

DISEÑO DE BLOQUES DE HORMIGÓN CELULAR APLICADO A MUROS DE TABIQUERÍA EN INFRAESTRUCTURAS DEL GRUPO DE ARTILLERÍA Y DEFENSA ANTIAÉREA 91 EN LA CIUDAD DE EL ALTO

DESIGN OF CELLULAR CONCRETE BLOCKS APPLIED TO PARTITION WALLS IN INFRASTRUCTURES OF THE ARTILLERY AND AIR DEFENSE GROUP 91 IN THE CITY OF EL ALTO

T.S. Rolando Poma Ticona ^{1*}[§]

Recibido: Noviembre 18, 2022; Aceptado: Marzo 23, 2023

RESUMEN

El uso del hormigón celular en Latinoamérica resalta mayormente en Brasil, Chile y México, países en los que tanto el hormigón celular con polvo de aluminio y el hormigón celular a base de aditivo espumante ya son popularmente utilizados.

En el presente proyecto se desarrolló un hormigón celular con espuma aplicado a tabiquería para infraestructura militar en el Grupo de Artillería y Defensa Antiaérea 91, con el fin de encontrar una dosificación óptima que cumpla con los requerimientos establecidos Norma Boliviana NB 1220035 (Bloques de Hormigón para Mampostería Requisitos), en cuanto a las propiedades físicas y mecánicas. Se estudió la competencia de este material para ser utilizado en la fabricación de bloques prefabricados como alternativa para la construcción de muros no portantes. En la preparación y elaboración de las muestras destinadas a pruebas de laboratorio fue necesario conocer los componentes que conforman el hormigón celular: cemento, arena, agua, y espuma; asimismo, la composición del agregado fino de la Cantera la Chañocagua: cemento Portland Tipo IP-40 Viacha y aditivo espumante del mercado local.

Palabras claves: Hormigón celular, aditivo espumante, bloques, tabiquería.

ABSTRACT

The use of cellular concrete in Latin America stands out mainly in Brazil, Chile and Mexico, countries in which both cellular concrete with aluminum powder and cellular concrete based on foaming additive are already popularly used.

In the present project, a cellular concrete with foam applied to partition walls for military infrastructure in the Artillery and Anti-Aircraft Defense Group 91 was developed, in order to find an optimal dosage that meets the requirements established by Bolivian Standard NB 1220035 (Concrete Blocks for Masonry Requirements), in terms of physical and mechanical properties. The competence of this material to be used in the manufacture of prefabricated blocks as an alternative for the construction of non-bearing walls was studied. In the preparation and elaboration of the samples intended for laboratory tests, it was necessary to know the components that make up cellular concrete: cement, sand, water, and foam; likewise, the composition of the fine aggregate of the Chañocagua Quarry: Portland cement Type IP-40 Viacha and foaming additive from the local market.

Keywords: Cellular concrete, foaming additive, blocks, partition walls.

Citación: Rolando Poma Ticona, **DISEÑO DE BLOQUES DE HORMIGÓN CELULAR APLICADO A MUROS DE TABIQUERÍA EN INFRAESTRUCTURAS DEL GRUPO DE ARTILLERÍA Y DEFENSA ANTIAÉREA 91 EN LA CIUDAD DE EL ALTO.** Revista Científica EMINENTE 2023, 7-1: 73-84.

¹ Técnico Superior en Construcción Civil – Carrera de Construcción Civil – Tecnológico La Paz - Unidad Académica La Paz - Escuela Militar de Ingeniería

* Corresponde al Autor (correo electrónico: rpomat@est.emi.edu.bo).

§ Dirección de contacto Investigador primer autor: Zona Villa Nuevo Potosí C/4to Centenario N 1214 - Telf.: (+591) 71965135 La Paz – Bolivia.

INTRODUCCIÓN

El hormigón celular es un material de construcción con excelentes cualidades físicas que combina resistencia y aislamiento. Está provisto de ventajas haciendo que sea la mejor opción entre muchas para la construcción de muros de tabiquería y hasta ahora es poco conocido en Bolivia, sin embargo, existe una larga historia y experiencia de su aplicación en Europa y está aplicada en la construcción de viviendas (1).

