

CARACTERIZACIÓN DE MORTEROS ANTIGUOS EN MUROS DEL FUERTE BARRAGÁN (PTDO. DE ENSENADA, ARGENTINA): UN REGISTRO TEMPORAL DE SU CONSTRUCCIÓN E INTERVENCIONES.

CHARACTERIZATION OF ANCIENT MORTARS IN THE WALLS OF FORT BARRAGÁN (PTDO. DE ENSENADA, ARGENTINA): A TEMPORAL RECORD OF ITS CONSTRUCTION AND INTERVENTIONS.

Alejandro M. Ribot^{1,2}, Marcos Panei¹, Fernando Oliva^{2,3}, José Luis Cavallotto⁴, Fabián Iloro¹

¹ LEMIT-CICPBA, ² FCNyM-UNLP, ³ UNR-UNLP

⁴ Departamento Oceanografía. SHN

Resumen

Se caracterizaron petrográficamente materiales de construcción utilizados en los muros defensivos del Fuerte Barragán, hito y monumento histórico nacional ubicado en la llanura costera del margen sur del Río de la Plata (partido de Ensenada). Se intentó conocer su procedencia y, al mismo tiempo, evaluar la vigencia del método petrográfico como herramienta capaz de discriminar diferentes etapas de intervenciones. Los muros de ladrillo fueron edificados en 1800 como reemplazo de otros previos de adobe, y los materiales estudiados corresponden a arenas que forman parte de las juntas de ladrillo. La contribución integró dos etapas de investigaciones y muestreos (años 2021 y 2022). Una parte de las muestras analizadas provino de los sectores aflorantes de los muros, los accesibles en superficie, mientras que la otra fue obtenida a partir de excavaciones más recientes localizadas por debajo del nivel actual del terreno, y cuyo objetivo fue acceder a los cimientos antiguos de la muralla. En laboratorio, las muestras fueron caracterizadas, primero mesoscópicamente, luego tratadas químicamente para determinar su contenido de carbonatos y, finalmente, analizadas microscópicamente. Los resultados permitieron determinar que se trata de sedimentos arenosos de origen natural con composición mineralógica y características texturales tipificables. Cuando la composición de estas arenas es comparada con datos de la literatura geológica referidos a sedimentos del Río de la Plata, surge una considerable semejanza composicional y textural. Mineralógicamente, las arenas de los muros son arenas feldespático-líticas y lítico-feldespáticas, y su composición no difiere de la de arenas estudiadas en playas adyacentes, permitiendo concluir que los sedimentos utilizados en los asientos y juntas de ladrillo de las bases del muro antiguo del 1800, fueron recolectados en la llanura costera del Río de la Plata. Si bien el número de muestras analizadas fue bajo, debido a las limitaciones que impone la preservación del sitio arqueológico, el análisis microscópico demostró seguir siendo una herramienta básica útil a la hora de caracterizar y diferenciar materiales

de construcción, en este caso, arenas naturales de una obra con alto significado histórico. En forma complementaria, se incorporaron observaciones preliminares sobre dos variedades de ladrillos que forman parte de la construcción, uno considerado antiguo (cimientos del muro frontal) y otro más moderno (patio cercano al aljibe), concluyéndose que ambos no eran importados, sino que fueron elaborados con sedimentos locales portadores de vidrio volcánico de origen loésico.

Palabras clave: petrografía, arenas de morteros, muros de ladrillo, Fuerte Barragán, patrimonio construido.

Abstract

Construction materials used in defensive walls of Fort Barragán, a landmark and national historic monument located on the coastal plain on the southern bank of Río de la Plata (Ensenada district), were petrographically characterized. The aim of this study was to determine their origin, at the same time, evaluate the validity of the petrographic method as a tool capable of distinguishing different stages of interventions. The brick walls were built in 1800 as a replacement of previous adobe walls, and the materials studied correspond to sands that form part of the brick joints. The contribution included two stages of research and sampling (2021 and 2022 years). A part of samples analyzed came from outcropping sections of walls, those accessible on the ground surface, while the other one was obtained from more recent archaeological excavations located below current ground level, and whose objective was to access to its oldest base. In laboratory, the samples were characterized first mesoscopically, then chemically treated to determine their carbonate content, and finally analyzed microscopically. The results determined that these are natural sandy sediments occurring with a typical mineralogical composition and textural characteristics. When the composition of these sands is compared with data coming from geological literature referred to sediments from the Río de la Plata, a significative compositional as textural similarity arises. Mineralogically, sands of brick joints are feldspathic-lithic and lithic-feldspathic in composition and does not differ from sands studied on adjacent beaches. This allows to conclude that the sediments used in the brick joints at lower parts of the 1800s walls were collected from coastal plain of the Río de la Plata. Although the number of samples analyzed was low due to the limitations imposed by the preservation of archaeological site, microscopic analysis still proved to be a useful basic tool for characterizing and differentiating construction materials, in this case, natural sands from a building of historical significance. In addition, preliminary petrographic and x-ray diffraction studies on two varieties of bricks were also incorporated, one considered to be old (bottom of northern front wall), and the other one more modern (yard near water cistern). Because among its components were found acidic volcanoclastic glass shards with broken bubble-wall shapes, common in aeolian -and fluvial reworked- continental sedimentary deposits of late

Cenozoic of Buenos Aires province, it is concluded that at least these bricks characterized here, were also made from local sediments and not brought from outside (e.g. like ballast in foreign ships).

Keywords: petrography; wall bricks and joints; sand mortars provenance; Fort Barragán; historical built heritage.

Marco Histórico e Introducción

El Fuerte Barragán es una de las primeras construcciones del partido de Ensenada, previa incluso a la fundación de la propia ciudad de Ensenada de Barragán en 1801 (Calegari et al. 1992).

Su historia, puede iniciarse a los tiempos en que Hernando de Magallanes, explorando las costas del Río de la Plata (Febrero de 1520), descubre la ensenada pero no desembarca. El nombre de la ensenada tuvo su origen en el siglo XVII, en la cesión de tierras de los alrededores que Hernandarias hace a Bartolomé López, quien en 1629 las vende a Antonio Gutiérrez Barragán y cuyo apellido materno se arraigó en la toponimia local. Buena parte de las tierras de Barragán, luego fueron compradas por la familia López Osornio, permitiendo la urbanización de la zona. Con ubicación y accesibilidad estratégicas como puerto de aquella época (en ese entonces, más libre de sedimentación y vegetación y con buena comunicación con el río abierto), su primer destino fue controlar el contrabando de mercancías, aunque se sabe que el propio Barragán también lo utilizó para el contrabando de esclavos desde África. Fue recién en 1716 que el cartógrafo Domingo Petrarca, después de observaciones detalladas y basado en una carta previa de 1692 (Descripción geográfica del Río de La Plata, por Manuel de Ibarbelz), eligiera el lugar en la costa para montar la primera batería (Sors de Tricerri 2003, Casadas y Peltzer 2007, Castillo 2021). En 1730, Zabala, gobernador de Buenos Aires, le confirma al rey de España el descubrimiento de la ensenada y un puerto, y solicita la construcción de una batería, pedido que fue rechazado pero que escasos años después (1736), debido a un intento de invasión en 1731 y el contrabando que los portugueses hacían en la zona, se aprobó la edificación de la primera batería. Según fuentes del Museo Histórico Fuerte de la Ensenada de Barragán, el fuerte originalmente estuvo asentado sobre maderas blandas y construido con panes de barro rodeados por una muralla de adobe cocido, aunque con destinos efímeros, ya que las sucesivas crecidas del río lo destruían y debía ser reconstruido (ej. en 1765, 1771 y 1782). Cuando en Diciembre de 1800 la ciudad de Buenos Aires fue alcanzada por la gran inundación que llegó hasta la Plaza Mayor, sus habitantes comerciantes principalmente, pidieron al virrey del Pino la habilitación del puerto de Ensenada, siendo el virrey marqués de Avilés quien, el 2 de Enero de 1801, inauguró finalmente el puerto destinado al comercio, disponiendo en el mismo decreto la fundación de la ciudad de Ensenada. La reconstrucción del 1800 se hizo sobre la traza original y estuvo a cargo del marqués Loreto quien hizo

reemplazar los muros de adobe por los primeros muros de ladrillo, materiales que todavía se conservan en su base y en la de al menos una de sus torres. En esa gestión se levantó la muralla que aún sobrevive (ocho troneras, merlones, dos garitas), además de dos almacenes, cuadra para la tropa, cuarto para oficiales y cocina, batería que pudo ser completada escasos meses después de la fundación de la ciudad.

