

Artículo de revisión

El hormigón celular: análisis y difusión a nivel industrial en el Ecuador

Aerated concrete: analysis and diffusion at industrial level in Ecuador



Alejandro Crisóstomo Véliz Aguayo
Gerardo Antonio Herrera Brunett
Richard Iván Ramírez Palma
Miguel Salvatierra Barzola

✉ <https://orcid.org/0000-0001-6200-4689>
✉ <https://orcid.org/0000-0001-5948-6998>
✉ <https://orcid.org/0000-0003-1384-3747>
✉ <https://orcid.org/0000-0002-0376-5530>

Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) | La Libertad – Ecuador | CP 240204

✉ aveliz@upse.edu.ec

<https://doi.org/10.26423/rctu.v10i1.676>
Páginas: 53- 68

Resumen

El hormigón celular ha sido utilizado ampliamente por los países nórdicos, pero en Ecuador su uso es bajo, lo que ha sido un problema para su desarrollo en el área de la construcción. El objetivo del estudio fue proporcionar conocimiento sobre su desarrollo en el país para expandir ampliamente su uso, revisando investigaciones relevantes y reportando la existencia de empresas dedicadas a la producción de este material. En este trabajo se han revisado diez casos de investigaciones sobre hormigón celular en los últimos años, por investigadores de universidades del país y la experiencia de los autores. Como resultado se tiene diferentes datos para diferentes aplicaciones. Como conclusión se observa que el hormigón celular no ha tenido gran difusión y los estudios sobre este están en una etapa todavía incipiente. El 40% de los estudios fueron hechos en la Universidad Península de Santa Elena, y 60% del caso cumplen con las normas.

Palabras clave: aireado, alivianamiento, concreto, densidad, resistencia.

Abstract

The Nordic countries have widely used aerated concrete, but in Ecuador, its use is not conventional, which has been a problem for its development in construction. The study's objective was to provide knowledge about its growth in the country to widely expand its use, reviewing relevant research and reporting the existence of companies dedicated to producing this material. In this work, researchers from universities in the country and the authors' experience have reviewed ten research cases on aerated concrete in recent years. As a result, different data was obtained for other applications. In conclusion, it is observed that aerated concrete has not had great diffusion, and studies on it are still in the developing stage. 40% of the studies were done at the University of the Peninsula of Santa Elena, and 60% of the cases comply with the standards.

Keywords: aerated, alleviation, concrete, density, strength.

Recepción: 27/05/2022 | Aprobación: 20/10/2022 | Publicación: 28/06/2023

1. Introducción

El hormigón celular se originó en 1914 en Suecia cuando se mezcló cemento, cal, agua, arena fina y aluminio; para su secado fue introducida en una cámara de vapor presurizada dando como resultado el hormigón celular. En Europa se empezó a utilizarse con mayor frecuencia en las construcciones después de la Segunda Guerra Mundial y se fue expandiendo a otras partes del mundo como Rusia, Japón, Sudeste Asiático y Estados Unidos [1]. En 1934, en Suiza se crean los primeros paneles prefabricados de hormigón celular mediante un proceso de curado de vapor de agua al que se lo denomina Siporex [2]. A nivel internacional, se puede mencionar su uso en los Estados Unidos, Rusia, Asia Central y Europa, los cuales empezaron sus investigaciones desde su invención debido a las características físicas que este presentó desde sus inicios. En Canadá, actualmente se está explorando el uso del hormigón celular como material para la elaboración de la subbase en los pavimentos con el objetivo de proteger la subrasante y aumentar su vida útil y los estudios realizados arrojan resultados positivos. Sin embargo, recomiendan analizar otros factores que son de gran importancia en el diseño de pavimentos como el fenómeno de la fatiga que puede provocar grietas críticas a futuro [3]. Actualmente, en Rusia, en estructuras como casas de una planta, tiendas y oficinas se emplea mampostería de hormigón celular esterilizados en autoclave fabricados según la norma GOST 31360-2007 por su fácil instalación y los beneficios que brinda [4]. En América Latina, el uso del hormigón celular está aumentando, siendo México, Argentina, Perú y Chile los países donde se ha producido y comercializado desde hace más de una década. Fabrican bloques y paneles prefabricados con excelentes resultados [5]. En México se encuentra Cemex México que se dedica a la fabricación de hormigón celular para láminas colaborantes de losas de entresijos. [6] En Argentina, los ladrillos de hormigón celular curado en autoclave son altamente utilizados en las construcciones, por su sencillo y eficiente sistema constructivo [7]. En Perú aún no se han construido estructuras hechas a base de hormigón celular puesto que el material aún no está aprobado por el Ministerio de Vivienda por la poca información que existe, pero cabe mencionar que existe una empresa que está elaborando su expediente técnico para que pueda ser aprobada. Además de aquello, en la *Universidad Cesar Vallejo*, están realizando estudios sobre este tipo de material para que pueda ser incluido en los procesos constructivos del país [8]. En Chile se encuentran dos compañías: Xella Chile y Celcon que se dedican a la elaboración y distribución de bloques de hormigón celular. Según el catálogo Celcon, esta compañía fabrica alrededor de 80000 m^3 al año [9]. En el Ecuador, seis años atrás aún no se implementaba el uso de hormigones celulares como solución para algunos tipos de obras civiles, pero con el paso del tiempo

la rama de la construcción se ha vuelto más exigente y demanda satisfacer las necesidades de esta, por lo que surge el interés por investigar hormigones livianos con densidades menores a los convencionales [10]. A pesar de que en Ecuador se utilizan diferentes tipos de hormigones en la construcción, el uso de hormigón celular es relativamente nuevo, ya que no se lo utiliza en toda su amplitud, por lo que el objetivo de este artículo fue dar una visión general de su desarrollo en el país para ampliar su uso en forma industrial mediante la revisión de las investigaciones más significativas y de la información sobre la existencia de las compañías dedicadas a dar servicio en su elaboración, con la finalidad de ampliar el conocimiento de los procesos de elaboración de este material en el área de la construcción en el país y desarrollar su uso en el alivianamiento de losas, construcción de pisos, paredes, rellenos, etc. El hormigón celular posee un bajo coeficiente de conductividad térmica y se lo usa como aislante térmico en tumbados y paredes [11]; es un tipo de pasta o mortero de cemento Portland que en casos especiales es hidratado con cal. Su sistema cerrado de microburbujas de aire ocupa hasta el 85 % del material. Este sistema de burbujas se puede generar mediante la adición de agentes tensoactivos o agentes generadores de gas. Entre estos últimos se encuentra el polvo de aluminio metálico (debido a la generación de hidrógeno molecular) y el peróxido de hidrogeno (H_2O_2) (debido a la generación de oxígeno molecular) [12]. Puede alcanzar densidades de hasta 300 y 2000 kg/m^3 [13] y está compuesto de cemento o cal, arena, agua y un aditivo espumante, su objetivo principal es reducir la carga muerta de las distintas estructuras, debido a su baja densidad [14], además tiene otras características que son de interés para la industria de la construcción, sin embargo, el conocimiento de esta forma de hormigón ligero aún se está investigando [2]. Además, son muchos los beneficios que brinda el hormigón celular, tales como: ser un excelente aislante térmico, ser más resistente al fuego que el hormigón convencional, además tiene bajo módulo de elasticidad en comparación con los hormigones y morteros tradicionales [15], es resistente a los hongos, insectos y otras plagas, posee características de autoventilación, es un aislante acústico, es durable, es un material no tóxico, es impermeable, agiliza la construcción, su uso es muy versátil ya que se adapta a todo tipo de proyecto y puede ser moldeado con facilidad [16], se puede cortar con sierra para mayor precisión y es totalmente liviano [17]. El hormigón celular se desarrolló como una alternativa de remplazo al uso de la madera en las construcciones de viviendas en los países de clima frío, pues para la construcción de las paredes se usaban troncos de árboles. El hormigón celular presenta propiedades similares a la madera como es el coeficiente de conductividad térmica y sus propiedades acústicas [9]. Si antes, en la construcción de un edificio, el primer y único criterio de calidad eran las características de resistencia, a partir de los años 50

del siglo pasado, apareció el criterio del aislamiento térmico, y acústico, en la ciencia de la construcción aparecen los problemas de combinación de materiales estructurales y aislantes y se resuelven con cierto éxito [18]. En las edificaciones de viviendas, este material se usa con frecuencia para la elaboración de muros portantes, los cuáles son más rígidos y gruesos para soportar cargas axiales, siendo menos dúctiles por su modo de falla por aplastamiento, por lo que se recomienda diseñar con un factor de reducción de respuesta menor. Sin embargo, para edificaciones altas, la rigidez es un factor importante que se debe considerar para lograr estabilidad durante acciones sísmicas, por lo que la cantidad de acero debe ser mayor para ductilidad y disipación de energía, por lo que los muros deben ser diseñados para resistir esfuerzos por corte [19].