El Grupo de Artillería y Defensa Antiaérea 91 es una unidad dependiente de la I Brigada Aérea de la Fuerza Aérea Boliviana con base en la ciudad de El Alto, tiene como misión: “alcanzar y mantener un eficiente grado de operabilidad en la realización de Operaciones de Artillería Antiaérea, Seguridad y Defensa de las Instalaciones Aéreas” (2).

Teniendo en cuenta la situación actual de la Fuerza Aérea Boliviana en el sector de la construcción, los muros de tabiquería para infraestructuras cuartelarias, puestos Militares, dormitorios entre otros dentro de esta Unidad Militar son convencionales y muchas veces costosos, donde cada vez más, prima la necesidad de búsqueda de nuevos materiales de construcción para optimizar la ejecución del trabajo, reducir los costos e innovar en la construcción de ambientes Militares para el personal de tropa que cumplan con los requerimientos necesarios de la Fuerza Aérea Boliviana (2).

Por consiguiente, el diseño de bloques de hormigón celular para infraestructuras en el Grupo de Artillería y Defensa Antiaérea 91 estará destinado a muros de tabiquería, innovando en la aplicación de materiales alternativos en la construcción, lo cual permitirá la mejora de las infraestructuras cuartelarias de esta Unidad Militar.

METODOLOGÍA

El presente proyecto se categoriza como investigación aplicada y desarrollada con un enfoque cuantitativo, experimental y documental.

En la etapa de la elaboración de nuestro bloque de hormigón celular con una resistencia y densidad

adecuada se lo realizara con una investigación experimental.

Caracterización de los materiales

Porcentaje de humedad del agregado fino. Este ensayo determina la cantidad de humedad que contienen el agregado fino en estado natural. Está basado en la norma ASTM D2216.

Figura 1. Procedimiento de cuarteo



Fuente: Elaboración propia

Se observa en la Figura 1, el procedimiento de cuarteo del agregado fino para obtener muestras representativas de aproximadamente 250 g.

Figura 2. Muestras obtenidas



Fuente: Elaboración propia

Se observa en la Figura 2, las muestras obtenidas para determinar el contenido de humedad de nuestro agregado fino, utilizando un horno para ver la diferencia de pesos del material.

Análisis granulométrico del agregado fino

La granulometría es la gradación de las partículas de los materiales, con el objetivo de conocer sus propiedades mecánicas y origen. Su determinación se realiza a través de tamices normados como se puede observar en la figura 19, que permiten separar las partículas en grupos dependiendo de su tamaño. El ensayo se realizó basándose en las normas ASTM C33.

Peso Específico y Absorción del Agregado Fino

Este ensayo determina el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción (después de 24 de saturación) del agregado fino. Este ensayo se realizó con base en la norma ASTM C128.

Peso Unitario del Agregado

Este ensayo nos permite calcular el peso unitario del agregado en su condición suelta o compactada y calcular los huecos entre las partículas en una masa de agregado grueso, el tamaño del agregado debe estar por debajo de 5 pulgadas (125mm). Este ensayo se realizó basado en la norma ASTM C29.

Proceso de dosificación de hormigón celular

Realizado los ensayos a los agregados y cuando se conoce las propiedades inherentes a cada uno de los componentes del hormigón celular, es necesario combinarlos en proporciones adecuadas para cumplir con las especificaciones de densidad para realizar nuestros bloques de hormigón celular.

El diseño de mezclas del hormigón celular es casi similar al diseño de mezclas de un hormigón convencional por el método de la ACI, ambos tipos de hormigón utilizan tablas obtenidas experimentalmente de ensayos realizados, pero en cuanto a los alcances de ambos diseños son totalmente diferentes.

a) Materiales

Para el material cementante se optó por trabajar con cemento Portland tipo IP-40 VIACHA, con un peso

específico de 3.03 g/cm^3 , que se detalla en su ficha técnica del cemento Anexo A, también es uno de los más empleados en la ciudad de El Alto.

b) Agregado Fino

El agregado fino empleado en el presente proyecto, se obtuvieron de la cantera de Chañocagua, camino a Oruro, a 18 km de la Ciudad de El Alto. Se consideró la norma ASTM C33. Para el ensayo de granulometría del agregado.

c) Agua

Se utilizó agua potable, proveniente de la Escuela militar de Ingeniera – Alto Irpavi con una Densidad 1000 kg/cm^3

d) Solución Espumosa

Las normas ASTM C 796 y ASTM C 869, contienen regulaciones con relación a las espumas utilizadas en el hormigón celular, cuando se trate de un agente espumógeno, adquirido en el mercado en este caso se deberá encontrar la disolución correcta con el fin de obtener una buena solución espumosa, se sugiere empezar con una relación 1:40 esto es, un litro de agente espumógeno por 40 litros de agua (Mejía, 2010).

