



## Evaluación de la resistencia a la compresión en morteros de pega de acuerdo con la dosificación establecida por el código Sismo Resistente Colombiano. Estudio de caso

Evaluation of compressive strength in cement mortars, according to the dosage established by the colombian seismic resistance code. Case study

Sergio Giovanni Valbuena Porras<sup>1</sup>, Milton Mena Serna<sup>2</sup>,  
César Augusto García-Ubaque<sup>3</sup>

**Fecha de recepción:** 19 de agosto de 2015

**Fecha de aceptación:** 15 de febrero de 2016

**Cómo citar:** Valbuena Porras, S. G., Mena Serna, M., & García Ubaque, C. A. (2016). Evaluación de la resistencia a la compresión en morteros de pega de acuerdo con la dosificación establecida por el código Sismo Resistente Colombiano. *Revista Tecnura*, 20(48), 115-121. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.2.a08

### Resumen

**Contexto:** En un muro de mampostería el mortero representa entre un 10 y un 20 % del volumen total del sistema, no obstante su efecto en el comportamiento del mismo es significativamente mayor de lo que indica este porcentaje.

**Objetivo:** El propósito de esta investigación fue evaluar la resistencia a la compresión de dos tipos de mortero de pega (A y B), preparados con muestras de arenas trituradas y naturales provenientes de la localidad de Usme en la ciudad de Bogotá.

**Método:** Se prepararon dos tipos de mortero de pega, de acuerdo a las proporciones de cemento y arena establecidas en la sección D.3.4-1 de la NSR-10 (Tabla 1); estas proporciones fueron calculadas utilizando un recipiente de 0,0028 m<sup>3</sup> para medidas de peso unitario. Para el mortero tipo A

se empleó arena de peña y para el mortero tipo B arena de río.

**Resultados:** La resistencia a la compresión alcanzada por el mortero tipo A al final del estudio fue en promedio de un 84% de la esperada, mientras que para los morteros tipo B esta fue en promedio un 64% por encima de la espera.

**Conclusión:** Las mezclas de mortero elaboradas con arena triturada o de peña (tipo A), no alcanzan la resistencia a la compresión exigida por las normas, a pesar de cumplir con la dosificación establecida en la NSR 10 y con los criterios de calidad de las NTC; mientras que la arena de origen natural o de natural de río si cumplen con dichas normas.

**Palabras clave:** Mortero de pega, arena de peña, arena de río, resistencia a la compresión, dosificación.

- 1 Ingeniero Civil, Ms.C. en Economía. Docente de la Facultad Tecnológica Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [svalbuena@udistrital.edu.co](mailto:svalbuena@udistrital.edu.co)
- 2 Ingeniero Civil, Ms.C. en Construcción. Docente de la Facultad Tecnológica Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [mmenas@udistrital.edu.co](mailto:mmenas@udistrital.edu.co)
- 3 Ingeniero Civil, Ms.C., Ph.D. en Ingeniería. Profesor Asociado Facultad Tecnológica Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [cagarciau@udistrital.edu.co](mailto:cagarciau@udistrital.edu.co)

## Abstract

**Context:** In a masonry wall the mortar it is between 10 and 20% of the total volume of the system, despite its effect on the behavior of it is significantly higher than this percentage indicates.

**Objective:** The purpose of this research was to evaluate the resistance to compression of two types of mortar paste (A and B), prepared with natural sand from the town of Usme in Bogotá, in accordance with the proportions set by the Standard Colombian earthquake Resistant regulation (NSR-10).

**Method:** Two types of mortar paste were prepared, according to the proportions of cement and sand established in NSR-10 section D.3.4-1 of (Table 1); these proportions were calculated using a 0.0028 m<sup>3</sup>

container for measuring unit weight. For type A mortar rock sand was used and river sand for type B mortar.

**Results:** The resistance to compression for mortars type A at the end of the study was on average 84% of the expected resistance, whereas for type B mortars it averaged 64% above the expected resistance.

**Conclusion:** Mortar mixes made with crushed or rock (type A) arena do not reach the compressive strength required demanded by regulatory standards, despite complying with the dosage established in NSR 10 and with NTC quality criteria; while the natural sand origin or natural river sand meet these standards.