El 24 de Junio 1806, durante las Primeras Invasiones Inglesas, con una unidad a cargo de Santiago de Liniers, junto con participación de la fragata Neptuno, fue bastión de resistencia con sus cañones repeliendo el intento de desembarco de ocho buques dirigidos por Popham y al mando del general Beresford (haciéndolos huir hacia Quilmes donde sí pudieron desembarcar), aunque un año después, durante las Segundas Invasiones Inglesas (28 de Junio de 1807), al estar sin guarnición por una estrategia de Liniers, fue ocupado por las tropas de Whitelocke, transformándose por un tiempo en “hospital de sangre”. En 1811, fue puerto de partida de la fragata inglesa “Fame”, quien llevaría en una misión diplomática a Mariano Moreno. En 1820, por orden del gobernador Sarratea, dejó de ser una Comandancia Militar. Entre el 7 y 8 de Abril de 1827, en sus proximidades, fue testigo de combates navales importantes como el de Monte Santiago, durante la guerra con Brasil y por la liberación de la entonces Banda Oriental: fue allí donde el almirante (William) Guillermo Brown, en una valiente y audaz defensa con solo cuatro unidades (2 bergantines, 1 barca y 1 goleta) contra dieciocho embarcaciones brasileñas comandadas por James Norton, sufrió lo que la historia calificó como una gloriosa derrota (un despacho del cónsul inglés Lord Ponsonby a Londres, expresaba “Será difícil de encontrar, aún en nuestra brillante historia naval, una acción más audaz”), siendo en 1828 testimonio de otra contienda, el llamado Combate de Ensenada, último año de la guerra contra la escuadra del Imperio de Brasil que bloqueaba el puerto de Buenos Aires. Reconstruido su edificio en 1855 por Pedro Benoit, dos años después, se lo utilizó para alojar a pasajeros y tripulaciones que se ponían en cuarentena, llegadas por barco desde Montevideo como consecuencia de la severa epidemia de fiebre amarilla. En 1860 cesó su función sanitaria, volvió a ser abandonado y, fue recién en 1911 que la provincia de Buenos Aires, previa nueva restauración, decide abrirlo al público.

Un rico aporte a la historia del fuerte puede encontrarse en el trabajo de Ratto (1930).

En 1916, el fuerte junto con los terrenos que lo incluían, pasó a formar parte del Parque y Escuela de Aeroestación y Aviación de la Armada Argentina, construyéndose una pista de aterrizaje y hangar, aeródromo alternativo que se cerró en 1974. En 1965 pasó a ser Museo Histórico y luego, en 1969, se transformó en Museo Naval, llegando hasta 1985, momento en que finalmente pasó a depender de la Municipalidad de Ensenada, para convertirse en la sede del hoy día Museo

Histórico y Archivo Forte Barragán. Mediante el Decreto N° 120.411/1942, se lo declaró Monumento Histórico Nacional y, la reconstrucción que hoy sobrevive, sigue siendo un elemento patrimonial de alto valor histórico que retrotrae a los tiempos del Virreinato del Río de la Plata.

Objetivos del trabajo.

Caracterizar petrográficamente los materiales naturales utilizados en los morteros que forman parte de los muros antiguos para conocer su procedencia y, a su vez, intentar diferenciarlos de otros utilizados en intervenciones posteriores. En forma complementaria, se incorporaron observaciones preliminares sobre dos variedades de ladrillos.



Figura 1. Vista satelital (Octubre de 2024) del fuerte y Museo Histórico. Se observa el frente E-O de cara al río (unos 36,6 m de longitud, ahora sedimentado y con vegetación), dos flancos (~ 17,6 m c/u), dos aletas (~ 12,5 m c/u) y, atrás, las cortinas con un acceso central.

Figura 2. Muros vistos desde el NO mostrando la fachada exterior inclinada, una cornisa o pequeño remate con ladrillos dispuestos de canto (verticales) y con extremidades redondeadas (ubicado ~ 1,60-1,70 m por encima del nivel actual del terreno), ocho troneras y, entre ellas, los merlones.



La construcción

El diseño del fuerte consistió en un arco poligonal elaborado de mampostería (sistema muralla-talud), tiene geometría hexagonal extendida en dirección este-oeste, con dos pequeñas torres de vigilancia (garitas) también de planta hexagonal, que remataban en casquetes semiesféricos. Según consta en la página de la Comisión Nacional de Monumentos de Lugares y de Bienes Históricos (trabajo de Tricerri, op. cit.), la obra estuvo a cargo del capitán Francisco J. de Reyna y la habrían construido habitantes de los pueblos originarios que formaban parte de las Misiones.

Respecto al origen de los materiales naturales utilizados (ej. en morteros), se conoce poco. Los ladrillos son de tipo cocido, de dimensiones grandes un tanto variables en comparación a los modernos y la suposición es que habrían sido traídos de afuera como lastre en embarcaciones de la época.

Según Oliva (2022), el fuerte fue motivo de una serie de excavaciones y trabajos previos a 2005, retomados recién en 2021 y que incluyeron prospecciones geoeléctricas y, posteriormente, nuevas excavaciones que se extendieron hasta Diciembre de ese año e inicios de 2022. Las mismas tuvieron por objetivo exponer sectores del fuerte situados por debajo del nivel actual del terreno (Bongiovanni et al., 2023).

CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA

a. Juntas de ladrillos y revoques

Metodología.

Las juntas de ladrillo y revoque fueron descritas a escala mesoscópica, tal como fueron extraídas, mediante lupa binocular Leica S8APO. Posteriormente, sobre una porción representativa, previo ataque con solución de ácido clorhídrico al 20% para eliminar carbonatos y determinar el residuo insoluble (RI), se realizaron las identificaciones microscópicas. Para la caracterización mineralógica y clasificación de las arenas se utilizó un microscopio de polarización Leica DM2500P. El RI sin tamizar (muestra total) fue estudiado mediante lupa y luego con microscopio mediante la técnica de grano suelto (montado en bálsamo de Canadá de índice de refracción $n: 1,54$), y sus tamaños de grano medidos con ocular micrométrico. Las abundancias minerales se determinaron por conteo de campos sucesivos bajo microscopio; otras estimaciones mesoscópicas se obtuvieron por comparación con plantillas con granulometrías y abundancias variables, normalizadas. La clasificación de las arenas naturales se basó en el trabajo de Folk et al. (1970) y no incluyó los bioclastos carbonáticos (conchillas).

Para el caso de los ladrillos se siguió una metodología semejante, pero sin determinación del RI. Primero fue mesoscópica con determinación de algunas propiedades físico-mecánicas y luego microscópica. Las dos variedades de

ladrillos seleccionados tuvieron diferente proveniencia (base de un muro defensivo y explanada cercana al aljibe).

Características meso- microscópicas de los morteros

Se analizó un total de siete (7) morteros, resultando que seis (6) de ellos tenían características texturales y composicionales semejantes entre sí (muestras M1, M3, FB-2, FB-3, FB-4 y FB-6), y diferentes a las de la muestra restante (M2). Por esta razón su caracterización se abordó en forma separada, resumiéndose en una tabla comparativa para las seis primeras muestras (Tabla 1) y una breve descripción separada para la muestra M2. En todos los casos, se prestó atención al estado de conservación de las juntas, algunas características físicas, además de los materiales naturales (arena, bioclastos, fibras vegetales) y artificiales (fragmentos de ladrillo, carbón) con que fueron elaborados.

Figura 3. Unidad 3. Vista de junta de ladrillo más antigua (flecha) y, más hacia afuera, intervención con un mortero más nuevo (R). Capuchón 6 cm.

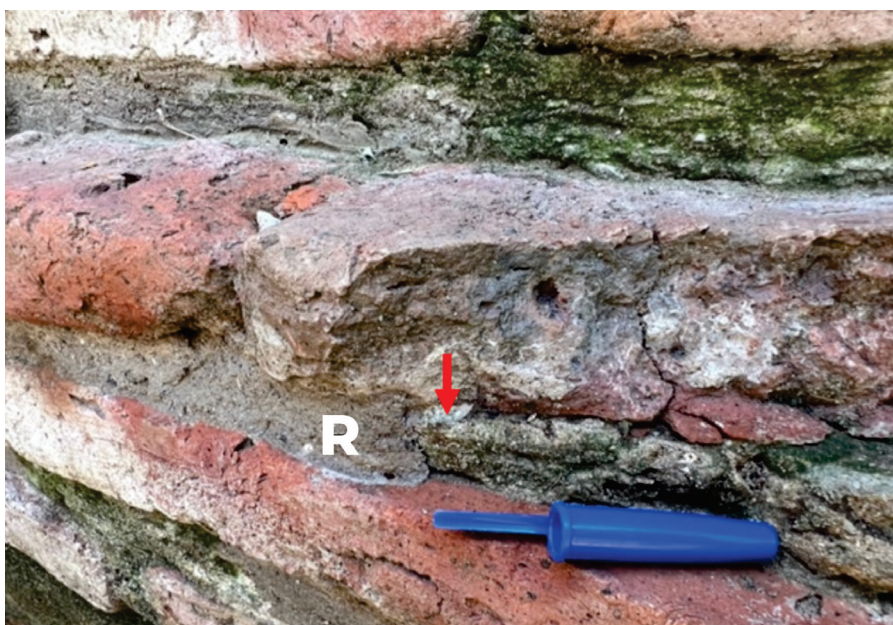


Figura 4. Otro ej. (muestra M3) mostrando intervención más moderna con junta de ladrillo rica en conchillas (R); localización: sector superior, cara interna muro E-O frontal. Moneda: 24 mm.



