

# Floating Architecture: Study of alternatives of pontoon

Perdomo Florencia Anahí, Ingeniera Civil  Rivas Pressel Mariana Belén, Ingeniera Civil  Tonutti Bettoni Franco Maximiliano, Ingeniero Civil 

*Universidad Tecnológica Nacional, Argentina, ingflorenciapperdomo@gmail.com, francotonutti.ft@gmail.com*  
*Universidad Tecnológica Nacional, Argentina, ingmarianarivasp@outlook.com*

***Abstract– The article presents the evaluation of three alternatives for the design of a pontoon, which will be used as a base for a floating house. These pontoon alternatives feature different construction materials and flotation methods. For their evolution, the calculation of the buoyancy of each one of them is carried out, in addition to comparing the advantages and disadvantages of each design.***

***Keywords-- Floating Architecture, Pontoon, Design, Sustainability.***

ISSN:  
ISBN:

# Arquitectura Flotante: Estudio de alternativas del pontón

Perdomo Florencia Anahí, Ingeniera Civil  Rivas Pressel Mariana Belén, Ingeniera Civil  Tonutti Bettoni Franco Maximiliano, Ingeniero Civil 

Universidad Tecnológica Nacional, Argentina, [ingflorenciaperdomo@gmail.com](mailto:ingflorenciaperdomo@gmail.com), [francotonutti.ft@gmail.com](mailto:francotonutti.ft@gmail.com)  
Universidad Tecnológica Nacional, Argentina, [ingmarianarivasp@outlook.com](mailto:ingmarianarivasp@outlook.com)

**Resumen**—El artículo presenta la evaluación de tres alternativas para el diseño de un pontón, el cual se utilizará como base para una vivienda flotante. Estas alternativas de pontón presentan diferentes materiales para su construcción y métodos de flotación. Para su evolución, se realiza el cálculo de la flotabilidad de cada una de ellas, además de comparan las ventajas y desventajas de cada diseño.

**Palabras Claves**-- Arquitectura Flotante, Pontón, Diseño, Sostenibilidad.

## I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación se basa en los resultados obtenidos durante la elaboración de la tesis de grado titulada *Vivienda flotante en la margen del río Gualaguaychú. Desarrollo desde un punto de vista integrado* [1]. El objetivo principal de esta investigación fue analizar la factibilidad de distintas alternativas para el diseño de un pontón que permita la flotación y resguardo de una vivienda ubicada en áreas inundables.

Para la selección de las alternativas de diseño analizadas se estudió lo desarrollado en la Referencia [2]. En el mismo se plantean alternativas de pontones involucrando diferentes materiales para su construcción, métodos de fijación y flotación, apoyos y nivelación, entre otros aspectos. Además, se consideró lo planteado en la Referencia [3], en la cual se realiza un análisis en profundidad de las solicitaciones a la que va a estar sometida la estructura del pontón.

## II. DEFINICIÓN DE PONTÓN

En primer lugar, se define como pontón a una embarcación de escasa altura utilizada como plataforma flotante para el soporte de diversas estructuras.

En este artículo, las alternativas de diseño de pontón evaluadas tienen como objetivo ser base de apoyo para una vivienda con estructura liviana tipo Steel Framing, ubicada en áreas inundables.

## III. ALTERNATIVAS

Para definir el pontón a utilizar se diseñaron tres alternativas, de las cuales se plantearon ventajas y desventajas para así elegir el que mejor se adapte a las condiciones de inundación del área donde tiene como fin ser ubicado.

Además, se realizó el cálculo de la flotabilidad para las mismas mediante el principio de Arquímedes. Para este cálculo se consideró que el francobordo debe ser igual a 50 o 60 cm según lo recomendado en la referencia [3]. Se denomina francobordo a la distancia vertical entre el nivel de piso terminado del pontón y la línea de flotación, para la carga máxima considerada que soporta el mismo.

### A. Alternativa 1: Estructura y flotación en Hormigón Armado

Esta alternativa se basó en una estructura compuesta por una losa de Hormigón Armado apoyada sobre un emparrillado de vigas. Para la flotación de la estructura, los huecos generados por el emparrillado de vigas son rellenos con ladrillos de Poliestireno Expandido. Como se observa en la Figura 1.

