

# RESISTENCIA ESTRUCTURAL EMPÍRICA DE LA MAMPOSTERÍA DE TIPOLOGÍA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

José F. España Moratto, Esteban J. Puello Mendoza y Edilber E. Almanza Vásquez

Grupo de investigación Ciencia y Sociedad, Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias (Colombia)

## Resumen

En este trabajo se determina empíricamente la resistencia de distintas mezclas de piedra coralina, piedra de coral, ladrillos tipo tableta militar y argamasa (mezcla de arena y cal), que actúa como material aglomerante, para normalizar la mampostería de tipología colonial, usada en las construcciones antiguas de la ciudad de Cartagena de Indias. Se determinaron las propiedades estructurales de los cuatro tipos de muros que se encuentran en las edificaciones residenciales coloniales, obteniendo parámetros estructurales que servirán para evaluar sus capacidades de carga y el factor de corrección  $\alpha$  que afecta la resistencia teórica calculada de los muros, respecto a la resistencia experimental. Se establece teóricamente la mejor composición de las proporciones de los materiales de las mezclas, desde el punto de vista de la resistencia de las estructuras coloniales.

**Palabras claves:** Mampostería, argamasa, tipología colonial.

## Abstract

This work determines empirically the resistance of different mixtures of coralline stone, coral stone, bricks type military pill and cement (mixture of sand and lime) that acts as cementing material, to normalize the masonry of colonial typology, used in old constructions of Cartagena de Indias city. The structural properties of the four types of walls were determined that are in the colonial residential constructions, obtaining structural parameters that will be good to evaluate their load capacities and the correction factor that it affects the calculated theoretical resistance of the walls, regarding the experimental resistance. It settles down the best composition in the proportions of the materials of the mixtures theoretically, from the point of view of the resistance of the colonial structures.

**Keywords:** Masonry, cement, colonial typology.

## Introducción

Colombia es un país que tiene numerosas ciudades con edificaciones de tipo colonial, Cartagena de Indias, San Juan de Pasto, Santa Cruz de Mompóx y Santa Marta, entre otras, las cuales despiertan el interés de nacionales y extranjeros por visitarlas, teniendo en cuenta el gran número de monumentos que poseen. Este hecho, genera un gran impulso al sector turístico que repercute en empleos directos e indirectos que benefician a los habitantes.

Cartagena de Indias por la cantidad y calidad de sus monumentos coloniales fue declarada por la UNESCO el 6 de diciembre de 1995 como Patrimonio Histórico de la Humanidad; por lo anterior, se hace necesaria la conservación de las edificaciones en su estado original, para que no pierdan su valor histórico como monumento. Estas edificaciones coloniales en su momento fueron construidas por ingenieros militares, y en la actualidad están siendo restauradas por profesionales de la arquitectura, cuya formación no contempla la capacitación en el conocimiento y comportamiento estructural de edificaciones, aspectos que tienen que ser liderados por ingenieros civiles, con especialidad en estructuras y conocimiento básico en restauración y conservación de monumentos en su estado original, usando los mismos materiales y criterios de la época.

En Cartagena de Indias muchas edificaciones de tipología colonial, en sus estructuras, están siendo sometidas a cargas superiores para las que fueron construidas y pierden paulatinamente su valor histórico por el desconocimiento de aspectos fundamentales para tener en cuenta en sus restauraciones, tales como materiales y modelos estructurales usados en la época. Se está haciendo uso en forma inadecuada de materiales no existentes en la antigüedad, tales como cemento, concreto, acero, entre otros. Se han aplicado tratamientos y soluciones a problemas estructurales de monumentos, diferentes a los aplicados en la época colonial; a varios monumentos afectados por el paso de los años y la agresividad del medio, se les ha vulnerado su valor histórico, convirtiendo las edificaciones en híbridos que de seguir con este tipo de intervención en forma sucesiva, en un tiempo no muy lejano, perderán totalmente su valor histórico

como monumento. Las restauraciones que se hacen en las viviendas están encaminadas, más que todo a evitar colapso y no a la conservación del estado original del edificio.

En época más reciente se le ha dado mucha importancia a la restauración de la edificación en el aspecto de arquitectura original (Saldarriaga *et al.*, 2003). En lo estructural sin embargo, por la falta de una normativa de forzoso cumplimiento, se han dado soluciones que difieren sustancialmente del aspecto original y que en cierta forma acaban con el valor histórico de las edificaciones. En Colombia las normas que regulan las construcciones, no contemplan los requerimientos y criterios que deben aplicarse en las restauraciones y conservación de las edificaciones y monumentos coloniales, ya que la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente, no aplica en este tipo de estructuras, que no fueron construidas con acero ni concreto.

En la actualidad, con la conservación del valor histórico de los monumentos y edificaciones coloniales, se realiza un rescate arquitectónico de los mismos, pero estructuralmente no se garantiza la estabilidad para un nuevo uso de ellos y las nuevas condiciones de entorno que los afectan.

## Metodología

Para el estudio, de acuerdo con lo encontrado en las edificaciones coloniales de la ciudad de Cartagena de Indias, la mampostería colonial se ha clasificado en cuatro tipos: La tipo I o muros tipo cascoteo: (ladrillo, piedra coralina, piedra de coral y argamasa); la tipo II (piedra coralina y argamasa); la tipo III o muros en ladrillo (tableta militar  $0.15\text{mt} \times 0.3\text{mt} \times 0.04\text{mt}$  y argamasa) y la tipo IV o muro en piedra coralina (tableta militar, piedra coralina y argamasa).

