

El Puente Ortiz en la ciudad de Cali, Colombia (1845). Historia de su construcción y caracterización de sus materiales constitutivos

Jorge Galindo Díaz
Ricardo Tolosa
Jairo Andrés Paredes

A lo largo del siglo XIX floreció sobre una superficie de poco más de 2.000 kilómetros cuadrados, situada en el sur occidente de Colombia (figura 1), una tradición constructiva de profunda raíz mediterránea relacionada con la preparación de los materiales de construcción (ladrillos y morteros), la fabricación de encofrados, el tendido de las roscas, el dimensionado de los pilares y en general, de todas aquellas tareas relativas a la conformación de puentes de arcos de ladrillo. Unas estructuras que se han conservado a pesar de las difíciles condiciones de su entorno natural y social y de una fuerte e intensa actividad sísmica de la zona donde están localizadas (Galindo y Paredes 2008).

El primero de estos puentes decimonónicos del que se tiene noticia fue precisamente el que se cons-

truyó sobre el río Cali entre 1835 y 1845, situado en la ciudad del mismo nombre, algunos de cuyos vestigios salieron a la luz en enero de 2011 como parte de las excavaciones orientadas a construir un túnel urbano. Los procedimientos arqueológicos llevados a cabo de manera simultánea con estudios histórico – constructivos y levantamientos arquitectónicos, han dado cuenta de una estructura que originalmente estuvo conformada por nueve bóvedas de albañilería, cuatro de las cuales se apoyaban en delgados pilares que a su vez se asentaban en el lecho del río que en la mitad del siglo XIX delimitaba la ciudad; las cinco bóvedas restantes servían de aliviaderos para minimizar los efectos del empuje de las aguas sobre la estructura.

La investigación que soporta este documento ha permitido reconstruir no solo la confirmación geométrica del puente sino también su proceso constructivo llegando a identificar incluso algunas de las propiedades físico químicas de dos de sus materiales constitutivos más importantes: los ladrillos y los morteros de cal, diferenciando para estos últimos los del revestimiento de sus muros y los empleados en la pega de la fábrica.



Figura 1
Localización geográfica de la ciudad de Cali en el territorio colombiano (Ilustración de los autores 2013)

HISTORIA DE LA CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE

La ciudad de Cali fue fundada por el español Sebastián de Belalcázar en el verano de 1556, en un punto intermedio (3° 27' latitud norte) del largo valle inte-

randino que cruza en sentido sur – norte el caudaloso río Cauca. El núcleo urbano primigenio se construyó siguiendo el modelo de damero, en una cota no superior a los 1.000 metros sobre el nivel del mar, de manera tal que uno de sus bordes se alineó de forma paralela al río que sirvió durante siglos como fuente de agua potable para sus habitantes.

Desde su fundación y hasta finales del siglo XVIII, la ciudad vivió un proceso de crecimiento físico y demográfico muy lento y solo en las primeras décadas del siglo XIX, ya en el período de la República, Cali empezó a expandir su perímetro urbano para lo cual se hizo necesario atravesar el río mediante una obra duradera que reemplazara a los puentes de madera que con carácter provisional se estuvieron construyendo a lo largo de varios años. Fue así como surgió la idea de construir un puente de fábrica o de *calicanto*, como se llamaba entonces a la obra de ladrillo, piedra redonda y cal, quedando su financiación a cargo de las rentas municipales y a las donaciones en metálico de la naciente burguesía urbana.

EL DISEÑO GEOMÉTRICO

Sin lugar a dudas, el primer problema práctico relacionado con la construcción del puente de sobre el río Cali tuvo que ver con su traza, es decir, con su diseño geométrico a partir del cual era posible precisar la cantidad y el perfil de los arcos y algunos aspectos dimensionales cruciales: la distancia libre que cada uno de ellos debía salvar (denominada en términos arquitectónicos *luz*), el espesor de las pilas que habían de recibir su peso y el grosor de las rosas de ladrillo que conformaban las bóvedas.

En el caso que nos ocupa no hay evidencia alguna que permita precisar quién o quiénes fueron los autores del diseño del puente sobre el río Cali, sin embargo una revisión a sus características geométricas, llevada a cabo a partir de levantamientos arquitectónicos realizados en 2011 a los cuatro arcos principales que salvan el cauce del río, permite concluir que dicha traza fue ejecutada a partir de principios geométricos muy simples que bien pueden responder a algunos de los dictados de la tradición clásica occidental relacionada con este tipo de diseños.