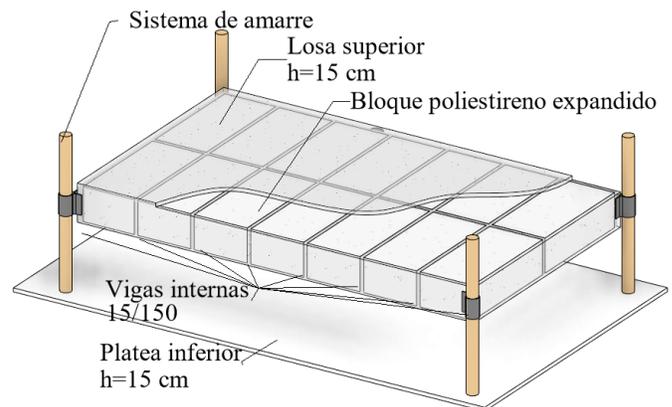


Fig. 1: Alternativa 1.

Se comenzó planteando dimensiones para la estructura de Hormigón Armado la cual está compuesta por una losa de 17.26 m de largo, 10.06 m de ancho y 0.15 m de espesor, ubicada sobre un emparrillado de vigas de 1.5 m de alto y 0.15 m de espesor.

Luego se calculó el peso del pontón como el producto entre el peso específico del hormigón (24 kN/m<sup>3</sup>) y el volumen de la

ISSN:  
ISBN:

estructura mencionada (49.93 m<sup>3</sup>), el cual resultó igual a 1198.42 kN.

En segundo lugar, se calculó el peso de la vivienda estimando una carga de 1 kN/m<sup>2</sup> para pisos y contrapiso alivianado, aplicada en toda la superficie del pontón, y una carga para el peso propio de la vivienda Steel Frame de 2 kN/m<sup>2</sup>, aplicada en la superficie cubierta de la vivienda, resultando un peso propio total de 384.95 kN (Tabla I).

TABLA I  
PESO PROPIO DE LA VIVIENDA

Peso de la Vivienda		
Concepto	Valor	Unidad
Área del pontón	173.63	m <sup>2</sup>
Carga para pisos y contrapisos	1.00	kN/m <sup>2</sup>
Superficie cubierta	105.66	m <sup>2</sup>
Carga vivienda Steel Frame	2.00	kN/m <sup>2</sup>
Peso propio total	384.95	kN

Además, se consideró una sobrecarga de uso de 150 kN/m<sup>2</sup> en toda la superficie del pontón, resultando esta igual a 260.45 kN (Tabla II).

TABLA II  
SOBRECARGA DE USO DE LA VIVIENDA

Peso de la Vivienda		
Concepto	Valor	Unidad
Área del pontón	173.63	m <sup>2</sup>
Sobrecarga de uso	1.50	kN/m <sup>2</sup>
Sobrecarga de uso total	260.45	kN

Realizando la sumatoria del peso del pontón, el peso total de la vivienda y el peso de la sobrecarga, se obtuvo el peso total de cargas de 1843.82 kN. Aplicando el principio de Arquímedes según la ecuación (1) se obtuvo el volumen del líquido desplazo:

$$V = \frac{P}{\gamma} \quad (1)$$

Donde  $V$  es el volumen del líquido desplazado,  $P$  es el peso total y  $\gamma$  el peso específico del agua.

$$V = \frac{1843.82 \text{ kN}}{10 \text{ kN/m}^3} = 184.38 \text{ m}^3$$

Luego, se calculó el hundimiento con la ecuación (2):

$$h = \frac{V}{A} \quad (2)$$

Donde  $h$  se corresponde al hundimiento del pontón, y  $A$  representa el área del mismo.

$$h = \frac{184.38 \text{ m}^3}{173.63 \text{ m}^2} = 1.06 \text{ m}$$

Por último, el francobordo obtenido mediante la diferencia entre la altura total del pontón de 1.61 m (considerado hasta el nivel de piso terminado del pontón) y el hundimiento de 1.06 m, fue de 0.55 m, valor que se encuentra dentro de los parámetros aceptables según la referencia [3].

### B. Alternativa 2: Estructura en acero y flotación en tambores de acero

Esta alternativa se basó en una estructura compuesta por una losa tipo Steel Deck junto a una estructura metálica de soporte. Para la flotación de la estructura se plantean tambores de acero colocados en forma vertical (Figura 2).