**Keywords:** Mortar paste, rock sand, river sand, compressive strength, dosing.

## INTRODUCCIÓN

Se denomina *mortero* a aquella pasta formada por la combinación de materiales cementantes, agregados y aditivos, que mezclados con una cantidad conveniente de agua dan lugar a una masa plástica. Es uno de los elementos de uso más común en construcción debido a su gran versatilidad; es posible encontrar una gran variedad de morteros que se diferencian según su composición y a la función para la cual son preparados. Estos pueden ser empleados como material de revestimiento (mortero para revoque o repello), como relleno (mortero de relleno o *grouting*) o para unir unidades de mampostería (mortero de pega). En la actualidad, el mortero más común es aquel que se prepara con cemento, arena y agua. Se caracteriza por ofrecer una mayor resistencia debido a su proceso de secado rápido y a su dureza.

En Colombia, al igual que en muchos países, la mampostería es el sistema constructivo más usado; esta técnica permite la construcción de muros (reforzados o no), mediante la unión de mampuestos (ladrillos o bloques de concreto)

por medio de un mortero. El estudio del comportamiento del mortero como componente importante de la mampostería es de vital importancia para garantizar la durabilidad y estabilidad de las edificaciones construidas mediante esta práctica, pues garantiza su resistencia frente a las fuerzas a las que se puedan exponerse.

Si bien, el mortero representa entre el 10 % y 20 % del volumen total de un muro de mampostería, su efecto en el comportamiento del muro es mucho mayor de lo que podría indicar tal porcentaje (Navas, 1999; Salamanca, 2001). Su función se encuentra subordinada a condiciones especiales del sistema constructivo; el mortero tiene que absorber esfuerzos de tensión y compresión, siendo necesario que conserve ciertas propiedades que se evalúan en dos etapas diferentes de acuerdo con su estado físico (fresco o endurecido) (Gutiérrez de López, 2003).

Las propiedades en estado endurecido se relacionan con la puesta en obra del mortero e influyen en el rendimiento y la calidad de la ejecución. Un buen mortero de pega debe adherirse a una superficie, extenderse con facilidad y no perder mucha agua ni entumecerse al

entrar en contacto con los mampuestos o con otras bases que puedan resultar absorbentes (Salazar, 2000). En el grueso de la literatura y en el lenguaje de la construcción estas características son conocidas como *plasticidad*, *consistencia* y *capacidad de retención de agua* y ayudan al mortero a lograr una buena unión entre los elementos del sistema, disminuyendo adicionalmente el riesgo de penetración de fluidos, principalmente de la lluvia.

Las propiedades en estado endurecido dependen de las prescripciones estipuladas en el proyecto constructivo y deben cumplir con las exigencias normativas y reglamentarias vigentes. El mortero de pega debe soportar cargas no muy elevadas mientras se encuentra en estado fresco y una vez endurecido debe resistir el peso de los mampuestos superiores en el caso de un muro de cerramiento o, incluso, soportar cargas elevadas cuando se trata de un muro portante; por lo tanto debe ser resistente a la compresión, propiedad a la que se recurre como criterio para la selección del tipo de mortero a emplear y como parámetro de control de calidad del sistema (Drysdale, Hamid y Baker, 1994). La resistencia a la compresión es relativamente fácil de medir y se relaciona con propiedades como la resistencia a la tensión y la absorción. A su vez, influye de manera directa en la resistencia a la compresión del sistema completo de mampostería, debido a que el mortero es el encargado de mantener unidos monolíticamente los mampuestos. La resistencia del mortero depende significativamente del contenido de cemento y de la relación agua/cemento (Maruyama, Kanematsu, Noguchi y Tomosawa, 2004). No obstante, según Farny, Melander y Panarese (2008) no es recomendable utilizar una resistencia superior a la demanda, debido a que esto disminuye la maniobrabilidad de la mezcla y no es garante de que la resistencia del sistema aumente proporcionalmente.

Debido a su uso recurrente en el contexto colombiano, existen numerosas investigaciones

que se han encargado de estudiar la mampostería y sus componentes como sistema (García, Guerrero y Monroy, 2012; Martínez y Santana, 2005; Páez, Parra y Gutiérrez, 2009; Santana y Gómez, 2007; Torres, 2009). No obstante, los estudios sobre los morteros de pega son escasos (Salazar, 2000; Sánchez, 1998). Como consecuencia, es un error común asumir que los conocimientos obtenidos de los concretos son traducibles simultáneamente al estudio de los morteros. Esta es una aseveración errónea debido a que difieren de manera importante en características como la consistencia en obra, el método de colocación y el ambiente de curado.

El mortero de pega es utilizado para unir unidades de mampostería que forman un elemento estructural individual, en contraposición al concreto que es generalmente por sí mismo un elemento estructural. Adicionalmente, en la práctica la manera en que son manipulados en obra es considerablemente disímil: el concreto se funde habitualmente en encofrados caracterizados por ser no absorbentes, metálicos o de madera, permitiendo así la retención de la mayor cantidad de agua. El mortero, por su parte, se prepara casi siempre en obra y se coloca entre unidades absorbentes, las cuales al entrar en contacto con este atraen un porcentaje de su humedad.

