

Valor del peso específico del cemento para diseño de concretos

Specific gravity value of cement for concrete design

Víctor Manrique Obando-Angulo¹

Fecha de recepción: 18 de octubre, 2022

Fecha de aprobación: 29 de enero, 2023

Obando-Angulo, V.M. Valor del peso específico del cemento para diseño de concretos. *Tecnología en Marcha*. Vol. 36, N° 4. Octubre-Diciembre, 2023. Pág. 59-67.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v36i4.6311>

¹ Universidad Fidélitas. Costa Rica.
Correo electrónico: hisecoconsultora@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-9650-8671>

Palabras clave

Cemento; concreto; ahorro; peso específico; ajuste volumétrico; Clinker.

Resumen

Generalmente cuando se realiza un diseño de concreto se utiliza el valor de peso específico para transformar volúmenes a masas y viceversa. Para el cemento el valor estándar de este parámetro es de 3,18, pero estudios realizados indican que este valor es muy variable según la composición del cemento. En el presente artículo, se exhibirán los resultados experimentales obtenidos al dosificar concretos bajo la metodología ACI-211.1-91, utilizando cementos mixtos adicionados como el tipo MM/B(P-C)-28, el cual tiene adiciones de puzolanas, caliza y yeso. La metodología está basada en cementos puros con factores clinker de hasta 95% que en el caso del cemento utilizado este factor posee un valor entre el 65% y 79%. Con base al esquema experimental planteado, se logró determinar que el peso específico de los cementos varía según su composición; factor directamente ligado a sus adicciones. En este caso se llegó a la determinación que para un diseño de concreto siempre se debe verificar el valor de este parámetro, ya que al pasar de pesos a volúmenes esa diferencia en el valor se refleja en una proporción mayor o menor del cemento requerido. Este parámetro que generalmente se asume como 3,18 varía según el tipo de cemento; por ejemplo, en el cemento tipo MM/C (P-C)-28 este valor es de 2,81, por lo que al pasar una dosificación de 100 m³ de concreto de masas a volúmenes esto puede implicar un sobredosificación de hasta 100 sacos de cemento, lo que a su vez significa un aumento en costos y puede provocar problemas asociados como sobre rigidez y alto calor de hidratación.

Keywords

Cement; Concrete; Saving; Specific weight; volumetric adjustment; Clinker.

Abstract

Generally, when a concrete mix is designed, the value of the cement specific weight is used to convert volumes to weights and the other way around. For cement, the standard value of this parameter is generally accepted in 3.18, but studies indicate that this value is highly variable depending on the cement composition. In this article, the experimental results obtained by designing the concrete JMF under the ACI-211.1-91 methodology was analyzed, using mixed cements such as MM/B(P-C)-28, which has additions of pozzolans, limestone and gypsum. The methodology is based on pure cements with clinker factors of up to 95%, which in the case of the cement used, has a value between 65% and 79%. Based on the proposed experimental scheme, it was possible to determine that the specific weight of the cement varies according to their composition, which is directly linked to their addictions. In this case, it was concluded that for a concrete mix design, the value of this parameter must always be verified, since when passing from weights to volumes, the value can greatly affect the required proportions of cement. In general the parameter is accepted as 3.18 but it varies significantly according to the type of cement: for example in cement type MM/C (P-C)-28 this value is 2.81. The previous means that when converting 100 m³ of concrete from mass to volume, an overdosage of up to 100 bags of cement can occur, which in turn increases costs and causes problems such as over-rigidity and high hydration heat.

Introducción

En recientes investigaciones realizadas en Costa Rica sobre el diseño de concreto como la del Instituto Costarricense del Cemento y el Concreto (ICCYC), en el año 2020, se determinó que un 45% del concreto utilizado en la GAM (Gran Área Metropolitana) no cumple con la resistencia mínima a la compresión especificada por el Código Sísmico de Costa Rica: 210 kg/cm² o 20,594 MPa. Dicha investigación concluye que, estos resultados negativos tienen como principal causa, el desacertado proporcionamiento del concreto [1].