Figura 3. Jabón líquido



Fuente: Ola lava vajillas Bolivia,2022.

En la Figura 3, se observa el jabón líquido Ola, para la elaboración del hormigón celular, como aditivo espumante a base de este material comercial.

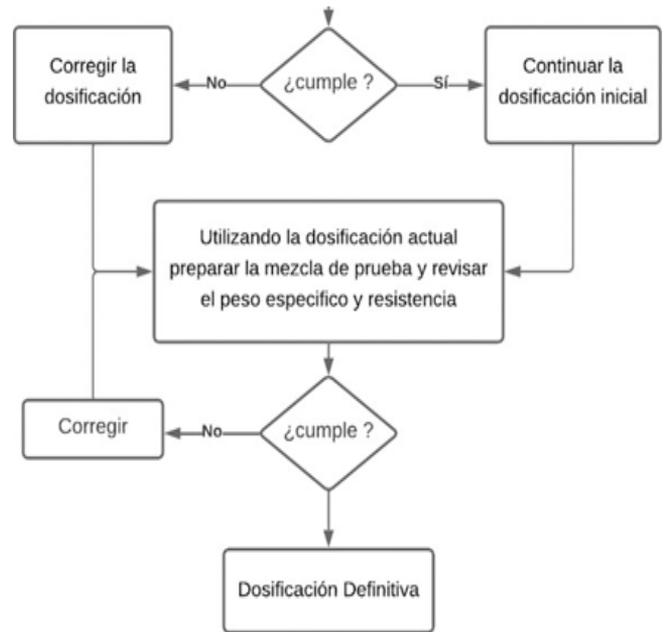
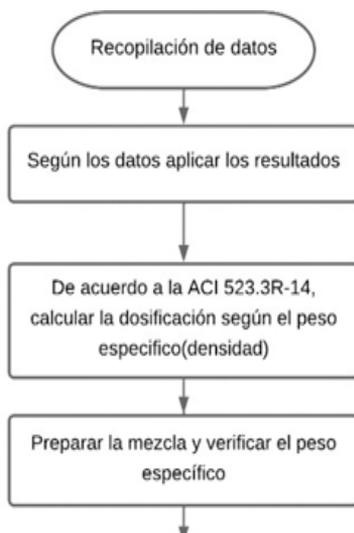
Proceso de dosificación de hormigón celular

Realizado los ensayos a los agregados y cuando se conoce las propiedades inherentes a cada uno de los componentes del hormigón celular, es necesario combinarlos en proporciones adecuadas para cumplir con las especificaciones de densidad para realizar nuestros bloques de hormigón celular. El diseño de mezclas del hormigón celular es casi similar al diseño de mezclas de un hormigón convencional por el método de la ACI, ambos tipos de hormigón utilizan tablas obtenidas experimentalmente de ensayos realizados, pero en cuanto a los alcances de ambos diseños son totalmente diferentes.

Uno de los principales métodos para el diseño de hormigón celular es el del ACI 523.3R-14 "Guía para el hormigón celular con densidades superiores a 800 kg/m³", sin embargo, esta guía está limitada a densidades del concreto fresco hasta los 1760 kg/m³, y con resistencias a la compresión por debajo a los 210 kg/cm², además para la fabricación del hormigón celular se requiere una maquina generadora de espuma.

- Controlar la densidad del hormigón celular
- Dosificar para un metro cubico
- Medición de resistencia y fluidez del hormigón.
- Medición del peso unitario con el tiempo de mezcla

Figura 4. Diagrama de flujo de dosificación



Fuente: Elaboración propia.

Resultados de la dosificación

Para explicar el diseño de hormigón celular partiremos de los datos obtenidos de los materiales.

Tabla 1. Resultados obtenidos de los materiales

CEMENTO VIACHA IP-40	
Peso específico	3.03 g/cm ³
ARENA CANTERA CHAÑOCAGUA	
Peso específico	2.76 g/cm ³
Absorción	2.38%
Contenido de humedad	9.95%

Fuente: Elaboración propia.