2. Materiales y métodos

Se realizó una revisión sistemática de las investigaciones sobre el hormigón celular en Ecuador, la misma fue ejecutada en dos fases: La primera, consistió en la revisión bibliográfica general de temas relacionados al estudio del hormigón celular, en el cual se incluyeron los estudios más relevantes publicados en el periodo 2010 al 2021 en idioma español, de las principales universidades del país, sobre métodos de fabricación de hormigones celulares con diferentes dosificaciones. Además, se mencionan las pocas empresas existentes dedicadas a su fabricación. Se excluyeron todos los trabajos referidos a propuestas de creación de empresas dedicadas a la venta y distribución de hormigón celular, que no fueron llevadas a cabo en la realidad, puesto que no contribuyen al objetivo propuesto. La segunda fase, en el análisis de los diez casos seleccionados para verificar su procedencia y poder validar sus resultados. Las fuentes de información fueron ordenadas sistemáticamente en el tiempo, con el propósito de tener una idea clara sobre la evolución del uso del hormigón celular, específicamente en las condiciones de Ecuador. Las variables dependientes de investigación más comunes en cada caso son la densidad y la resistencia a la compresión y se compara con las normas GOST-21520-89 y ACI 523.3R-14, las cuales sirven de guía para considerar un hormigón como aceptable, mientras que las variables independientes son la relación agua cemento, cantidad de arena, la fluidez, la densidad de la espuma y el tipo de espumante.

3. Resultados

Estudios realizados sobre el hormigón celular en algunas universidades del Ecuador

Caso 1

En el año 2010, en Quito [20] se realizó un estudio

para la obtención de un hormigón celular que tenga características y propiedades adecuadas para sustituir satisfactoriamente a la base y subbase utilizadas tradicionalmente en pavimentos rígidos y flexibles, conformadas con materiales pétreos. Para hallar la dosificación óptima se hizo uso de la tabla denominada "Esfuerzo a la Compresión Típica del Hormigón Celular Utilizando Cemento Portland Tipo I" descrita en la guía ACI 523.3R-93, la cual fue la base para el cálculo de las proporciones para conseguir un hormigón de densidad 960 kg/m^3 en estado fresco y de densidad seca de 800 kg/m^3 y una resistencia a la compresión de 2,36 MPa, valor suficiente para conformar una base.

Para la elaboración de la mezcla se utilizó arena fina de la parroquia San Antonio de Pichincha y se fabricó un agente espumante, elaborado a partir de un tensoactivo (Sulfonato de Alquilbenzeno), un espesante (Carbo Metil Celulosa), y un estabilizante (Poli Vinil Acetato). La Tabla 1 muestra los componentes utilizados para la fabricación de la solución espumógena, mientras que la Tabla 2 muestra la dosificación con las cantidades de materiales utilizadas en la mezcla óptima hallada. Se obtuvo como resultado un hormigón celular de 960 kg/m^3 con una resistencia a la compresión de 2,4 MPa, de tracción indirecta a 0,48 MPa y el CBR a 82 %, para especímenes ensayados a los 28 días, parámetros adecuados para remplazar la base y subbase de una carretera.

Tabla 1: Dosificación para elaboración de espuma.

Espuma para 1 m^3	
Componente	Cantidad (gr/m^3)
Tensoactivo (Sulfonato de Alquilbenzeno)	168
Espesante (Carbo Metil Celulosa)	168
Estabilizante (Poli Vinil Acetato)	9000
Agua	780

Fuente: Tomadas de Mejía[20].

Tabla 2: Dosificación para elaboración de la mezcla para 1 m^3 .

Hormigón celular	
Componente	Cantidad
Cemento (kg)	335
Agua de amasado (kg)	164
Arena (kg)	432,5
Espuma (m^3)	0,570

Fuente: Tomadas de Mejía[20].

Los ensayos del Caso 1 llevaron a la confección de un hormigón celular que cumplió con los estándares

GOST-21520-89 [21] y la norma ACI 523.3R-14 [22] para su uso en bases y subbases de pavimentos. A pesar de que el estudio fue realizado con un espumante de producción propia, no hubo una comparación con otras dosificaciones con espumantes que ya están en el mercado y tienen un control de calidad asegurados por las empresas.

Caso 2

En el año 2016 en Samborondón [10] se hizo un estudio sobre la implementación del hormigón celular en Ecuador mediante la experimentación de varios diseños de mezclas que fueron realizados con distintas dosificaciones con el propósito de hallar la fórmula idónea para que este tipo de hormigón pueda ser utilizado en las construcciones. Los distintos hormigones celulares fueron sometidos a pruebas de consistencia, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, prueba de calor y absorción con el propósito de hallar sus propiedades físicas. Para la elaboración de estos hormigones se utilizó aditivos Eucozell 1000 y Eucozell 200, para cada uno de ellos se hizo varias dosificaciones. Para la primera combinación se utilizó un hormigón convencional y se hizo pruebas agregándole 2 %, 3 %, 4 % y 5 % del aditivo Eucozell 200, mientras que para la segunda combinación se utilizó un mortero convencional y se hizo pruebas agregándole 3 %, 4 % y 5 % del aditivo Eucozell 1000 con el propósito de comparar el comportamiento que tiene el hormigón al ser mezclado con cada uno de estos aditivos y de esta manera poder escoger cuál cumple con la normativa.

Tabla 3: Diseños de dosificaciones con Eucozell 200.

Eucozell 200		
Diseño	Material	Cantidad
	Cemento	50 kg
Diseño 4:	Arena Homg.	150 kg
5 % de espuma	Agua	25,5 lt
	Eucozell 200	2500 gr
	Cemento	50 kg
Diseño 3:	Arena Homg.	150 kg
4 % de espuma	Agua	25,5 lt
	Eucozell 200	2000 gr
	Cemento	50 kg
Diseño 2:	Arena Homg.	150 kg
3 % de espuma	Agua	25,5 lt
	Eucozell 200	1500 gr
	Cemento	50 kg
Diseño 1:	Arena Homg.	150 kg
2 % de espuma	Agua	25,5 lt
	Eucozell 200	1000 gr
	Cemento	50 kg
Mortero	Arena Homg.	150 kg
Convencional	Agua	25,5 lt
	Eucozell 200	0 gr

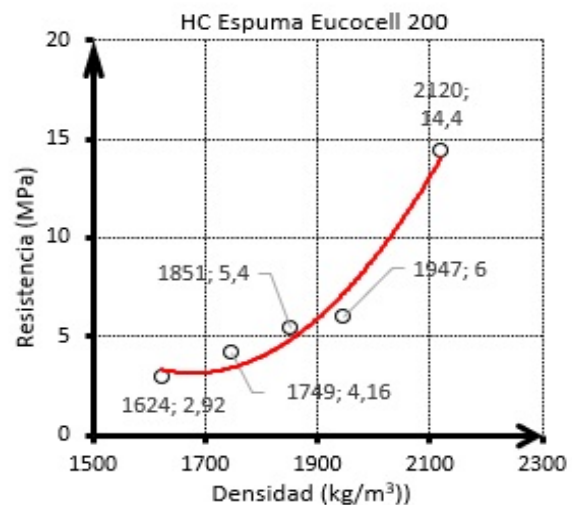
Fuente: Tomadas de Robalino y Galo[10].

Las Tablas 3 y 4 muestran las distintas dosificaciones con Eucozell 200 y Eucozell 1000 ensayadas en el estudio con la proporción de cada material añadido para la elaboración de cada mezcla. Además, después de realizar pruebas preliminares de diseños de hormigones con relaciones 1:2, 1:3 y 1:4 y pruebas de resistencia y cálculo de peso se optó por trabajar con la mezcla 1:3 que fue la adecuada para la elaboración de hormigones celulares por su mejor fluidez y densidad.

Tabla 4: Diseños de dosificaciones con Eucozell 1000.

Eucozell 1000		
Diseño	Material	Cantidad
	Cemento	50 kg
Diseño 3:	Arena Homg.	150 kg
5 % de espuma	Agua	25,5 lt
	Eucozell 1000	2500 gr
	Cemento	50 kg
Diseño 2:	Arena Homg.	150 kg
4 % de espuma	Agua	25,5 lt
	Eucozell 1000	2000 gr
	Cemento	50 kg
Diseño 1:	Arena Homg.	150 kg
3 % de espuma	Agua	25,5 lt
	Eucozell 1000	1500 gr
	Cemento	50 kg
Mortero	Arena Homg.	150 kg
Convencional	Agua	25,5 lt
	Eucozell 1000	0 gr

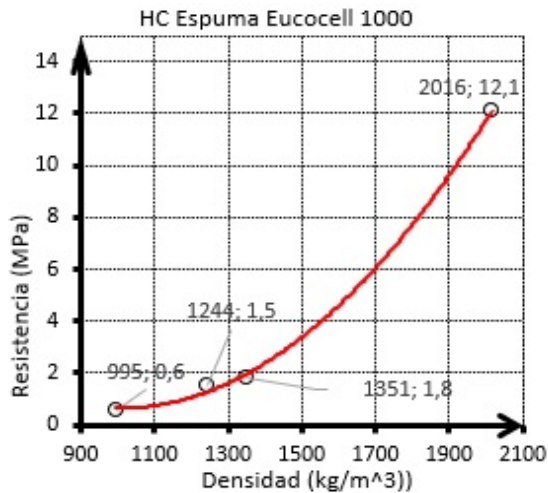
Fuente: Elaboración de autores con base de datos de Robalino y Galo[10].



