

Comportamiento mecánico de concretos elaborados con sustitución del agregado grueso por poliestireno expandido

Margarita Villasmil e Igor Rodríguez

*Coordinación de Postgrado e Investigación, Núcleo LUZ-COL
marvillascub@gmail.com*

Resumen

La mezcla de concreto convencional es una masa plástica moldeable; que al cabo de algunas horas comienza a endurecer y a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido. En este tipo de mezcla, el agregado (grueso y fino) constituyen cerca del 70% del volumen total del concreto; es importante por tanto estudiar sus propiedades, y seleccionar el agregado de mejor calidad de esta manera obtener un concreto resistente y económico, de acuerdo a los ensayos recomendados por la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). El objetivo principal de esta investigación fue determinar el comportamiento mecánico de concretos, en cuya mezcla se sustituye el agregado grueso por poliestireno expandido, bajo relaciones agua-cemento (a/c) de 0.50, 0.55 y 0.60; y densidades de 1600 y 1800 kg/cm³ buscando obtener una trabajabilidad óptima y la resistencia a la compresión a la edad de 7 y 28 días. Los ensayos se realizan de acuerdo a los procedimientos descritos por entes contralores como el Comité Conjunto de Concreto Armado (CCCA) y COVENIN. Las resistencias mecánicas obtenidas para la densidad de 1600 Kg/cm³ presentan en promedio 154 Kg/cm² a los 28 días, considerado viable para su utilización en elementos solicitados por cargas estáticas menores. Para densidad 1800 Kg/cm³, se encontró en promedio 250 Kg/cm², aceptable teóricamente, pero en análisis práctico, el material tiene comportamiento viscoelástico con uso no aceptable en elementos estructurales ni tampoco se recomienda en elementos sometidos a cargas estáticas menores.

Palabras clave: comportamiento mecánico, sustitución, agregado grueso, poliestireno expandido, resistencia mecánica.

Mechanical Behavior of Concrete Elaborated Substituting Expanded Polystyrene for Large Aggregate

Abstract

The conventional concrete mixture is a moldable, plastic mass that begins to harden after some hours and acquires the aspect, behavior and properties of a solid body, to finally become the mechanically resistant material that is hardened concrete. In this type of mixture, aggregate (large and fine) is about 70% of the total concrete volume; therefore, it is important to study its properties and select the best quality aggregate to obtain resistant and economical concrete that passes the tests recommended by the Venezuelan Commission for Industrial Standards (COVENIN). The main aim of this research was to determine the mechanical behavior of concrete in which the large aggregate is replaced with expanded polystyrene, under water-cement relationships (w/c) of 0.50, 0.55 and 0.60, and densities of 1600 and 1800 kg/cm³, seeking to obtain optimal workability and resistance to compression at 7 and 28 days. Tests were made following the procedures described by controllers such as the Joint Committee for Reinforced Concrete (CCCA) and COVENIN. The mechanical resistances obtained for the density of 1600 Kg/cm³ present an average of 154 Kg/cm² at 28 days, considered viable for use in elements bearing minor static loads. For the density of 1800 Kg/cm³, an average of 250 Kg/cm³ was found, theoretically acceptable, but in practical analysis, the material evidences viscoelastic behavior, unacceptable for use in structural elements, nor is it recommended for elements submitted to minor static loads.

Key words: mechanical behavior, substitution, large aggregate, expanded polystyrene, mechanical strength.

Introducción

El concreto es un material durable, resistente y dado que se trabaja en su estado plástico, puede moldeado para adquirir cualquier forma, esta característica es una de las razones por la que es un material de construcción ampliamente utilizado. El concreto de uso común o convencional, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales: cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo. Al mezclar estos componentes y producir lo que se conoce como una mezcla de concreto, se introduce de manera simultánea un quinto participante: el aire.

La mezcla de estos componentes produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad, que gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en un material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido (Porrero, 1996).