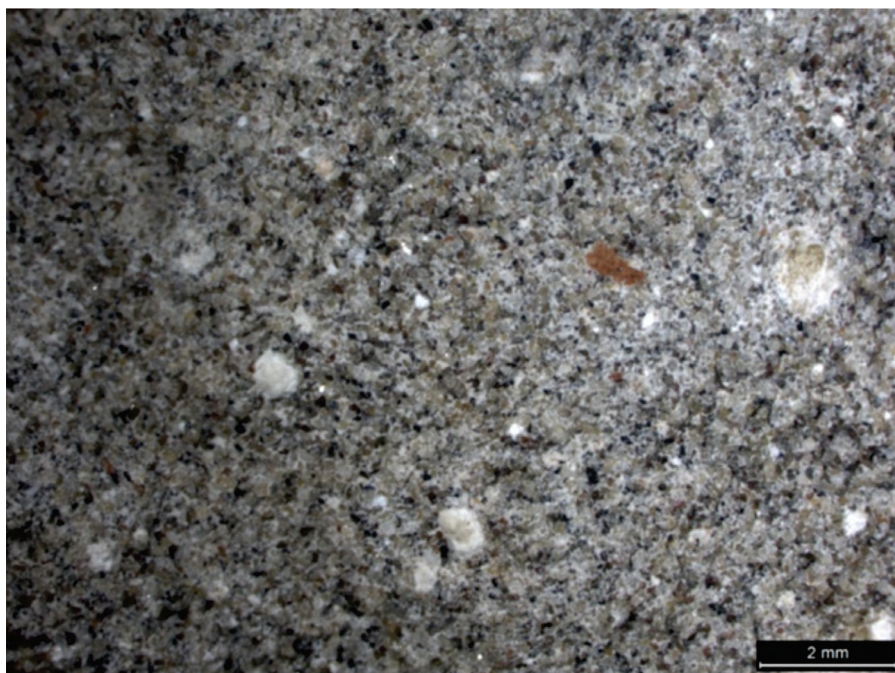


Figura 5. Muestra M1: vista con lupa binocular mostrando la arena natural, grumos carbonáticos (blanquecinos) y fragmento de ladrillo (rojizo).



Figura 6. Muestra M3: nuevamente clastos de arena natural (mayor tamaño que en M1), partículas negras (posible carbón o materia orgánica) y abundantes conchillas fragmentadas: ejemplifica una junta intervenida. Barra: 2 mm.

a.1. Muestras M1, M3; FB-2, FB-3, FB-4 y FB-6

Tabla 1: Características mesoscópicas de las muestras.

Muestra	M1	M3	FB-2	FB-3	FB-4	FB-6
Procedencia	Cara externa del muro NO-SE	Cara interna muro norte de cara al río, orientado E-O. Junta interven.	Pared este enterrada Unidad N°3	Contrapiso enterrado: Unidad N°5	Junta de ladrillo de contrapiso enterrado: Unidad N°6	Junta adherida a ladrillo de pozo de agua (aljibe)
Color	Blanquecino grisáceo claro			Blanquecino pardusco claro		Blanquecino grisáceo claro
Estado de agregación	Relativamente compacto	Deleznable	Relativamente compacto	Disgregable		Compacto y tenaz
Concentraciones y rellenos carbonáticos terrosos	Abundancia 4-5% Tam. < 6-8mm	Abund. 1-2,5%, enmascarados por las valvas. Tam. < 2mm	Abund. 4-6%. Tam. < 5-6mm	Abund. 2-4%. Tam. < 5mm, mayormente 1-2 mm	Abund. 3-4% Tam. < 12 mm	Abund. 2%, enmascarados por las valvas. Tam. < 1,5 mm
Valvas	Muy escasos fragmentos delgados.	Enteras y fragmentadas: 17-28%, relativamente bien conservadas. Tam.: 0,5 a 18mm	Fragmentos aplanados, cóncavo, convexos, muy degradados (deleznales).	Escasos fragmentos aplanados, muy degradados (terrosos y deleznales).	Esporádicos fragmentos delgados, cóncavo, convexos, deleznales.	Enteras y fragmentadas: 13-16%, relativamente bien conservadas. Tam.: < 13-20mm
Fragmentos / polvo de ladrillo	Tam. < 1 a 9 mm Abund. 2-4%	Tam. < 14 mm Abund. 1-3%	Tam. < 1 mm Abund. < 0,6%	Tam. 0,5-1,0 mm, escasos hasta 5-7 mm. Abund. 1,5%	Tam. < 0,5 – 3,0 mm. Abund. 1,5%	Tam. < 1 mm, escasos hasta 1,5-3 mm Abund. 0,5-1%
Carbón		Abundancia 1,5-2,5%	Abundancia 1,0-1,5%			
Fibras vegetales	Tam.: < 8 mm Abund. 0,5-1,0%					
Residuo insoluble (RI)	48%	55%	76%	65%	65%	53%
ARENA NATURAL Tamaño de grano de los clastos	Predom. 0,07-0,10 a 0,22-0,25 mm (AMF-AF), escasos de hasta 0,35 mm; esporádicos hasta 1,5-4,0mm.	Predom. 0,15-0,18 a 0,40-0,45 mm (AF-AM), subordinados hasta 0,50-0,60 mm, esporád. hasta 1,10 mm.	Predom. 0,14 a 0,24 mm, (AF), rango total 0,07 a 0,50 mm, ocasionalmente hasta 0,70 mm.	Predominantes entre 0,13 y 0,25 (AF), rango desde 0,07 a 0,60 mm, escasos hasta 1,50 mm. Selección más baja que FB-2.	Predom. 0,12 a 0,23 mm, (AF), rango total 0,07 a 0,40-0,50 mm, ocasionalmente hasta 0,70 mm. Selección semejante a FB-2.	Predom. 0,12 a 0,25 mm, (AF), rango total 0,07 a 0,70 mm. Escasos redondeados, algunos partidos, de cuarzo o feldespatos.
Redondeamiento	Subangulosos (angulosos). Escasos angulosos.	Subredond. (subangulosos y redond.). escasos angulosos.	Subangulosos (subredond.). Escasos redondeados y angulosos.	Subangulosos (subred.). Clastos mayores red. y bien red. (Qtz mono o policristalino. Escasos ang.	Subangulosos (subredond.)	
Otros datos microscópicos		Muestra más rica en clastos subred. y red. que M1.		Presencia de clastos de Fsp y cuarzo feldespático.		

Abreviaturas: Junta interven.: junta / revoque intervenido. Abund.: abundancia. Tam.: tamaños. Predom.: predominantes. Qtz: cuarzo. Fsp: feldespatos o feldespáticos. Red.: redondeados. Subred.: subredondeados. Ang.: angulosos. Nota: el examen microscópico de la arena natural (RI), no incluye bioclastos calcáreos. Los términos entre paréntesis, por ej. en redondeamiento, indican que son rangos subordinados o presentes en menor proporción.

Descripción mineralógica (muestras M1, M3; FB-2, FB-3, FB-4 y FB-6):

Cuarzo: clastos subangulosos, subordinados subredondeados y redondeados, escasos angulosos, con extinción homogénea, ocasionalmente levemente ondulosa; algunos con inclusiones (fluidas o cristalinas aciculares). Esporádicos clastos subredondeados, de cuarzo policristalino.

Plagioclasa: clastos subangulosos y subredondeados, subordinados redondeados, mayormente frescos, a veces reteniendo cierto hábito tabular. Presenta maclas polisintéticas de albita (en individuos finos hasta más gruesos), a veces, combinada con Carlsbad, e índices de refracción n ligeramente mayores a 1,54. También se identificaron clastos de hábito tabular más marcado, con zonaciones concéntricas (normales u oscilatorias), y $n > 1,54$ (composiciones algo más cálcicas que la albita pura).

Feldespatos potásicos: clastos subredondeados y subangulosos, subordinados redondeados, frescos y subordinados parcialmente enturbiados por alteración a arcillas (su grado de alteración suele ser ligeramente mayor al de la plagioclasa). Los de microclino (raramente micropertítico), predominan sobre los escasos de ortosa.