En Colombia, el título E de la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10 establece los requisitos generales para morteros de pega utilizados en construcciones de 1 y 2 pisos, señalando que deben tener una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de 7.5 Mpa (75 kgf/cm<sup>2</sup>), cuya dosificación entre material cementante (cemento y cal) respecto a la arena cernida por malla No. 8, no puede ser inferior a 1:4 en volumen. No obstante, la norma no es explícita acerca del tipo de agregado fino que debe emplearse, por lo que se hace necesario remitirse a la Norma Técnica Colombiana NTC 3329 en la cual se reitera el criterio de dosificación y

se indica que las arenas usadas en morteros de mampostería deben ser evaluadas en conformidad con lo establecido en la NTC 2240, la cual define que el agregado fino a utilizar debe ser una arena natural (fluvial) o triturada.

En el caso particular de la ciudad de Bogotá, la arena de peña (triturada) es el agregado fino dominante en el mercado y el más utilizado para el desarrollo de morteros para construcciones de toda índole. La localidad de Usme alberga algunas de las más importantes minas de extracción (canteras) de este material. No obstante, no existen estudios que permitan determinar si los morteros fabricados con dicha arena alcanzan una resistencia a la compresión que garantice la durabilidad y estabilidad esperadas en conformidad con los requerimientos establecidos en la NSR 10. De este modo, el empleo de una arena inadecuada podría incrementar la vulnerabilidad de las construcciones tanto al paso del tiempo como a la ocurrencia de fenómenos sísmicos. El objetivo de este estudio fue determinar si los morteros preparados con arena de peña, en las cantidades exigidas por la norma, alcanzan la resistencia a la establecida. Adicionalmente las muestras de arena fueron ensayadas según los parámetros de las NTC, para verificar que estas cumplan con todos los requisitos de calidad exigidos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Las arenas empleadas en el estudio fueron obtenidas en seis diferentes expendios de materiales de construcción de la localidad de Usme, en Bogotá. Las pruebas y ensayos fueron conducidos en el Laboratorio para Concretos y Materiales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Cada material fue ensayado de acuerdo con los parámetros establecidos en las Normas Técnicas

Colombianas (NTC) del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec), como criterio de aceptación o rechazo.

### Caracterización de los materiales

#### *Cemento*

En Colombia, la NTC 30 distingue seis tipos de cemento clasificados según su composición química, porcentaje de ceniza volante y puzolanas naturales o escorias de alto horno; factores estrechamente ligados a su comportamiento físico-mecánico. En este estudio se utilizó cemento Portland tipo I (Cemento Argos de uso general®, Argos, Colombia); este material fue ensayado según las NTC 121 y NTC 321.

#### *Agregado fino*

Se emplearon dos tipos de arenas naturales: la primera obtenida a partir del lavado de peña (arena de peña) y la segunda de origen fluvial (arena de río). Para cada tipo de arena se obtuvieron tres muestras provenientes de diferentes expendios de la zona, arena de peña (expendios 1, 2 y 3) y arena de río (expendios 4, 5 y 6). Las seis muestras fueron cernidas utilizando un tamiz N.º 4, con el fin de evitar la presencia de partículas con un tamaño superior a 4,75 mm. De conformidad con lo establecido en la NTC 2240, las muestras fueron ensayadas para determinar su granulometría y módulo de finura (NTC 77), y sudensidad y absorción (NTC 237).

### Preparación de los morteros de pega

Se prepararon dos tipos de mortero de pega, de acuerdo con las proporciones de cemento y arena establecidas en la sección D.3.4-1 de la NSR-10 (tabla 1); estas proporciones fueron calculadas utilizando un recipiente de 0,0028 m<sup>3</sup> para medidas de peso unitario. Para el mortero tipo A se empleó arena de peña y para el mortero

tipo B arena de río, para cada tipo de mortero se prepararon tres mezclas diferentes; cada una de ellas utilizando una de las seis muestras de arena previamente descritas; posteriormente se prepararon nueve probetas de cada mezcla para un total de 54 probetas.

### **Fabricación de las probetas de mortero**

Se elaboraron 54 moldes cilíndricos mediante el uso de tubos en PVC con un diámetro interno de 75 mm y una longitud 150 mm, según lo establecido en la NTC 3546. Cada molde fue sellado con un tapón de tubería PVC en uno de sus extremos; para mantener fijos los tapones durante el proceso de fraguado se emplearon correas plásticas. Los moldes fueron identificados con rotulador de acuerdo con el tipo de mortero (A o B) y a la procedencia de la arena empleada (números del 1 al 6).