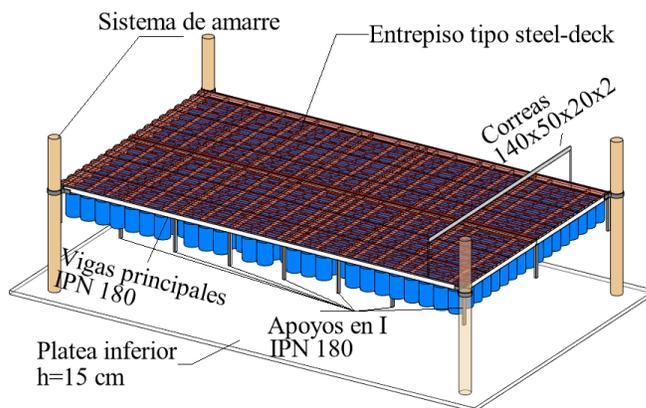


Fig. 2: Alternativa 2.

Se plantean las dimensiones de la estructura considerada compuesta por una losa de Hormigón Armado de 17.26 m de largo, 10.06 m de ancho y 0.175 m de espesor medidos desde el fondo una placa colaborante calibre 22. Los tambores a utilizar tienen un diámetro de 0.59 m, altura 0.89 m, volumen de 0.2 m<sup>3</sup> (200 L) y cada uno pesa 21.60 kg.

Luego se calculó el peso de la losa Steel Deck multiplicando el peso propio del paquete obtenido de las especificaciones técnicas del fabricante, 3.38 kN/m<sup>2</sup> por el área del pontón. Además, se estimó el peso de una estructura de soporte conformada por correas PGC 140x50x20x2 mm de 17 m de longitud cada 50 cm de separación, 3 vigas IPN 180 de 17 m de longitud y 10 vigas IPN 180 de 8 m de longitud. Los pesos obtenidos se resumen en la tabla III

TABLA III  
PESO PROPIO DE LOS COMPONENTES DE LA ALTERNATIVA 2

Concepto	Valor	Unidad
Peso losa Steel-Deck	586.87	kN
Peso correas PGC 140x50x20x2 mm	14.64	kN
Peso perfiles IPN 180	28.70	kN

El peso de la vivienda y de la sobrecarga, se estimaron de igual forma que para la Alternativa 1, siendo igual a 38.495,56 kg y 26.045,34 kg, respectivamente. Realizando la sumatoria del peso de la losa Steel Deck, el peso de la estructura metálica de soporte, el peso total de la vivienda y el peso de la sobrecarga de uso, se obtuvo el peso total de cargas de 1275.61 kN.

Considerando un espesor de 0.12 m de contrapiso, 0.17 m de Steel deck se adopta que los tambores deben sobresalir 0.26 m desde el pelo de agua para obtener un francobordo de 0.55 cm. Esta condición se logra si los tambores se encuentran sumergidos en un 70%.

Aplicando el principio de Arquímedes para un tambor, considerando que el mismo se hunde el 70 % de su altura, se obtiene que el peso del líquido desplazado por el mismo es de 1.4 kN. Esto se muestra en la ecuación 3, donde p es el peso del líquido desplazado por el tambor.

$$P = 0.7V\gamma \quad (3)$$

$$p = 0.7 \cdot 0.2 \text{ m}^3 \cdot 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 1.4 \text{ kN}$$

Luego, se calculó la cantidad de tambores necesarios para cumplir con la flotabilidad mediante un proceso iterativo utilizando la ecuación (4), donde  $P_{total}$  corresponde al peso total utilizado en la iteración y N la cantidad de tambores requeridos.

$$N = \frac{P_{total}}{p} \quad (4)$$

Para la primera iteración se considera el peso total de las cargas, 1275.61 kN. Para la iteración 2, el nuevo peso total se obtiene sumando el peso total de las cargas más el número N multiplicado por el peso del tambor. Esto último se realiza para el resto de las iteraciones hasta que la cantidad de tambores necesarios se mantiene estable, lo cual ocurre para una cantidad de 1110 tambores, como se observa en la tabla IV.

Tabla IV  
ITERACIONES REALIZADAS PARA OBTENER LA CANTIDAD DE TAMBORES.

Concepto	Valor	Unidad
Iteración 1		
Peso total	1275.61	kN
N	912	
Peso de los tambores	196.99	kN
Iteración 2		
Peso total	1510.83	kN
N	1080	
Peso de los tambores	233.28	kN
Iteración 3		
Peso total	1547.12	kN
N	1106	
Peso de los tambores	238.90	kN
Iteración 4		

Peso total	1552.74	kN
N	1110	
Peso de los tambores	239.76	kN
Iteración 5		
Peso total	1553.60	kN
N	1110	
Peso de los tambores	239.76	kN

Por último, se determinó la cantidad de tambores en posición vertical que pueden colocarse debajo de la losa Steel Deck. El área requerida para cada tambor, considerando un cuadrado de 0.59 m de lado es 0.34 m<sup>2</sup>, teniendo en cuenta su superficie la cual es de 173,64 m<sup>2</sup> la cantidad máxima de tambores que se pueden ubicar es 507, lo cual dista mucho de la cantidad requerida y por lo tanto no se considera viable la alternativa.