Líticos: predominan los clastos subredondeados y redondeados, de pastas de rocas volcánicas ácidas, incoloras, castaño amarillentas, frescas hasta muy alteradas. Las microfelsíticas son predominantes, seguidas por subordinadas felsofíricas, hialopiliticas y algunas traquíticas. Muy escasos clastos subredondeados y redondeados, de pastas vítreas parcialmente devitrificadas (texturas esferulíticas). Muy escasos clastos subangulosos hasta subredondeados, de cuarzo policristalino (con extinción ondulosa y bordes suturados), de rocas metamórficas. En algunas muestras (ej. M3), muy escasos clastos redondeados y subredondeados, de rocas cuarzo feldespáticas (posibles plutónicas graníticas). Escasos clastos subredondeados a redondeados, de posibles arenitas de grano muy fino y limolitas cuarzosas (las últimas, a veces, con cemento ferruginoso).

Vidrio volcánico: clastos, en parte conservando morfología de trizas, otros subredondeados y redondeados (M3), incoloros a levemente coloreados (castaño pálido), con microburbujas y canalículos, de composición ácida ($n < 1,54$).

Calcedonia: clastos subredondeados, incoloros hasta castaño rojizo pálidos, con microestructuras bandeadas y/o fibroso radiadas.

Minerales accesorios: en orden decreciente de abundancia, se reconoció: hornblenda: el más abundante; forma clastos redondeados y subredondeados, escasos subangulosos, frescos, a veces con buen hábito prismático corto, con

pleocroísmo verde - verde oscuro. Ortopiroxeno: clastos redondeados y subredondeados, con hábito prismático corto, frescos o parcialmente alterados, con pleocroísmo rosado a verde pálido; puede exhibir terminaciones dentadas, corresponde a hipersteno. Augita: su abundancia puede llegar a equiparar al ortopiroxeno; forma clastos subredondeados, incoloros o apenas verde pálidos. Circón: clastos subredondeados, escasos subhedrales conservando caras cristalinas. Lamprobolita: muy escasos clastos subredondeados a redondeados, prismático corto, con marcado pleocroísmo castaño - castaño rojizo. Rutilo: no siempre presente, clastos subangulosos y subredondeados, castaño rojizo oscuros. Turmalina: esporádica; clastos subredondeados, con pleocroísmo marcado (sólo presente en algunas muestras). Granate: escaso; clastos subredondeados, rosado pálido (como la turmalina, sólo fue identificado en algunas muestras: ej. M6). Minerales opacos: subredondeados y redondeados, mayormente equidimensionales, de magnetita (muy escasos elongados). Presencia de anfíboles y piroxenos con terminaciones dentadas.

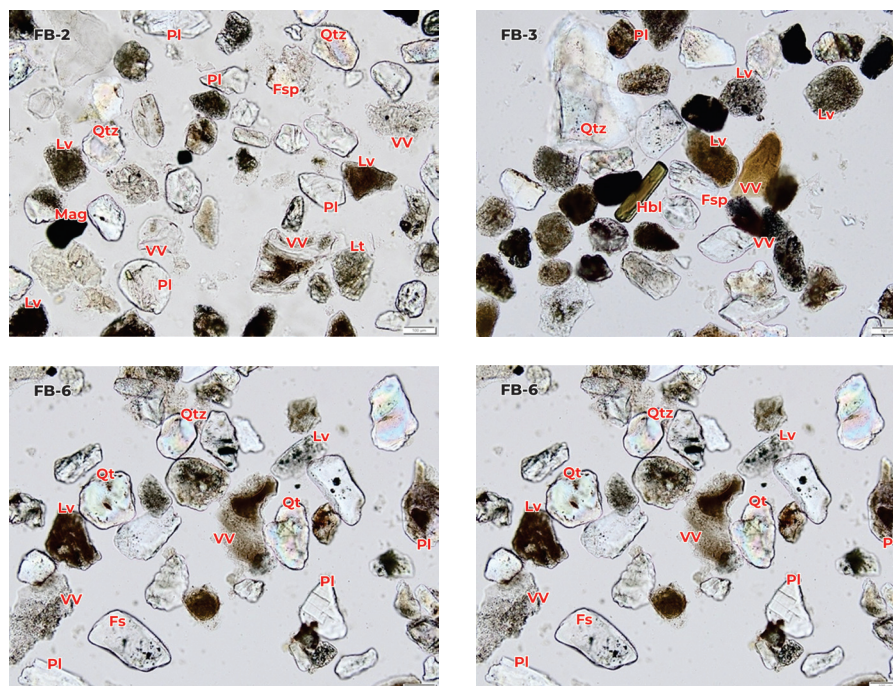


Figura 7. Microfotografías nicolas // (preparados a grano suelto) de las arenas FB-2, FB-3, FB-4 y FB-6. A excepción de FB-6. Ligeramente más gruesa en el sector que abarca la foto, la granulometría y grados de redondeamiento, son relativamente semejantes entre sí (arena fina-muy fina con clastos subangulosos y subredondeados). Cuarzo: Qtz; feldespato: Fsp; plagioclase: Pl; feldespato potásico: Kfs; líticos: Lt; líticos volcánicos: Lv; vidrio volcánico: Vv; hornblenda: Hbl; clinopiroxeno: Cpx; augita: Aug. magnetita: Mag. Escala: barra 0,10 mm.

a.2 Muestra M2 (junta de ladrillo externa, cara interna del muro frontal orientado E-O): características meso- microscópicas en muestra total y **RI** (73%).

Mesoscópicamente, tiene tonalidades blanquecinas como las muestras previas. Se presenta compacta y tenaz, y se diferencia de aquéllas por tener un tamaño de grano mayor (predominante entre 0,22-0,25 y 0,50 mm: arena fina - mediana, subordinado arena muy fina-fina: 0,15-0,20 mm y arena gruesa: hasta 0,70-0,80 mm). Acompañan escasos clastos de arena muy gruesa (hasta 1,8 mm) junto a esporádicos clastos redondeados, gris claro y/o blanquecinos, de hasta 5-6 mm.

Los clastos de arena natural son redondeados y subredondeados (subordinados a escasos, subangulosos) y pueden estar recubiertos por pátinas castaño claras.

No se alcanzan a identificar grumos ni rellenos carbonáticos, en cambio sí, esporádicos (<1%) restos pequeños de fibras vegetales. Las valvas carbonáticas suelen estar fragmentadas, tienen tamaños entre 1 y 6-7 mm, y abundancias entre 4 y 8%. Entre los fragmentos de trituración incorporados, los de ladrillos cerámicos son los predominantes: tienen coloraciones variadas (rojizas, rojizo pálidas, gris oscuras y castaño grisáceo pálidas), alcanzan tamaños desde algo menos de 1,0 mm hasta 5,0 a 23,0 mm, con abundancias de 3 a 7%; acompañan escasos fragmentos muy angulosos de rocas cuarzosas o cuarzo feldespáticas (< 3-4 mm, en tamaño).



Figura 8 y 9. Muestra M2. Arriba: aspecto del material tal como fue extraído (moneda 24 mm). Abajo: foto de mayor detalle con lupa binocular, mostrando la arena natural, un clasto mayor de cuarzo policristalino (Qtz p: gris), una valva fragmentada (V) y un fragmento rojizo de ladrillo (L). Barra: 2 mm.

Descripción microscópica del RI (arena natural, no se incluyen los bioclastos).

Al microscopio los clastos se presentan redondeados y subredondeados, acompañados por subordinados bien redondeados y escasos subangulosos. Se identificaron clastos partidos (en parte bien redondeados, en parte subangulosos). La composición mineralógica tanto cuali- como cuantitativa, se diferencia del grupo que integran las muestras previas. Aquí el cuarzo alcanza una abundancia elevada (93%), en los feldespatos el feldespato potásico pasa a predominar sobre la plagioclasa, también decrecen notablemente los líticos y, dentro de ellos, particularmente los de origen volcánico, ocurriendo lo mismo con los minerales accesorios que se reducen a unos pocos granos (ver Tabla 1).

Cuarzo (93,0%): forma clastos redondeados y subordinados subredondeados, con extinción homogénea. Es el componente que alcanza los tamaños mayores. Puede presentar inclusiones aciculares orientadas y también inclusiones fluidas. En algunos clastos, se reconocieron inclusiones aciculares de rutilo, dispuestas en tres direcciones. Aislados clastos subredondeados, de cuarzo policristalino, de grano muy fino y extinción ondulosa.