La metodología más utilizada para proporcionar concreto es la del ACI, dando como resultado los pesos de las cantidades de materiales que componen el concreto (Agregados, Agua y Cemento) para lograr obtener la resistencia final requerida a los 28 días de edad. En este aspecto esta metodología puede dar los resultados por pesos, pero también se pueden transformar a volúmenes que en la práctica facilita el proceso de dosificación del concreto. Para poder transformar las cantidades de peso a volumen se usa el parámetro de peso específico del cemento. Sin embargo, si este valor no está bien calculado puede dar como resultado una cantidad menor o mayor de material y afectar la resistencia del concreto, así como aumentar su costo de producción considerablemente.

Kosmatka [2] señala que “*El peso específico del cemento varía de 3,10 hasta 3,25, con promedio de 3,15 Mg/m³*” (p. 67), en Costa Rica este parámetro se ha establecido en un valor promedio de 3,15. Esto fue consultado a tres laboratorios de referencia certificados en el país y todos concordaron en que el valor de gravedad específica utilizado es de 3,15 [3].

En una investigación de grado realizada por Luis Felipe Hernández Mora, se logró comprobar que el valor del peso específico del cemento es variable y no se puede establecer como un valor fijo [4].

Existen varias investigaciones en las que el parámetro del peso específico del cemento se ha determinado, dando como resultado una alta variabilidad en este valor, tal es el caso de la investigación realizada por Jorge Andrés Delgado Castro llamada Curvas características de resistencia a compresión simple en concreto usando distintos tipos de cementos modificados, se evidencia que el peso específico varío según el tipo de adiciones y modificaciones [5].

Metodología

Como primer paso se procedió a validar la información del valor de peso específico utilizado por algunos laboratorios acreditados de materiales de construcción. Luego se realizó la caracterización de los agregados bajo las normas ASTM e INTECO obteniendo los valores de gravedad específica, granulometrías, pesos unitarios y porcentaje de absorción.

Una vez caracterizado los materiales se dosificó concreto bajo la metodología del ACI 211.1-91. utilizando un peso específico para el cemento de 3,18 transformando así los pesos obtenidos a volúmenes, para producir 50 litros de concreto. Una vez realizado este cálculo se moldearon cilindros de concreto de 100 mm x 200 mm para poder fallarlos a los 7 y 28 días en aras de comprobar la resistencia [6].

Obtenidos los datos del primer diseño se verificó el valor del peso específico del cemento utilizado según la norma ASTM C 188-95, dando un valor distinto al usualmente utilizado por los laboratorios. Con dicho valor real, se vuelve a proporcionar concreto con el valor obtenido de peso específico y se moldean cilindros de concreto para poder medir el efecto tanto en la resistencia como en la cantidad de cemento que se añade a la mezcla y poder identificar problemas asociados como aumento de costos y cambio en la resistencia a la compresión final.

Se revisaron los parámetros que pueden influir en esta problemática y se determinó que los principales son: el tipo de cemento que se distribuye (ya que el factor clinker es muy variado), la densidad de los agregados (esta varía según la fuente), el peso específico del cemento, así como una mala interpretación de las principales metodologías de diseño como la del ACI 211.1-91 [6].

Para este trabajo se diseñó un concreto bajo la metodología del ACI con agregados de una sola fuente, que cumpliera con las especificaciones en cuanto a granulometrías. En el caso de los pesos específicos de los agregados, se buscó que estuvieran en un valor cercano a 2,50 para controlar la influencia de este parámetro dentro de la resistencia final del concreto. Para transformar los diseños de peso a volumen se utiliza el peso específico de los materiales.