En la mezcla de concreto, el agregado grueso y fino constituyen del 70% al 80% del volumen total de la misma, por tanto es importante conocer sus propiedades y

seleccionar de entre varios agregados el de mejor calidad, para obtener un concreto resistente y económico, de acuerdo a los ensayos recomendados por la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN).

En esta investigación, se sustituye el agregado grueso por un producto industrial: poliestireno expandido conocido como "poliexpam", este es obtenido del poliestireno con incorporación del pentano como agente expansivo. Son perlas esféricas y vítreas que se expanden por calentamiento con vapor, aire caliente o calor radiante, hasta su punto de ablandamiento (aproximadamente 100°C), la liberación y vaporización del pentano, produciendo la expansión de las perlas.

Este material posee características especiales, distintas a los agregados comúnmente utilizados en la obtención de mezclas de concretos, las cuales se pueden resumir así: peso unitario extremadamente bajo, excelente aislamiento térmico, estructura celular cerrada, ninguna absorción de agua, forma esférica estáticamente muy favorable, es auto-extinguible.

Actualmente, por su economía, ligereza, propiedades térmicas y alto rendimiento, sus aplicaciones son han sido tales como en: aislamiento térmico de techos, aislamiento de equipo de proceso, prefabricación de volúmenes, construcción de viviendas, ajuste de pendientes en techumbre, construcción ligera en general.

El presente trabajo propone realizar un estudio del comportamiento mecánico de concretos elaborados con sustitución del agregado grueso por poliestireno expandido, cumpliendo con las normativas y empleando conocimientos estadísticos, con el fin de dar mayor confiabilidad a los resultados. Esta caracterización se enfoca principalmente en conocer el comportamiento de la mezcla de concreto propuesta a distintas relaciones agua-cemento (a/c), determinando su resistencia a la compresión (R_c), creando un conjunto de gráficas y registros tabulados que junto a comentarios y conclusiones procedentes de la investigación, representen cuantitativa y cualitativamente los resultados del estudio.

Procedimiento experimental

Determinación del rango de relaciones agua-cemento (a/c) para cada densidad de concreto

Se realizaron muestras de prueba, ejecutando el ensayo de flujo, mediante el cual se determinaron los valores de la relación a/c , siguiendo el procedimiento descrito en la Norma COVENIN 1610-80, obteniéndose valores de 0,50, 0,55 y 0,60.

Determinación del muestreo

Según lo establecido en la Norma COVENIN 3549-99:30, para la evaluación estadística de cada relación a/c y densidad de la mezcla de concreto, deben contarse con no menos de 30 series de probetas, para obtener resultados confiables, bajo esta

premisa, se deben obtener como mínimo 360 probetas, para el estudio de 3 valores de relaciones agua/cemento.

Tabla 1. Cálculo de muestra

Densidad (kg/m ³)	Resistencia a	Número de probetas Relación agua-cemento			Total probetas
		0,50	0,55	0,60	
1600	7 días	60	60	60	180
	28 días	60	60	60	180
					360
1800	7 días	60	60	60	180
	28 días	60	60	60	180
					360

Fuente: Los autores.

Ensayos de los agregados

Ensayo para determinar el peso específico y el porcentaje de vacíos del poliestireno expandido

El objetivo de este ensayo, es determinar el peso específico y la relación de vacío en el poliestireno expandido, con la finalidad de calcular la dosificación en peso y volumen de este agregado en la elaboración de la mezcla de concreto.

En la realización de este ensayo, se utilizó un frasco de tapa hermética, en la cual se hizo un orificio, que se cubrió con una malla plástica; lo cual permite introducir agua en el frasco, sin que las perlas de poliestireno escapen del envase y puedan así ser determinados los volúmenes respectivos por desalojo de agua.