La evaluación de la resistencia en cada uno de las cuatro tipos de mampostería colonial, se hizo con base en los resultados de los ensayos de argamasa en las proporciones 1:1, 1:2 y 1:3 de cal y arena, así como también los obtenidos para piedra coralina, ladrillo o tableta militar y piedra de coral, realizados por los ingenieros Antonio Cogollo A, Jairo Martí-

nez Llamas y Rafael Ruiz Arango en la Universidad de Cartagena, Cogollo *et al* (2003). Se prepararon diferentes ciclópeos con distintas combinaciones de material agregado grueso y las distintas proporciones de argamasa, y se calcularon las resistencias para los diferentes tipos de mampostería, para en un futuro evaluar con cierta precisión la carga real que estos resisten.

Se utilizó la expresión matemática

$$R = 0.86 \left[ \%R_a + \%R_c + \%R_l + \%R_p \right] \quad (1)$$

La resistencia total del hormigón se define como la suma de las resistencias parciales de cada uno de sus componentes, proporcional al porcentaje de participación en la mezcla. El valor 0.86 que corresponde al factor de corrección por esbeltez del murete, establecido en las normas NSR-98 tabla D 3.4 Sección D.3.7.2.5.

- $R$  = Resistencia total del hormigón  
 $R_a$  = Resistencia a la compresión de la argamasa  
 $R_l$  = Resistencia a la compresión del ladrillo  
 $R_c$  = Resistencia a la compresión de la piedra coralina  
 $R_p$  = Resistencia a la compresión de la piedra de coral

Con base en la ecuación 1, se plantearon diferentes alternativas de proporciones de ciclópeos, para obtener similitudes con las usadas en cada uno de los cuatro tipos de mampostería de tipología colonial y de ello se encontró su posible resistencia, que servirá para evaluar la carga que pudiere resistir cada una de esta mampostería, dependiendo además de la resistencia del hormigón; los espesores ( $t$ ), la excentricidades ( $e$ ) y la relación ( $P / P_{pcrit}$ ).

## Análisis y discusión de resultados

Las resistencias a la compresión de los componentes de los muros fueron:

Piedra coralina	25 kg-f/cm <sup>2</sup>
Ladrillo de arcilla cocida	175 kg-f/cm <sup>2</sup>
Piedra de coral	12 kg-f/cm <sup>2</sup>

Para la resistencia de las argamasas se tomaron los promedios de la resistencia de los ensayos a cubos de  $2.5\text{cm} \times 2.5\text{cm} \times 2.5\text{cm}$  a 60 días, para cada una de las proporciones, así:

Argamasa proporción	
<i>cal : arena</i> (1 : 1)	3.33 kg-f/cm <sup>2</sup>
Argamasa proporción	
<i>cal : arena</i> (1 : 2)	1.825 kg-f/cm <sup>2</sup>
Argamasa proporción	
<i>cal : arena</i> (1 : 3)	1.4 kg-f/cm <sup>2</sup>

### Resistencia estimada en los ciclópeos para mampostería del tipo I (Cascoteo)

Materiales: ladrillos, piedra coralina, piedra de coral y argamasa.

Se plantearon diez tipos de mezclas de agregados gruesos o combinaciones de ladrillo, piedra coralina y piedra de coral, haciendo variar el porcentaje de participación de cada uno de ellos y para cada mezcla se planteó un ciclópeo con argamasa en diferentes porcentajes y proporciones. Las proporciones de los materiales que componen las mezclas de agregados gruesos y sus resistencias, correspondientes a las sumas de las resistencias individuales proporcionales al porcentaje de participación en las mismas, aparecen en la tabla 1.

Tabla 1. Las proporciones de las diferentes mezclas y sus resistencias

Material	Mezclas de agregados gruesos									
	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10
P. coralina	33.3%	30.0%	25.0%	20.0%	35.0%	37.5%	40.0%	35.0%	37.5%	40.0%
Ladrillo	33.3%	35.0%	37.5%	40.0%	30.0%	25.0%	20.0%	35.0%	37.5%	40.0%
P. de coral	33.3%	35.0%	37.5%	40.0%	35.0%	37.5%	40.0%	30.0%	25.0%	20.0%
Resistencia kg-f/cm <sup>2</sup>	60,17	62,74	65,68	68,63	56,29	49,56	42,83	63,30	67,08	70,86

Obsérvese en la tabla 1, que las mezclas que poseen el mismo porcentaje de ladrillo, tienen resistencias a

la compresión similares, a pesar que presenten proporciones inversas de piedra coralina y de coral.

Tabla 2. Resistencias a la compresión de los ciclópeos. Argamasa en proporción 1:1

Argamasa	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
Mezcla de Agregados	95%	90%	85%	80%	75%	70%	65%	60%	55%	50%
Rm1	49,298	46,855	44,411	41,967	39,523	37,079	34,635	32,191	29,747	27,303
Rm2	51,399	48,845	46,290	43,736	41,181	38,627	36,072	33,518	30,963	28,409
Rm3	53,806	51,125	48,443	45,762	43,081	40,400	37,719	35,038	32,357	29,675
Rm4	56,212	53,404	50,597	47,789	44,981	42,173	39,365	36,558	33,750	30,942
Rm5	46,130	43,853	41,575	39,298	37,021	34,744	32,467	30,190	27,912	25,635
Rm6	40,632	38,644	36,656	34,668	32,681	30,693	28,705	26,717	24,729	22,742
Rm7	35,134	33,435	31,737	30,038	28,340	26,642	24,943	23,245	21,546	19,848
Rm8	51,856	49,277	46,699	44,120	41,542	38,963	36,385	33,806	31,228	28,649
Rm9	54,948	52,206	49,465	46,724	43,983	41,241	38,500	35,759	33,018	30,276
Rm10	58,039	55,135	52,231	49,327	46,423	43,519	40,615	37,711	34,807	31,903

La tabla 2 muestra las resistencias a la compresión de los ciclópeos con las distintas combinaciones para las mezclas dadas en la tabla 1, con distintos porcentajes de argamasa en proporción 1:1. El gráfico 1,

muestra la variación de las resistencias de las distintas mezclas, respecto al porcentaje de argamasa. El gráfico 2 por su parte, nos muestra la variación del porcentaje de argamasa respecto a las mezclas.