Los especímenes preparados se fallaron para la comprobación de la resistencia a la compresión a los 28 días y en este primer diseño la resistencia con el valor de peso específico de cemento de 3,18 para obtener una resistencia final de 280 kg/cm². Las pruebas a los 28 días arrojaron un valor promedio de 378,32 kg/cm² con una desviación estándar de 1,13 kg/cm² excediendo así la resistencia de diseño en un 35% aproximadamente.

En una segunda comprobación se volvió a diseñar para la misma resistencia, pero con un valor para peso específico de 2,81 y en este caso el resultado promedio de la resistencia a los 28 días fue de 185,79 kg/cm² con una desviación estándar de 1,10 kg/cm². En este caso la resistencia estuvo casi un 34% por debajo del valor de diseño.

Ambos diseños se realizaron bajo igualdad de condiciones, con los mismos agregados, siendo el peso específico del cemento para proporcionar por volumen, como comúnmente se realiza en el campo la única variable que se modificó, siendo este el parámetro que causa la gran diferencia en la resistencia final del concreto y provoca que se exceda o más bien pueda haber una falta de resistencia.

Este valor de peso específico de los cementos es muy variado y aunque las cementeras mantienen el proporcionamiento de los cementos muy constante siempre puede haber una variación en la composición esto porque el factor clinker se da en rangos y las adiciones pueden variar en porcentaje, de esta manera el peso específico de los cementos puede variar para un mismo tipo de cemento.

Se obtuvieron datos de una investigación realizada por Hernández [4], donde el autor logra obtener datos específicos sobre este la gravedad específica de algunos cementos de uso común. El cemento que se utilizó en este trabajo no estaba dentro de los estudiados por Hernández [4].

En este caso existen dos parámetros que pueden estar influenciando la diferencia del peso específico: 1) el factor clinker que es distinto para el cemento MM/B(P-C)-28 y el cemento MM/C (C-P)-28, a pesar de que la gravedad específica es muy similar entre ambos, se puede determinar que la composición de las adiciones son la principal causa de la variación de este factor.

Para poder entender mejor esta variación, se desarrolló el presente proyecto en la Universidad Fidélitas de Costa Rica. Lo anterior para comprobar la afectación que provocaba la variación del valor de peso específico del cemento en los diseños de concreto, utilizando la metodología del ACI 211.1-91 como metodología de diseño de mezcla. Se requirió una cantidad de muestras de 3 para cilindros de 100 mm x 200 mm que son los utilizados en este caso para garantizar la representatividad.

Para poder establecer correcciones se realizan proyecciones con especímenes de 7 días y 14 días de edad y estos se confirman los datos de las proyecciones con los especímenes de 28 días de edad donde el concreto alcanza aproximadamente el 99% de su resistencia a la compresión.

Todos los ensayos se realizaron bajo la metodología de la ASTM e INTECO, con los equipos del laboratorio de materiales y suelos de la Universidad Fidélitas, cumpliendo con los estándares de las normas se reduce el error que se pueda dar en los resultados finales.

Análisis de resultados

Para el primer concreto que se diseñó bajo la metodología ACI 211.1-91 se caracterizaron los agregados bajo las normas ASTM. Para la estimación de cada parámetro se realizaron 3 repeticiones para comprobar el valor, dando como resultado los siguientes resultados que se observan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Parámetros promedios de la caracterización de los agregados para el proporcionamiento de concreto.

Agregado	Gravedad específica	% de absorción	Peso unitario envarillado (kg/m ³)	Peso unitario sin envarillar (kg/m ³)	Módulo de finura
Fino	2,01 (0,3)	11,69 (3,7)	1159,11 (7,2)	1279,71 (5,6)	3,00
Grueso	2,42 (0,2)	2,41 (2,3)	1308,40 (5,3)	1510,97 (3,2)	N/A

Nota: valor en paréntesis representa el coeficiente de variación.

