

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL CÓRDOBA**  
**ANÁLISIS COMPARATIVO DE HORMIGONES LIVIANOS ESTRUCTURAL Y HORMIGONES DE ALTO DESEMPEÑO**

**Ribone, Gustavo**<sup>1\*</sup>  
**Uanini, Federico**<sup>1</sup>  
**Karpowicz, Pablo**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Becario del laboratorio CINTEMAC – Estudiante de grado en la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba

\* Mail de contacto: ribonegustavo@outlook.com

**Palabras claves:** Hormigón liviano estructural, Hormigón de alto desempeño, Comparación de costos.

**Eje temático:** Materiales.

## **RESUMEN**

En base a experiencias realizadas de hormigón liviano estructural (HLE) y hormigón de alto desempeño (HAD) presentadas en Brasil y Argentina, se decidió realizar un análisis de costos, ambiental y estructural de estas clases de hormigón comparando su potencial con respecto al hormigón convencional y así justificar si son apropiados o no para su futura aplicación.

La solución práctica para analizar los costos de estos tipos de hormigón surge de una estructura ideal, que se diseña tomando como restricción que la resistencia a compresión a la cual se ven sometidas sus secciones a lo largo de todo su desarrollo sea la misma, según cada tipo de hormigón. La altura máxima propuesta fue de 1.000 metros y se dio una carga inicial de 1.000 toneladas con el fin de que la carga en la sección superior no sea nula.

La forma que toma la estructura esta condicionada por la restricción de igual sollicitación en las distintas secciones, utilizando hormigones con distinta resistencia y peso por unidad de volumen, resultando el volumen necesario una variable de estudio. Con el volumen resultante a distintas alturas de la estructura ideal se pueden calcular los costos y estimar el impacto ambiental de cada uno de los hormigones en estudio.

Para el estudio comparativo, se dosificó un HLE con arcilla expandida, un HAD de baja relación agua cemento, y finalmente dos hormigones convencionales de distinta resistencia. Con los resultados obtenidos, se analizó la variación en los costos, volúmenes, pesos, emisión de CO<sub>2</sub> y cantidad de cemento necesarios para cada hormigón.

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Antecedentes**

- **Hormigón liviano:** La dosificación del hormigón liviano se obtiene del trabajo titulado: “DESARROLLO DE UN PORTICO (A ESCALA) DE HORMIGON ARMADO EXIGIDO A CARGAS DINAMICAS” (Uanini F. *et al.*, 2011). Se caracteriza por el diseño del hormigón, buscando un equilibrio entre una baja densidad y una resistencia aceptable para ser considerado estructural. La misma se presenta en la Tabla 1.
- **Hormigón de alto desempeño:** La dosificación del hormigón de alto desempeño se basa en el trabajo titulado “HORMIGON COLOREADO DE ALTA PERFORMANCE” (Karpowicz P. *et al.*, 2011). Este hormigón se caracteriza por ser trabajable con una gran resistencia a la compresión. La dosificación se presenta en la Tabla 2.

Ambas investigaciones fueron realizadas por integrantes de este trabajo

### **1.2 Objetivos del trabajo**

- Estimar el costo total de la estructura ideal para cada tipo de hormigón.
- Comparar el volumen y peso para cada tipo de hormigón.

- Comparar el impacto ambiental usando la emisión de CO<sub>2</sub> y los kilogramos de cemento como parámetros.

### 1.3 Plan Experimental

Con la intención de responder a la inquietud de la viabilidad de los hormigones HLE y HAD frente al hormigón convencional, se ideó un trabajo con el cual se pudiera comparar de forma simple algunos aspectos, como ser costos, volúmenes de hormigón, emisión de CO<sub>2</sub>, entre otros.

Para realizar la comparación de los hormigones, se propuso el diseño de una estructura ideal con el condicionante de que sus secciones a lo largo de todo su desarrollo estén solicitadas a un mismo esfuerzo de compresión, que sería el mismo que la resistencia a compresión de los hormigones. En la figura 1 se ilustra esquemáticamente una de las estructuras resultante.

Se utilizaron propiedades y valores de costo de cada material correspondientes a la Ciudad de Córdoba.

La emisión de CO<sub>2</sub> se calculo usando datos de la Instituto Brasileiro do Concreto. (ISAIA G. *et al.*, 2011).