Feldespato potásico (4,2%): predomina sobre la plagioclasa. Forma clastos subredondeados y subordinados redondeados, escasos subangulosos. Se presentan mayormente frescos y, subordinados a escasos, parcialmente alterados a finos agregados filosilicáticos (arcillas), muy marcada en algunos. Algunos pueden retener cierto hábito tabular. Aislada presencia de feldespato potásico alterado con micropertitas.

Plagioclasa (1,1%): muy escasa; forma clastos subredondeados y redondeados, a veces con maclas polisintéticas de albita combinadas con periclino; en algunos clastos se identificaron ocasionales restos de zonaciones composicionales.

Líticos (1,6%): también son un componente escaso. Predominan los clastos sub-redondeados, de limolitas cuarzosas. En proporciones equiparables, acompañan algunos clastos subangulosos, de composición cuarzo feldespática, tentativamente asignables a rocas graníticas. Muy esporádicas pastas volcánicas.

Minerales accesorios (0,1%): sólo circón en cristales euhedrales (también como inclusiones en cuarzo o feldespatos).

Observaciones y clasificación: la muestra M2 tiene semejanzas petrográficas con arenas de construcción modernas provenientes del río Paraná (comercialmente denominadas tipo Argentina). Corresponde a una arena subfeldespática (Folk et al., 1970).

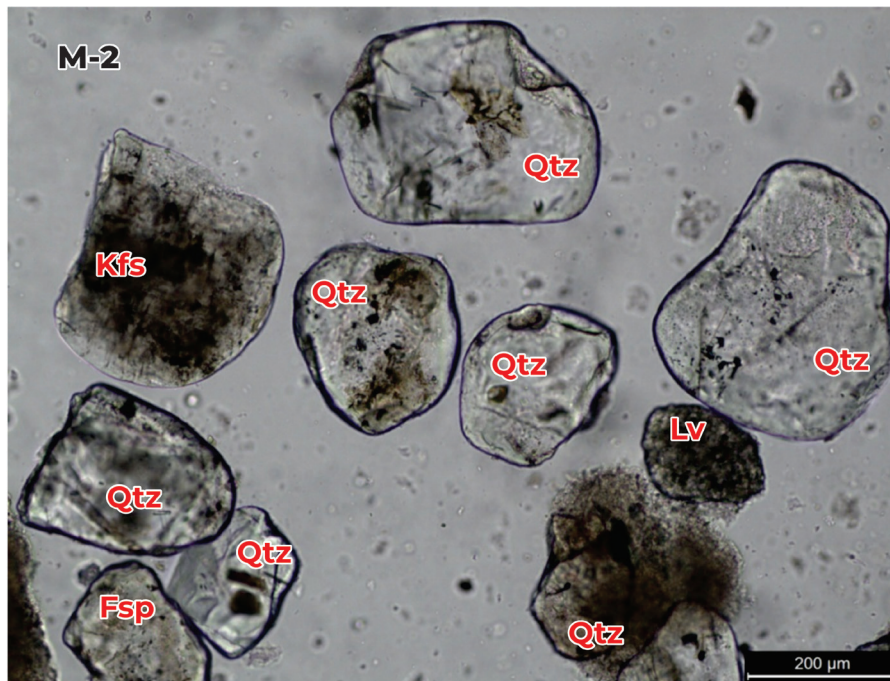
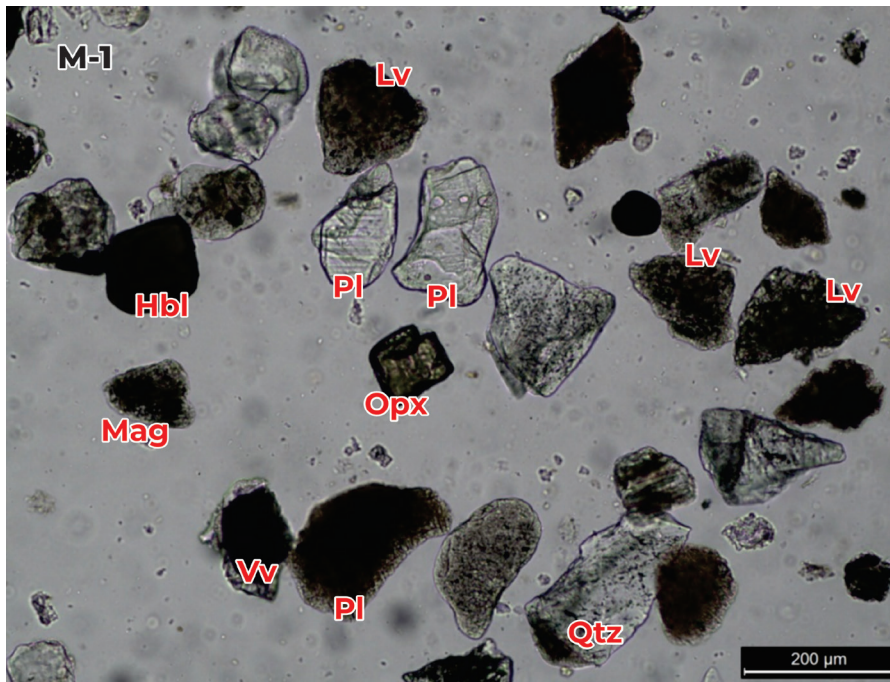


Figura 10. . Microfotografías nicolas // de arenas presentes en el RI de los morteros. Notar que en M1 los clastos son subangulosos hasta subredondeados, con tamaños < 0,25-0,30 mm, composicionalmente, ricos en feldspatos Fsp (Pl: plagioclase) y líticos volcánicos (Lv: pastas ácidas) y relativamente escasos en cuarzo (Qtz), con los accesorios anfíbol (Hbl: hornblenda) y piroxeno (Opx: ortopiroxeno). Mientras que en M2 los clastos son redondeados y subredondeados, tienen mayor tamaño de grano y el Qtz es el componente más abundante, seguido por escasos feldspatos (Kfs: feldspato potásico alterado predominando sobre plagioclase) y algún Lv (pasta de roca volcánica). Barra: 0,20 mm.

Tabla 2: Composición mineral de la fracción arena en los RI de juntas de ladrillo y contrapisos (Informe año 2023). Abreviaturas: Qtz: cuarzo; Fsp: feldespatos totales. Min. acces. transp.: minerales accesorios transparentes.

Muestra	FB-2	FB-3	FB-4	FB-5
Residuo insoluble % (RI)	76	65	65	53
Clastos analizados	141	238	236	193
Componentes %				
Cuarzo	22,8	17,6	16,9	22,3
Plagioclasa	23,0	18,1	20,5	37,1
Feldespato potásico	7,8	8,8	9,3	8,9
Líticos	32,6	45,4	40,7	21,4
Vidrio volcánico	10,6	4,6	3,4	7,8
Calcedonia	---	---	---	0,3
Min. acces. transp. y opacos	3,3	5,5	9,2	2,2
Total	100%			
Tamaño de grano predom. (no incluye bioclastos CO ₃)	0,15-0,24	0,13-0,25	0,12-0,23	0,12-0,24
	Arena fina			
Clasificación (Folk et al., 1970) Qtz+Fsp+Líticos recalculados a 100%	Arena lítico feldespática			
Redondeamiento	subangulosa (subredondeada)			

Tabla 3: Composición mineral de la fracción arena en RI de juntas de ladrillo (Informe año 2021).

Muestra	M1	M2	M3
Residuo insoluble % (RI)	48	73	55
Componentes %			
Cuarzo	18,4	93,0	15,2
Plagioclasa	34,7	1,1	29,8
Feldespato potásico	12,0	4,2	17,0
Líticos	28,6	1,6	34,7
Vidrio volcánico	2,1	---	0,3
Calcedonia	0,3	---	0,1
Min. acces. transp. y opacos	3,9	0,1	2,9
Total	100%		
Tamaño de grano predom. (no incluye bioclastos CO ₃)	0,07-0,25	0,22-0,50	0,18-0,45
	Arena muy fina - fina	Arena mediana (fina)	
Clasificación (Folk et al., 1970) Qtz+Fsp+Líticos recal. a 100%	Arena lítico feldespática	Arena sub-feldespática	Arena lítico feldespática
Redondeamiento	subangulosa (subredondeada)	subredondeada a redondeada	subredondeada (redond y subang)

Tabla 4: Mineralogía de la fracción arena Fm Playa Honda (tomado de Cavallotto, 1995). Abreviaturas: Qtz: cuarzo; Fsp: feldespatos totales; Kfs: feldespato potásico; Pl: plagioclasa.