Entonces, el peso específico del poliestireno y el porcentaje de vacíos, se encuentra por las expresiones:

$$Y_p = \frac{P_p}{V_p} \quad (\text{ec. 1})$$

$$\%V = \frac{V_v \times 100}{V_r} \quad (\text{ec. 2})$$

donde:

Y_p : peso específico del poliestireno

P_p : peso del poliestireno

V_p : volumen del poliestireno

V_v : volumen de vacío

V_r : volumen del recipiente = 1000 cm³.

De aquí, se encuentra:

Tabla 2. Características físicas del poliestireno expandido

Ensayo	Resultado obtenido
Peso específico	1,86 g/cm ³
% de vacíos	40,9%

Fuente: Los autores.

Ensayo granulométrico

Este ensayo se realizó para determinar el módulo de finura del agregado fino o arena blanca, el cual es un indicador de la gradación del agregado. Para este ensayo se utilizó una tamizadora, con tamices normativos de acuerdo al método de ensayo para determinar la composición granulométrica de agregados finos y gruesos de la norma COVENIN 255.1998.

Determinación por lavado de contenido de finos

Utilizando un tamiz N° 200, se efectuó el ensayo según el método de ensayo para la determinación por lavado del contenido de material más fino que el cedazo de 74 micras en agregados minerales, expuesto en la Norma COVENIN 258-77.

Determinación de impurezas orgánicas

Para determinar la presencia de impurezas orgánicas se realizó el ensayo colorimétrico que la norma COVENIN 256-77 recomienda para el concreto.

Determinación del peso específico y la absorción del agregado fino

El peso específico y la absorción fueron determinados para la arena blanca, de acuerdo al método exigido en la Norma COVENIN 268-78.

Determinación del peso unitario del agregado

El peso unitario del agregado fino o arena blanca, se determinó usando el método de ensayo estipulado en la Norma COVENIN 263-78.

Tabla 3. Resumen de las características físicas de la arena blanca

Ensayo efectuado	Resultado obtenido	Normativa
Módulo de finura	1,73	Entre 2,3 a 3,1
Peso específico	2,50 g/cm ³	Entre 2,3 y 2,9 g/cm ³
Peso específico saturado con superficie seca	2,49 g/cm ³	Entre 2,3 y 2,9 g/cm ³
Porcentaje de absorción	1,20%	0-8%
Materia orgánica	Nº 1 en la escala de Gardner	No más oscuro que Nº 3
Peso unitario	Suelto: 1478,67 Kg/m ³ Compacto: 1568,24 Kg/m ³	Compacto: entre 1282 y 1922 Kg/m ³

Fuente: Los autores.

Diseño de la mezcla

El diseño de la mezcla de concreto ligero con poliestireno expandido, se hizo basado en las consideraciones planteadas para el diseño de mezclas, tanto en sus condiciones de peso y volumen, como en las características de los agregados, propuesto Naranjo y col (1980), que según las características de los agregados, se establecen las relaciones en peso de arena-cemento y agua-cemento.

La relación arena-cemento, se fija según el valor del módulo de finura de la arena como sigue:

$$\frac{M_f}{1,50-2} = \frac{X}{2} \quad (\text{ec. 3})$$

donde:

M_f : módulo de finura

X : relación arena-cemento.

Para el diseño de la mezcla de concreto ligero se utilizó $x = 2$ ya que se trabajó con un módulo de finura de 1,70.

La relación arena-cemento se expresa:

$$X = \frac{\text{Arena (Ar)}}{\text{Cemento (C)}} \rightarrow C = \frac{\text{Ar}}{X} \quad (\text{ec. 4})$$

La relación agua-cemento será:

$$Y = \frac{\text{Agua (W)}}{\text{Cemento (C)}} \rightarrow W = Y \times C \quad (\text{ec. 5})$$

donde el valor de Y , se fija considerando la resistencia y la trabajabilidad que se desee de la mezcla, y está comprendida entre 0.5 y 0.7. Para el diseño de mezcla utilizada en este trabajo, se usaron las relaciones de Y de 0,50, 0,55 y 0,60.