Fuente: Adaptado de Robalino y Galo[10].

Figura 1: Densidad versus resistencia de mezclas con Eucozell 200.

Las Figuras 1 y 2 muestran las resistencias a la compresión versus la densidad con Eucozell 200 y con Eucozell 1000. Una vez realizados el análisis y sus respectivos ensayos se obtuvo como resultado que el hormigón celular con Eucozell 200 es el que cumplió con las expectativas, ya que las muestras con este aditivo dan mejores resistencias a compresión y flexión que las dosificaciones con Eucozell 1000.



Fuente: Adaptado de Robalino y Galo[10].

Figura 2: Densidad versus resistencia de mezclas con Eucozell 1000.

En este caso se observó que las investigaciones con Eucozell 200 y Eucozell 1000 de hormigones celulares comparadas con la norma rusa GOST-21520-89 y la norma ACI 523.3R-14 no cumplen con las resistencias establecidas para estas densidades. Por lo que se concluye que las investigaciones hechas no cumplieron con los objetivos de obtener hormigones celulares con resistencias estándares.

Caso 3

En el año 2017 en la Universidad de Guayaquil [23] se realizó un estudio sobre el análisis de las propiedades mecánicas del hormigón celular para conocer si este tipo de hormigón puede ser utilizado como base o subbase de una carretera. Según la Norma ACI 211 para pavimentos con un revenimiento de 7 cm máximo se diseña para una resistencia a la compresión de 14 MPa. El hormigón celular fue elaborado con cemento Portland Tipo I incluyendo en su mezcla partículas de poliestireno expandido.

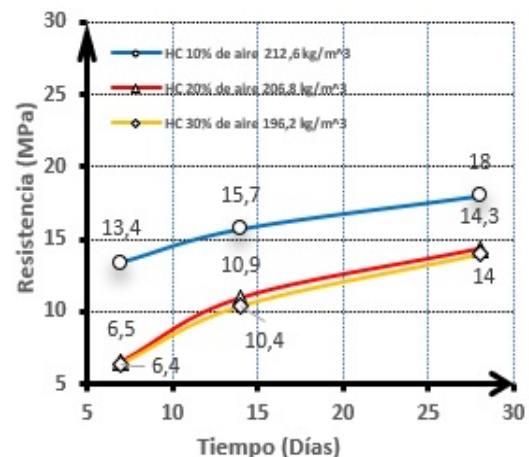
En la Tabla 5 se muestran las dosificaciones para los 3 diferentes diseños de hormigón celular realizados en esta investigación. La norma ACI 523 indica que se puede incluir como mínimo desde el 10% a 30% de aire en el hormigón, para lo cual se utilizó Sika® Poro Plus. Se realizaron dosificaciones con 10%, 20% y 30% de aire. El aditivo Sika® Poro Plus además de actuar como espumante le da mayor fluidez y trabajabilidad a la mezcla.

Tabla 5: Dosificaciones empleadas de los diseños para 1 m³.

Diseño	Material	Cantidad
Hormigón Celular	Cemento(kg)	335
	Arena(kg)	348,5
10%.20%	Agua(lt)	190,8
	Piedra (kg)	398
y 30%	Poliestireno Expandido (kg)	Varía de 68,8 a 100
	Aditivo (gr)	200

Fuente: Elaboración de autores con base de datos de Mairongo[23].

Después de realizar los respectivos ensayos se obtuvo como resultado que el hormigón celular fabricado cumple con todas las propiedades y normas excepto con el CBR establecido en la norma ASSTHO 93 por lo que se concluye que este tipo de hormigón celular no puede ser utilizado para base y subbase de carreteras. Los datos obtenidos de resistencia con respecto al tiempo de los ensayos se muestran en la figura 3.



Fuente: Adaptado con datos de Mairongo[23].

Figura 3: Resistencia a la compresión versus tiempo.

Caso 4

En el año 2019 en Quito [1] se realizó un estudio para diseñar dos tipos de hormigones un hormigón ligero de $f'c=28$ MPa y densidad de 1815 kg/m^3 y un hormigón celular de $f'c=31$ MPa y densidad de 1874 kg/m^3 utilizando agregados de San Antonio, Pifo y Guayllabamba esperando obtener hormigones con densidades inferiores a 1920 kg/m^3 y con resistencias a la compresión a los 28 días de por lo menos 21 MPa. Para mostrar resultados válidos se realizó tres cilindros para cada variable.

Además, se realizó una muestra patrón para cada tipo de hormigón para poder comparar sus propiedades. Es decir se diseñó un hormigón convencional, un hormigón ligero, un hormigón sin espuma y un hormigón celular Para la elaboración del hormigón

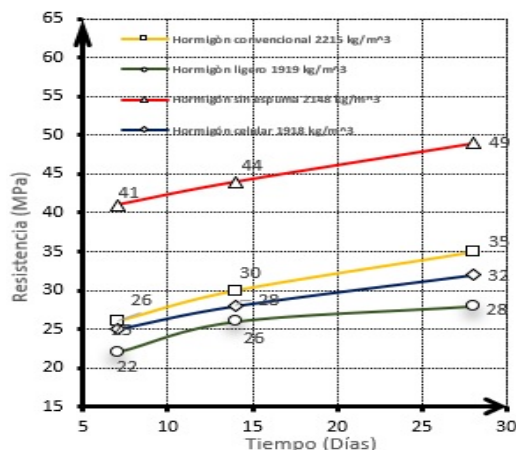
ligero se decidió utilizar el agregado fino de la cantera Pifo y aunque se empezó a diseñar por el método ACI 211.1-91 finalmente se trabajó con el método ACI 211.2-98 debido a que con este se logra cumplir con los requisitos de densidad y resistencia y se incluyó en la mezcla el aditivo Aditec SF-106, con una dosificación al 1 % del peso de cemento, gracias a ello la mezcla presentó mejores condiciones de asentamiento y trabajabilidad, mientras que para el diseño de hormigón celular se empleó un método empírico el cual se basa en establecer el volumen de pasta (cemento + agua) que garantice resistencia y una adecuada fluidez, un valor fijo para la relación agua cemento y partiendo de esto se calculó la cantidad de agua y arena, después de realizar las distintas pruebas de dosificaciones se decidió utilizar el agregado fino de la cantera de Guayllabamba empleando hiperplastificante al 0,8 % del peso del cemento para obtener mayor fluidez. Todas las dosificaciones del Caso 4 se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6: Dosificaciones para 1 m³ de los distintos tipos de hormigones

Diseño	Material	Cantidad
Hormigón Convencional	Cemento (kg)	376,4
	Arena (kg)	1012
	Agua (kg)	241,4
	Ripio(kg)	587,3
Hormigón Ligero	Cemento (kg)	50 kg
	Arena (kg)	150 kg
	Agua (kg)	25,5 lt
	Pómez	25,5 lt
Hormigón sin espuma	Hiperplastificante (kg)	2000 gr
	Cemento (kg)	382,8
	Arena (kg)	1216,2
	Agua (kg)	201
Hormigón celular	Cemento (kg)	417,9
	Arena (kg)	1307,6
	Agua (kg)	197
Hormigón celular	Aditivo Espumante (kg)	0,7
	Hiperplastificante (kg)	2,9

Fuente: Elaboración del autor con base de datos de Caicedo y Tipan[1].

La Figura 4 muestra las resistencias alcanzadas de todos los diseños de hormigón en todas sus edades. Los autores cumplieron con el objetivo planteado de obtener hormigones con densidades menores a 1920 kg/m³ y las resistencias obtenidas fueron mayores a 21 MPa.



Fuente: Adaptado con datos de Caicedo y Tipan[1].

Figura 4: Resistencia a la compresión versus tiempo

A pesar de que los investigadores alcanzaron sus objetivos, el análisis de las tablas de resultados de resistencia a la compresión a los 28 días obtenidos demuestra que la desviación estándar del hormigón celular es de 7,8 que equivale al 2,5 % con respecto al valor promedio, por lo que se considera un excelente trabajo.

Caso 5

En el año 2019, en la Universidad Estatal Península de Santa Elena construyeron una canoa de hormigón celular con la cual ganaron la I competencia nacional de canoas de concreto [24]. La canoa de 5 metros de longitud, 85 centímetros de ancho, 34 centímetros de profundidad en la parte central y con una proa de 55 centímetros de altura fue elaborada con diseño geométrico naval e hidrodinámico, y las medidas de la proa y popa fueron elementos fundamentales para poder cortar la fricción en el agua [25].