Cada uno de los cuatro arcos principales corresponde a lo que se denomina un arco rebajado a 1/3,

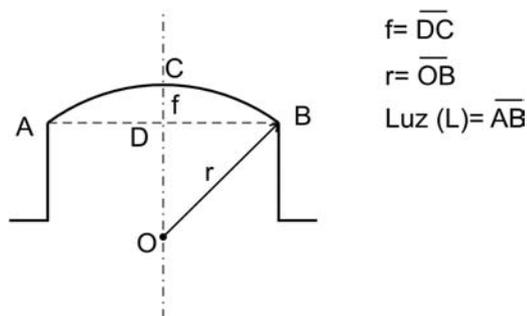


Figura 2
Vista frontal de uno de los arcos principales del puente de calicanto sobre el río Cali (Ilustración de los autores 2011)

es decir, un segmento de circunferencia en donde la flecha (f) es equivalente a la tercera parte de su luz (L) (figura 2).

A diferencia de los arcos de medio punto, en donde la flecha (f) y el radio (r) son iguales los rebajados producen fuerzas horizontales de mayor envergadura aunque tienen la ventaja de que empleados en puentes, generan bajas pendientes en los planos de rodamiento por donde transitan personas y vehículos. La construcción de arcos rebajados fue una práctica común en la ingeniería romana y su uso en puentes era bien conocido durante el Renacimiento tal y como lo demuestra Andrea Palladio, quien en su tratado de 1570 describe uno de su invención (figura 3) en donde hace uso de este tipo de arcos a fin de que la subi-

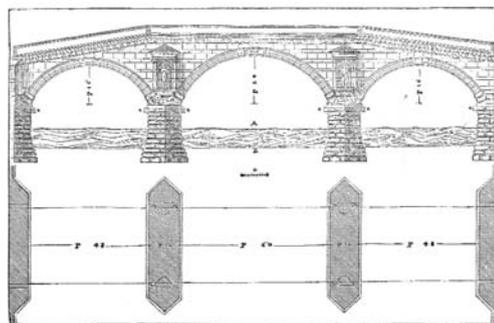


Figura 3
Puente diseñado por Palladio haciendo uso de arcos rebajados (Palladio [1570] 1998, 306).

da del puente fuese fácil y llana (Palladio [1570] 1998, 305).

En el caso del puente de calicanto sobre el río Cali, muy probablemente el autor de la traza asumió que serían cuatro los arcos a emplear en función del ancho del cauce del río y de sus posibilidades constructivas. Así, dibujó igual número de circunferencias continuas, cada una de las cuales tenía un radio equivalente a unas 6 varas castellanas (5 m aproximadamente); una vez levantada la figura se fijó que la altura de las pilas debía ser igual a la mitad de dicho radio (2,5 m), generando una luz (L) o distancia libre bajo los arcos de 10 varas (8,3 m) aproximadamente, lo que permitió conservar la relación f/L en un valor muy próximo a $1/3$ y la relación d/L igual a $1/6$ donde d es el espesor medio de las pilas. Finalmente, la altura del gálibo (g), es decir, la distancia existente entre la clave del arco y el tablero de rodamiento es la misma que el ancho de las pilas (d), e igual por lo tanto a $1/6$ de la luz (L) de cada arco (figura 4).

En este simple juego de relaciones hay dos que tienen especial importancia: ¿por qué la razón entre la flecha y la luz (f/L) debía ser igual a $1/3$? y ¿por qué la razón entre el espesor de las pilas y la luz (d/L) de-

bía ser igual a $1/6$? Ambas proporciones tienen una explicación de naturaleza mecánica: mientras mayor sea el denominador de la razón f/L mayor será la magnitud del empuje horizontal que ejercen las bóvedas sobre las pilas que la soportan; por lo tanto, una relación equivalente a $1/3$ asegura que dicho empuje se puede mantener dentro de unos límites admisibles sobre una pila con un espesor dado.

Sabemos que Alberti ([1485] 1991), por ejemplo, establecía que el espesor de las pilas debía estar comprendido entre $1/4$ y $1/6$ de la luz, y aunque durante varios siglos con posterioridad a él muchos autores optaron por pilas más gruesas con espesores próximos a $1/3$ de la luz, con el desarrollo de la ingeniería moderna, a lo largo del siglo XVIII, otros autores se inclinaron por dimensiones menores. Así, Belidor (1729 321), considerado el autor del primer tratado de ingeniería moderna, llegó a afirmar que:

Para los arcos rebajados al tercio cuyos estribos tengan una altura de alrededor de seis pies, conviene dar a la pila un espesor de la quinta parte del diámetro, más dos pies hasta las ocho toesas de luz...