Gráfico 1. Resistencias de las distintas mezclas respecto al porcentaje de argamasa en proporción 1:1

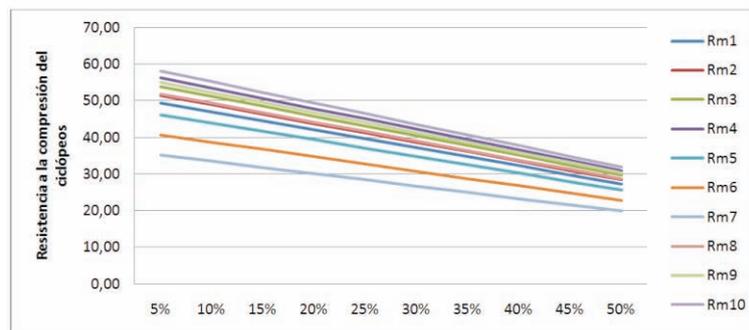
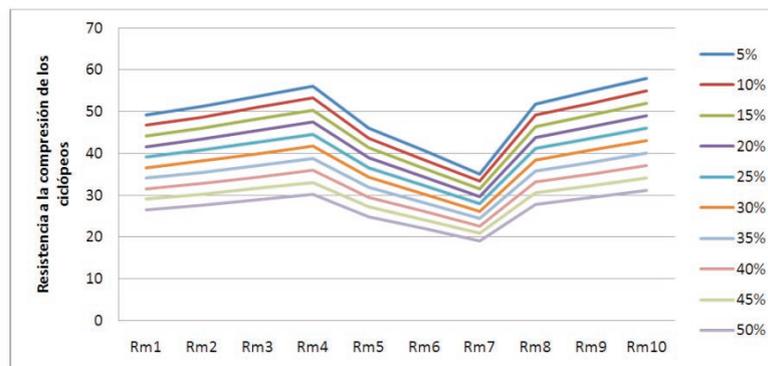


Gráfico 2. Variación de las resistencias de los porcentajes de argamasa en proporción 1:1 de las distintas mezclas



Del gráfico 1, las rectas Rm1,....., Rm10 poseen las siguientes pendientes:

Rm1	Rm2	Rm3	Rm4	Rm5	Rm6	Rm7	Rm8	Rm9	Rm10
-0,49	-0,51	-0,54	-0,56	-0,46	-0,40	-0,34	-0,52	-0,55	-0,58

Por otro lado, considerando los puntos extremos de menor y mayor resistencia a la compresión de las mezclas de acuerdo con los porcentajes, obtendríamos una diferencia de menos de 0,1 entre los valores de las pendientes obtenidas para cada uno de los tipos de mezclas como se muestra en los valores de las pendientes de Rm1,....., Rm10:

Rm1	Rm2	Rm3	Rm4	Rm5	Rm6	Rm7	Rm8	Rm9	Rm10
-0,57	-0,59	-0,62	-0,65	-0,53	-0,46	-0,40	-0,60	-0,64	-0,68

La tabla 3 muestra las resistencias a la compresión de los ciclópeos con las distintas combinaciones para las mezclas dadas en la tabla 1, con distintos porcentajes de argamasa en proporción 1 : 2 . El gráfico 3, muestra la variación de las resistencias de las distintas mezclas, respecto al porcentaje de argamasa. El gráfico 4 por su parte, nos muestra la variación del porcentaje de argamasa respecto a las mezclas.

Tabla 3. Resistencias a la compresión de los muros. Argamasa en proporción 1 : 2

Argamasa	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
<b>Mezcla de Agregados</b>	95%	90%	85%	80%	75%	70%	65%	60%	55%	50%
Rm1	49,235	46,727	44,220	41,712	39,205	36,697	34,189	31,682	29,174	26,667
Rm2	51,336	48,718	46,099	43,481	40,863	38,245	35,627	33,009	30,391	27,772
Rm3	53,742	50,997	48,253	45,508	42,763	40,018	37,273	34,529	31,784	29,039
Rm4	56,149	53,277	50,406	47,534	44,663	41,791	38,920	36,048	33,177	30,306
Rm5	46,066	43,725	41,384	39,044	36,703	34,362	32,021	29,680	27,340	24,999
Rm6	40,568	38,517	36,465	34,414	32,362	30,311	28,259	26,208	24,157	22,105
Rm7	35,070	33,308	31,546	29,784	28,022	26,260	24,498	22,736	20,974	19,212
Rm8	51,792	49,150	46,508	43,866	41,224	38,581	35,939	33,297	30,655	28,013
Rm9	54,884	52,079	49,274	46,469	43,664	40,859	38,055	35,250	32,445	29,640
Rm10	57,975	55,008	52,040	49,073	46,105	43,137	40,170	37,202	34,235	31,267

Gráfico 3. Variación de las resistencias de las distintas mezclas, respecto al porcentaje de argamasa en proporción 1 : 2