El cálculo estructural se realizó en el software SAP 2000. Mientras que para obtener la mezcla óptima para la elaboración de la canoa se realizaron los ensayos previos de varias dosificaciones en el laboratorio (Tabla 7) con el objetivo de poder alcanzar una densidad menor a la del hormigón convencional y que tuviera una resistencia apta para soportar las cargas aplicadas.

Tabla 7: Dosificaciones para diseño de canoa de concreto.

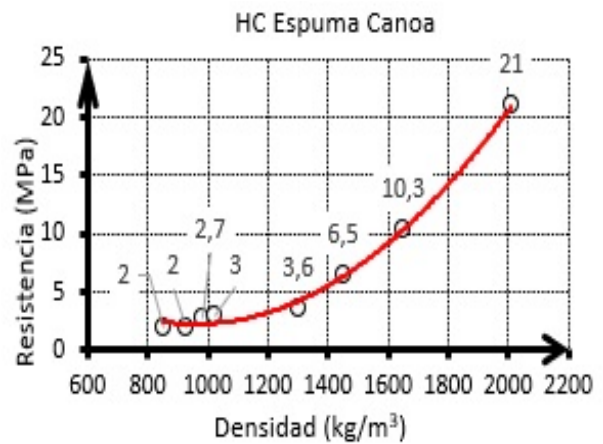
Diseño	Material	Cantidad
D8	Cemento (kg)	375
	Arena (kg)	375
	Agua (kg)	97,5
	Fibra (kg)	22,4
	Espuma (kg)	19,4
	Aditivo plastificante (lt)	3,4
	Aditivo impermeabilizante (lt)	1,4

Diseño	Material	Cantidad
D7	Cemento (kg)	380
	Arena (kg)	380
	Agua (kg)	99
	Fibra (kg)	22
	Espuma (kg)	19,3
	Aditivo plastificante (lt)	3,5
	Aditivo impermeabilizante (lt)	1,4
D6	Cemento (kg)	385
	Arena (kg)	385
	Agua (kg)	100,1
	Fibra (kg)	22,4
	Espuma (kg)	19,1
	Aditivo plastificante (lt)	3,5
	Aditivo impermeabilizante (lt)	1,4
D5	Cemento (kg)	390
	Arena (kg)	390
	Agua (kg)	101
	Fibra (kg)	22
	Espuma (kg)	18,9
	Aditivo plastificante (lt)	3,6
	Aditivo impermeabilizante (lt)	1,5
D4	Cemento(kg)	395
	Arena (kg)	395
	Agua (kg)	102,7
	Fibra (kg)	22,4
	Espuma (kg)	18,8
	Aditivo plastificante (lt)	3,6
	Aditivo impermeabilizante (lt)	1,5
D3	Cemento (kg)	400
	Arena (kg)	400
	Agua (kg)	104
	Fibra (kg)	22
	Espuma (kg)	18,6
	Aditivo plastificante (lt)	3,6
	Aditivo impermeabilizante (lt)	1,5
D2	Cemento (kg)	410
	Arena (kg)	410
	Agua (kg)	107
	Fibra (kg)	22
	Espuma (kg)	18,3
	Aditivo plastificante (lt)	3,7
	Aditivo impermeabilizante (lt)	1,5
D1	Cemento (kg)	420
	Arena (kg)	420
	Agua (kg)	109
	Fibra (kg)	22
	Espuma (kg)	18
	Aditivo plastificante (lt)	3,8
	Aditivo impermeabilizante (lt)	1,6

La mezcla para conseguir un hormigón liviano tipo celular se logró combinando el cemento con fibra de abacá, arena fina de río y microburbujas de aire.

Después de realizar varias combinaciones para hallar

la mezcla exacta y analizar sus propiedades se obtuvo como resultado un hormigón celular de densidad 1300 kg/m^3 con una resistencia a la compresión a los 28 días de 3,6 MPa y una resistencia a la tensión a los 28 días de 0,4 MPa. La tabla 7 muestra las dosificaciones que fueron ensayadas previo a la obtención del producto final [26]. La figura 5 muestra el comportamiento de la resistencia a la compresión que toma cada mezcla de hormigón celular ensayada versus su densidad alcanzada.



Fuente: Adaptado con datos de ACI Espol[26].

Figura 5: Densidad versus resistencia a la compresión.

En este caso el hormigón celular diseñado no cumplió con la norma ACI 523.3R-14, que exige un mínimo de 4,1 MPa para la densidad obtenida. Esto se puede explicar debido a que el hormigón celular está todavía en estado de investigación en el Ecuador y todavía no se conoce los pormenores de su comportamiento.

Caso 6

En el año 2019, en la ciudad La Libertad [19] se realizó el diseño de un sistema estructural sismorresistente de una edificación de dos plantas, utilizando paredes portantes elaboradas a base de paneles prefabricados de hormigón celular, el diseño se realizó mediante el uso del software SAP2000, para el modelado y dimensionamiento se ingresa registros sísmicos de los últimos años en el Ecuador. La estructura podrá ser ubicada en cualquier zona del Ecuador, debido a que fue diseñada para la máxima fuerza de diseño correspondiente a una zona de muy alto peligro sísmico ($Z > 0,5$), en un sitio donde se tiene suelo variable desde medianamente denso a muy denso (Suelo tipo B, C y D). Las dimensiones de la vivienda son 7 metros en la dirección “X-X” y 6,90 metros en la dirección “Y-Y”, la mayor luz es de 3,50 metros entre pilaretes, tiene una losa alivianada de 15 cm como sistema resistente para cargas gravitacionales (carga muerta y carga viva). El sistema resistente para carga sísmica está compuesto por paneles portantes prefabricados de hormigón celular de 0,07 metros de espesor. Después del análisis realizado, se obtiene que el sistema de

muros conformado por paneles de hormigón celular en comparación con un sistema convencional de pórticos de hormigón armado y mampostería de bloques resulta ser más económico en un 31 %, constructivamente viable y óptimo en desempeño sísmico. La Tabla 8 muestra las resistencias a la compresión con las que se trabajó en el software SAP 2000 para cada elemento.

Tabla 8: Resistencias a la compresión

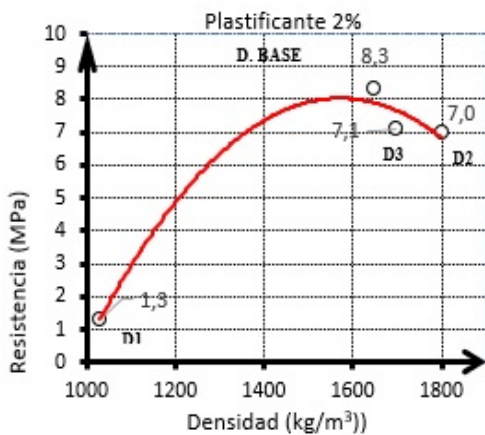
Elementos estructurales	Resistencia a la compresión (f'c) (MPa)
Dinteles, pilaretes, zapatas, riostras y vigas	21
Losa y escalera de hormigón armado	21
Paneles prefabricados de hormigón celular	5

Fuente: Adaptado de Flores y Reyes[19].

Los usos de software son muy valiosos por la velocidad de cálculo, pero deben de ser acompañados de la componente experimental con el fin de dar una conclusión más real. Es importante comprender que, el hormigón celular tiene pequeños poros que aumenta los esfuerzos y pueden llevar al colapso de las estructuras debido a que los poros son concentradores de esfuerzos.

Caso 7

En el 2020 en el cantón La Libertad [27] se realizó un estudio basado en el diseño de un sistema estructural para losas de piso alivianadas, empleando losetas de hormigón celular. Después de realizar pruebas empíricas de plastificación que son pequeños volúmenes de hormigón con diferentes relaciones agua cemento y aditivo plastificante, se trabajó con una relación a/c de 0,4 con 2% de aditivo plastificante (ver Tabla 9). La Figura 6 muestra las densidades versus las resistencias a la compresión de las cuatro dosificaciones ensayadas en este estudio.



Fuente: Adaptado con datos de Cevallos y Gonzabay[27].

Figura 6: Densidad versus resistencia a la compresión.

Para el estudio se construyó y ensayó a cargas

elásticas una viga a escala real sobre un sistema de apoyos de plintos; el elemento se ensayó a flexión pura para obtener sus propiedades mecánicas, también se realizó ensayos de laboratorio para hallar una composición óptima del hormigón celular. Para esto, se realizaron cuatro dosificaciones diferentes, variando ciertos parámetros que permitan determinar una dosificación óptima de hormigón celular. Una vez realizados los ensayos se obtuvo como resultado que el diseño estructural, las losetas y nervios cumplen los requisitos de resistencia a flexión, cortante, efecto de retracción y temperatura, deflexiones instantáneas y a largo plazo, longitud de desarrollo, recubrimiento y ganchos a cargas elásticas. El peso de las losetas diseñadas es de 83 kg, sus dimensiones son cortas con el propósito de prevenir el agrietamiento. En la tabla 9 se presentan las dosificaciones ensayadas en el estudio previo al producto final.