Cada mezcla de mortero fue vertida en el molde correspondiente hasta llenarlo por completo. Posteriormente, con un mazo de caucho se golpeó cada molde para garantizar la liberación de posibles burbujas de aire, 24 horas después las probetas fueron desencofradas y dejadas a la intemperie a una temperatura ambiental entre 14 °C y 22 °C.

### **Fallado de las probetas**

El proceso de fallado fue realizado a los 7, 14 y 28 días, utilizando una prensa manual análoga para ensayos de compresión (E 654, Pinzuar LTDA, Colombia). Para cada fecha de fallado se eligieron tres probetas al azar de cada una de las muestras de arena empleadas, nueve para cada tipo de mortero. El cálculo de la resistencia a la compresión se obtuvo dividiendo la carga

máxima soportada por la probeta sobre el área de la sección transversal de la misma (4417,86 mm<sup>2</sup>). El resultado de las tres probetas de cada muestra de arena fue promediado según lo establecido en la NTC 3546.

### **Análisis de datos**

Para el procesamiento de los datos obtenidos se utilizaron herramientas de estadística descriptiva, particularmente medidas de promedio y desviación estándar para cada uno de los grupos de análisis definidos en el estudio.

## **RESULTADOS**

La resistencia promedio a la compresión para cada una de las mezclas se muestra en la tabla 1. A los siete días los morteros tanto tipo A como B no cumplieron con el 65 % de la resistencia esperada a los 28 días como lo establece la NTC 3546; la resistencia que alcanzaron los morteros A17, A27 y A37 fue en promedio de 23,47 % con una desviación estándar de 3,8 %, mientras que para los morteros B17, B27 y B37 fue en promedio de 46,98 % con una desviación estándar de 2,59 %. A los 14 días la resistencia que alcanzaron los morteros A17, A27 y A37 fue en promedio de 29,87 % con una desviación estándar de 1,47 %; mientras que para los morteros B17, B27 y B37 fue en promedio de 57,82 % con una desviación estándar de 12,66 %. Por último, a los 28 días la resistencia alcanzada por los morteros A17, A27 y A37 fue en promedio de 84,13 % con una desviación estándar de 2,27 %; mientras que para los morteros B17, B27 y B37 fue en promedio de 164,44 % con una desviación estándar de 14,24 %.

**Tabla 1.** Resistencia a la compresión promedio alcanzada por las seis muestras a lo largo del estudio

Mortero de pega	Resistencia a la compresión promedio		
	7 días	14 días	28 días
A1	1,49	3,32	13,47
A2	2,06	5,2	11,35
A3	1,77	4,49	12,18
B4	3,3	2,35	6,14
B5	3,62	2,13	6,48
B6	3,65	2,24	6,31

**Fuente:** elaboración propia.

Las mezclas de mortero tipo B obtuvieron resistencias significativamente superiores, no solo en relación a las obtenidas en las mezclas de mortero tipo A (que solo llegaron al 84 %), sino que fueron en promedio un 64 % más resistentes de lo esperado. Por otro lado, la desviación estándar para las mezclas A1, A2 y A3 a lo largo del estudio se encuentra en un rango de 1,47 % a 3,80 %, mientras que para las mezclas B1, B2 y B3 se encuentra en un rango de 2,59 % a 14,24 %. El comportamiento de la desviación estándar permite observar que si bien en todas las mezclas de mortero los datos obtenidos presentan cierta dispersión en relación al promedio, para el caso de los morteros tipo B hay fluctuaciones considerables, es decir que los valores de la resistencia obtenidos en cada muestra durante los eventos de falla varían considerablemente en relación a la media.

Las mezclas de mortero elaboradas con arena de peña (tipo A), a pesar de cumplir con la dosificación establecida en la NSR 10 y con los criterios de calidad de las NTC, no alcanzan la resistencia a la compresión exigida por estos códigos. En función de lo anterior, resulta pertinente que la normativa haga la salvedad de que la proporción de 1:4 en volumen permite alcanzar la resistencia exigida siempre y cuando se utilice

arena de río y que para morteros que empleen arenas de peña esta dosificación debe redefinirse. Esta aclaración resulta de vital importancia debido a que en ciudades como Bogotá la oferta de arena de peña es significativamente superior a la de río, siendo el agregado fino predominante en la construcción de todo tipo de edificaciones. Adicionalmente, el uso recurrente de este agregado a nivel práctico está ligado a que por su módulo de finura ofrece mejores acabados; no obstante, como se pudo evidenciar, esta práctica en las proporciones establecidas por la normativa supone una importante disminución en la resistencia a la compresión del mortero.