Elaboración de la mezcla

Una vez obtenida las cantidades de los materiales, se procede a la elaboración del Hormigón Celular.

- Se pesan los materiales; cemento, arena y el agua.
- Se prepara; el compresor que debe disponer de al menos 4 bares de presión, con salida constante.
- El generador de espuma para la solución espumosa, que para este proyecto se utilizara jabón líquido Ola para cocina.

Figura 5. Mezclado del mortero



Fuente: Elaboración propia.

Se realiza el mezclado de los materiales cómo se observa en la Figura 5, para obtener el mortero de cemento, agregado fino y cantidad de agua.

Figura 6. Mezclado del mortero con el agente espumante



Fuente: Elaboración propia.

Enseguida se incorpora el resto del agua y la espuma producida en el generador el tiempo necesario previsto en el diseño, como se observa en la Figura 6.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo en estado fresco del hormigón

Después de haber realizado el diseño de mezclas, se procedió a realizar los ensayos en estado fresco del hormigón, con la finalidad de controlar el contenido de vacíos y la trabajabilidad de la mezcla. Ensayo del cono de Abrahms

Para la determinación de la consistencia, se adoptó los procedimientos previstos en la norma ASTM D 6103. Por los datos recopilados del estudio del Hormigón Celular, este es un material autocompactante, de baja resistencia, con una consistencia fluida que se pretender usar para la elaboración de bloques. La fluidez en el Hormigón Celular, es muy importante, ya que la mezcla debe fluir en el lugar y consolidarse de acuerdo a su propia consistencia, sin necesidad de vibración o agitación con maquinaria.

Equipo utilizado:

- Cono de Abrahms
- Varilla enrazadora

Descripción del procedimiento:

- Se coloca el cono sobre una superficie plana, lisa y horizontal.
- Se vierte el hormigón en el cono de abrahms al ser autocompactante no hay necesidad de compactar con la varilla.
- Se enraza la última capa con la varilla, dejando plana la superficie del hormigón.
- Se levanta el molde por las manijas, inmediatamente después de haber enrazado la superficie.
- Se mide el diámetro en que se dispersó la muestra.

Figura 7. Consistencia del hormigón



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 7, se observa la consistencia del hormigón celular, asimismo alcanzó un diámetro de 220 mm, el ideal para este tipo de material, de acuerdo al resultado del diámetro de dispersión del hormigón celular demuestra ser autocompactante.

Peso unitario del hormigón celular

Este método nos permite determinar el peso unitario y contenido de vacíos del hormigón celular, ya que conocemos las propiedades físicas y su diseño de mezcla, donde podremos calcular el volumen ocupado de los materiales, y de esta manera calcular el porcentaje de vacíos de la mezcla.

Este procedimiento se realiza basándonos en la normativa ASTM C1688 Equipo utilizado:

- Pisón de 2.5Kg del Proctor estándar (ASTM D698)
- Balanza
- Recipiente peso unitario (ASTM C231)

Descripción del procedimiento:

El lugar de ensayo debe ser plana y libre de vibración, luego humedecer dentro de la medida (Olla de Washington) antes de colocar el hormigón celular.

- Colocar el hormigón celular en dos capas iguales utilizando un cucharón, durante el llenado, mover el cucharón alrededor de todo el perímetro de la apertura para asegurar una distribución igual del hormigón.
- Compactar con el martillo Proctor estándar 20 veces por cada capa a una altura de 305 mm. Para cada capa, distribuir uniformemente los golpes sobre toda la superficie.
- Antes de compactar la última capa, se debe llenar la olla con un exceso de 3mm en todo el extremo de la olla y luego realizar la compactación de 10 golpes, posteriormente verificar si la cantidad de hormigón es suficiente, luego se termina de dar los 10 últimos golpes, en caso de existir excedencias, se procede a retirarlo.
- Finalmente enrazar con la varilla metálica desde el centro hacia afuera con el propósito de que la superficie quede plana.

Figura 8. Peso unitario fresco



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Resultados del ensayo de peso unitario fresco

PESO UNITARIO		
Muestra	HC	
P. recip (g)	3361,50	3361,50
V. recip (g)	6954,28	6954,28
P. recip + P. muestra (g)	10090,00	10060,00
P. muestra (g)	6728,50	6698,50
P.U. (g/cm ³)	0,968	0,963
P.U. promedio (Kg/m ³)	965,38	

Fuente: Elaboración propia.