Tabla 9: Dosificaciones para 1m³ de hormigón celular.

Diseño	Material	Cantidad
Dosificación	Cemento	32,7 kg
	Arena	32,7 kg
	Plastificante 2%	0 ml
Base	Agua	14,7 lt
	a/c ingresada	0,5
	a/c final con espuma	0,5
D1	Cemento	14,9 kg
	Arena	14,9 kg
	Plastificante 2%	271,2 ml
	Agua	0,6 lt
	a/c ingresada	0,4
	a/c final con espuma	0,5
D3	Cemento	21,5 kg
	Arena	21,5 kg
	Plastificante 2%	391 ml
	Agua	8,6 lt
D3	a/c ingresada	0,4
	a/c final con espuma	0,5
	Cemento (kg)	23,4 kg
	Arena (kg)	23,4 kg
	Plastificante 2%	426 ml
	Agua	9,4 lt
D3	a/c ingresada	0,4
	a/c final con espuma	0,4

Fuente: Adaptado de Cevallos y Gonzabay[27].

Con el diseño de hormigón celular de densidad de 1 650 kg/m³ con resistencia a la compresión de 8,3 MPa sin plastificante se fabricaron losetas de 1,0x0,1x0,5 cm para los ensayos. Este estudio sobre hormigón celular

cumple con la norma ACI 523.3R-14, que exige un mínimo de 8,3 MPa para la densidad obtenida. A pesar de que los autores recomiendan su uso en proyectos de construcción, todo experimento tiene que ser repetitivo y mantener una consistencia en el tiempo, por lo que se recomienda seguir haciendo otros experimentos con las dosificaciones propuestas.

Caso 8

Otro ejemplo, en la ciudad La Libertad, en el año 2021 [28] se realizó un estudio sobre el diseño de un hormigón celular, el cual estuvo basado en la norma ACI 523.3R-14, y tomando como base la cerámica cocida como agregado, la cual actuó como remplazo de la arena con el propósito de que el hormigón celular no baje su resistencia y también se utilizó el espumante RV-2020 como agente expansor en la mezcla con el objetivo de que el hormigón alcance una densidad baja.

Para este estudio se analizaron las propiedades del agregado de acuerdo con las normas NTE-INEN, ASTM; y se evaluó el hormigón celular en estado fresco y endurecido. Para la experimentación se elaboraron cuatro diseños, dos diseños con arena como muestra patrón para densidades aparentes de 1 200 kg/m^3 y 1 440 kg/m^3 y dos diseños con cerámica cocida para densidades aparentes de 1200 kg/m^3 y 1440 kg/m^3 respectivamente (ver Tabla 10).

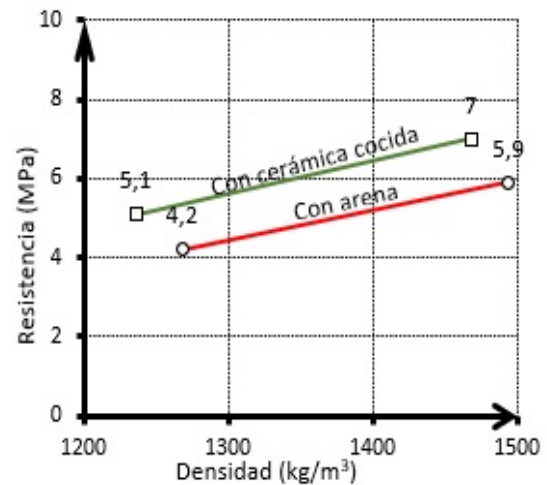
Tabla 10: Diseño de dosificaciones para 0,034 m^3

Diseño	Material	Cantidad
Muestra patrón elaborado con arena =1200 kg/m^3	Cemento	13,4 kg
	Agua	5,2 kg
	Arena	25,7 kg
	Cerámica Cocida	0 Kg
	Aditivo	0,1 lt
	Espuma	1 kg
Muestra Elaborada con cerámica cocida =1200 kg/m^3	Cemento	13,6 kg
	Agua	5,2 kg
	Arena	0 kg
	Cerámica Cocida	21,6 kg
	Aditivo	0,1 lt
	Espuma	0,8 kg
Muestra patrón elaborado con arena =1440 kg/m^3	Cemento	13,2 kg
	Agua	4,9 kg
	Arena	34,5 kg
	Cerámica Cocida	0 kg
	Aditivo	0,1 lt
	Espuma	0,9 kg
Muestra elaborado con cerámica cocida =1440 kg/m^3	Cemento	13,3 kg
	Agua	4,9 kg
	Arena	0 kg
	Cerámica Cocida	30,6 kg
	Aditivo	0,1 lt
	Espuma	0,698 kg

Fuente: Adaptado de Gomez y Mora[28].

Después de analizar los comportamientos de cada

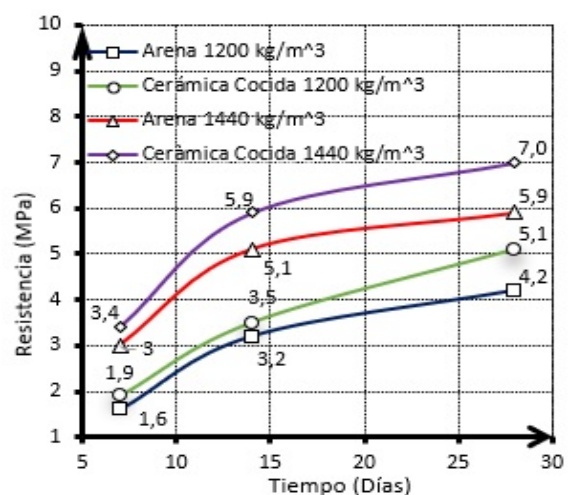
diseño se llegó a la conclusión que el hormigón celular que cumplió con el objetivo planteado de obtener una densidad aparente en estado endurecido menor a 2400 kg/m^3 y con una resistencia a la compresión mayor a 6,5 MPa fue la mezcla elaborada con cerámica cocida diseñada para una densidad aparente de 1440 kg/m^3 , ya que con este diseño de mezcla se obtuvo como resultado final un hormigón celular de densidad en estado endurecido de 1468 kg/m^3 con una resistencia a la compresión de 7 MPa a los 28 días.



Fuente: Adaptado con datos de Gomez y Mora[28].

Figura 7: Densidad versus resistencia a la compresión.

La Figura 7 muestra la resistencia a la compresión versus la densidad del hormigón celular con arena y con cerámica cocida para el caso 8, mientras que la Figura 8 muestra la curva resistencia a la compresión versus tiempo para cada uno de los cuatro diseños.



Fuente: Adaptado con datos de Gomez y Mora[28].

Figura 8: Resistencia a compresión versus tiempo.

En este caso el diseño escogido no cumple con la norma ACI 523.3R-14, debido a que la resistencia obtenida en

el diseño fue de 7 MPa y el valor mínimo que exige la norma para este tipo de densidades es de 7,6 MPa. Se puede atribuir la ganancia en resistencia al aumento en las densidades de la arena y de la cerámica cocida. Como en el caso anterior, es necesario realizar más ensayos con el propósito de ver la repetitividad de los ensayos en las mismas condiciones.

Caso 9

En el 2021, en la ciudad de Quito - Ecuador [29] se realizó una propuesta de dosificación para hormigón celular para lo cual se elaboraron 10 cilindros utilizando diferentes porcentajes de polvo de aluminio (0,10 %, 0,15 %, 0,20 %, 0,30 % y 0,40 %) respecto al cemento. Para este estudio se realizaron ensayos de compresión simple (ASTM C39, 2018), tracción indirecta (ASTM C496, 2017) y permeabilidad (UNE EN 12390-8, 2004) con el objetivo de comparar el comportamiento de cada dosificación.

Una vez realizados los respectivos ensayos, se obtuvo que las muestras con polvo de aluminio tenían menor resistencia a la compresión que la muestra de control, mientras que el ensayo a la tracción indirecta mostró que las probetas con dosificaciones con polvo de aluminio tienen resistencias similares entre sí, con diferencias menores a 15 %, mientras que la muestra de control presentó una resistencia alta, aproximadamente el 50% de las muestras con polvo de aluminio; finalmente, el ensayo de permeabilidad demostró que conforme aumenta el porcentaje de polvo de aluminio en la mezcla, aumenta la absorción de agua en el hormigón celular.