Muestra	Santo Domingo	Punta Lara	Punta Indio
Componentes %			
Cuarzo	10,2	7,3	3,7
Feldespato Relac. Kfs/Pl	36,9 (19,0/17,9)	48,5 (26,3/22,2)	41,1 (24,7/16,4)
Líticos	49,3	42,4	38,1
Vidrio volcánico	2,7	0,4	6,0
Min. acces. transp. y opacos	0,9	1,4	11,1
Total	100%		
Tamaño de grano prom.	Arena muy fina (fina)		
Clasificación (Folk et al., 1970) Qtz+Fsp+Líticos recalculados a 100%	Arena lítico feldespática		

Arenas: discusión de los resultados

El residuo insoluble (RI en % peso) sirve para dar una idea de la proporción de carbonatos totales que tienen los morteros, sea como material fino diseminado, en grumos y/o como valvas (cuanto más alto es, menor debería ser la proporción de carbonatos presentes en el mortero). En las muestras analizadas, en algunos casos, reflejó bien el grado de compacidad y/o la abundancia de conchillas presentes en el total del mortero, mientras que en otros no. Tales diferencias pueden deberse a lo limitado del tamaño de las muestras sometidas al ataque ácido (fragmentos de escasos cm) ya que en todos los casos se intentó minimizar el impacto sobre el sitio y los propios materiales arqueológicos. No obstante, otros factores externos e internos no abordados aquí (ej. el grado de exposición a la intemperie, patologías de las estructuras en que participan, variaciones composicionales de los materiales utilizados, variaciones del nivel del río, acción biológica, entre otros), seguramente también controlaron su estado de conservación final.

Características texturales y composicionales: a excepción de la arena M2 (Tabla 3) que tiene buen grado de redondeamiento, composición rica en cuarzo (valores recalculados a 100% para Qtz: 93,1%, Fsp totales: 5,3% y líticos: 1,6%) y corresponde a una arena textural y composicionalmente madura (relación Qtz / Fsp tot. + Líticos ~ 93,1 / 6,9) de una junta intervenida, las seis muestras restantes (Tablas 2 y 3) comparten semejanzas texturales (granulométricas, redondeamiento) y mineralógicas suficientes como para ser correlacionadas entre sí (composiciones promedio recalculadas de Qtz: 20,9%, Fsp tot.: 41,6% y líticos: 37,5%, con Pl predominando sobre Kfs, y donde

la mayoría de los líticos son pastas de origen volcánico). Este grupo presenta baja madurez textural (clastos subangulosos y subredondeados) y baja madurez composicional (es rico en componentes lábiles y tiene una relación Qtz / Fsp tot. + Líticos ~ 20,9 / 79,1), si bien un mismo mineral dentro de una misma muestra (ej. Qtz) puede presentarse subanguloso y redondeado a la vez, sugiriendo fuentes distintas y/o clastos con diferente grado de desgaste (o retrabajamiento). Un caso especial lo constituyen las arenas M3 (sector intervenido con juntas y revoques ricos en conchillas), ya que no pueden ser diferenciadas a partir del análisis microscópico: el hecho de que compartan textura y composición con las arenas de los morteros considerados antiguos indicaría que su origen también es local. Según refieren Contreras y Luchini (2022), durante sus trabajos de limpieza y restauración de sectores deteriorados de los muros, junto con la reposición de piezas de ladrillo y como reemplazo de los morteros de la época, aplicaron mezclas de hasta 3-4 mm de espesor, integradas por cemento y conchillas; se interpreta entonces que M3 podría corresponder a una de esas mezclas actuales.

Particularidades como las halladas en las arenas de estos morteros, también son reconocidas en sedimentos holocenos de las llanuras costeras del Río de la Plata. Según Cavallotto y Violante (1985), durante el Holoceno, el río estuvo sometido a dinámicas sedimentarias complejas controladas principalmente por los ríos Paraná y Uruguay, pero también interferidas por corrientes fluviales menores e interacción marina (aunque el aporte de sedimentos desde el sur fue menos importante que el proveniente desde el norte). Así, formando parte de lo que estos autores refieren como el cortejo sedimentario de mar alto (sedimentos depositados desde el máximo nivel alcanzado por el mar durante el Holoceno y hasta la actualidad), se depositaron sedimentos limosos y arenosos en condiciones subaéreas y subácuas, agrupados en la denominada Formación Playa Honda.

Cuando la composición de las arenas del fuerte es confrontada con arenas de la Fm. Playa Honda (Fig. 11. Diagrama Qtz - Feldespatos - Líticos de Folk et al. 1970), dos grupos diferentes de muestras surgen: (a) uno constituido por arenas feldespáticas líticas y líticas feldespáticas cuya composición se ajusta bien a la de dicha formación, y (b) otro representado por una única muestra (M2) que clasifica como arena subfeldespática. Las arenas del primer grupo son interpretadas representar los materiales de playa fluviales con que se elaboraron los morteros antiguos, posiblemente los originales, aunque uno de esos seis morteros, M3 proveniente de intervenciones más modernas, también recurrió a arenas semejantes.

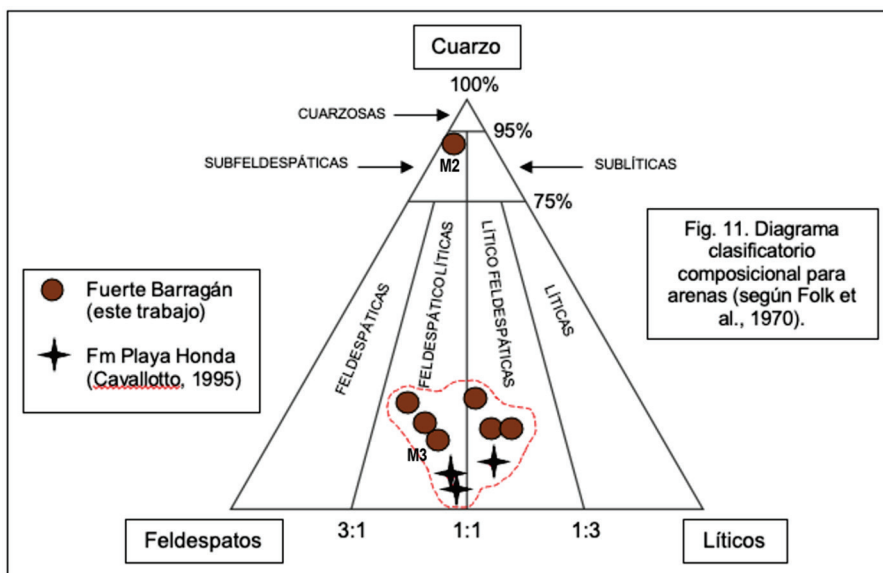


Figura 11. Diagrama Qtz - Feldespatos - Líticos de Folk et al. 1970

b. Caracterización de los Ladrillos.

La observación de campo y de algunas características mesoscópicas (Tabla 5), permitió diferenciar dos variedades contrastadas y representativas de ladrillos: una provino de la base enterrada (cimientos) del muro antiguo (muestra FB M4), y la otra, de una explanada o patio que circunda el aljibe, enterrado entre 22-30 cm por debajo del nivel actual del terreno y representa un ladrillo más moderno (FB M1); en ambos casos se trató de ladrillos cocidos macizos.

Los dos ladrillos seleccionados fueron sometidos a ensayos físico-mecánicos (densidad, absorción, porosidad y resistencia a la compresión), y caracterizados petrográficamente y por difracción de rayos X. En la Tabla 5 se resumen algunas observaciones generales.



Figura 12. Vista del patio cercano al aljibe (sitio donde se recolectó el ladrillo más moderno FB M1, dimensiones: ~ 4-6 x 12-14 x 24-28 cm, conviviendo con otros mayores: ~ 4 x 18 x 36 cm, más fracturados y considerados ser más antiguos).

Figura 13. Parte interna del muro defensivo este-oeste que mira hacia el río, mostrando la calicata que descubre los cimientos antiguos donde se muestreó el ladrillo FB M4.

Tabla 5: Características de los ladrillos.