Es decir, Belidor asigna a las pilas un espesor solo un poco menor a la relación $1/6$ aplicada en el puente

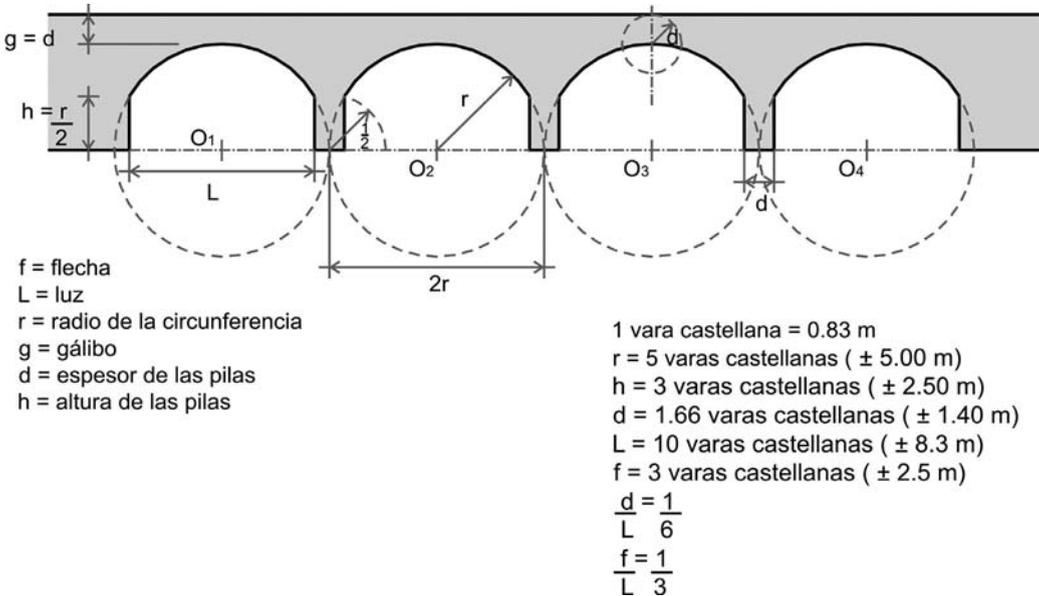


Figura 4

Traza y sistemas de proporción entre los elementos estructurales de los cuatro arcos principales del puente sobre el río Cali (Ilustración de los autores 2013)

de Cali. Y en el campo de lo práctico, será J. R. Perronet quien a través de varios proyectos construidos bajo su dirección, demostrará la viabilidad de hacer arcos cada vez más rebajados sobre pilas muy delgadas luego de observar que en muchos puentes levantados con anterioridad el excesivo grosor de estas causaba daños severos a la estructura ya que por sus dimensiones reducían la sección del paso del caudal de agua aumentando su velocidad y produciendo turbulencias en las bases a tal punto de que se socavaban los cimientos: en el puente de Neuilly por ejemplo, concluido en 1772, Perronet construirá arcos rebajados con una flecha equivalente a $1/8$ de la luz y pilares muy esbeltos cuyo espesor apenas llegará a $1/9$ de la luz.

Y aunque no es posible demostrar la existencia de un hilo conductor directo entre los ingenieros franceses del siglo XVIII y los artesanos caleños de la primera mitad del siglo XIX, lo que sí parece quedar claro es que la traza del puente sobre el río Cali respondía bastante bien a las tradiciones clásicas relacionadas con el diseño geométrico y por lo tanto estructural de los puentes de bóvedas, transmitidas bien de forma oral o escrita, o a través de las simples prácticas que daban al juego de líneas rectas y secciones curvilíneas un decisivo protagonismo proyectual.