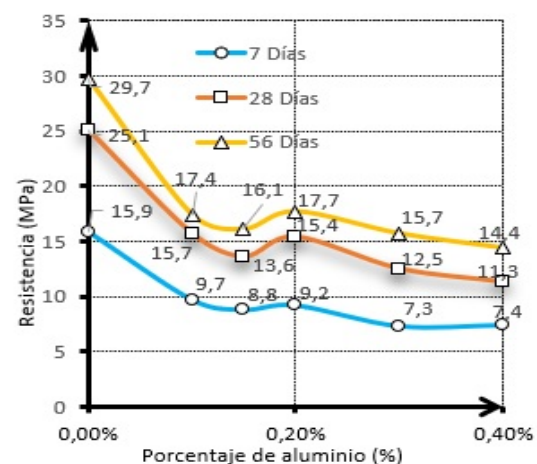
Se concluyó que, este tipo de dosificación para elaboración de un hormigón celular disminuye la resistencia a la compresión y tracción indirecta y no se recomienda utilizarlo en elementos estructurales como: cimientos, losas, vigas y columnas sin un análisis previo. No obstante, el hormigón con porcentajes de 0,10 %, 0,15 % y 0,20 % de polvo de aluminio puede ser utilizado como mampostería, bloques RETAK, pisos rígidos, divisiones y entrepisos, mientras que el hormigón con porcentajes de polvo de aluminio de 0,30 % y 0,40 % puede ser utilizado para revestimiento de mampostería por su aislamiento térmico y acústico.

La Tabla 11 muestra la dosificación base y las cuatro dosificaciones ensayadas con distintos porcentajes de aluminio agregados en cada mezcla, mientras que la Figura 9 muestra las curvas de resistencias a la compresión con los distintos porcentajes de aluminio para 7, 28 y 56 días y la Figura 10 muestra la resistencia a la compresión versus el tiempo. La Tabla 11 muestra las dosificaciones con las proporciones exactas de los materiales utilizados para la elaboración de los diez cilindros con todos los porcentajes de polvo de aluminio que fueron analizados.

Tabla 11: Dosificaciones para los distintos porcentajes de aluminio

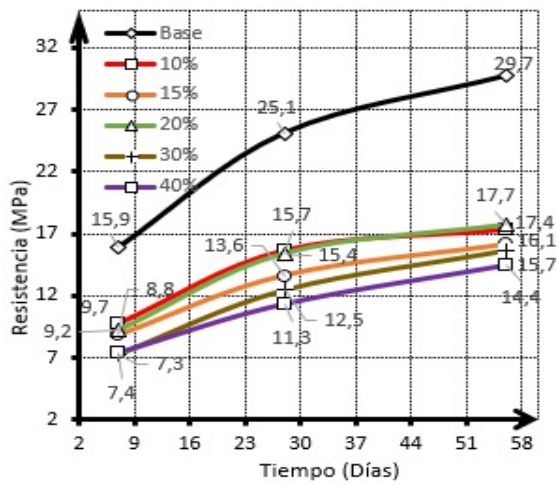
Diseño	Material	Cantidad
D5 0,40 % de aluminio	Agua (kg)	4,6
	Cemento (kg)	7,5
	Arena (kg)	16,1
	Ripio (kg)	17,8
	Aluminio (gr)	0,030
D4 0,30 % de aluminio	Agua (kg)	4,6
	Cemento (kg)	7,5
	Arena (kg)	16,1
	Ripio (kg)	17,8
	Aluminio (gr)	0,023
D3 0,20 % de aluminio	Agua (kg)	4,6
	Cemento (kg)	7,5
	Arena (kg)	16,1
	Ripio (kg)	17,8
	Aluminio (gr)	0,015
D2 0,15 % de aluminio	Agua (kg)	4,64
	Cemento (kg)	7,51
	Arena (kg)	16,11
	Ripio (kg)	17,82
	Aluminio (gr)	0,011
D1 0,10 % de aluminio	Agua (kg)	4,64
	Cemento (kg)	7,51
	Arena (kg)	16,11
	Ripio (kg)	17,82
	Aluminio (gr)	0,008
Dosificación base	Agua (kg)	4,64
	Cemento (kg)	7,52
	Arena (kg)	16,11
	Ripio (kg)	17,82
	Aluminio (gr)	0

Fuente: Datos tomados de Ramos[29].



Fuente: Tomado de Ramos[29]

Figura 9: Resistencia a la compresión versus porcentajes de aluminio.



Fuente: Adaptado con datos de Ramos[29].

Figura 10: Curvas de resistencia a la compresión versus tiempo.

De la Figura 9 se deduce que la inclusión de aluminio reduce la resistencia del hormigón celular, aunque las resistencias obtenidas son altas. El coeficiente de expansión que obtuvieron no fue muy alto, por lo que sus densidades, aunque no se mencionan en la obra, se deduce de la norma ACI 523.3R-14 son de alrededor $1900-2000 \text{ Kg/m}^3$.

Aunque para alivianamiento de hormigones se usa polvo aluminio, su comportamiento en nuestro medio no está bien definido por lo que en esta área se necesita más investigación. De la Figura 10 se puede deducir que la inclusión de poros reduce en un 40-50% la resistencia a la compresión para este tipo de hormigones celulares elaborados con polvo de aluminio.

Caso 10

En el año 2021 en la Universidad Técnica de Machala [30] se diseñó de un hormigón celular (Tabla 13) utilizando áridos de la cantera del río Jubones con el objetivo de conocer sus características y propiedades. Para este diseño se utilizó el espumante Sika Aer® que tiene como base colofonia (resina de pino). La mezcla fue realizada siguiendo la normativa ASTM C 138.

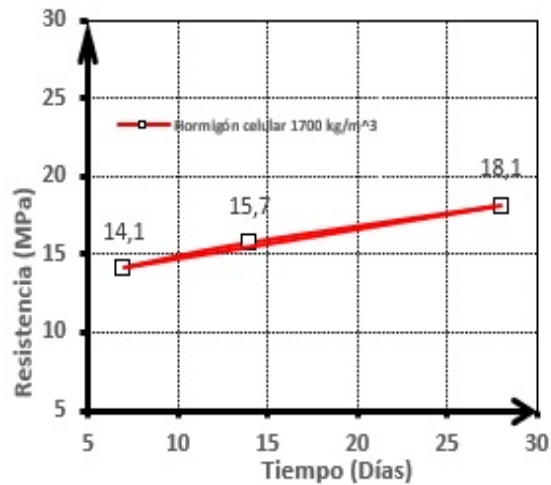
Tabla 12: Dosificación final del diseño de hormigón celular para 1m^3

Diseño	Material	Cantidad
D5	Cemento (kg)	507
	Arena(kg)	1014
0,40% de	Agua (lt)	274,1
	Espuma (lt)	461,4

Fuente: Datos tomados de Conza[30]

Como resultado se obtuvo un hormigón celular de densidad de 1700 kg/m^3 y con una resistencia a

la compresión de 18 MPa, características que son suficientes para ser considerado un hormigón celular.



Fuente: Adaptado con datos de Conza[30].

Figura 11: Curvas de resistencia a la compresión versus tiempo.

Este estudio muestra resultados que cumplió con los objetivos de obtener hormigones celulares con densidades menores a 1800 Kg/m^3 y resistencia a la compresión de 18 MPa. Este estudio a pesar de que no es profundo muestra resultados positivos y se puede usar en alguna aplicación de construcción. La Figura 11 muestra que la resistencia fue muy rápida los primeros 7 días y después de estos no tiene mucha variación, solo un 22% respecto a la resistencia final alcanzada, lo que indica que posiblemente se usó un acelerante, el cual no se menciona en este trabajo.

Compañías que dan servicio de hormigón celular *in situ*.

TEC247 S.A.: Tecnología en construcción es una compañía dedicada a la innovación tecnológica en la construcción en Ecuador. Actualmente, TEC247 trabaja activamente en la tecnología del hormigón celular o alivianado, y el uso de aditivos de BASF en hormigones. Han fabricado hormigones especiales con resistencias desde 14 MPa hasta 35 MPa y densidades desde 1400 Kg/m^3 hasta 1800 Kg/m^3 respectivamente [31]. La empresa SIKA [32], distribuye Sika® poro plus que es un agente espumante que permite fabricar hormigones celulares desde 1500 Kg/m^3 hasta 1800 Kg/m^3 .

4. Conclusiones

Para el análisis se ha tomado en cuenta los siguientes parámetros: Número investigaciones por institución, Cumplimiento de normas de diseño de hormigón celular (norma rusa GOST-21520-89 y la norma ACI 523.3R-14), Método de inclusión de poros, Compañías relacionadas con la elaboración de hormigón celular.

Número investigaciones por institución

En la Tabla 13 se agrupó las diferentes investigaciones llevadas a cabo por universidades ecuatorianas y muestra la cantidad de estudios realizados en cada institución de educación superior. Los estudios todavía están a nivel de tesis de pregrado, lo que indica lo incipiente que todavía se encuentran las investigaciones en el Ecuador en esta área. La mayor parte de los estudios analizados (40% de los casos analizados) sobre el hormigón celular en los últimos 12 años se han realizado en la Universidad Estatal Península de Santa Elena y actualmente se siguen realizando más investigaciones sobre el tema.