Una vez caracterizados los agregados que se utilizaron en el trabajo y bajo la hipótesis que el factor de los cementos que produce una variación en el peso específico son las adiciones (debido a que el factor clinker en algunos casos es el mismo para diferentes tipos de cementos siendo la única variante la composición de las adiciones como las calizas, puzolanas, escoria de Alto Horno y humo de sílice). Se propone trabajar con los tipos de cementos más comunes y sus composiciones para esto se utiliza la norma INTE C147, en la cual se dan las principales características de composición de los cementos a nivel país estos datos se muestran en el cuadro 2.

Para la investigación no se realizó una caracterización exhaustiva de todos los cementos que existen en la norma, solo se consideraron los obtenidos por Hernández [3], en su investigación llamada “Resistencia a compresión simple versus tiempo de curado en especímenes de concreto hidráulico utilizando cementos modificados”.

Para el caso del cemento que se utilizó en esta investigación, el MM/B (P-C)-28, se buscó utilizar el valor indicado en el cuadro 3. No obstante, el parámetro del peso específico requerido no se encuentra en dicha investigación por lo que se debió proceder con la realización del ensayo correspondiente para obtener el dato.

Cuadro 2. Composición de los cementos hidráulicos según la norma INTE C147.

Tipos	Denominación	Tipo/ Grado de sustitución	Clinker	Escoria de alto horno	Humo de sílice	Puzolanas	Caliza	Componentes minoritarios adicionales
Tipo I	Cemento Portland Ordinario (CPO)	Tipo I	95-100	-	-	-	-	0-5
Tipo MP	Cemento Hidráulico con; Puzolana, Ceniza volante, Esquistos	MP/A	80-94	-	-	jun-20	-	0-5
		MP/B	65-79	-	-	21-35	-	0-5
		MP/C	45-64	-	-	36-55	-	0-5
		MP/D	20-44	-	-	56-80	-	0-5
Tipo MC	Cemento Hidráulico con Caliza	MC/A	80-94	-	-	-	jun-20	0-5
		MC/B	65-79	-	-	-	21-35	0-5
		MC/C	45-64	-	-	-	36-55	0-5
Tipo MM	Cemento Hidráulico Modificado Mixto	MM/A	80-94	jun-20				0-5
		MM/B	65-79	21-35				0-5
		MM/C	45-64	36-55				0-5
		MM/D	20-44	56-80				0-5
		MM/E	may-19	81-95				0-5
Tipo ME	Cemento Hidráulico con Escoria de Alto Horno	ME/A	80-94	jun-20	-	-	-	0-5
		ME/B	65-79	21-35	-	-	-	0-5
		ME/C	45-64	36-55	-	-	-	0-5
		ME/D	20-44	56-80	-	-	-	0-5
		ME/E	may-19	81-95	-	-	-	0-5
Tipo MF	Cemento Hidráulico con Humo de sílice	MF/A	90-94	-	6-oct	-	-	0-5

Fuente: [7].

Cuadro 3. Peso específico de algunos cementos de uso común.

Tipo de cemento	Valor
MM/C (P-C)-28	2,81
MM/C (C-P)-28	2,84
MC/A-AR	3,10

Fuente: [4].

El cemento que se utilizó en el diseño fue el MM/B(P-C)-28, uno de los más comunes en el mercado y para obtener el peso específico de este se utilizó el ensayo correspondiente bajo la normas ASTM 188-95, AASHTO T-133 [8]. Para lograr un parámetro más certero se repitió el ensayo 4 veces esperando una desviación estándar baja y se utilizó el promedio de los datos obtenidos dando como resultado los parámetros del cuadro 4.

Cuadro 4. Resultados de la determinación del peso específico del cemento MM/B (P-C)-28.

Parámetro	Valor*
Medición 1	2,91
Medición 2	2,90
Medición 3	2,91
Medición 4	2,91
Promedio	2,91
Coefficiente de Variación %	0,70

*Valores redondeados a dos cifras significativas.