Por otro lado, aunque la variabilidad para los morteros con arena de río fue mayor, gracias a su mayor resistencia, no representa un peligro para el comportamiento de las construcciones; sin embargo, los morteros con arena de peña además de estar por debajo de la resistencia esperada tiene una desviación estándar de 3,80 % lo cual solo aumenta el nivel de riesgo en el que se encuentran las estructuras construidas con el material A. No obstante, debido a las fluctuaciones en los datos, resulta pertinente realizar un estudio a futuro con más especímenes que permita de manera más rigurosa verificar el comportamiento de las probetas.

En este estudio se empleó cemento de uso general debido a que es el más recurrente en la construcción de edificaciones; las probetas obtenidas no fueron curadas debido a que se pretendía simular las condiciones de obra, aspecto importante debido a que el no curado de las muestras puede afectar la resistencia a la compresión, la adherencia y la plasticidad del mortero.

## REFERENCIAS

- Drysdale, R.G.; Hamid, A.A. y Baker, R.L. (1994). *Masonry Structures: Behavior and Design*. Nueva Jersey: Prentice Hall.
- Farny, J.; Melander, J. y Panarese, W. (2008). *Concrete Masonry—Hand Book*. Australia: Concrete Masonry Association of Australia.
- García, N.; Guerrero, G. y Monroy, R. (2012). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 22(1), 43–58.
- Gutiérrez de López, L. (2003). Morteros. En: L. Gutiérrez de López. *El concreto y otros materiales para construcción* (pp. 115-130). Manizales: Universidad Nacional de Colombia Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/#sthash.GDtC2DMB.dpuf>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) (1982). Ingeniería civil y arquitectura. Cemento Pórtland. Especificaciones químicas. NTC 321. Bogotá: Icontec.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) (1995). *Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino*. NTC 237. Bogotá: Icontec.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) (1996). *Cemento Pórtland. Clasificación y nomenclatura*. NTC 30. Bogotá: Icontec.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) (2003). *Concretos. Métodos de ensayo para determinar la evaluación en laboratorio y en obra, de morteros para unidades de mampostería simple y reforzada*. NTC 3546. Bogotá: Icontec.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) (2004). *Concretos. Especificaciones de mortero para unidades de mampostería*. NTC 3329. Bogotá: Icontec.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) (2007). *Concretos. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos*. NTC 77. Bogotá: Icontec.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) (2013). *Concretos. Agregados usados en morteros de mampostería*. NTC 2240. Bogotá: Icontec.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) (2014). *Especificación de desempeño para cemento hidráulico. Concretos. Especificaciones de mortero para unidades de mampostería*. NTC 121. Bogotá: Icontec.
- Martínez, U. y Santana, I. (2005). *Determinación experimental de la deformación unitaria en el momento de falla de la mampostería estructural: mampostería en arcilla*. archivo de computador. Bogotá. Recuperado de: <http://ezproxy.unal.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02704a&AN=unc.000320272&lang=es&site=eds-live>
- Maruyama, I.; Kanematsu, M.; Noguchi, T. y Tomosawa, F. (2004). *Optimization of Mix Proportion of Concrete under Various Severe Conditions by Applying the Genetic Algorithm*. The 3rd (CON-SEC'01). Vancouver.
- Navas, A. (1999). *Propiedades mecánicas de la mampostería de concreto*. Proyecto de tesis de Maestría en Ingeniería Civil. San José de Costa Rica:

- Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.
- Páez, D.F.; Parra, S.X. y Gutiérrez, C.A. (2009). Alternativa estructural de refuerzo horizontal en muros de mampostería. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(14), 51–69. Recuperado de: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=75012454005>
- Salamanca, R. (2001). La tecnología de los morteros. *Colombia Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 11, 41-48. Recuperado de: <http://www.umng.edu.co/documents/63968/74795/11art6.pdf>
- Salazar, A. (2000). Pastas y morteros. En: A. Salazar. *Morteros de pega para muros de mampostería* (pp. 5-13). Cali: Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle.
- Sánchez, D. (1998). *Concretos y morteros*. 2a. ed. Bogotá: Asociación Colombiana de Productores de Concreto (Asocreto).
- Santana, I. y Gómez, J. (2007). *Determinación de la resistencia a la compresión en muros existentes, mediante el corte y ensayo de prismas*. Tesis de maestría. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Torres, J. (2009). *Comportamiento de muros de mampostería con elementos de borde confinados con platinas en el mortero de pega*. Trabajo de Especialización en Estructuras. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