Tabla 13: Número de estudios realizados por universidad.

Universidad	Estudio	Cantidad
Pontificia Universidad Católica del Ecuador	Utilización de hormigón celular como base y subbase en la construcción de carreteras.	1
Universidad de Especialidades Espíritu Santo	Implementación del mortero celular en el Ecuador.	1
Universidad de Guayaquil.	Análisis de las propiedades mecánicas del hormigón celular como base y subbase en la construcción de calles urbanas.	1
Universidad Central del Ecuador	Propiedades mecánicas del hormigón estructural ligero y celular, utilizando materiales de diferentes canteras en la ciudad de Quito.	507
	Competencia nacional de canoas de concreto.	
Universidad Estatal Península de Santa Elena	Diseño de un sistema estructural para vivienda de interés social usando la metodología de paredes portantes con mortero celular.	4
	Diseño de un sistema estructural para losas de piso empleando losetas de mortero celular.	
	Diseño de hormigón celular en base a espumante RV-2020 y cerámica cocida.	
Escuela Politécnica Nacional	Propuesta de dosificación para hormigón celular utilizando polvo de aluminio en diferentes fracciones de peso respecto al cemento y su influencia en las propiedades mecánicas del hormigón.	1
Universidad Técnica de Machala	Diseño de hormigón celular de baja densidad, utilizando áridos de la cantera del río Jubones. Analizar sus propiedades y aplicaciones.	1

Cumplimiento de las normas de diseño de hormigón celular (norma rusa GOST-21520-89 y la norma ACI 523.3R-14)

En la Tabla 14 se muestra el análisis de los estudios positivos y negativos para la aceptación de un hormigón celular tomando en cuenta su densidad y resistencia a la compresión según norma rusa

GOST-21520-89 y la norma ACI 523.3R-14

Tabla 14: Comparación de resultados de densidad versus resistencia a la compresión

Nº de caso	Densidad alcanzada (kg/m^3)	Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa)	Resultado
1	960	2,4	Cumple
2	2120	14,4	No cumple
3	212	18	Cumple
4	1918	32	Cumple
5	1300	3,6	No cumple
6		5	Diseño en SAP
7	1650	8,3	Cumple
8	1468	7	No cumple
9	2000	29,7	Cumple
10	1700	18,1	Cumple

De la Tabla 14 se observa que 6 casos de 10 cumplen con las normas de diseño. Aunque los autores recomiendan una dosificación para su uso, es necesario la repetición de estos ensayos para comprobar la validez en cada caso y puedan ser usados en las construcciones en el futuro, también muestra que en el país se han obtenido hormigones celulares de densidades desde $212 kg/m^3$ hasta $2120 kg/m^3$ con resistencias a la compresión de hasta 32 MPa.

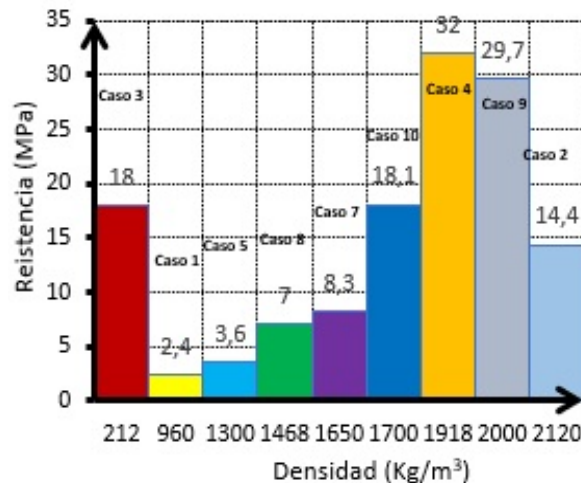


Figura 12: Resultados de resistencia a la compresión de los casos analizados.

La Figura 12 muestra en los casos ordenados, según su densidad. Este gráfico muestra las inconsistencias en los trabajos hechos con el hormigón celular. El Caso 3 y el Caso 10 tienen igual resistencia, pero mucha diferencia en sus densidades que es atribuida a los materiales usados en sus fabricaciones.

El Caso 10 y el Caso 2 también muestran inconsistencias en sus densidades, puesto que a

mayor resistencia mayor densidad lo que puede ser atribuido a formación de burbujas muy grandes en la mezcla, lo que conlleva a la formación de esfuerzos mayores que los que puede soportar el hormigón celular.

Método de inclusión de poros

Se han creado hormigones celulares utilizando agentes espumantes como se muestra en los casos 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8 y 10 y polvo de aluminio como se muestra en el Caso 9, pero no se mencionan en sus resultados metodologías confiables de fabricación para su aplicación en la construcción.

Tabla 15: Métodos de fabricación del Hormigón Celular

Caso	Método empleado para elaboración de hormigón celular
1	Espumante casero
2	Eucocell 200 y Eucocell 1000
3	Sika® Poro Plus
4	Espumante casero
5	RV 2020
7	RV 2020
8	RV 2020
9	Polvo de aluminio
10	Sika AER

La Tabla 15 muestra que la forma más idónea para el alivianamiento de los hormigones son los espumantes con base a tensoactivos, debido a la facilidad de su obtención y los buenos resultados que se obtienen.

En la UPSE se fabricó un equipo para generar espuma y se desarrolló un espumante (RV-2020), el cual está en experimentación. En los casos de espumante casero no se mencionan los componentes utilizados para su elaboración, pero se puede deducir que utilizaron espumantes con tensoactivos.

Compañías relacionadas con la elaboración de hormigón celular

Existen compañías que están experimentando con el hormigón celular en el Ecuador, como: TEC247 S.A. y SIKA ECUADOR, así también HOLCIM, las cuales tienen en sus instalaciones equipos para la fabricación de hormigón celular.

Solo una compañía (TEC247 S.A.) ofrece los servicios de hormigón celular para bajar el peso de las estructuras y así ahorrar en hierro estructural según se menciona en sus páginas. La Empresa SIKA ECUADOR distribuye espumantes para la elaboración de hormigón celular como son Sika® Lightcrete y Sika® Poro Plus.

HOLCIM, a pesar de que no ofrece servicios de hormigón celular, ayuda a las universidades en las investigaciones de hormigón celular, pues posee

equipo de producción de espuma para la fabricación de este.

El 40% de los estudios se han realizado en investigaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, pero no todas las universidades del Ecuador han mostrado interés por el tema. El 60% de los estudios realizados sí cumplen con las normas de fabricación de hormigón celular, pero se necesita de equipos y espumantes certificados para su fabricación y aplicación este en la construcción. A pesar de que ya existen marcas de espumantes en el mercado, estas no tienen un manual de uso para la fabricación de hormigón celular.

No existen empresas dedicadas a la fabricación de hormigón celular de principio a fin, es decir desde su diseño hasta puesta en sitio. Unas empresas se dedican a la venta de espumantes, otros a investigación.

Debido a que el material es relativamente nuevo en el país, los trabajos de investigación todavía mantienen inconsistencias en sus resultados, por lo es necesario aumentar el número de experimentos en esta área. No se ha aprovechado la materia prima para la fabricación de hormigones celulares con productos nacionales, puesto que existen variedades de tensoactivos naturales para producir espumantes de buena calidad como son el jaboncillo (*Sápidas saponaria*) y el barbasco (*Lonchocarpus utilis*).

5. Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la UPSE, mediante la asignación de tiempo para la elaboración de este artículo.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses para la elaboración del presente texto.

Financiamiento

Los autores declaran que este trabajo fue financiado con recursos del proyecto “El hormigón celular, una alternativa para reducir el peso de las construcciones”.

6. Referencias

1. CAICEDO BARONA, Wilson Andres y TIPÁN QUINATO, Flavio Medardo. *Propiedades mecánicas del hormigón estructural ligero y celular, utilizando materiales de diferentes canteras en la ciudad de Quito*. Universidad Central del Ecuador [En línea]. 2019, pág. 243. Quito, Ecuador. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18703>.