Establecidas ambas relaciones, se determinan las condiciones de peso y volumen que debe cumplir la mezcla del concreto a diseñar.

Condición de peso

La dosificación de la mezcla debe cumplir:

$$D = P + C + Ar + W - E \quad (\text{ec. 6})$$

donde:

D : densidad de la mezcla.

P : peso del poliestireno expandido

C : peso del cemento

Ar : peso de la arena

W : peso del agua

E : pérdida por evaporación, tomando $E = W - 0.26C$, siendo 0.26C el decremento por hidratación del cemento.

En la ecuación 6, se hace la sustitución utilizando las ecuaciones 4, 5 y el valor E , obteniendo:

$$D = P + Ar \left(1 - \frac{1,26}{X} \right) \quad (\text{ec. 7})$$

Si se denomina Z a la expresión:

$$Z = 1 - \frac{1,26}{X} \quad (\text{ec. 8})$$

Se obtiene:

$$D = P + (Ar \times Z) \quad (\text{ec. 9})$$

donde para cada densidad, el peso de arena requerido para la mezcla será:

$$Ar = \frac{D - P}{Z} \quad (\text{ec. 10})$$

Condición de volumen

La mezcla de concreto, también debe cumplir que para 1000 lts:

$$\frac{P}{\gamma_p} + \frac{C}{\gamma_c} + \frac{Ar}{\gamma_{Ar}} + \frac{W}{\gamma_w} + V = 1000 \text{ lts} \quad (\text{ec. 11})$$

donde:

γ_p : peso específico del poliestireno expandido

γ_c : peso específico del cemento

γ_{Ar} : peso específico de la arena

γ_w : peso específico del agua

V : volumen de aire atrapado.

Ahora, si llamamos L a:

$$L = 1000 - V \quad (\text{ec. 12})$$

Y sustituyendo las ecuaciones 4 y 5, en la condición de volumen, se tiene:

$$L = \frac{P}{\gamma_p} + \frac{Ar}{\gamma_{Ar}} \times \frac{1}{X} + \frac{Ar}{\gamma_{Ar}} + \frac{Ar}{\gamma_w} \times \frac{Y}{X}$$

Simplificando la ecuación:

$$L = \frac{P}{\gamma_p} + Ar \left(\frac{1}{X \times \gamma_c} + \frac{1}{\gamma_{Ar}} + \frac{1}{X \times \gamma_w} \right)$$

Si se llama U a la expresión:

$$U = \frac{1}{X \times \gamma_c} + \frac{1}{\gamma_{Ar}} + \frac{Y}{X \times \gamma_w}$$

Quedará:

$$L = \frac{P}{\gamma_p} + Ar \times U$$

Sustituyendo la ecuación 10, y despejando p , se obtiene:

$$P = \frac{L - \frac{D \times U}{Z}}{\frac{1}{\gamma_p} - \frac{U}{Z}} \quad (\text{ec. 13})$$

Con las ecuaciones planteadas, es posible dosificar cualquier mezcla de concreto ligero, en la densidad requerida, bajo las condiciones que presente los compo-

nentes de la mezcla. Para determinar la dosificación de la mezcla con estas ecuaciones, se realiza de la siguiente manera:

1. Se determina el peso del poliestireno expandido, con la ecuación 13
2. Este valor se sustituye a su vez en la ecuación 10, y se determina el peso de la arena.
3. Este último se sustituye en las ecuaciones 5 y 6, y se encuentran los pesos de cemento y agua respectivamente.

En este trabajo, se utilizaron densidades de diseño para el concreto ligero de 1600 y 1800 Kg/cm³, conocida todas las características físicas de los materiales, se presentan la dosificaciones para la mezcla de concreto ligero a utilizar en densidades 1600 y 1800Kg/cm³.