Lamentablemente tampoco es posible contar en la actualidad con un levantamiento íntegro del puente que permita conocer la totalidad de su desarrollo longitudinal, sin embargo, el análisis de su tramo más importante parece ser suficiente para demostrar que su diseño no era producto del azar, como tampoco lo fueron las soluciones de naturaleza constructiva. Una fotografía del puente, fechada en 1908 (figura 5) deja ver con claridad el perfil de los cuatro arcos principales así como el grueso estribo norte que los separa



Figura 5
Cara este del puente sobre el río Cali en 1908 (*El Día*, 20 de junio de 1908)

del primero de los cinco arcos más pequeños o aliviaderos, construidos a fin de permitir el paso del río en época de crecientes y minimizar el efecto de la presión de sus aguas sobre la estructura.

EL PROCESO CONSTRUCTIVO

Gracias al proceso de investigación documental es posible afirmar, casi con seguridad, que el inicio de las obras del puente de albañilería tuvo lugar a mediados de 1835, concentrándose en la construcción del estribo de la margen izquierda (norte), en donde el terreno presentaba una suave pendiente hacia el río que hacía posible trabajar con tranquilidad en las tareas de cimentación y cimbrado de los arcos de nivelación de la calzada, al menos mientras no se presentaran las crecientes propias de los períodos invernales. En cualquier caso, el ritmo de las obras era entonces demasiado lento no solo por las dificultades técnicas que un puente de este tipo representaba para artesanos poco diestros, sino también por la falta de recursos económicos entregados oportunamente. Es también probable que durante esta primera fase de construcción fue cuando se tomó la decisión de desviar el cauce del río hacia el costado norte (formándose el llamado río Nuevo) sobre el cual se hizo necesario levantar un pequeño puente mediante un arco sencillo de medio punto.

De acuerdo con Hincapié (2000), la construcción del puente estuvo detenida por un período de al menos cuatro años hasta cuando en 1842 se designó al sacerdote franciscano Fray Ignacio Ortiz como su Director y quien venía de participar en los trabajos de construcción de la iglesia de San Francisco, un edificio levantado íntegramente en obra de fábrica a cara vista y que aun se mantiene en pie y en buenas condiciones de conservación y uso.

Si tenemos en cuenta que el puente sobre el río Cali estaba en servicio para el año de 1845, es fácil deducir que los tres años de labores del sacerdote Ortiz estuvieron concentrados en la construcción de los arcos principales situados sobre el lecho del río y en la manera en que estos se apoyaban sobre el estribo sur que conectaba la obra con la calle principal y a través de ella con la plaza central de la ciudad. Se trataba de la obra de mayor dificultad, tal como queda testimoniado en un informe que entonces elaborara Caicedo (1844).

Cuando faltaba una tercia para concluir el cuarto arco del puente que se está construyendo en el río que corre a las inmediaciones de esta ciudad, una considerable avenida se llevó los puntales que sostenían las cerchas, cayeron estas i en consecuencia el arco... El puente, según el diseño porque se está construyendo, debe tener cuatro arcos de diez varas de diámetro cada uno, cinco pequeños que servirán para dar paso a las aguas en las grandes crecientes, seis varas de latitud incluso el ancho de la baranda

Si tenemos en cuenta que en el siglo XIX aun se empleaban en Colombia las varas castellanas, que corresponden a unos 83,5 centímetros, es posible determinar que los arcos del puente tenían 8,35 metros de diámetro y que el ancho de la calzada apenas alcanzaba los 5,10 metros. Se sabe también que los arcos principales se apoyaban en pilas de sección rectangular, dotadas a su vez de tajamares triangulares en cada lado. Complementariamente, los cinco arcos de nivelación contruados sobre el costado norte daban al puente la pendiente necesaria para el tránsito de animales, carros y peatones y servían en caso de inundaciones para contrarrestar los empujes de las aguas sobre la fábrica.

Desde el punto de vista técnico, fueron dos los retos que debió asumir Ortiz: las obras de cimentación sobre un terreno fangoso demandaban una cimentación bien cuidada hecha a partir de piedras de gran tamaño sobre un lecho de pilotes de madera clavados dentro del suelo; por otra parte, el estribo norte (parcialmente desenterrado mediante trabajos arqueológicos en 2011) debía ser capaz de contrarrestar los empujes de los arcos principales (rebajados y de mayor luz) mediante un correcto anclaje dentro de la orilla que presentaba a su vez una fuerte pendiente a la manera de un barranco.

