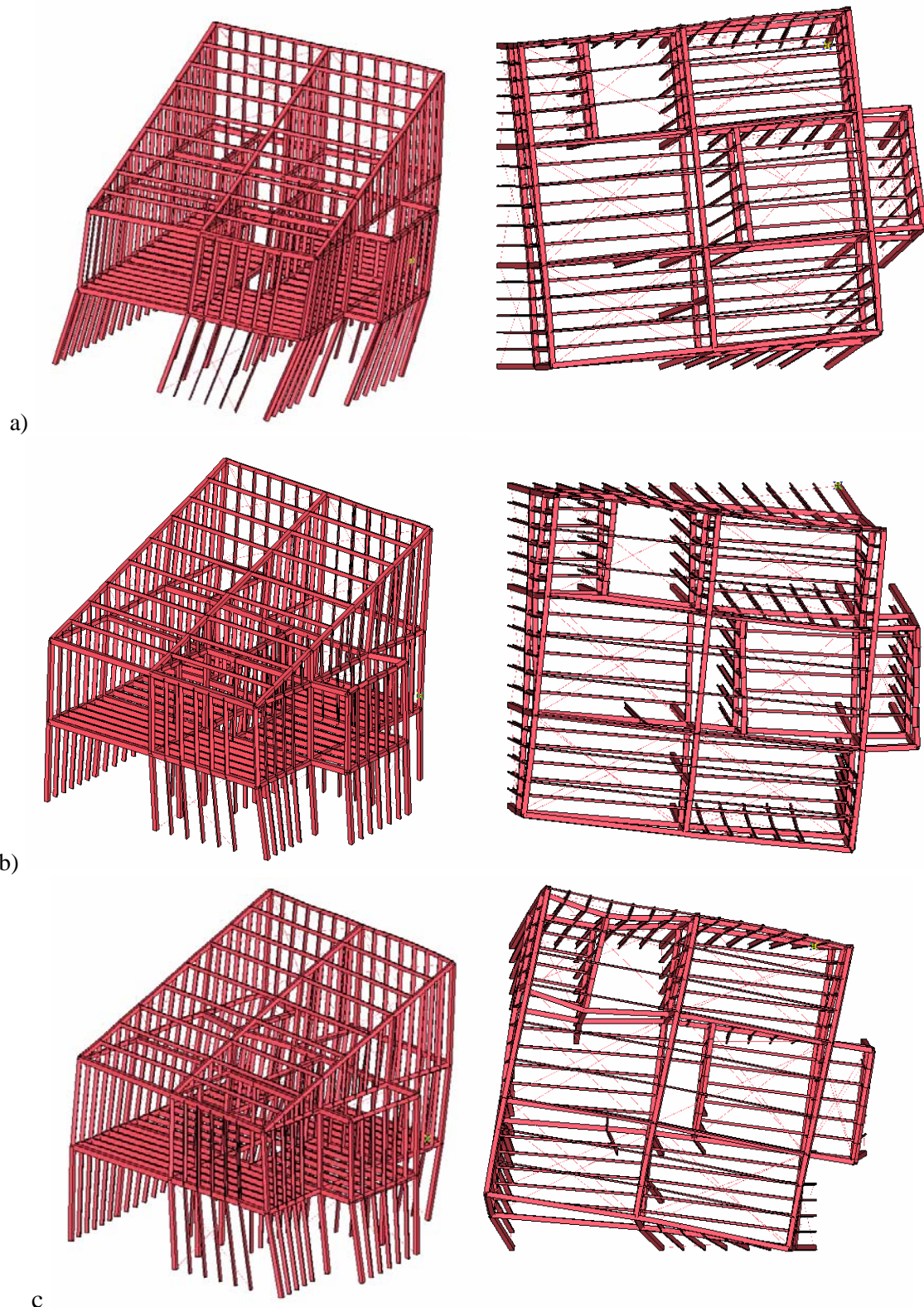


Figura 4.4 Formas de los 3 primeros modos en la segunda fase (modelado FE): (a) primer modo (b) segundo modo, (c) tercer modo