2. LINA, Chica y ALBERT, Alzate. *Cellular concrete review: New trends for application in construction. Construction and building materials* [En línea]. 2019, vol. 200, págs. 637-647. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.136>.
3. NI MI - WAY, Frank; OYEYI, Abimbola Grace y TIGUE, Susan. *The potential use of lightweight cellular concrete in pavement application: a review. International Journal of Pavement Research and Technology* [En línea]. 2021, vol. 13, n.º 1, págs. 686-696. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s42947-020-6003-8>.
4. B. K., DZHAMUEV. *Increasing the Solidity of Masonry Walls Made of Cellular Concrete Blocks of Autoclave Hardening by using Polyurethane Foam Adhesiv Composition as a Masonry Solution. Journal of Physics: Conference Series*. [En línea]. 2020, vol. 1655. Indonesia. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1655/1/012085>.
5. CHOCCELAHUA MONGE, Jhon Alex y COVEÑAS YOVERA, Carmen Rosa. *Influencia del poliestireno expandido de un concreto celular en la utilización de elementos estructurales. Universidad César Vallejo*. [En línea]. 2020, vol. 2110, pág. 61. Lima, Peru. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/56853>.
6. ARBITO CONTRERAS, Gerardo Vicente. *Concreto celular para uso estructural. Universidad de Cuenca*. [En línea]. 2016. Cuenca, Ecuador. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25669/1/Tesis.pdf>.
7. ORTIZ DE ZÁRATE, Rodrigo. *Análisis y clasificación de ladrillos de hormigón celular a través de imágenes. Red de Universidades con Carreras en Informática. Memorias del Congreso Argentino en Ciencias de la Computación*. 2021, págs. 210-219.
8. CÓRDOVA FLORES, Marvin Agustin y FLORES ROQUE, Jadick David. *Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto celular para optimizar el diseño utilizando aditivo espumante y polvo de aluminio. Universidad César Vallejo*. [En línea]. 2021. Lima, Peru. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/66841/Cordova_FMA-Flores_RJD-SD.pdf.
9. REGALADO GONZÁLEZ, Jensi y DE LA CRUZ HERNÁNDEZ, Danni. *Sistema constructivo basado en hormigón celular y estudio comparativo con el sistemas de hormigón tradicional. Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña*. [En línea]. 2015, pág. 81. Santo Domingo, Republica Domenicada. Disponible en: <https://repositorio.unphu.edu.do/handle/123456789/904>.
10. TERREROS, Carmen y ROBALINO VILLAGOMEZ, Galo Humberto. *Implementación del mortero celular en el Ecuador. Univesidad de especialidades Espíritu Santo*. [En línea]. 2016, pág. 114. Samborondón, Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.uees.edu.ec/handle/123456789/478>.
11. BOZENA ORLIK, Kozdon. *Polystyrene Waste in Panels for Thermal Retrofitting of Historical Buildings: Experimental Study. Energies*. [En línea]. 2021. Silecia, España.
12. PÉREZ, Alba Font; MONZÓ BALBUENA, José María; SORIANO MARTÍNEZ, Lourdes; BORRACHERO ROSADO, María Victoria y PAYÁ BERNABEU, Jordi. *Nuevos hormigones celulares geopoliméricos aireados con agua oxigenada: síntesis y propiedades. Universidad Politécnica de Valencia*. [En línea]. 2018. Valencia, España. Disponible en: <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/HAC-BAC/HAC2018/paper/viewFile/6453/3330>.
13. HUERTAS COBOS, Nardy Gisela. *Diseño de mezcla de un concreto celular de baja densidad utilizando residuos de cantera. Universidad Piloto de Colombia*. [En línea]. 2021, vol. 387, pág. 72. Girardot, Colombia.

- Disponible en: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/10084>.
14. RENGÍFO CUENCA, Maria Cristina y YUPANGUI CUSHICONDOR, Ruth Veronica. *Estudio del hormigón celular. Escuela Politécnica Nacional*. [En línea]. 2013, pág. 225. Quito, Ecuador. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6841>.
 15. PEÑA STERLING, Cecilia Italia y ZAMBRANO GARCÍA, Fulton Fabricio. *Hormigón Celular con la utilización de materiales locales. Repositorio de Escuela Superior Politécnica del Litoral(Espol)* [En línea]. 2001, pág. 52. Guayaquil, Ecuador. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/3310>.
 16. OGINNI, Felix y SAMUEL, John. *Some Engineering Properties of Foamed Concrete for Sustainable Technological Development. European Journal of Engineering and Technology Research* [En línea]. 2021, vol. 6, n.º 3, págs. 58-62. Nigeria. Disponible en: <https://doi.org/10.24018/ejeng.2021.6.3.2396>.
 17. CELCON. *Tecnología sustentable. Hormigón Celular*. [En línea]. 2015. Santiago, Chile. Disponible en: <https://www.celcon.cl/wp-content/uploads/2015/10/CatalogoCELCON.pdf>.
 18. LUNDYSHEV, I A. *History of work with monolithic foam concrete in housing construction. Solutions, problems and features. ZHILISHCHNOYE STROITELSTVO* [En línea]. 2014, vol. 5, págs. 67-71. St. Petersburg, Rusia. UDC 691 327 333. Disponible en: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-raboty-s-monolitnym-penobetonom-v-zhilishchnom-stroitelstve-resheniya-problemy-i-osobennosti/viewer>.
 19. FLORES CONSTANTE, Jaime David y REYES VERA, Flanklin Wladimir. *Diseño de un sistema estructural para vivienda de interés social usando la metodología de paredes portantes con mortero celular. Universidad Estatal Peninsula de Santa Elena* [En línea]. 2020, vol. 5, pág. 142. La Libertad, Ecuador. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5312>.
 20. MEJÍA ESPINOSA, Luis Ramiro. *Utilización de hormigón celular como base y subbase en la construcción de carreteras. Pontificia Universidad Católica del Ecuador* [En línea]. 2010, pág. 222. Quito, Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/2711>.
 21. GOST. *GOST-25485-2019 General technical specifications. INC. PUBLISHING STANDARDS* [En línea]. 1990. Moscow, Rusia. UDC 691.327.33. Disponible en: https://www.sts54.ru/svoystva-gazobetona/GOST_25485-2019.pdf.
 22. INSTITUTE, AMERICAN CONCRET. *Guide for Cellular Concretes above 50 lb/ft3 (800 kg/m3)*. [En línea]. Farmington Hills : ACI, 2014.
 23. MAIRONGO SÁNCHEZ, Yesenia Karina. *Análisis de las propiedades mecánicas del hormigón celular como base y subbase en la construcción de calles urbanas. Universidad de Guayaquil*. [En línea]. 2018. Guayaquil, Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/35925>.
 24. EL OFICIAL. *UPSE ganó primer competencia nacional de canoas de concreto*. 2019. Disponible en: <https://eloficial.ec/upse-gano-primer-competencia-nacional-de-canoas-de-concreto/>.
 25. DIARIO EXPRESO. *Una canoa de concreto de Santa Elena flota en el lago de la Espol*. Vol. 16715. 11 de abril de 2019. Disponible en: https://www.espol.edu.ec/sites/default/files/docs_escribe/Una%20canoa%20de%20concreto%20de%20Santa%20Elena%20flota%20en%20el%20lago%20de%20la%20ESPOL.pdf.
 26. ACI ESPOL. *ESPOL, sede de Primera Competencia de canoas de concreto*.

- Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)*. 2019. Guayaquil, Ecuador. Disponible en: <http://noticias.espol.edu.ec/article/espol-sede-de-primer-competencia-de-canoas-de-concreto>.
27. CEVALLOS MACÍAS, Ariel Ernesro y GONZABAY ASECIO, Manuel Orlando. *Diseño de un sistema estructural para losas de piso empleando losetas de mortero celular*. Universidad Estatal Península de Santa Elena [En línea]. 2020. La Libertad, Ecuador. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5364>.
 28. GÓMEZ DEL PEZO, Rogelio Santiago y MORA FIGUEROA, Jairo Alexi. *Diseño de hormigón celular en base a espumante RV-2020 y cerámica cocida*. Universidad Estatal Península de Santa Elena [En línea]. 2021, pág. 156. La Libertad, Ecuador. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6942>.
 29. RAMOS RIVERA, Kleber Patricio. *Propuesta de dosificación para hormigón celular utilizando polvo de aluminio en diferentes fracciones de peso respecto al cemento y su influencia en las propiedades mecánicas del hormigón*. Escuela Politécnica Nacional [En línea]. 2021. Quito, Ecuador. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21561>.
 30. CONZA LUZON, Henry Junior. *Diseño de hormigón celular de baja densidad, utilizando áridos de la cantera del río Jubones. Analizar sus propiedades y aplicaciones*. Universidad Técnica de Machala. [En línea]. 2021. Machala, Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17803/1/ECFIC-2021-IC-DE00027.pdf>.
 31. TEC 247 S.A. *Herramientas para la construcción del siglo XXI* [En línea]. [s.f.]. Disponible en: <http://www.tecnologia247.com>.
 32. SIKA ECUADOR. *Sika poro plus*. [En línea]. 2019. Disponible en: https://ecu.sika.com/dms/getdocument.get/0008111d-074f-4907-ae9f-78867cf5863d/sika_poro_plus.pdf.



Artículo de **libre acceso** bajo los términos de una **Licencia Creative Commons Reconocimiento – NoComercial – CompartirIgual 4.0 Internacional**. Se permite, sin restricciones, el uso, distribución, traducción y reproducción del documento, siempre y cuando se realice sin fines comerciales y estén debidamente citados bajo la misma licencia.