Luego de resolver tantos inconvenientes y prácticamente desde su inauguración, el puente despertó la admiración de muchos, entre ellos la de Holton ([1857]1981), un viajero norteamericano que pasó por la ciudad de Cali hacia 1857, y quien describió así el estado de la construcción: En compañía a del señor Triana viajamos de Cali a Vijes para visitar unas minas, y con nosotros fue el administrador de estas. Cruzamos el río Cali por un puente de ladrillo; el más largo, el mejor y también el último que vi en la Nueva Granada. Es lo suficientemente ancho para dar paso a un carruaje, y descansa sobre siete arcos. Al contemplarlo, uno se olvida dónde está, pero al

mirar las lavanderas a lo largo de las márgenes del río y los muchachos y muchachas que nadan un poco más abajo, recuerda que todavía está en la Nueva Granada.

Pero con el paso de los años las dimensiones del ahora llamado Puente Ortiz (en honor a su constructor) se fueron quedando cortas frente al flujo de peatones y vehículos mecánicos. En 1918 y bajo la supervisión de Julio Fajardo Herrera se hizo una primera intervención consistente en la construcción de andenes en voladizo de 2 metros de ancho a cada lado para usar con fines vehiculares la totalidad del ancho del tablero mediante vigas dispuestas transversalmente y situadas de manera correspondiente con las pilas de los arcos principales. Fajardo Herrera era ingeniero graduado de la Universidad Nacional y para entonces ostentaba el cargo de Ingeniero Departamental del Valle del Cauca. Posteriormente interviría, como constructor particular, en la construcción de los puentes metálicos de Mediacanoa (1927) y General Santander (1940), ambos sobre el río Cauca, y que en su momento representaron una nueva dimensión de la técnica en la región.

A partir de la información fotográfica existente y del informe que Fajardo Herrera escribiera un año más tarde para el Gobernador del Departamento, es posible deducir que las obras dirigidas por él en 1918 se limitaron a lo anteriormente dicho y a la disposición de un pavimento de macadam sobre el tablero del puente (figura 6). No se tiene noticia ni evidencia de que en este año se alteraran las condiciones originales de los arcos principales en ladrillo.

Una nueva intervención, en 1945 a cargo del ingeniero Alfonso Garrido, amplió aun más el ancho total



Figura 6
Vista del puente sobre el río Cali luego de su ampliación en 1918 (Colección particular c.a. 1926).

del puente a través de una estructura idéntica en hormigón simple que adosada a la existente, respetaba la geometría de los arcos y reforzaba los cimientos a la vez que se construían nuevos tajamares a fin de aliviar el embate de las aguas del río sobre los apoyos principales. Así, la estructura original de ladrillo quedaba embebida entre dos estructuras simétricas de hormigón que aunque duplicaban su geometría, lo escondían por completo de la vista de los habitantes de Cali. Sin llegar a ser demolido, el viejo puente quedaba escondido en aras de una imagen de modernidad (figura 7).



Figura 7. Vista del puente sobre el río Cali luego de la ampliación hecha en 1945 mediante la cual se adosaron sendas estructuras de hormigón a cada lado. Fuente: colección particular (1947).

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL PUENTE ORTIZ

Las excavaciones arqueológicas llevadas a cabo a lo largo de 2011 permitieron encontrar vestigios no alterados de los muros que conformaron el enfoque sur del puente Ortiz. Aprovechando tal condición y con el fin de conocer las propiedades físicas y químicas de los ladrillos y morteros, se llevó a cabo un proceso de caracterización experimental que reveló aspectos relacionados con las técnicas constructivas empleadas.

CARACTERIZACIÓN DE LOS LADRILLOS

Análisis de laboratorio llevados a cabo sobre ocho piezas completas de ladrillos que conformaban el

puente Ortiz permitieron obtener densidades aparentes en un rango comprendido entre $1,38 \text{ gr/cm}^3$ y $1,83 \text{ gr/cm}^3$, concluyendo que se trata de muestras muy porosas. La carga máxima promedio antes de la rotura se estableció en $10,85 \text{ kN}$, la resistencia promedio a la compresión en frío alcanzó los $7,35 \text{ Mpa}$ y el módulo de elasticidad promedio se situó en $304,94 \text{ Mpa}$.

Los análisis realizados a través de difracción de rayos X (XRD) llevados a cabo sobre el mismo conjunto de muestras permitieron conocer que son la zeolita (20,14 %) y la caolita (11,79 %) los dos diferentes tipos de minerales de arcilla que las conforman. Adicionalmente, la presencia de la hematita (5,61% para las muestras analizadas) y la forma del hierro férrico Fe_{+3} (que aparece cerca de los 850°C) es el indicador más valioso de su temperatura de quemado.