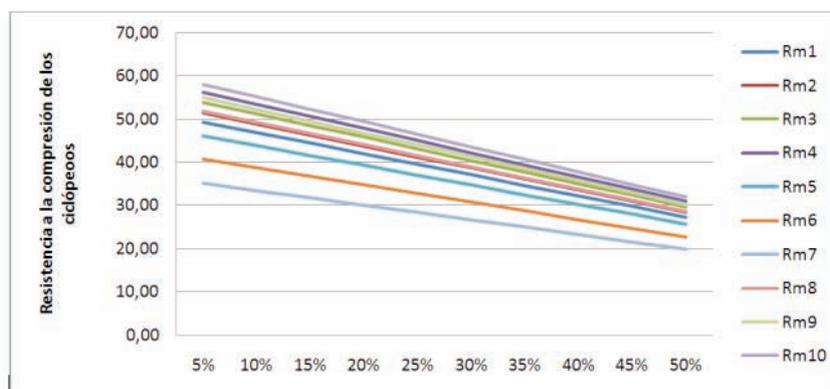
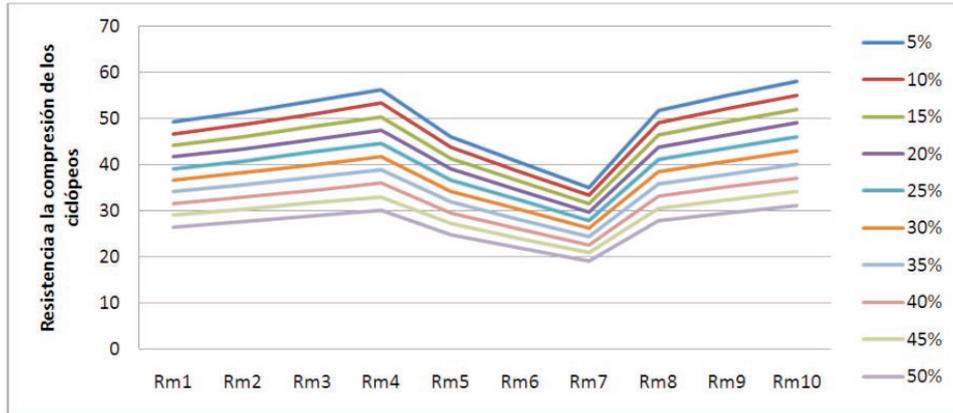


Gráfico 4. Variación de las resistencias de los porcentajes de argamasa en proporción 1 : 2 de las distintas mezclas



Del gráfico 3, las rectas Rm1,....., Rm10 poseen las siguientes pendientes:

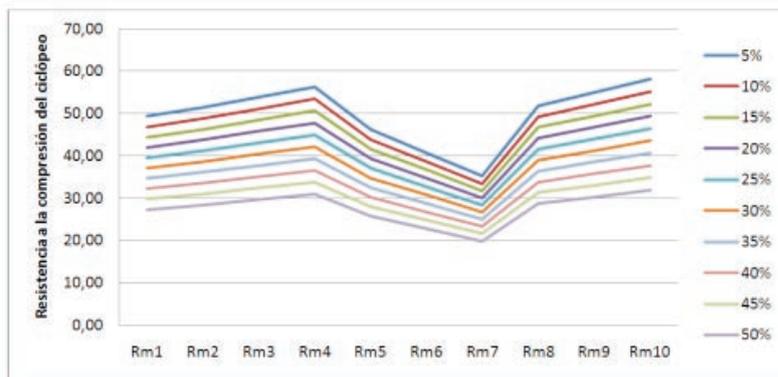
Rm1	Rm2	Rm3	Rm4	Rm5	Rm6	Rm7	Rm8	Rm9	Rm10
-0,50	-0,52	-0,55	-0,57	-0,47	-0,41	-0,35	-0,53	-0,56	-0,59

Por otro lado, considerando los puntos extremos de menor y mayor resistencia de las mezclas de acuerdo a los porcentajes, obtendríamos las siguientes pendientes de Rm1,....., Rm10:

Rm1	Rm2	Rm3	Rm4	Rm5	Rm6	Rm7	Rm8	Rm9	Rm10
-0,58	-0,61	-0,64	-0,67	-0,54	-0,48	-0,41	-0,61	-0,65	-0,69

Como se puede observar, existe una diferencia de menos de 0,1 entre los valores de las pendientes obtenidas para cada uno de los tipos de mezclas.

Gráfico 4. Variación de las resistencias de los porcentajes de argamasa en proporción 1 : 2 de las distintas mezclas



La tabla 4 muestra las resistencias a la compresión de los ciclópeos con las distintas combinaciones para las mezclas dadas en la tabla 1, con distintos porcentajes de argamasa en proporción 1 : 3 . El gráfico 5, pre-

senta la variación de las resistencias de las distintas mezclas, respecto al porcentaje de argamasa. El gráfico 6 por su parte, muestra la variación del porcentaje de argamasa respecto a las mezclas.

Tabla 4. Resistencias a la compresión de los muros. Argamasa en proporción 1:3

Argamasa	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
<b>Mezcla de Agregados</b>	95%	90%	85%	80%	75%	70%	65%	60%	55%	50%
Rm1	49,215	46,689	44,162	41,635	39,108	36,581	34,054	31,527	29,000	26,473
Rm2	51,316	48,679	46,041	43,404	40,766	38,129	35,491	32,854	30,216	27,579
Rm3	53,723	50,959	48,195	45,430	42,666	39,902	37,138	34,374	31,610	28,845
Rm4	56,129	53,238	50,348	47,457	44,566	41,675	38,784	35,894	33,003	30,112
Rm5	46,047	43,687	41,326	38,966	36,606	34,246	31,886	29,526	27,166	24,805
Rm6	40,549	38,478	36,407	34,336	32,266	30,195	28,124	26,053	23,982	21,912
Rm7	35,051	33,269	31,488	29,706	27,925	26,144	24,362	22,581	20,799	19,018
Rm8	51,773	49,112	46,450	43,788	41,127	38,465	35,804	33,142	30,481	27,819
Rm9	54,865	52,040	49,216	46,392	43,568	40,743	37,919	35,095	32,271	29,446
Rm10	57,956	54,969	51,982	48,995	46,008	43,021	40,034	37,047	34,060	31,074

Gráfico 5. Variación de las resistencias de las distintas mezclas, respecto al porcentaje de argamasa en proporción 1:3