Porcentaje de vacíos del hormigón celular

Conociendo los pesos teóricos de las mezclas de hormigón celular y los pesos unitarios, se puede hallar el porcentaje de vacíos. El porcentaje de vacíos es la diferencia entre el peso unitario teórico del hormigón y el peso unitario real (obtenida del ensayo de peso unitario), dividido entre su peso unitario teórico.

Ensayo en estado endurecido del hormigón celular:

a) Resistencia a la compresión.

La resistencia a compresión del hormigón celular no es una propiedad definida al igual que en el hormigón convencional, debido a varios factores y condiciones que intervienen en su determinación.

Equipo utilizado

- Moldes cilíndricos estándar de 15cm de diámetro y 30cm de altura.
- Pisón de 2.5Kg del Proctor estándar (ASTM D698).
- Varilla metálica para nivelar superficie.
- Mezcladora de Hormigón.

Descripción del procedimiento:

Figura 9. Pesado de muestra



Fuente: Elaboración propia.

Se realizan los especímenes con el mismo procedimiento que para el peso unitario, colocando el hormigón de manera directa y está al ser autocompactante no tiene la necesidad de compactar con golpes.

Se dejó secar las muestras para su rotura, se verifico la fecha de vaciado el número de muestras y se determinó el peso de la muestra, como se observa en la figura 9.

Una vez pasado el tiempo de 24 horas después de su elaboración, se procedió a colocar los especímenes en la piscina de fraguado. pasado los 7 y 28 días, se procedió a romper las probetas según lo establecido en la norma ASTM C39, se utilizó pads de neopreno para colocar en la parte inferior y superior de las probetas, debido a que su superficie no es completamente lisa.

Figura 10. Muestra a prueba a compresión



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 10, se muestra el colocado de los especímenes para determinar la tensión de rotura a la compresión de probetas cilíndricas de hormigón celular; se tomó ensayos a los 7 días y 28 días para ver el comportamiento que tienen los especímenes.

Tabla 3. Resistencia de muestras

DENSIDAD KG/CM3	DES.	ESFUERZO DE COMPRESIÓN KG/CM2		
		7 DIAS		28 DIAS.
1120	A1	21.57	21.59	32.88
	A2	21.62		
	A3	21.58		
960	B1	17.35	17.6	26.8
	B2	17.89		
	B3	17.42		
800	C1	9.81	9.81	14.94
	C2	9.88		
	C3	9.78		

Fuente: Elaboración propia 2022.

Resistencia a Flexión

Para el ensayo de la resistencia a flexión (módulo de rotura) se realizó utilizando vigas de 15x15x56 cm, según la norma ASTM C78. Se ensayaron las muestras a los 28 días.

Equipo utilizado

- Maquina manual de ensayo para vigas.

Descripción del procedimiento

- Se realiza el mismo procedimiento de preparado que con las probetas cilíndricas.
- Después de 24 horas después de la elaboración, se desencofra y se lleva las muestras a la piscina de fraguado.
- Tomar las medidas de la longitud de separación entre apoyos, en nuestro caso 45 cm de separación.
- Identificar el tercio central de la viga donde se someterá a la ruptura.
- Colocar la viga en la maquina manual de ensayo y empezar tirar de la manija con una velocidad constante hasta que se presente la ruptura.
- En el caso de que la ruptura ocurra en el tercio centra, utilizar la siguiente fórmula:

Figura 11. Medición y pesaje de la muestra para el ensayo de compresión por flexión



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Figura 11, se tomó las medidas de la longitud de la viga a ensayar, en nuestro caso 45 cm de separación, asimismo se identificó el tercio central de la viga donde se someterá a la ruptura.

Tabla 4. Resultados del ensayo de resistencia a tracción por flexión

DENSI- DAD KG/ M3	MUES- TRAS	(KG/ CM2) 7 días	PROME- DIO (KG/ CM2)	28 DIAS
960	V1	1.41	1.39	1.98
	V2	1.38		

Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Ensayo de resistencia a la tracción por flexión



Fuente: Elaboración propia

Se determinó la resistencia a la tracción por flexión de 2 muestras hormigón celular con la densidad de 960 kg/m³ a diferentes edades de acuerdo los resultados promedio como se muestra en la Figura 12.