Según las mediciones, se han determinado el período de vibración T_i , la relación de amortiguamiento, ζ_i y la forma del modo de la estructura. Los resultados se muestran en la Tabla 4.2

Tabla 4.2 *Propiedades dinámicas medidas*

Fase	Modo 1			Modo 2			Modo 3		
	T_1 (s)	ξ_1 (%)	Forma	T_2 (s)	ξ_2 (%)	Forma	T_3 (s)	ξ_3 (%)	Forma
1	0,546	1,18	Longitudinal	0,437	1,05	Transversal	0,456	1,30	Torsional
2	0,103	3,43	Transversal	0,096	3,72	Longitudinal	-	-	-
(3)	0,101	4,11	Transversal	0,096	3,80	Longitudinal	0,072	4,12	Torsional

Los resultados de las pruebas son mejores que los obtenidos mediante cálculos, lo que significa que el procedimiento de diseño es suficientemente seguro. Hay que destacar que el montaje de los paneles OSB, no sólo aumentó considerablemente la rigidez de la estructura, sino que también cambió la dirección de la respuesta más débil. En la primera fase de la construcción, la forma del primer modo era longitudinal (véase la Tabla 4.2), con el período $T_{1,S11} = 0,54s$, mientras que en la segunda fase era $T_{1,S12} = 0,10s$. Es interesante observar que, en esta fase de la construcción, la relación de amortiguamiento también ha aumentado considerablemente. En la fase de acabado, no se observan cambios importantes en las propiedades de vibración. Esto significa que, la masa suplementaria introducida con el acabado se equilibra por el aumento de rigidez producido por estos mismos elementos. Cuando se incluye una sobrecarga de uso (ej.: muebles, etc.), el período de vibración aumenta ligeramente. Es muy probable que se obtenga $T_1 = 0,15 - 0,2s$ durante el uso. Otra conclusión, es que la relación de amortiguamiento $\zeta = 0,05$, es una estimación razonable (incluso siendo poco conservadores) para casas de perfiles conformados en frío.

4.3 Conclusión

Una casa con estructura de perfiles conformados en frío tiene las ventajas de una excelente relación calidad-precio, buen rendimiento estructural y características físicas adecuadas. Además, es una solución idónea para zonas sísmicas

5. Generalidades y la visión del contratista de acero

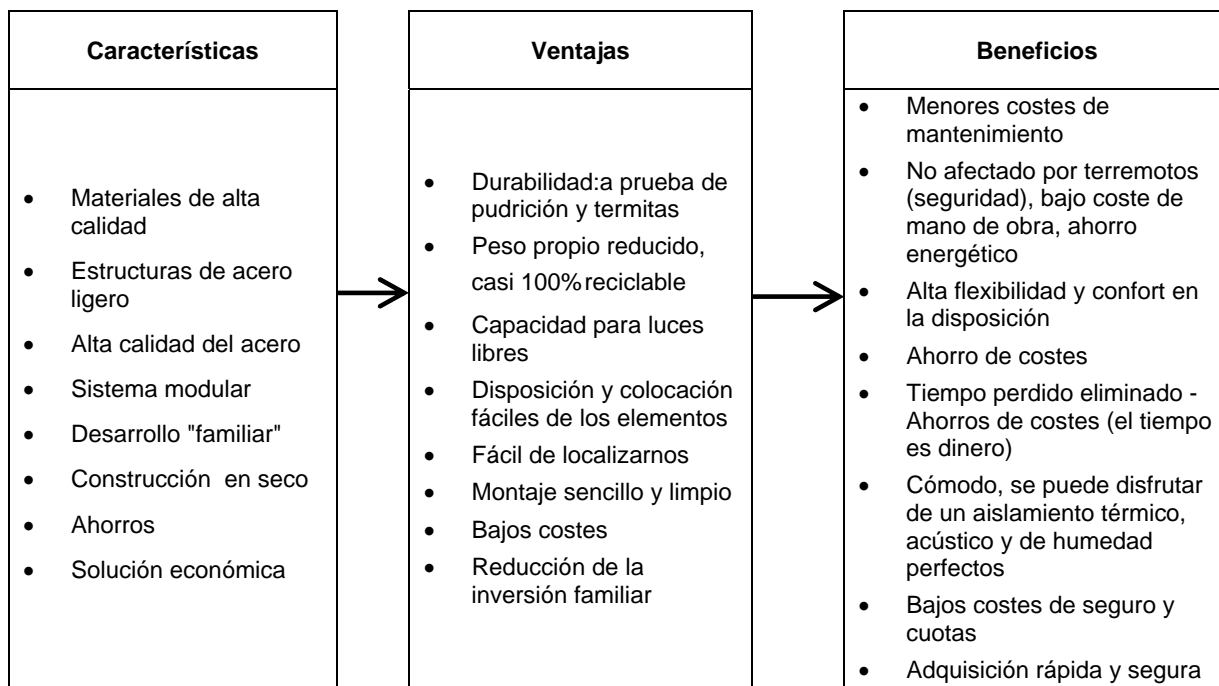
Zsolt Nagy, Director técnico, Lindab Ltd., Bucarest, Rumanía