Para poder entender mejor los resultados obtenidos del estudio de este parámetro del diseño de concreto, se debe observar la figura 1, donde se logra ver una relación directa entre la cantidad de adiciones según el cuadro 2, presentes en el cemento y el peso específico del mismo.

Como las adiciones que poseen los cementos están dadas por rangos, este parámetro puede variar en cada uno de los tipos de cementos. El peso específico del cemento no es un parámetro que se debe dar por establecido, sino que se debe medir para el cemento que se utilice.

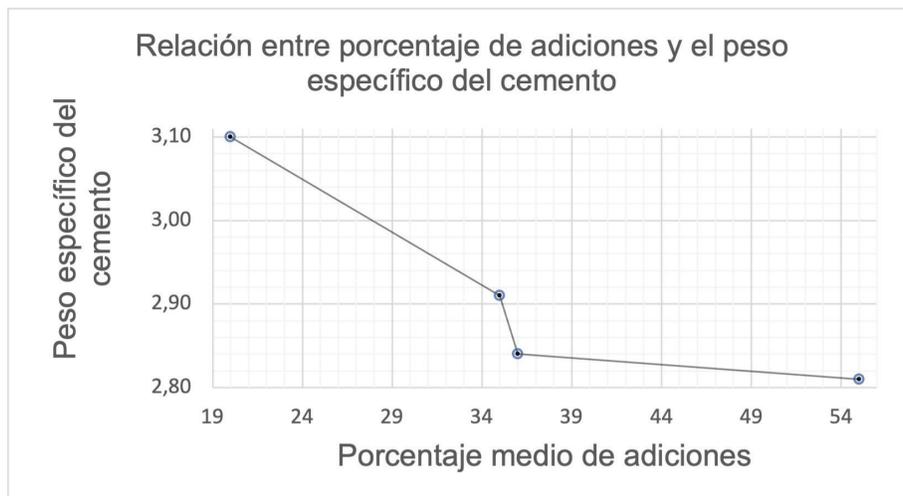


Figura 1. Gráfico de comparación entre el porcentaje de adiciones presentes en el cemento y el peso específico.

Cuadro 5. Comparación entre la dosificación de concreto con el valor de gravedad específica del cemento asumido vs real.

Peso específico del cemento 2,81			Peso específico del cemento 3,18			
Masa para 100 m ³ de concreto (kg)	Peso específico	Volumen para 100 m ³ de concreto (m ³)	Material	Masa para 100 m ³ de concreto (kg)	Peso específico	Volumen para 100 m ³ de concreto (m ³)
23838.194	1,000	23,838	Agua	23838,194	1.000	23,838
35171.103	2,810	12,516	Cemento	35171,103	3,180	11,060
97378,781	2,420	40,239	Grava	97378,781	2,420	40,239
43026,530	2,010	21,406	Arena	45953,716	2,010	22,863
Diferencia entre los dos volúmenes según el peso específico utilizado					1,456	
Diferencia entre los dos volúmenes (En masa) según el peso específico 3.18					4631,070	
Diferencia entre los dos volúmenes (En masa) según el peso específico 2.81					4092,235	
Diferencia entre los dos volúmenes (En sacos de cemento 50 kg) según el peso específico 3.18					92,621	
Diferencia entre los dos volúmenes (En sacos de cemento 50 kg) según el peso específico 2.81					81,845	

En el cuadro 5 se puede observar la comparación entre utilizar un peso específico del cemento de 2,81 y 3,18, para convertir un peso a volumen en un diseño de concreto de 100 m³, si bien el volumen es muy alto, se hace de esta manera para dimensionar el problema en números más entendibles que en este caso pueden hacer una diferencia de hasta 93 sacos de cemento de 50 kg, entre una comparación y otra.