CARACTERIZACIÓN DE LOS MORTEROS DE CAL

Con el fin de caracterizar los morteros de cal empleados en la construcción del puente Ortiz, se emplearon varias técnicas de laboratorio empleadas en investigaciones de naturaleza similar (Braga Reis 1994; Maravelaki et al. 2005; Elsen 2006): difracción de rayos X, espectroscopía infra roja por transformada de Fourier, calorimetría diferencial de barrido y microscopía electrónica de barrido en ambiente.

Se tomaron cinco especímenes de mortero de cal usado en la pega de los ladrillos y dos especímenes de mortero de cal usado en los revoques de los muros que se encontraron en las excavaciones llevadas a cabo en 2011. Los resultados más importantes son los siguientes: La densidad promedio de las muestras de ambos tipos de mortero (pega y revoque) del Puente Ortiz en Cali es de $2,65\text{g/cm}^3$, tienen una consistencia blanda y son de color oscuro. Sin embargo, la proporción aglomerante (cal) / agregado (arena) es diferente en cada uno de los tipos de morteros estudiados, tal como lo muestra la tabla 1:

La distribución del tamaño de grano del agregado de la muestra del mortero de pega del puente Ortiz se observa en la figura 8. Se aprecia una tendencia en el análisis granulométrico de la muestra analizada, distribución bimodal (en torno a $1190 \mu\text{m}$ y $297 \mu\text{m}$) y descendente a partir del tamaño de grano $1190 \mu\text{m}$. En la muestra analizada, el tamaño de las partículas más finas ($<75 \mu\text{m}$) representa menos del 6% de la

	Aglomerante	Arena	Proporción
Mortero de pega	26,95%	73,04%	1 : 2,71
Mortero de revoque	34,6%	65,39%	1 : 1,89

Tabla 1
Proporción aglomerante / aglomerado en los morteros históricos del puente Ortiz.

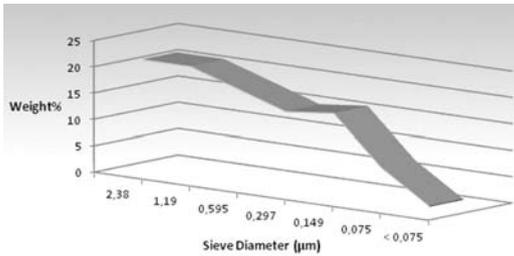


Figura 8
Distribución del tamaño de grano de la muestra del mortero de pega del puente Ortiz (Laboratorio de Física del Plasma, Universidad Nacional de Colombia 2013)

muestra. El 50% de los granos están comprendidos en el rango alto entre 1190 μm y 595 μm .

La distribución de tamaño de grano de la muestra del mortero de revoque del puente Ortiz se observa en la figura 9. En la distribución de tamaño de grano de la arena del mortero analizado se observa una distribución bimodal (en torno a 1190 μm y 149 μm) y relativamente homogénea donde el tamaño de las partículas más finas (<75 μm) representa menos del 6% de la muestra. El 50,12% de los granos están comprendidos en el rango bajo entre 595 μm y 75 μm

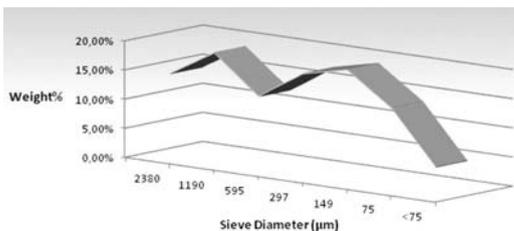


Figura 9
Distribución del tamaño de grano de la muestra del mortero de revoque del puente Ortiz (Laboratorio de Física del Plasma, Universidad Nacional de Colombia 2013)

μm . Se concluye que se usó arena más fina para la elaboración del mortero de revoque a comparación del mortero de pega.

La difracción de rayos X permitió establecer que no hay fases de alta temperatura que se obtuvieran en el proceso tecnológico de la fabricación de los morteros, por lo que la quema de la piedra caliza para obtener la pasta de cal se llevó a cabo a temperaturas inferiores de 600°C (esto debido a la presencia de caolinita). La caolinita indica que la piedra caliza contenía cierta cantidad de arcilla.