### C. Estructura en Hormigón Armado y flotación en ladrillo de Poliestireno Expandido

Esta alternativa se basó en una estructura compuesta por una losa de Hormigón Armado. Para la flotación de la estructura se fijaron a la misma, ladrillos de Poliestireno Expandido cubiertos por un material pastico estilo lona vinílica (Figura 3).

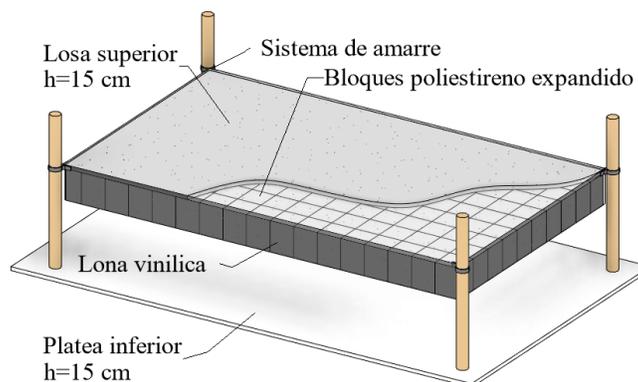


Fig. 3: Alternativa 3.

Se planteó una losa de 17.26 m de largo, 10.06 m de ancho y 0.15 m de espesor.

Luego se calculó el peso del pontón como el producto entre el peso específico del hormigón, 24 kN/m<sup>3</sup>, y el volumen de la estructura mencionada, 26.05 m<sup>3</sup>, el cual resultó igual a 625.08 kN (Tabla 11):

El peso de la vivienda y de la sobrecarga, se estimaron de igual forma que para la Alternativa 1, siendo igual a 38495.56 kg y 26045.34 kg, respectivamente. Realizando la sumatoria del peso del pontón, el peso total de la vivienda y el peso de la sobrecarga, se obtuvo el peso total de cargas de 1270.50 kg.

Aplicando el principio de Arquímedes según la ecuación (1) se obtuvo el volumen del líquido desplazado:

$$V = \frac{1270.50 \text{ kN}}{10 \text{ kN/m}^3} = 127.05 \text{ m}^3$$

Luego, se calculó el hundimiento considerando con (2):

$$h = \frac{127.05 \text{ m}^3}{173.63 \text{ m}^2} = 0.73 \text{ m}$$

Por último, el francobordo obtenido mediante la diferencia entre la altura total del pontón de 1.61 m (considerado hasta el nivel de piso terminado del pontón) y el hundimiento de 0.73 m, fue de 0.88 m, valor que se encuentra dentro de los parámetros aceptables.

#### IV. ELECCIÓN DEL PONTÓN

Para la elección del pontón se analizaron los resultados obtenidos para las tres alternativas planteadas anteriormente, resultado la más conveniente la alternativa 1 debido a que posee una mayor durabilidad con escaso mantenimiento por el tipo de material que se utilizan para su construcción, siendo el mismo Hormigón Armado. Además, no requiere mano de obra especializada para su construcción, comparada con las alternativas 2 y 3.

Otro punto importante a considerar fue el planteo de las instalaciones, las cuales se pueden resolver de forma eficaz en el diseño de la alternativa 1 al poder plantearlas bajo losa.

#### IV. CRITERIOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL

Para el cálculo de losas y vigas se consideraron las cargas gravitatorias correspondientes al peso propio de la estructura, a la vivienda y la sobrecarga, según el Reglamento CIRSOC 101 (2005)[4]. Además, se tuvieron en cuenta las cargas correspondientes a la influencia de las olas según la referencia [4].

Para obtener los esfuerzos de momento, corte y axil, utilizados en las verificaciones, se realizó un modelo de cálculo en el software RFEM 6 con licencia educativa. En este, tanto las losas como las vigas fueron modeladas con elementos de tipo superficie. Además, las vigas se consideraron como vigas placas por lo que se crearon vigas de integración de resultados para obtener los esfuerzos correspondientes a las superficies de las mismas dentro del ancho colaborante.