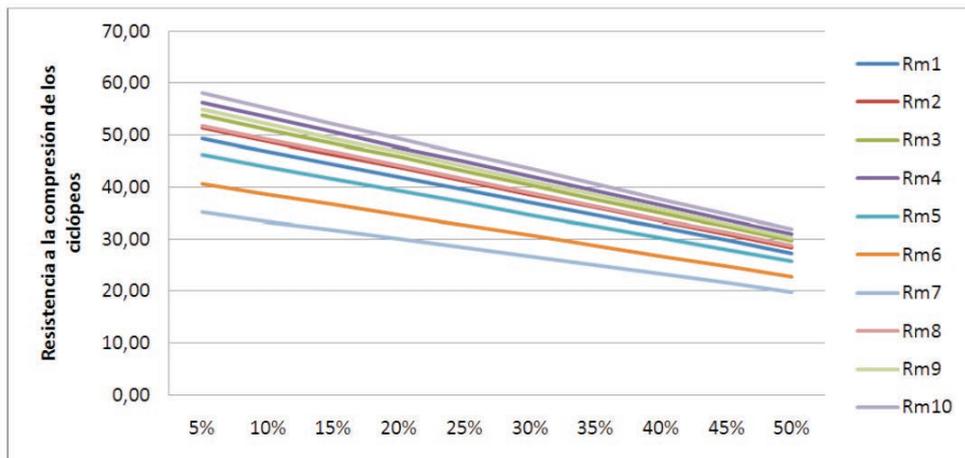
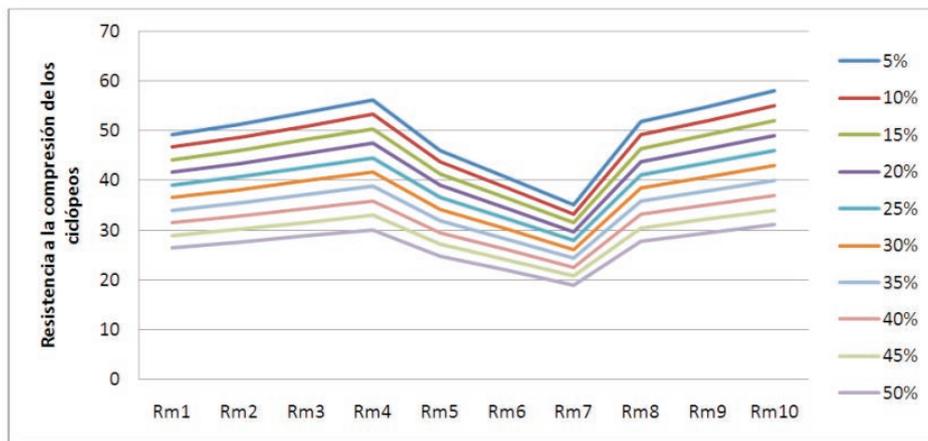


Gráfico 6. Variación de las resistencias de los porcentajes de argamasa en proporción 1:3 de las distintas mezclas



Del gráfico 5, las rectas Rm1,....., Rm10 poseen las siguientes pendientes:

Rm1	Rm2	Rm3	Rm4	Rm5	Rm6	Rm7	Rm8	Rm9	Rm10
-0,51	-0,53	-0,55	-0,58	-0,47	-0,41	-0,36	-0,53	-0,56	-0,60

Por otro lado, considerando los puntos extremos de menor y mayor resistencia de las mezclas de acuerdo a los porcentajes, obtendríamos las siguientes pendientes de Rm1,....., Rm10:

Rm1	Rm2	Rm3	Rm4	Rm5	Rm6	Rm7	Rm8	Rm9	Rm10
-0,59	-0,61	-0,64	-0,67	-0,55	-0,48	-0,41	-0,62	-0,66	-0,69

Como podemos observar, existe una diferencia de más o menos 0,1 entre los valores de las pendientes obtenidas para cada uno de los tipos de mezclas.

## Resistencia estimada en hormigones para mampostería del tipo II.

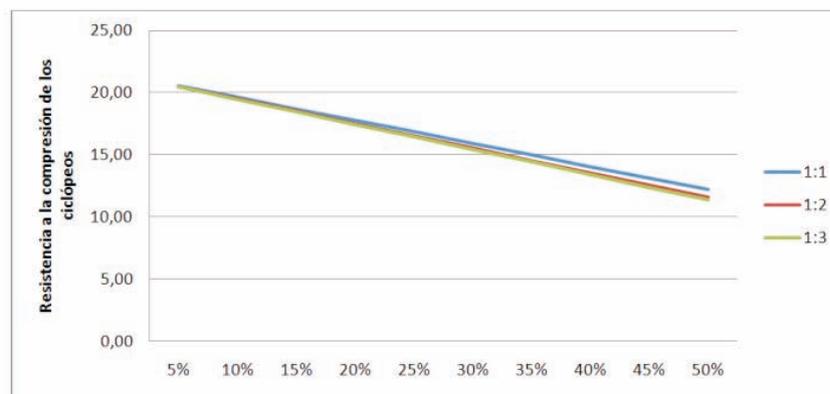
Materiales: piedra coralina y argamasa en las distintas proporciones.

La tabla 5, muestra las resistencias a la compresión de los ciclópeos con las distintas proporciones de piedra coralina y los distintos porcentajes de argamasa en las diferentes proporciones. El gráfico 7, muestra la variación de las resistencias de las distintas mezclas, respecto al porcentaje de argamasa. El gráfico 8 por su parte, muestra la variación del porcentaje de argamasa respecto a las diferentes proporciones.