Una imagen obtenida por microscopía electrónica de barrido de la muestra de mortero de pega se muestra en la figura 10. Las observaciones realizadas con el microscopio electrónico SEM muestran un grano de arena (de aproximadamente 1 mm de diámetro) cuya capa superficial está cubierta de polvos finos, principalmente de CaCO_3 . Por debajo de estos polvos finos hay un grano sólido de gran tamaño que tiene baja porosidad y no muestra grietas ni fracturas. Los límites observados entre las partículas de mayor tamaño parecen tener una buena adherencia.

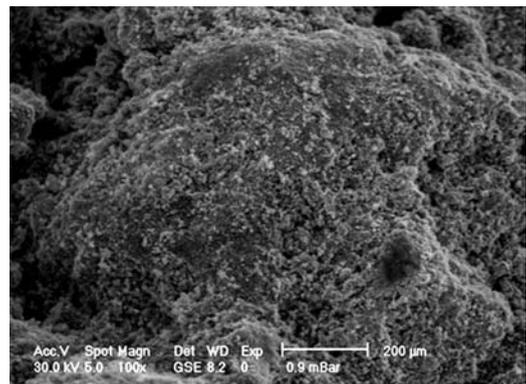


Figura 10
Microscopía electrónica de barrido de la muestra del mortero de pega del puente Ortiz (Laboratorio de Física del Plasma, Universidad Nacional de Colombia 2013)

La composición química de las partículas grandes mostró un mayor contenido de silicio y aluminio de acuerdo con la espectrometría de energía dispersiva. El análisis XRD indica que el principal componente de las partículas grandes es cuarzo (SiO_2) y el principal componente de las partículas finas es la calcita. Las partículas sólidas grandes indican que el material puede ser mecánicamente resistente. Las partículas grandes parecen estar conectadas a través de los polvos finos.

La amplificación de los polvos finos que se aprecia en la figura 11 hace que sea posible observar una morfología irregular de los cristales de CaCO_3 derivada de la carbonatación de la cal apagada y se observa una distribución del tamaño de grano no homogénea que van desde los 870 nm hasta aproximadamente $5 \mu\text{m}$. El tamaño y la textura de los granos de calcita se forman de acuerdo a las condiciones ambientales de carbonatación. Material producto de reacciones puzolánicas no es fácilmente identificable (Elsen 2006). Tampoco se observan fibras que mejoren el comportamiento mecánico del material.

La microscopía electrónica de barrido de la muestra del mortero de revoque se muestra en la figura 12. Se observa una capa superficial de polvos de calcita que recubren granos de cuarzo, proporcionando unión entre los mismos, estos polvos llenan casi totalmente los espacios entre las partículas de arena, esta característica determina una baja permeabilidad

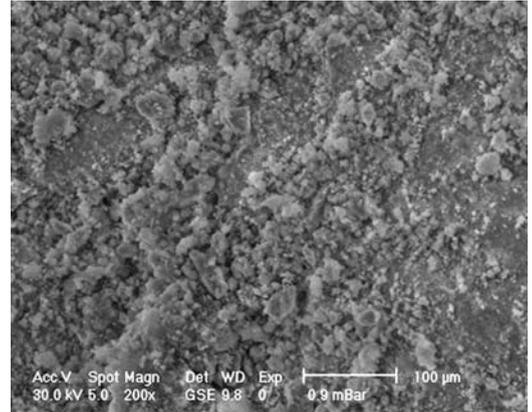


Figura 12
Microscopía electrónica de barrido de la muestra del mortero de revoque del puente Ortiz (Laboratorio de Física del Plasma, Universidad Nacional de Colombia 2013)

hacia el interior de la mampostería preservando de los agentes atmosféricos dañinos como el CO_2 y el H_2O .

Se observan pocos poros (figura 13), posiblemente formados durante el fraguado y la carbonatación. Se observa buena compactación de los polvos. No se observan fibras o geles que indiquen la formación de fases de silicatos cálcicos hidratados (CSH) que cristalicen en la superficie, esto confirma que el material arcilloso no alcanzó a ser activado.