Se utilizaron apoyos elásticos con una constante elástica de 10 kN/m<sup>3</sup> en las superficies de losas para simular la flotación del pontón (Caso de cargas A), según lo descrito por [5]. La situación del oleaje planteada al principio del presente capítulo se generó en el modelo de cálculo mediante la modificación de la contaste elástica en los apoyos elásticos introducida en las combinaciones de cargas. Para el caso donde una cresta de ola es coincidente con el centro del pontón (Caso de cargas B), se utilizó una constante elástica de 5 kN/m<sup>3</sup> en los tercios extremos

de su longitud y en el resto de la longitud del pontón se utilizó una constante elástica de 10 kN/m<sup>3</sup>. Mientras que, para en caso donde las dos crestas de ola son coincidentes con los extremos del pontón (Caso de cargas C), se utilizó una constante elástica de 5 kN/m<sup>3</sup> en el tercio central de su longitud y en el resto de la longitud del pontón se utilizó una constante elástica de 10 kN/m<sup>3</sup>.

Las cargas utilizadas para el diseño del pontón son las siguientes (Figura 4):

- Peso propio de los montantes ejercido sobre el pontón: 2.00 kN.
- Sobrecarga de uso: 2.00 kN/m<sup>2</sup>.
- Carga de garaje (para automóviles solamente): 2.50 kN/m<sup>2</sup>.

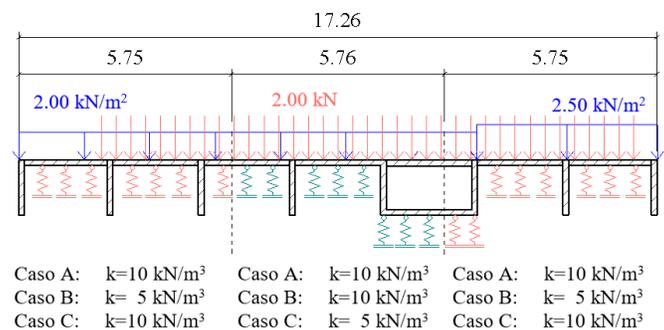


Fig. 4: Esquema de cargas utilizadas para el diseño del pontón.

El modelo de cálculo resultante realizado en RFEM 6 para la estructura del pontón se puede observar en la Figura 5.

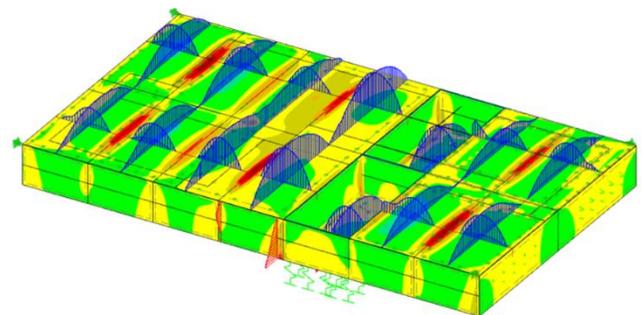


Fig. 5: Visualización de esfuerzos internos del pontón.

#### REFERENCES

- [1] F. A. Perdomo, M. B. Rivas Pressel and F. M. Tonutti Bettoni, "Prototipo de vivienda flotante. Desarrollo desde un punto de vista integrado", B.S. thesis, Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Paraná, Paraná, Entre Ríos, Argentina, 2022. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/20.500.12272/7441>
- [2] S. A. Molina Saldarriaga and A. Walker Uribe. "Diseño y desarrollo de una plataforma flotante adecuada para la construcción de una vivienda rural unifamiliar para población de bajos recursos para sobrellevar las inundaciones aluviales futuras en las zonas críticas de la Depresión

- Momposina del Bajo Magdalena” B.S. thesis, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia, 2010 [Online]. Available:  
<http://hdl.handle.net/10784/4371>
- [3] M.J. Koekoek. “Connecting Modular Floating Structures: A General Survey and Structural Design of a Modular Floating Pavilion”, M.S. thesis, Design and Construction, Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Delft, Netherlands, 2010 [Online] Available:  
<http://resolver.tudelft.nl/uuid:33b59201-1718-4dda-98f8-ee16d5b7c023>
- [4] CIRSOC, 101, 2005. [Online]. Available:  
<http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/Reglamentos/CIRSOC-101-Reglamento.pdf>
- [5] F. Faulstich “Modeling and Calculating a Floating Body with RFEM”. [Online]. Available:  
<https://www.dlubal.com/en/support-and-learning/support/knowledge-base/001588>