Bloques de hormigón celular

Debido a que no se cuenta con una norma específica para el producto que se pretende elaborar en el presente proyecto, se tomara como referencia para la realización los requisitos las normas referenciales a ladrillos y bloques de hormigón que presenta el Instituto Boliviano de Normalización (IBNORCA) las cuales son: Norma Boliviana NB 1220035 (Bloques de Hormigón para Mampostería Requisitos) y Norma Boliviana NB 1211001 (Ladrillos cerámicos-Ladrillos huecos-Clasificación y requisitos).

De acuerdo a lo visto anteriormente en cuanto a las dimensiones del bloque, se optó por elaborar un bloque de Concreto Celular de 12cm por 25cm por 40 cm, prototipo que favorecen al peso de la unidad ya que se elaboró con una densidad aparente de 800 kg/m³, 960 kg/m³ y 1120 kg/m³ y que es mucho más liviano que un bloque de hormigón convencional.

Figura 13. Moldes metálicos



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la figura 13, los moldes del bloque para la elaboración del bloque de hormigón

celular con las dimensiones anteriormente mencionadas.

Procedimiento de Elaboración

Para elaborar los bloques de hormigón celular se usó la misma metodología que se siguió para elaborar los especímenes cilíndricos.

- Dosificación HC-1 (800 kg/m³)

Se realiza el cálculo para la elaboración de dos bloques con un volumen de 0.012 m³.

Tabla 5. Dosificación con corrección HC-1

MATERIA-LES	DOSIFICACIÓN 1 m ³	CORRECCIÓN PARA DOSIFICACIÓN	UNID
CEMENTO	335	4.342	kg
AGUA	154.59	2.00	kg
ARENA	290.27	3.762	kg
ESPUMA	4.87	0.063	min

Fuente: Elaboración propia

- Dosificación HC-2 (960 kg/m³)

Se realiza el cálculo para la elaboración de dos bloques con un volumen de 0.012 m³.

Tabla 6. Dosificación con corrección HC-2

MATERIA-LES	DOSIFICACIÓN 1 m ³	CORRECCIÓN PARA DOSIFICACIÓN	UNID
CEMENTO	335	4.342	kg
AGUA	144.84	1.88	kg
ARENA	466.19	6.04	kg
ESPUMA	4.44	0.057	min

Fuente: Elaboración propia

- Dosificación HC-3 (1120 kg/m³)

Se realiza el cálculo para la elaboración de dos bloques con un volumen de 0.012 m³.

Tabla 7. Dosificación con corrección HC-3

MATERIALES	DOSIFICACIÓN 1 m3	CORRECCIÓN PARA DOSIFI- CACIÓN	UNID
CEMENTO	335	4.342	kg
AGUA	135.53	1.88	kg
ARENA	642.11	6.04	kg
ESPUMA	3.92	0.057	min

Fuente: Elaboración propia

Resultados de elaboración

Tabla 8. Resultados de la elaboración de los bloques de hormigón celular

DOSIFI- CACIÓN	EDAD DIAS	PESO DEL BLO- QUE Kg	VOLU- MEN DEL BLOQUE M3	DENSIDAD Kg/M3	
HC-1	28	9.37	0.012	780.83	787.17
	28	9.57	0.012	797.50	
HC-2	28	11.73	0.012	977.50	975.41
	28	11.68	0.012	973.33	
HC-3	28	14.23	0.012	1185.83	1171.67
	28	13.89	0.012	1157.50	

Fuente: Elaboración propia

Figura 14. Bloque de hormigón celular



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 14, se observa los bloques de hormigón celular elaborados con la dosificación HC-2, con una densidad promedio de 975.41 kg/m3.

Análisis precio unitario metro cúbico de hormigón celular

Para analizar el costo del material de hormigón celular, se procedió a calcular los volúmenes absolutos unitarios por metro cúbico de hormigón de los agregados; y para los precios se adoptaron los costos de la revista de materiales de construcción actualizado 2022.