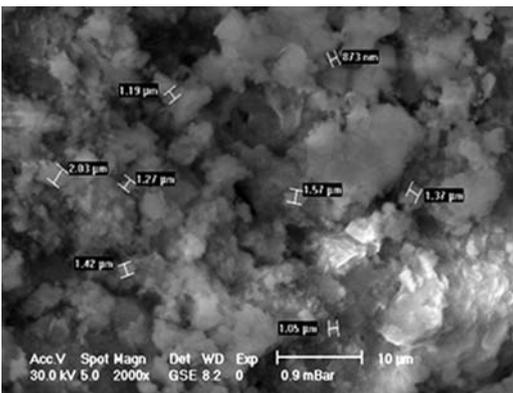


Figura 11
Microscopía electrónica de barrido de la muestra del mortero de pega del puente Ortiz (Laboratorio de Física del Plasma, Universidad Nacional de Colombia 2013)

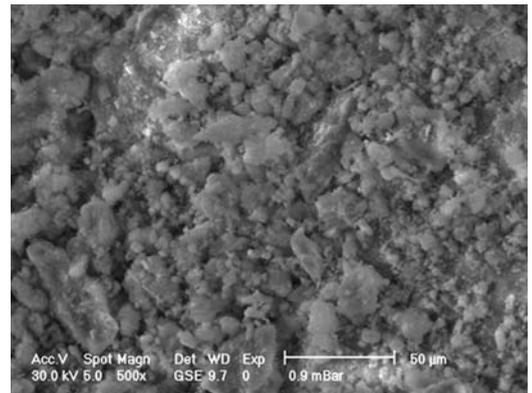


Figura 13
Microscopía electrónica de barrido de la muestra del mortero de revoque del puente Ortiz (Laboratorio de Física del Plasma, Universidad Nacional de Colombia 2013)

CONCLUSIONES

La metodología llevada a cabo en este trabajo de investigación permite afirmar que tanto el trabajo documental, como la inspección visual y los análisis físico – químicos y mineralógicos, son de gran utilidad a fin de reconstruir un proceso detallado de la historia de la construcción de un edificio y por lo tanto de la historia cultural de una región, de un país.

Dicha metodología pone de relieve el carácter complementario de diferentes procesos y técnicas de caracterización: difracción de rayos X para la identificación de las principales fases cristalinas, espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier para una evaluación de la fase no cristalina, microscopía electrónica de barrido en ambiente para una evaluación de la morfología y calorimetría diferencial de barrido para la determinación del carácter arcilloso de los morteros.

Gracias a todo lo anterior podemos saber hoy que los constructores empíricos del siglo XIX preparaban de manera diferente los morteros de pega y los morteros de revoque a partir de proporciones específicas: mayor contenido de arena (agregado grueso) en los primeros, mayor cantidad de cal (agregado fino) en los segundos.

El análisis granulométrico pone en evidencia que la cal de fabricación artesanal (producida a temperaturas menores de 600°C) empleada en los morteros de pega era de más gruesa que la de los morteros de revoque, con efectos favorables en sus propiedades mecánicas (resistencia).

Los resultados convergen para revelar la naturale-

za calcítica de los morteros utilizados en el puente confirmando el amplio uso de la cal en las técnicas de construcción de la época y evidencian la ausencia de fibras y materiales de origen orgánico en su preparación. Además, los morteros de cal empleados en la pega y revoque del puente Ortiz revelan baja presencia de arcilla, lo que indica un cuidadoso proceso de selección de materias primas por parte de sus constructores.

LISTA DE REFERENCIAS

- Alberti, Leon Battista [1485] 1991. *De Re Aedificatoria*. Madrid: Akal.
- Belidor, B.F. 1729. *La Science des ingénieurs dans la conduite des travaux de fortification et architecture*. París.
- Braga Reis, M.O. 1994. «Difracção de Raios X». *Curso Técnicas de Caracterização Química e Físico-Química de Materiais*. Lisboa: LNEC.
- Elsen, J. 2006. «Microscopy of historic mortars - a Review». *Cement and Concrete Research*, 36: 1416 - 1424.
- Galindo, Jorge y Jairo Paredes. 2008. *Puentes de arco de ladrillo en la región del alto Cauca. Una tradición constructiva olvidada*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Hincapié, Ricardo. 2000. «Puentes antiguos sobre el río Cali». *Revista CITCE*, 3: 3-30.
- Holton, Isaac [1857]1981. *La Nueva Granada: veinte meses en los Andes*. Bogotá: Banco de la República.
- Maravelaki, P. et al V. 2005. «Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete». *Cement and Concrete Research*, 35: 1577 - 1586.
- Palladio, Andrea [1570] 1998. *Los cuatro libros de la arquitectura*. Madrid: Akal.

Huerta, Santiago y Fabián López Ulloa (eds.). 2013. Actas del Octavo Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Madrid, 9-12 de octubre de 2013. Madrid: Instituto Juan de Herrera.