Casas de acero ligero: una construcción cada vez más importante en el mercado rumano

Las conclusiones de la información obtenida del mercado rumano es que las personas son principalmente conservadoras: prefieren tener casas tradicionales de ladrillo. Cuando obtuvimos el contrato con el Sr. Emanuel Constantine, para el suministro de una casa de acero, sabíamos que el proceso de cambio había empezado.

Este proyecto de casa familiar, incluye nuestra larga y buena experiencia con el arquitecto y el proyectista de la estructura de acero.

Generalmente, hay muchas dudas y preguntas frecuentes que, deben aclararse: aspectos como, las ventajas principales no son considerados por los clientes. Si ponemos todo en un cuadro de Características /Ventajas /Beneficios, obtenemos lo siguiente:



Un factor crítico del proyecto ha sido las condiciones del emplazamiento. Debido a lo muy reducida área del terreno (sólo 145 m²), decidimos proponer un sistema en seco con tecnología "elemento a elemento". El montaje de todos los elementos se hizo a mano, con herramientas y técnicas de fijación muy sencillas. Era obvio que no podíamos utilizar un sistema modular, pero incluso en estas condiciones, aplicamos todas las soluciones estructurales estándar.

Finalmente, nuestro cliente se benefició de una solución completa y bien desarrollada: ahorro de costes, adquisición segura, mantenimiento reducido y montaje rápido.

6. Equipo del proyecto

Cliente:	Emanuel Constantin, Ploiesti, Rumanía
Contratista general y de estructuras de acero:	Lindab Ltd., Bucharest, Rumanía
Arquitecto:	Network Management Ltd., Timisoara, Rumanía
Ingeniero estructural:	Britt Ltd., Timisoara, Rumanía

Registro de Calidad

TÍTULO DEL RECURSO	Ejemplo práctico: Casa familiar de Constantin, Ploiesti, Rumanía		
Referencias(s)			
DOCUMENTO ORIGINAL			
	Nombre	Compañía	Fecha
Creado por	Viorel UNGUREANU	BRITT Ltd. Timisoara, Romania	
Contenido técnico revisado por	Dan DUBINA	BRITT Ltd. Timisoara, Romania	
Contenido editorial revisado por			
Contenido técnico respaldado por los siguientes socios de STEEL:			
1. Reino Unido	G W Owens	SCI	10/03/06
2. Francia	A Bureau	CTICM	10/03/06
3. Suecia	A Olsson	SBI	10/03/06
4. Alemania	C Müller	RWTH	10/03/06
5. España	J Chica	Labein	10/03/06
Recurso aprobado por el Coordinador técnico	G W Owens	SCI	10/06/06
DOCUMENTO TRADUCIDO			
Traducción realizada y revisada por:		eTeams International Ltd.	27/04/06
Recurso de traducción aprobado por:	F Rey	Labein	24/05/06