Tabla 5. Resistencias a la compresión de los muros de la mampostería del tipo II

Argamasa	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
1:1	20,568	19,636	18,705	17,773	16,841	15,909	14,977	14,046	13,114	12,182
1:2	20,505	19,509	18,514	17,518	16,523	15,527	14,532	13,536	12,541	11,546
1:3	20,485	19,470	18,456	17,441	16,426	15,411	14,396	13,382	12,367	11,352

Gráfico 7. Variación de las resistencias de los distintos porcentajes de piedra coralina, respecto a las distintas proporciones de argamasa



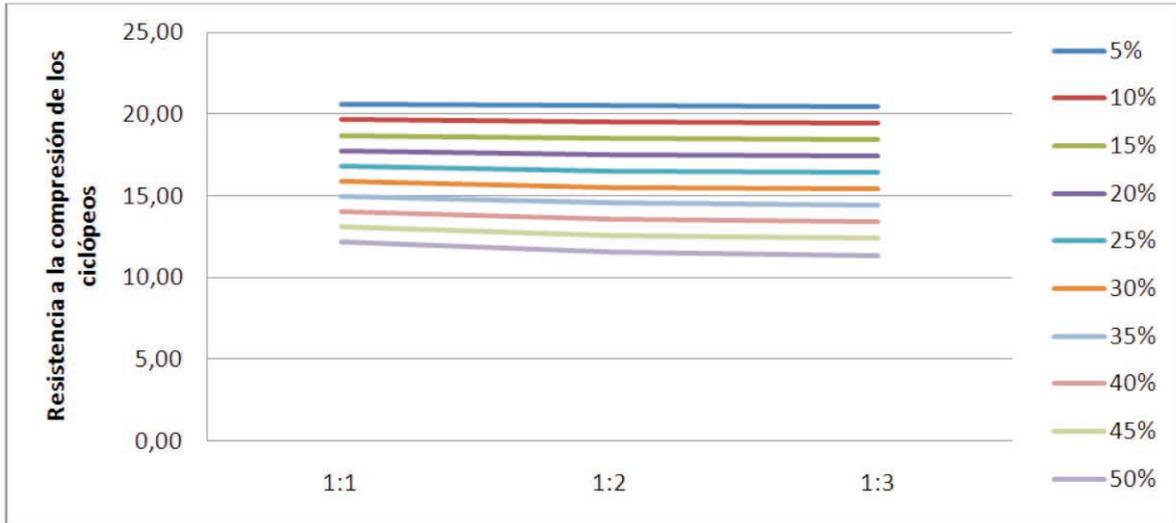
Del gráfico 7, las rectas con proporciones de argamasa 1:1; 1:2 y 1:3 poseen las siguientes pendientes: -0,186; -0,199 y -0,203 respectivamente. Por otro

lado, considerando los puntos extremos de menor y mayor resistencia de las mezclas de acuerdo a los porcentajes de argamasa 1:1; 1:2 y 1:3, obtendría-

mos las siguientes pendientes: -0,217; -0,232 y -0,236 respectivamente. Como podemos observar, existe una diferencia de menos de 0,03 entre los valores de las pendientes obtenidas para cada proporción de argamasa.

A menor cantidad de argamasa que piedra coralina en el ciclópeo, la resistencia a la compresión de este es mayor, como se muestra en el gráfico 8.

Gráfico 8. Variación del porcentaje de argamasa en las diferentes proporciones respecto a los porcentajes de piedra coralina



Se observa que la mampostería tipo II, con cualquier porcentaje de argamasa y cualquier proporción de cal y arena, posee poca resistencia a la compresión, lo que indica que la piedra coralina no se usaba como material resistente a la compresión, sino para darle un mayor volumen, que en estructuras de alturas como los muros en las edificaciones, contribuye a la estabilidad. Así mismo, contribuir en el aspecto ambiental como aislante térmico, acústico y aportar su gran resistencia a la meteorización y su baja abrasividad, a la durabilidad de la edificación.

**Resistencia estimada en hormigones para mampostería del tipo III**

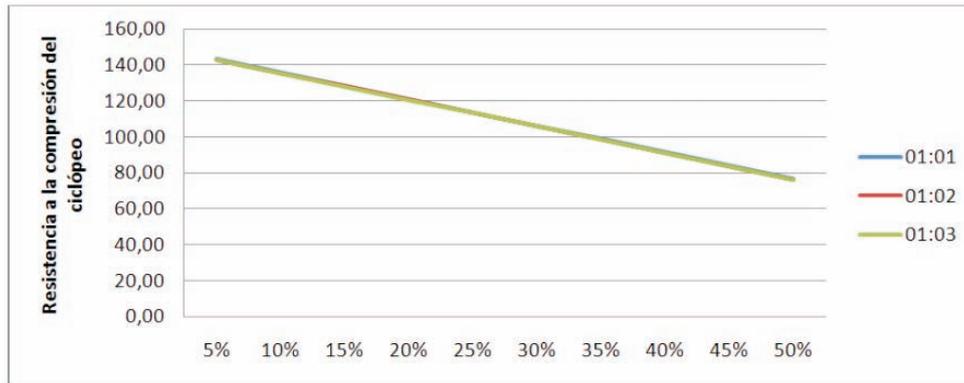
Materiales: ladrillos y argamasa en las diferentes proporciones

La tabla 6, muestra las resistencias a la compresión de los ciclópeos con los distintos porcentajes de ladrillo y los distintos porcentajes de argamasa en las diferentes proporciones. El gráfico 9, muestra la variación de las resistencias de los distintos ciclópeos, respecto al porcentaje de argamasa. El gráfico 10 por su parte, nos muestra la variación del porcentaje de ladrillos y la argamasa en diferentes proporciones.

Tabla 6. Resistencias a la compresión de los muros de la mampostería del tipo III

Argamasa	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
<b>1:1</b>	143,118	135,736	128,355	120,973	113,591	106,209	98,827	91,446	84,064	76,682
<b>1:2</b>	143,055	135,609	128,164	120,718	113,273	105,827	98,382	90,936	83,491	76,046
<b>1:3</b>	143,035	135,570	128,106	120,641	113,176	105,711	98,246	90,782	83,317	75,852

Gráfico 9. Variación de las resistencias de los distintos porcentajes de ladrillo, respecto a las distintas proporciones de argamasa