Cabe destacar ciertos parámetros preestablecidos:

- Los hormigones tienen una trabajabilidad suficiente para poder ser manipulada de forma convencional, se tomo un valor mínimo de asentamiento por cono de Abrams de 8 cm.
- El esfuerzo que se tuvo en cuenta fue la resistencia a compresión axial, despreciándose la flexión, pandeo, etc.
- Sólo se tiene en cuenta la carga inicial y el peso propio del hormigón, por lo que se desprecia cualquier otra fuerza actuante.
- Tanto el HLE como el HAD, no fueron diseñados para este trabajo, sino para cumplir con los requisitos planteados por investigaciones anteriores y concursos en los cuales fueron presentados.

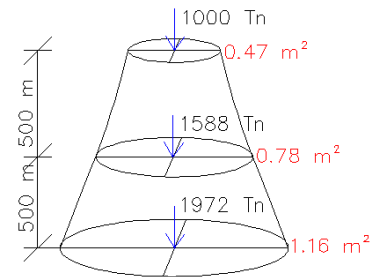


Figura 1. Esquema de estructura ideal diseñada para H-21

## DESARROLLO

### 2.1 Datos

Se compararon los datos obtenidos en los trabajos de HAD y HLE con dos hormigones convencionales. Uno con una resistencia característica de rotura a compresión a 28 días de 21 MPa y el otro de 35 MPa, dosificando de acuerdo al "Esquema general para la Dosificación racional de hormigón" (Baroneto C. *et al.*).

En la Tabla 1 se presentan las dosificaciones de los hormigones. En la Tabla 2 se detallan las propiedades características de los hormigones expuestos.

Tabla 1. Dosificaciones

Material	Dosificación [ Kg/m <sup>3</sup> ]			
	HLE	HAD	H <sup>o</sup> 21	H <sup>o</sup> 35
Cemento	437	651	391	571
Agua	154	150	200	200
Arena	785	594	857	749
Roca	--	995	887	884
Arcilla	430	--	--	--
Adición <sup>1</sup>	44	32	--	--
Aditivo <sup>2</sup>	4,4	13	--	--

Tabla 2. Propiedades de los hormigones

Propiedad	HLE	HAD	H <sup>o</sup> 21	H <sup>o</sup> 35
Resistencia <sup>3</sup> σ <sub>c</sub> [MPa]	31	76	21	35
Peso Específico [ Tn / m <sup>3</sup> ]	1,85	2,44	2,34	2,40
Costo [ \$ / m <sup>3</sup> ]	624.20	888.40	415.70	535.80
Emisión CO <sub>2</sub> [ Kg / m <sup>3</sup> ] <sup>4</sup>	510	457	310	448

1. Adición: Ceniza volante como adición activa puzolánica

2. Aditivo: Hiperfludificante de tercera generación

3. Resistencia a compresión con 28 días de curado a inmersión

4. Con información de "Concreto: Ciência e Tecnologia" (bibliografía )

### 2.2 Resultados

Teniendo los parámetros necesarios de la estructura ideal y aplicando el análisis comparativo, se muestran en la Tabla 3 los datos buscados en función de la altura de la estructura. En las Figura 2 se observan valores comparativos de costos, esto es el costo de cada hormigón dividido la suma de los cuatros hormigones. En la Figura 3 se observan valores comparativos obtenidos de igual manera que para costo, pero para volumen.

Tabla 3. Resumen de resultados obtenidos

Altura [m]	Hº 21	Hº 35	Hº Alto D	Hº liviano
Volumen [m³]				
1	0,476	0,286	0,132	0,323
10	4,788	2,867	1,318	3,235
100	50,355	29,573	13,371	33,240
1000	848,692	406,460	154,765	438,095
Precio [\$]				
1	198,09	153,14	116,91	201,43
10	1990,79	1536,16	1170,79	2019,72
100	20934,83	15845,42	11878,22	20749,79
1000	352842,07	217786,39	137490,18	273477,28
Sección [m²]				
1	0,4766	0,2859	0,1316	0,3227
10	0,4808	0,2874	0,1319	0,3242
100	0,5274	0,3044	0,1355	0,3409
1000	1,1599	0,5003	0,1716	0,5265
Peso de la estructura [Kg]				
1	1,11	0,69	0,32	0,60
10	11,18	6,89	3,20	6,00
100	116,97	70,86	32,45	61,47
1000	1927,90	959,78	371,91	799,70
Emisión de CO2 [Kg]				
1	147,8	128,1	67,1	147,4
10	1485,8	1285,2	671,8	1478,3
100	15623,9	13257,2	6816,1	15187,4
1000	263330,6	182212,7	78896,3	200166,1
Consumo de cemento [Kg]				
1	186,3	163,2	85,7	141,0
10	1872,3	1637,0	858,0	1413,9
100	19688,6	16886,0	8704,3	14525,9
1000	331838,4	232088,4	100752,2	191447,7