Ladrillo y sitio arqueológico de muestreo	Dureza relativa (Mohs)	Densidad	Absorción %	Porosidad %	Resistencia max. compresiva	Composición min, por DRX (% en peso)
FB M1 Unidad 2 - Zona patio aljibe	4	1,70	11,57	17,50	2.226,8 Kg/cm ² = 218,4 mPa	Qtz: 39 - Pl:45 Kfs: 6 (5Mag + 5 Hem)
FB M2. Unidad 2	-4 en sectores pardos rojizos; >4 y >5 en sectores grises rojizos oscuros	1,53	11,75	16,1		
FB M3. Unidad 5	3,5	1,75	23,58	33,30		
FB M4. Unidad 6 Base muro antiguo	3,5	1,78	23,19	33,03	1.253,4 Kg/cm ² = 122,9 mPa	Qtz:31 - Pl: 49 Kfs: 15 Hem: 5
FB M5. Unidad 8	3,5	1,61	20,06	26,8		
Observaciones						
FB M1 Unidad 2 - Zona patio aljibe	Conserva adherido suelo con conchillas y su data es moderna. Cara superior: convexa (con eje largo // a su alargamiento), cara inferior: algo cóncava; puede conservar estrías o marcas longitudinales relacionadas con el proceso de elaboración. Están colados con sus caras planas // a la horizontal, unos 23-30cm por debajo del nivel del terreno; dimensiones: 13-147x27-28x4-6cm. Convive con otros ladrillos más antiguos, fracturados, de mayores tamaños: 17-18x33-36x4-4,5cm. FB M1 se presenta compacto y tenaz, rico en poros y fisuras irregulares, color rojizo oscuro (intermedio entre 10R 5/4 y 20R 4/2) en su exterior, y gris oscuro (N3) en su núcleo.					
FB M2 Unidad 2	Tamaños regulares cercanos a 5x15x30cm. Suelen conservar juntas relativamente tenaces y compactas portadoras de altos % de conchillas (enteras y fragmentadas, tamaños ≤13-20mm); ej. Muestra FB M6. Poros de formas variadas; los elongados algo curvos y aplanados, fueron asignados a moldes de fibras vegetales. El ladrillo es compacto y tenaz; al romperlo produce aristas y vértices agudos; predomina el color pardo rojizo oscuro (intermedio entre 10R 4/6 y 5R 4/6) alojado en zonas internas subcirculares, de límites difusos, gris oscuras (N3). Con diámetros entre 2-3cm.					
FB M3 Unidad 5	Muestra de ladrillo y dos muestras del contrapiso enterrado. Lugar de extracción: parte exterior del muro que mira hacia el río. El ladrillo tiene juntas del contrapiso adheridas. Bajo lupa binocular, su interior es rico en restos de improntas vegetales con disposición desorientada que le confirman una apreciable porosidad (oquedades alargadas y aplanadas). El color de la pieza es homogéneo y corresponde a un naranja amarillento (~10R 6/6). Las juntas adheridas son menos compactas y tenaces que las de la muestra FB M1.					
FB M4 Unidad 6 - Base muro antiguo	Ladrillo de grandes dimensiones con juntas adheridas. Contiene poros irregulares y oquedades elongadas, en muchos casos con improntas de gramíneas, y con disposición relativamente desordenada. Se presenta compacto y tenaz como FB M3, pero no tan resistente como FB M1. En vista transversal, tiene colocación heterogénea: zonas centimétricas naranjas amarillentas (~10R 6/6) de límites difusos, generalmente distribuidas en su parte más externa, alternado con otras naranjas rojizas (%YR 6/6), hacia su interior.					
FB M5 Unidad 8	La muestra se extrajo dentro de la excavación, próxima a uno de los bordes. Los ladrillos se disponen con sus caras planas paralelas a la horizontal (a modo de calzada). Tiene tamaños próximos a 3,0a3,5x17x35cm y, en planta, en parte, se muestran fracturados. La muestra, aunque relativamente porosa y algo deleznable, tiene compacidad comparable a la de los ladrillos FB M3 y M4. Homogéneo en color (entre 10R 3/4 y 5R 4/6), a excepción de un sector gris oscuro (N3) que, con disposición paralela, asoma en una de las caras mayores.					

Abreviaturas minerales: Qtz: cuarzo; Kfs: feldespato potásico; Pl: plagioclasa; Mag: magnetita; Hem: hematita.

Nota: las determinaciones del color se realizaron sobre ladrillos secos, utilizándose la Geological Rock-Color Chart de la Geological Society of America, with genuine Munsell color chips, versión revisada 2009 y editada en 2011. Para las determinaciones de dureza relativa se utilizaron lápices de dureza calibrados. El cálculo de densidad y absorción siguió la norma ASTM C 642-97. La resistencia a la compresión simple se realizó con un equipo INSTRON modelo 4483 para ensayos de compresión, tracción y flexión, con capacidad de 15 toneladas y software INSTRON Bluehill Lite, sobre probetas cúbicas de 30 mm de lado. La identificación mineral y cuantificación de fases minerales en muestra total fue hecha por difracción de rayo X por el CETMIC sobre muestras molidas hasta homogeneidad (polvo impalpable) y montadas en portamuestras de silicona evitando su orientación preferencial. El barrido se obtuvo con un difractómetro Bruker D8 Advance A25, equipado con tubo de Cu (radiación K α), filtro de Ni y detector lineal LYNXEYE XE. El barrido standard se realizó entre 3° y 70° 2 θ , con un paso de 0,02 o un tiempo de conteo de 0,5 seg/paso, y una potencia de 40Kv y 30 mA. La identificación de minerales en roca total se realizó con ayuda del programa HighScore (PANalytical). Para la cuantificación de fases se utilizó el programa de refinamiento estructural TOPAS basado en el método de Rietveld. El resultado no abarcó las fases amorfas o no detectadas por DRX. El error estadístico para las fases mayoritarias en muestras patrón fue de $\pm$ 5% en peso. Las tajadas de ladrillo para cortes delgados fueron impregnadas en resina epoxy coloreada con n ~1,54, utilizándose una bomba de vacío.

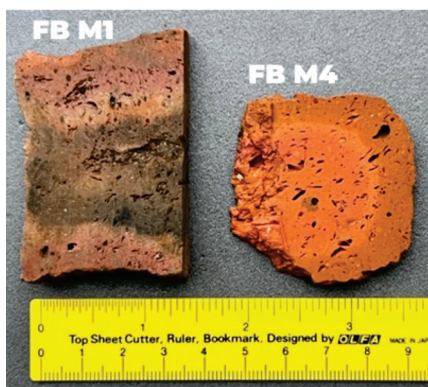


Figura 14. Vista del interior de la calicata de la Fig.13 indicando lugar de extracción de la muestra FB M4 (círculo); escala 10 cm.

Figura 15. Aspecto de los ladrillos FB M1 (patio) y FB M4 (base del muro), en corte transversal a su espesor; escala: superior en pulgadas, inferior en cm.

B.1 Ladrillo FB M1. Mesoscópicamente, exhibe una periferia pardo rojiza y un núcleo gris oscuro, ambos portadores de clastos con composición mineral y características texturales, semejantes entre sí.

Tamaño de los clastos: entre 0,01-0,02 y 0,45-0,50 mm, aunque los mayores, raramente superan los 0,30 mm; los tamaños predominantes varían entre 0,02 y 0,12-0,14 mm (limo medio hasta arena muy fina, con escasa arena fina (escala de Udden 1914, adoptada por Wentworth 1922). Presencia de grumos gris oscuros o castaño amarillentos, tamaños < 2,0-2,5 mm, internamente ricos en filosilicatos; bajo luz reflejada y dentro del sector del núcleo, adoptan tonalidades rojizo oscuras, mientras que en la zona externa se tornan más amarillentos. Porosidad general: a esta escala los poros despliegan tamaños muy variables; en general, son irregulares, encontrándose también cavidades elongadas (algunas son grietas heredadas del proceso de elaboración del ladrillo; los cavidades mayores abarcan desde los 2-3 mm de espesor y 1,0-2,5 cm de longitud, hasta 6-7 mm de espesor y 7-8 cm de longitud; algunas fisuras internas interceptan la superficie del ladrillo; suelen acuñarse y tener extremidades selladas; en general, los poros reconocidos a esta escala, son algo aplanados y se disponen paralela o sub-paralelamente a las caras mayores del ladrillo.

Observación microscópica. Características texturales: se identificó un material ligante (matriz) más fino (originalmente, el arcilloso), englobando: clastos angulosos y muy angulosos, escasos subredondeados y esporádicos redondeados, tamaño predominante limo y arena muy fina, y algunos grumos. También, en la matriz y solo por sectores, formando recubrimientos muy delgados alrededor de los clastos y apenas detectables bajo magnificación alta, se reconoció material prácticamente isótropo bajo nicols X, interpretado ser el producto de cocciones relativamente avanzadas que incluso, podrían haber llegado a producir incipiente vidrio. Inmersos en la matriz, también se hallaron aislados restos de agregados filosilicáticos, a veces castaño amarillentos, en ocasiones, deformados.

Grumos: se los identificó dispersos en ambos sectores (externo e interno del ladrillo); generalmente son ricos en filosilicatos y/o óxidos de hierro; algunos se muestran semitranslúcidos, otros prácticamente opacos.

Relación material ligante versus clastos (tamaño limo y mayores): en sectores con menor porosidad de la zona pardo rojiza (más externa), la relación ligante / clastos es próxima a 84-95 / 16-5, mientras que en el núcleo gris, es cercana a 70-80 / 30-20, respectivamente.