Tabla 4. Dosificación de Concreto Ligero
Densidad 1600 kg/cm³ y relación a/c de 0,50

Material	Peso Kg	Peso específico Kg/cm ³	Volumen lt
Poliestireno	3,38	$1,86 \times 10^{-2}$	181,72
Arena blanca	979,52	2,5	391,81
Cemento	489,76	3,15	155,48
Agua	244,88	1	244,88
Aire atrapado		25	25,0
E	-117,54		

Fuente: Los autores.

Tabla 5. Dosificación de Concreto Ligero
Densidad 1600 kg/cm³ y relación a/c de 0,55

Material	Peso Kg	Peso específico Kg/cm ³	Volumen lt
Poliestireno	3,20	$1,86 \times 10^{-2}$	172,04
Arena blanca	979,63	2,5	391,85
Cemento	489,81	3,15	155,50
Agua	269,40	1	289,40
Aire atrapado		25	25,0
E	-117,54		

Fuente: Los autores.

Tabla 6. Dosificación de Concreto Ligero
Densidad 1600 kg/cm³ y relación a/c de 0,60

Material	Peso Kg	Peso específico Kg/cm ³	Volumen lt
Poliestireno	2,46	$1,86 \times 10^{-2}$	132,26
Arena blanca	980,01	2,5	392,00
Cemento	490,01	3,15	155,56
Agua	249,00	1	249,00
Aire atrapado		25	25,0
E	-117,54		

Fuente: Los autores.

Tabla 7. Dosificación de Concreto Ligero
Densidad 1800 kg/cm³ y relación a/c de 0,50

Material	Peso Kg	Peso específico Kg/cm ³	Volumen lt
Poliestireno	1,56	$1,86 \times 10^{-2}$	83,87
Arena blanca	1103,34	2,5	441,34
Cemento	551,67	3,15	175,13
Agua	275,84	1	275,84
Aire atrapado		25	25,0
E	-132,41		

Fuente: Los autores.

Tabla 8. Dosificación de Concreto Ligero
Densidad 1800 kg/cm³ y relación a/c de 0,55

Material	Peso Kg	Peso específico Kg/cm ³	Volumen lt
Poliestireno	1,15	$1,86 \times 10^{-2}$	61,83
Arena blanca	1103,58	2,5	441,43
Cemento	551,79	3,15	175,17
Agua	303,48	1	303,48
Aire atrapado		25	25,0
E	-132,41		

Fuente: Los autores.

Tabla 9. Dosificación de Concreto Ligero
Densidad 1800 kg/cm³ y relación a/c de 0,60

Material	Peso Kg	Peso específico Kg/cm ³	Volumen lt
Poliestireno	0,53	$1,86 \times 10^{-2}$	28,49
Arena blanca	1103,97	2,5	441,59
Cemento	551,99	3,15	175,23
Agua	331,19	1	331,19
Aire atrapado		25	25,0
E	-132,41		

Fuente: Los autores.

Ensayo de especímenes

Se realizaron ensayos de compresión a las probetas obtenidas en densidad 1600 y 1800 kg/cm³ y relación a/c indicadas, siguiendo las directrices estipuladas en la Norma COVENIN 1976:2003 respecto al tratamiento estadístico de los resultados.

Tabla 10. Parámetros Estadísticos densidad 1600 kg/cm³ lote a los 7 días

Parámetros estadísticos	a/c = 0,50	a/c = 0,55	a/c = 0,60
	R' c (kg/cm ²)		
Resistencia media	120,301	132,52	109,86
Desviación estándar	11,0297	3,73	5,56

Fuente: Los autores.

Tabla 11. Parámetros Estadísticos densidad 1600 kg/cm³ lote a los 28 días

Parámetros estadísticos	a/c = 0,50	a/c = 0,55	a/c = 0,60
	R' c (kg/cm ²)		
Resistencia media	154,894	162,48	147,44
Desviación estándar	9,03	2,55	8,53

Fuente: Los autores.