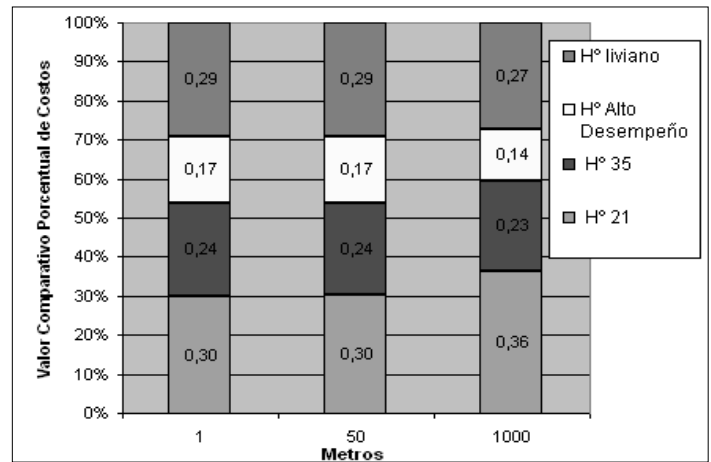


Figura 2. Comparación de costos

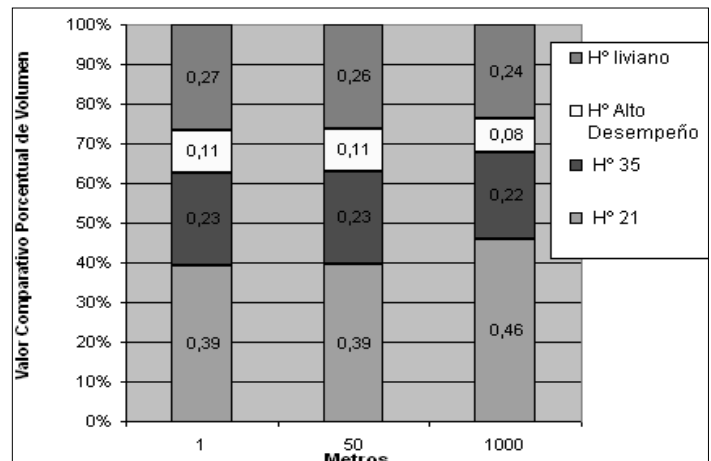


Figura 3. Comparación de volumen según la altura

Con los datos obtenidos para cada uno de los tipos de hormigón se creó una serie de gráficos, que comparan para cada uno de los hormigones, el precio en pesos argentinos, el volumen en metros cúbicos, las emisiones de CO<sub>2</sub> en kilogramos, el consumo de cemento en kilogramos y la sección en metros cuadrados, todos en función de la altura del diseño de la estructura (figuras 4, 5, 6 y 7).

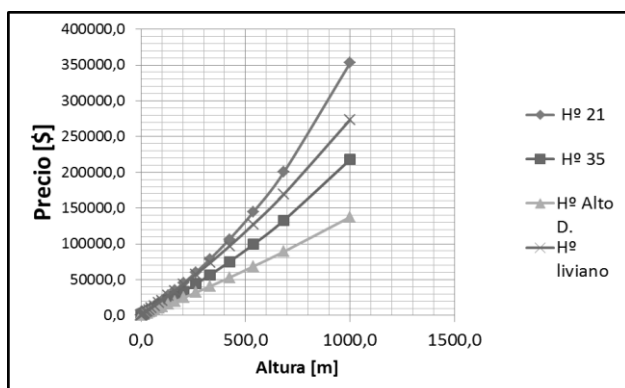


Figura 4. Comparación de costo.