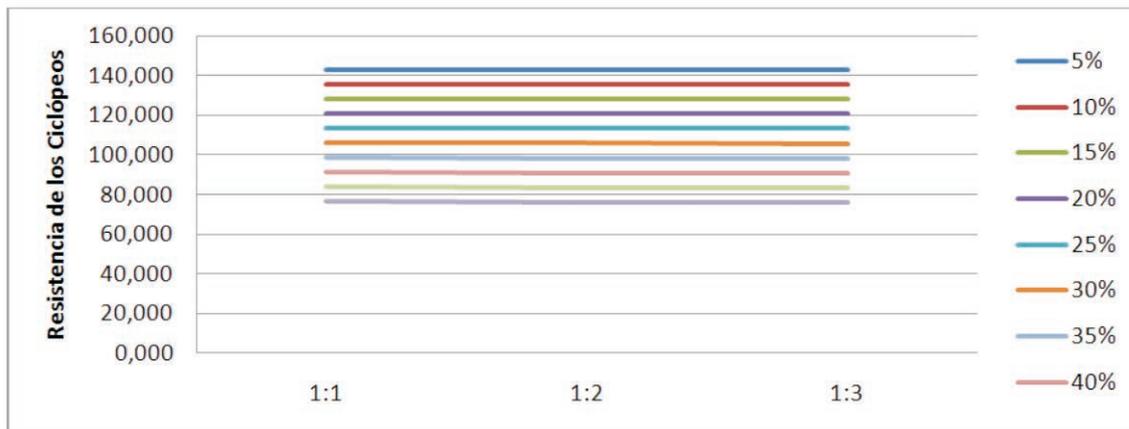


Del gráfico 9, las rectas con proporciones de argamasa 1:1; 1:2 y 1:3 poseen las siguientes pendientes: -1,476; -1,488 y -1,494 respectivamente. Por otro lado, considerando los puntos extremos de menor y mayor resistencia de las mezclas de acuerdo con las proporciones de argamasa 1:1; 1:2 y 1:3, se obtendrían las siguientes pendientes -1,727; -1,732 y 1,736 respectivamente.

Como se puede observar, existe una diferencia de más o menos 0,24 entre los valores de las pendientes obtenidas para cada proporción de argamasa.

A menor cantidad de argamasa que de ladrillo en el ciclópeo, la resistencia a la compresión de este es mayor, como se muestra en el gráfico 10.

Gráfico 10. Variación del porcentaje de argamasa en las diferentes proporciones respecto a los porcentajes de ladrillo



### Resistencia estimada en hormigones para mampostería tipo IV

Materiales: ladrillos (tableta militar), piedra coralina y argamasa en las diferentes proporciones

Tabla 7. Resistencias a la compresión de los muros de la mampostería del tipo IV con distintos porcentajes de tableta militar

	Argamasa	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
	TM 5%	1:1	27,018	26,086	25,155	24,223	23,291	22,359	21,427	20,496	19,564
01:02		26,955	25,959	24,964	23,968	22,973	21,977	20,982	19,986	18,991	17,996
1:3		26,935	25,920	24,906	23,891	22,876	21,861	20,846	19,832	18,817	17,802
Promedio		26,969	25,989	25,008	24,027	23,047	22,066	21,085	20,105	19,124	18,143

TM10%	1:1	33,468	32,536	31,605	30,673	29,741	28,809	27,877	26,946	26,014	25,082
	1:2	33,405	32,409	31,414	30,418	29,423	28,427	27,432	26,436	25,441	24,446
	1:3	33,385	32,370	31,356	30,341	29,326	28,311	27,296	26,282	25,267	24,252
	Promedio	33,419	32,439	31,458	30,477	29,497	28,516	27,535	26,555	25,574	24,593
TM 15%	1:1	39,918	38,986	38,055	37,123	36,191	35,259	34,327	33,396	32,464	31,532
	1:2	39,855	38,859	37,864	36,868	35,873	34,877	33,882	32,886	31,891	30,896
	1:3	39,835	38,820	37,806	36,791	35,776	34,761	33,746	32,732	31,717	30,702
	Promedio	39,869	38,889	37,908	36,927	35,947	34,966	33,985	33,005	32,024	31,043
TM 20%	1:1	46,368	45,436	44,505	43,573	42,641	41,709	40,777	39,846	38,914	37,982
	1:2	46,305	45,309	44,314	43,318	42,323	41,327	40,332	39,336	38,341	37,346
	1:3	46,285	45,270	44,256	43,241	42,226	41,211	40,196	39,182	38,167	37,152
	Promedio	46,319	45,339	44,358	43,377	42,397	41,416	40,435	39,455	38,474	37,493

Para el gráfico 11 se tomaron los promedios de la argamasa en las distintas proporciones 1:1; 1:2 y 1:3 y las rectas son paralelas con pendiente -0,196.

A menor cantidad de ladrillo y de argamasa en el ciclópeo, la resistencia a la compresión de éste es mayor.

Gráfico 11. Variación de las resistencias promedios de los distintos porcentajes de ladrillo, respecto a los distintos porcentajes de argamasa