Tabla 9. APU del hormigón celular

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO				
HORMIGON CELULAR DENSIDAD DE 960 KG/M3				
Unitario:		M3		
Moneda: Bolivianos				
Descripción	Und	Cantidad	Precio	Costo Total
1	MATERIALES *			
CEMENTO PORTLAND	KG	335.000	0.960	321.60
ARENA	M3	0.320	55.000	17.60
AGENTE ES-PUMOGENO	LT	1.000	25.000	25.00
TOTAL MATERIALES				364.20
2	MANO DE OBRA *			
ALBAÑIL	HR.	1.000	18.750	18.75
AYUDANTE	HR.	1.000	12.500	12.50
TOTAL MANO DE OBRA				31.25
3	EQUIPO Y MAQUINARIA			
HERRAMIENTAS - % DE LA MANO DE OBRA *			5.00%	1.56
TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA				1.56
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTR.				
				0.00
4	UTILIDAD			
UTILIDAD - % *			2.00%	7.94
TOTAL UTILIDAD				7.94
TOTAL IMPUESTOS				0.00
TOTAL PRECIO UNITARIO				404.95
Son: Cuatrocientos cuatro 95/100 Bolivianos				
(*) Datos de presupuesto de revista de presupuesto de construcción El Alto 2021				

Fuente: Elaboración propia.

El costo de elaboración del bloque de hormigón celular es más alto que el tradicional ladrillo comercializado en la ciudad de el alto, esto se debe al incremento de cemento, Cabe mencionar que el incremento del precio por unidad se ve contrarrestado por las mejoras en las propiedades físicas y mecánicas de los bloques de hormigón celular y reducción del peso de los muros de albañilería además que los costos globales de construcción de muros son menores como se detalla en la Tabla 9.

Tabla 10. Costos globales de construcción de muros

ITEM	BLOQUES DE HORMIGÓN CELULAR	LADRILLO 6 H
Muro por m2	49.00 Bs.	24.8 Bs.
Revoque interior de yeso Interior/Exterior por m2.	-	89.95 Bs.
	-	143.13 Bs
Pintura por m2	48.69 Bs.	48.69 Bs.
Costo total	97.69 Bs.	311.77 Bs.
Porcentaje%	31.33%	100%

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Se llegó a las conclusiones respectivas de acuerdo a los objetivos específicos planteados:

- Conforme a los resultados obtenidos de todas las dosificaciones para cada densidad del hormigón celular, se estableció la dosificación adecuada para lograr las características deseadas para el bloque de hormigón celular, la misma que fue la dosificación HC-2 con una densidad de 960 kg/m³, comprobando que, a mayor porcentaje de inclusión del agente espumante, la resistencia a compresión disminuye con respecto al hormigón convencional.
- En los ensayos de hormigón endurecido se comprobó la capacidad del hormigón celular con una resistencia a la compresión promedio de 32.88 kg/cm², una resistencia a la flexión estática a los 28 días de edad, de 3.31 kg/cm² (0.325 MPa).
- De acuerdo a la dosificación HC-2 para una densidad de 960 kg/m³ con 335 kg de cemento, 144 kg de agua, 466.19 kg de arena y 4 min

generando espuma, se elaboró el bloque de hormigón celular comprobando la densidad del material y resistencia a la compresión.

- La producción por unidad de los bloques de hormigón celular es más costosa que la de ladrillos. Sin embargo, por metro cuadrado tiene un costo de 47.00 Bs. y con acabados cuesta 98.69 Bs. por metro cuadrado. En comparación con el muro de ladrillo convencional que tiene un costo con acabado de 311.77 Bs. igualmente los bloques de hormigón celular se compensan con las ventajas a largo plazo como ser: aislante acústico, resistencia al fuego, aislante térmico y ser un material ecológico

CONFLICTO DE INTERÉS

El autor declara que no tiene conflictos de interés con la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Corrales, Pamela Carrión. Análisis de viabilidad del uso de hormigón celular en la superestructura de edificios de pequeña altura [Trabajo de Grado de licenciatura, Escuela Militar de Ingeniería de Bolivia]. repositorio institucional, s.l. : 2011.
- [2]. Fuerza Aérea Boliviana. Fuerza Aérea Boliviana. [En línea] 2022. Revista Aeronáutica de la Fuerza Aérea Boliviana.
- [3]. Caballero, Alejandro. Metodología integral innovadora para planes y tesis. Cengage Learning, México D.F.: 2014.
- [4]. Hernández, Roberto, Fernández, Carlos y Baptista, Pilar. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION. MCGRAW-HILL, México D.F. : 2014.



Rolando Poma Ticona.

Técnico Superior en Construcción Civil, egresado de la carrera de Construcción Civil de la Unidad Académica La Paz de la Escuela Militar de Ingeniería.