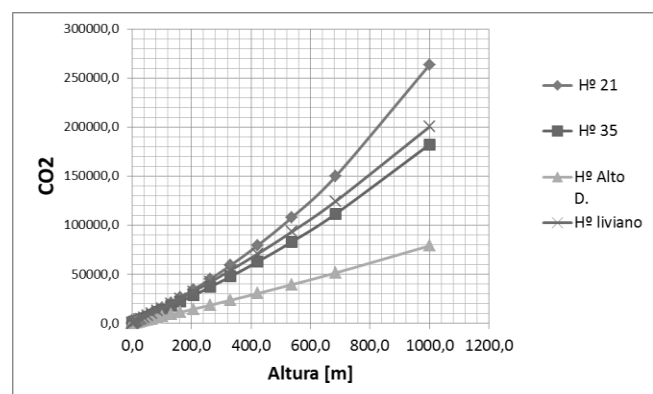


Figura 5. Emisión de Kg de CO<sub>2</sub>.

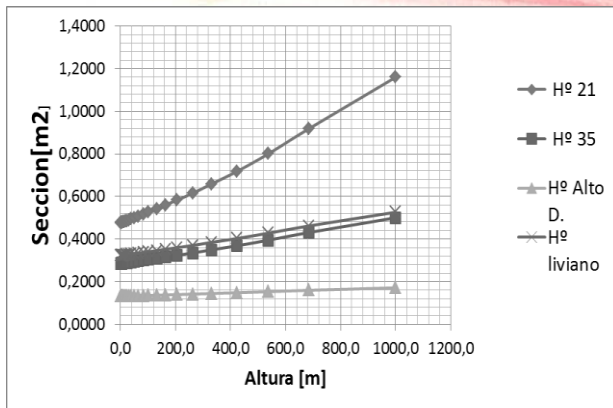


Figura 6. Sección de la estructura.

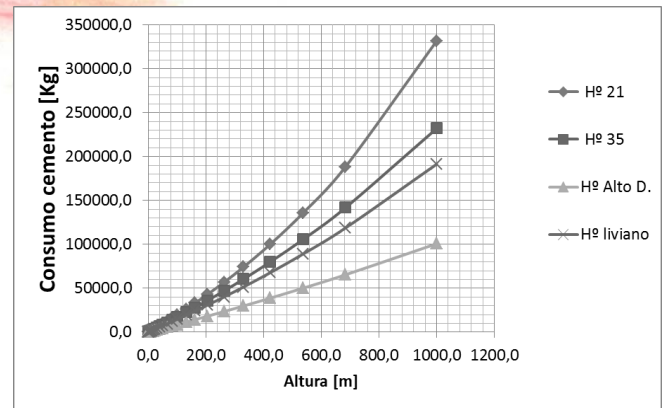


Figura 7. Cantidad de cemento.

## CONCLUSIÓN

### 3.2 Conclusiones

En este trabajo se demostró el potencial del HAD, en especial en estructuras verticales, logrando un uso más racional de los recursos, disminuyendo costos con respecto al H-21 por encima del 60% y reduciendo el impacto ambiental. Esto es debido a la disminución del volumen que se logra aumentando la resistencia del hormigón.

También se puede concluir que el HLE tuvo un rendimiento superior en cuanto a costos, con un ahorro del 22.5% con respecto al H-21. Pero se vio superado por el H-35 el cual cuesta un 20,4% más barato que el HLE.

Con la estructura ideal que se planteó para realizar el análisis, se pudo comparar de manera muy sencilla y ágil los distintos tipos de hormigón, como un primer análisis de su viabilidad y que puede ser extendido a un estudio más completo.

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

**Baroneto C.** Dosificaciones de hormigones. Apunte de la Catedra Tecnología de los Materiales, U.T.N. Facultad Regional Córdoba.

**Karpowicz P., Colombo N., García G., Gimera G.** 2012. Hormigón coloreado de alta performance. Trabajo presentado en la Jornada de Estudiante Investigadores (JEI).

**Uanini F., González J., Gregorio A., Rojas Laura., Foradori C.** 2012. Desarrollo de un pórtico (a escala) de hormigón armado exigido a cargas dinámicas. Trabajo presentado en la Jornada de Estudiante Investigadores (JEI).

**ISAIA G.** 2011. Concreto: Ciência e Tecnologia, Instituto Brasileiro do Concreto, Volumen 2