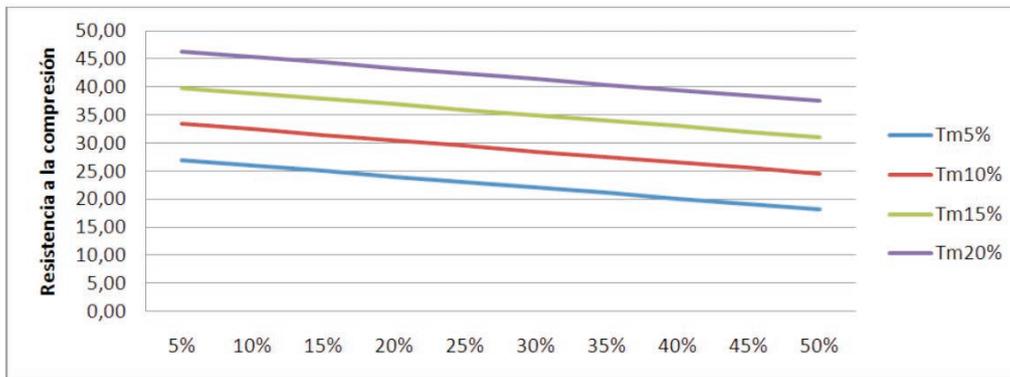
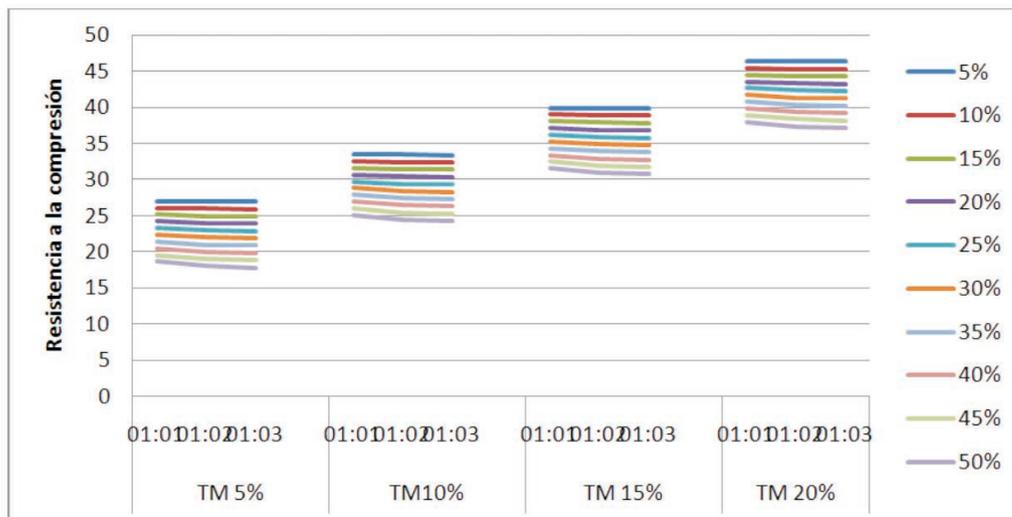


Gráfico 12. Variación del porcentaje de argamasa en promedios de proporciones respecto a los porcentajes de ladrillo



## Conclusiones

Cuando la argamasa se prepara en proporción 1:1, la resistencia del ciclópeo es ligeramente mayor que cuando se prepara en proporción 1:2 y ésta, ligeramente mayor a la preparada en proporción 1:3. Lo que indica que a mayor proporción de arena en la argamasa, la resistencia del ciclópeo disminuye; esto debido a que los espacios entre los granos de arena son llenados por la cal.

A menor cantidad de argamasa que mezcla de agregados en el ciclópeo, la resistencia a la comprensión de éste es mayor; esto debido a que la resistencia total es proporcional a las resistencias parciales y al tener los agregados gruesos mayor resistencia y mayor participación en la mezcla, se tiene este resultado.

De igual manera se puede observar, que las mayores resistencias en los ciclópeos se obtienen con las mezclas de agregado grueso que presentan mayores resistencias proporcionales, y estas resistencias se presentan en las combinaciones que poseen mayor porcentaje de ladrillo o tableta militar, independiente

de los porcentajes de piedra de coral y piedra coralina.

Uno de los problemas encontrados en las argamasas preparadas con cal (Cogollo *et al.*, 2003) es la duración en el periodo del fraguado que depende del aire, condición que justificaría el uso de materiales como la piedra coralina y la piedra de coral que le restan resistencia a las diferentes mezclas, teniendo en cuenta que la porosidad de las mismas ayudarían al fraguado del ciclópeo y sirviendo además como aislante térmico y sonoro.

De acuerdo con las pendientes de las rectas calculadas teóricamente y con datos extremos reales se encuentra que el factor de corrección de la ecuación:

$$R = \alpha \left[ \%R_a + \%R_c + \%R_l + \%R_p \right] \quad (2)$$

Donde  $\alpha$  indica el factor de corrección entre los resultados teóricos y los de laboratorio, para la mampostería tipo II (con piedra coralina) tendría un valor de 0.81 y para la mampostería tipo III (con tableta militar) tendría un valor 0.86.

## Referencias

Cogollo A., Martínez J. y Ruiz R. (1993). Morteros de Cal y Arena. Trabajo de ascenso. Universidad de Cartagena, Cartagena, pp. 48.  
 Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-98, ley 400 de 1997, decreto 33 de 1988. Asociación colombiana de ingeniería sísmica

Saldarriaga A., Villegas B. y Castañeda A. (2003). Álvaro Barrera: Arquitectura y Restauración. Villegas Editores. Primera Edición, Bogotá, pp. 231.  
 Téllez G. y Moure E. (1982). Arquitectura Domestica Cartagena de Indias. Editorial Unidades-Escala. Bogotá.

## Sobre los autores

### José Faustino España Moratto.

Ingeniero Civil, Especialista en Estructura. Profesor Titular de la Universidad de Cartagena. Sede Piedra de Bolívar. Integrante del grupo de investigación Ciencia y Sociedad, Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias D.T. y C. Colombia. Tel: 57 (095) 6430061 – 57 (095) 6752040  
 jespanam@unicartagena.edu.co.

### Esteban Puello Mendoza.

Ingeniero Civil, Especialista en Administración de Obras Civiles. Profesor Asistente de la Universidad de Cartagena. Sede Piedra de Bolívar. Integrante del grupo de investigación Ciencia y Sociedad, Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias D.T. y C. Colombia. Tel: 57 (095) 6430061 – 57 (095) 6752040  
 epuellom1@unicartagena.edu.co

**Edilber Almanza Vásquez.**

Licenciado en Matemáticas, especialista en matemáticas avanzadas, magister en Biomatemáticas. Profesor Asociado de la Universidad de Cartagena.

Sede Piedra de Bolívar. Integrante del grupo de investigación Ciencia y Sociedad, Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias D.T. y C. Colombia.  
Tel: 57 (095) 6430061 – 57 (095) 6752040  
ealmanzav@unicartagena.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.