Esta diferencia de casi 100 sacos de cemento podría estar faltando o estar sobrando en una obra de construcción. Los costos económicos se pueden cuantificar en el aumento de hasta un 10% y también en un concreto ese faltante de cemento puede bajar de manera considerable la resistencia final requerida o en caso contrario, sería un exceso que puede provocar problemas de sobre rigidez, sobre costos y resistencias muy altas para lo requerido. Inclusive el problema se agravaría entre mayor sea la diferencia entre estos valores.

Conclusiones

El concreto es uno de los materiales de construcción de mayor uso, de allí que se vuelve de suma importancia el poder optimizar los diseños de este material para poder disminuir los sobre costos asociados a diseños muy conservadores o malos, así como otros problemas asociados que no son analizados directamente en este documento, como la sobre rigidez o bajas resistencia del concreto.

En esta investigación se planteó como meta, lograr determinar por qué, cuando se diseñan concretos siguiendo como base la metodología del ACI, que es la más comúnmente usada, las resistencias finales no alcanzan el valor requerido o algunas veces se sobrepasa. Dentro de los parámetros que se determinaron influían este fenómeno están los pesos específicos de los materiales, el cual se controló caracterizando y trabajando con materiales de una sola fuente y que cumplieran con los parámetros establecidos para el diseño de concreto, reduciendo

los posibles factores que influían en estas bajas o elevadas resistencias. Por tanto, el efecto cuantificado fue el peso específico utilizado para transformar el peso del cemento a volumen que es como usualmente se proporciona el concreto.

Para un diseño de concreto eficaz y que este apegado a la maximización de costos se debe comprobar y determinar el peso específico del lote de cemento que se trabajará y en este caso no dar por sentado un valor absoluto de este parámetro ya que puede variar entre un tipo de cemento u otro y hasta entre lotes del mismo tipo de cemento se puede dar una variación considerable.

El exceso de cemento en un concreto no solo aumenta los costos considerablemente si no que puede provocar problemas como alto calor de hidratación, agrietamientos, sobre rigidez y hasta pérdida de resistencia debido a la falta de agua para poder generar la reacción del total de cemento contenido en la obra.

Es importante también tener en cuenta que la resistencia del concreto siempre está implicada en los cálculos estructurales, por lo que se vuelve necesario controlar y vigilar que se esté cumpliendo los parámetros con los cuales fue dosificado para obtener la resistencia final a los 28 días.

Agradecimientos

Agradecimientos especiales a mi familia por apoyarme siendo pacientes con el tiempo que invertí para desarrollar esta investigación, agradezco en gran medida a la Universidad Fidélitas por confiar en mi persona para desarrollar esta investigación y agradezco a todas las personas que de una u otra manera brindaron la colaboración para poder concluir este proyecto.

Referencias

- [1] Instituto Costarricense sobre el Cemento Y el concreto (ICCYC) "Investigación sobre la calidad del concreto hecho en obra 2020" ICCYC, CFIA, 2020.
- [2] Kosmatka, Steven H.; Kerkhoff, Beatrix; Panarese, William C.; y Tanesi, Jussara: *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*, Illinois, Portland Cement Association, Skokie, 2004.
- [3] V. Obando. "Propuesta de modificación a la relación agua-cemento indicada en el ACI 211.1-91 para un concreto de resistencia a la compresión de 280 kg/cm², de peso normal sin aire incluido y diseñado por resistencia" Universidad Fidélitas, Costa Rica, 2021.
- [4] L. Hernández. (2018) Resistencia a compresión simple versus tiempo de curado en especímenes de concreto hidráulico usando cementos modificados [Online] Available: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/6532>
- [5] A. Delgado (2019) Curvas características de resistencia a compresión simple en concreto usando distintos tipos de cementos modificados [Online] Available: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/6535>
- [6] American Concrete Institute (ACI), "PRC-211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete" (Reapproved), 2019.
- [7] INTECO. "Cemento hidráulico requisitos", *INTE C147:2015*, INTECO, 2018.
- [8] American Society for Testing and Materials, "Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement", *ASTM C-188-95*, 2016.