Tabla 12. Parámetros Estadísticos densidad 1800 kg/cm³ lote a los 7 días

Parámetros estadísticos	a/c = 0,50	a/c = 0,55	a/c = 0,60
	R' c (kg/cm ²)		
Resistencia media	170,239	177,069	178,01
Desviación estándar	11,790	12,257	13,349

Fuente: Los autores.

Tabla 13. Parámetros Estadísticos densidad 1800 kg/cm³ lote a los 28 días

Parámetros estadísticos	a/c = 0,50	a/c = 0,55	a/c = 0,60
	R'c (kg/cm ²)		
Resistencia media	229,529	258,693	265,536
Desviación estándar	12,815	17,706	22,696

Fuente: Los autores.

Conclusiones

En general se puede expresar que las características de esta mezcla de concreto ligero, satisface las especificaciones para concretos y morteros de órganos competentes al control de calidad de los materiales, por otra parte se obtuvo una mezcla con buena trabajabilidad y económica y como un punto de interés.

Sin embargo, la característica de mayor interés en el estudio corresponde a la resistencia mecánica del material, lo cual incide en el uso que puede dársele dentro de la industria de la construcción.

Las resistencias mecánicas obtenidas para la densidad de 1600 Kg/cm³ oscilan en los 154 Kg/cm² a los 28 días, es decir a su resistencia máxima, el cual no es considerado apto para uso estructural, siendo viable para ser utilizado en elementos que no estén solicitados por cargas estáticas o dinámicas dentro de la infraestructura, pero si a cargas estáticas menores.

Al observar los resultados obtenidos para la densidad de estudio de 1800 Kg/cm³, se han encontrado valores que a primera instancia, se pueden interpretar que el material es apto para su uso en estructuras, empero los valores obtenidos que oscilan en 250 Kg/cm², exceden los valores esperados para un concreto aligerado, lo cual lleva a un análisis del comportamiento del poliestireno expandido, el cual tiene un comportamiento elástico, al contener estos cilindros de prueba una mayor cantidad del material sustitutivo, permite al cilindro que su rotura suceda más allá de lo esperado por efecto de la presencia de la elasticidad del material que se comporta de manera viscoelástica.

Por tanto, aun cuando se ha obtenido una resistencia mecánica aceptable teóricamente, en el análisis práctico, la densidad de 1800 Kg/cm³, no tiene uso aceptable en elementos estructurales, y tampoco se recomienda en elementos sometidos a cargas menores.

Referencias bibliográficas

Porrero, J., Salas, R., Ramos, C., Grases, J. y Velazco, G. (1996). Manual del concreto. Ediciones SIDETUR, Caracas.

- Naranjo, H., Arizmendi, M. y Castillo. M. (1980). Determinación de ciertas orientaciones para el diseño de mezclas de concreto ligero con poliestireno. Tesis de Grado. Universidad del Zulia,
- Norma COVENIN 1610-80. Método de ensayo para determinar el flujo de concreto por medio de la mesa de caídas.
- Norma COVENIN 3549-99:30. Tecnología del concreto. Manual de elementos de estadística y diseño de experimentos.
- Norma COVENIN 255-77. Método de ensayo para determinar la composición granulométrica de agregados finos y gruesos. CCCA: Ag 2 1968.
- Norma COVENIN 258-77. Método de ensayo para la determinación por lavado del contenido de material más fino que el cedazo COVENIN 74 micras en agregados minerales.
- Norma COVENIN 256-77. Método de ensayo para la determinación cualitativa de impurezas orgánicas en arenas para concreto (ensayo colorimétrico).
- Norma COVENIN 268-78. Método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado fino.
- Norma COVENIN 263-78. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado.
- Norma COVENIN 1976:2003. Concreto. Evaluación y método de ensayo. 3ra revisión.