Porosidad petrográfica: la abundancia, tamaño y forma de los poros, fue difícil de estimar en parte porque la impregnación con resina coloreada fue heterogénea; como sea, se identificaron poros irregulares y también poros de secciones circulares o subcirculares, muy pequeños y submilimétricos (tamaños desde 0,01 mm o algo menos) hasta milimétricos. Presencia de muy esporádicos poros de formas acintadas cortas, interpretables como moldes vegetales.

Mineralogía de la fracción limo - arena: los feldespatos predominan ligeramente sobre el cuarzo y, a su vez, dentro de estos, la plagioclasa es mucho más abundante que el feldespato potásico (Pl >> Kfs).

Cuarzo: forma clastos angulosos y subangulosos y escasos redondeados y subredondeados, algunos con bordes cóncavo - convexos. Si bien predomina la extinción homogénea, en algunos clastos (generalmente en los de mayor tamaño), es leve a moderadamente ondulosa. En algunos clastos mayores, presencia de hileras de inclusiones fluidas. Clastos subangulosos con rebordes secundarios sobrecrecidos (cuarzo en continuidad óptica).

Feldespatos: la plagioclasa es subangulosa-angulosa, se presenta fresca (escasa levemente enturbiada), con maclas polisintéticas de albita y combinadas de albita-Carlsbad, con espaciados variables. Son relativamente comunes los clastos conservando el hábito tabular; se identificaron zonaciones composicionales concéntricas; algunos granos dieron composiciones de An₁₇ (andesina ácida). El feldespato potásico es muy escaso; forma clastos subangulosos y subordinados subredondeados y, en general, está más alterado que la plagioclasa; la alteración consiste en un enturbiamiento dado por arcillas; algunos clastos se encuentran ligeramente coloreados; no se hallaron maclas enrejadas bien desarrolladas, en el mejor de los casos, restos de maclas ahusadas en una única dirección y, ocasionalmente, posibles restos de pertitas, en granos alterados en filosilicatos vermiformes; tentativamente, fue asignado a microclino.

Líticos: predominan los clastos redondeados de pastas volcánicas (microfelsíticas, traquíticas, y también de las variedades vítreas: hialoofíticas, hialopilíticas); muchos clastos exhiben texturas microcristalinas extremadamente

finas. Presencia de esporádicos clastos cuarzo feldespáticos (no diferenciables si provienen de rocas ígneas plutónicas o metamórficas, de grano fino).

Minerales accesorios: anfíbol variedad lamprobolita, como granos subhedrales; circón, en granos angulosos (cristales euhedrales) y también subredondeados.

Vidrio: se presenta incoloro hasta ligeramente tonalizado, desde límpido hasta apenas ligeramente enturbiado (con inclusiones diminutas) y no totalmente isótropo (con birrefringencia grisácea, a veces, conformando agregados de fibras cortas y diminutas con disposición radiada en torno a núcleos, apenas detectables). Como se expresó previamente, cuando puede ser identificado, su disposición más común es como películas muy delgadas localizadas alrededor de los sílicoclastos (en otras ocasiones, llega a formar parches o mallas diminutas, con texturas celulares y dimensiones de hasta 0,40 mm de longitud por 0,10-0,15 mm de ancho). Suele alojar microporos de secciones circulares a subcirculares. Es más fácilmente reconocible en la corteza pardo rojiza externa del ladrillo; su índice de refracción n es menor que el de la resina ($n_{\text{vidrio}} < n_{1,54}$). Si bien la presencia de estos films de vidrio, delgados y de desarrollo incipiente podría estar relacionado con grados de coacción avanzados, no se descarta que parte de ese material vítreo también corresponda a vidrio volcánico heredado del loess (ej. trizas o clastos vítreos con distintos grados de desgaste por erosión / transporte, modificados durante el proceso de cocimiento).

B.2 Ladrillo FB M4. Mesoscópicamente, también exhibe una zona o corteza externa, en este caso, naranja amarillenta, diferenciable de un núcleo naranja rojizo.

Tamaño de los clastos: varía entre 0,01 y 0,32 mm, predominando entre 0,02 y 0,06 mm, escaso hasta 0,10 mm (limo medio a grueso, con escasa arena muy fina).

En ambos sectores (externo e interno), presencia de grumos o concentraciones redondeadas y subredondeadas, con tamaños desde 0,60 hasta 8-9 mm, de tonalidades rojizas o gris claros. Los rojizos suelen estar libres o ser más escasos en clastos (más ricos en filosilicatos), mientras que los gris claro suelen alojar clastos que no difieren en textura y composición de los presentes en la matriz circundante.

Porosidad: a esta escala de observación, resulta más alta en el sector periférico que en la zona interna. En modo semejante al ladrillo FB M1, los poros son irregulares y despliegan formas variadas; varios de ellos, pueden ser acintados rectos o levemente arqueados (8-9 mm de longitud y 0,30 a 0,40 mm de ancho), o incluso más cortos y con radios de curvatura más reducidos (ej. 3 mm de longitud y 0,20-0,30 mm de ancho). En ocasiones, pueden concentrar óxidos de hierro en sus bordes. En otros casos, pueden estar rellenos con la propia

matriz del ladrillo: en el caso de los más curvados y cortos, si bien muy escasos, no se descarta que representen moldes de valvas carbonáticas disueltas, mientras que los más rectos, por conservar en su interior difusas estructuras fibrosas longitudinales, se asignaron a moldes vegetales.

Observación microscópica: en ambas zonas (externa e interna), los clastos son angulosos y muy angulosos, con escasos subredondeados, muy semejantes a los de la muestra FB M1, tanto en textura como en composición. A esta escala, la transición de una zona a la otra, también es gradual y ocupa 1 a 3 mm de espesor (a veces, un mismo grumo, se localiza sobre el propio límite y forma parte de las dos zonas).

Algunas particularidades petrográficas observadas son:

- Mayor presencia de trizas de origen natural, angulosas (cuspadas y otras bien alargadas o lensoideas, también de tipo blocoso y ricas en microburbujas): son relativamente bien identificables en la zona externa (se interpreta que habrían sido incorporadas con el material con que se elaboraron los ladrillos (originalmente, ser parte del loess continental presente en la provincia de Buenos Aires)).
- Zona externa: escasas partículas de secciones circulares / elípticas (algunos tan pequeños como 0,02 - 0,04 mm), o rectangulares con lados cóncavos hacia afuera, a veces con un fino punteado o suciedad interior, incluso tubulares, con $n < n_{\text{resina}}$ y comportamiento isótropo bajo nicoles cruzados. Muy aislados granos de formas subrectangulares y bordes romos, a veces, con núcleos semitranslúcidos rojizo pálidos rodeados por coronas microfibras con extinción en cruz (semejantes a las esferulitas desarrolladas por devitrificación en rocas volcánicas y volcanoclásticas).
- Porosidad petrográfica: 16-20% en la zona externa, 4-9% para la zona interna.
- Zona interna: esporádica presencia de clastos subredondeados, de cuarzo policristalino con extinción ondulosa (origen metamórfico).
- Zona externa, muy esporádicos clastos bien conservados y en parte con hábito tabular, de feldespato potásico fresco (microclino).
- Muy escasa presencia de clastos de cuarzo, bien redondeados, partidos.
- Minerales accesorios: los anfíboles (pleocroísmo castaño rojizo), los más frecuentes; granate, muy esporádico (como clastos subredondeados).

Comentarios. Determinaciones físicas previas hechas por el LEMIT (Traversa, 2021) sobre un ladrillo de grandes dimensiones (5 x 18 x 39,5 cm) del Fuerte Barragán, donde se lo comparó con otro de tamaño semejante pero proveniente del Fuerte de la Ciudad de Buenos Aires, mostraron valores de densidad y absorción más bajos (1,65 y 14,90%, respectivamente) que los del ladrillo FB M4 de este trabajo (1,78 y 23,19%). Entre varios otros factores, tal diferencia podría atribuirse al diferente grado de cocción (tiempo y/o temperatura) experimentado por las dos muestras: mientras que el ladrillo muestreado en 2021 se presentaba más compacto y tenaz, con dureza relativa más alta (4,0) y coloración más oscura probablemente reflejando una sinterización más eficiente, FB M4 (cimientos del muro frontal), si bien también relativamente cohesivo y compacto, se comportó algo más deleznable y con menor dureza relativa (3,5).

Cultrone (2006) resume los factores que pueden condicionar la calidad y estado de conservación - deterioro (o durabilidad) de estos materiales cerámicos: ej. el quimismo, mineralogía y textura de la materia prima con que están elaborados, las temperaturas de cocción, condiciones del horno, las características de su sistema poroso, expansiones por captación de humedad ambiental y/o presencia de sales solubles, rol o prestación que desempeñó en obra (estructural, estético), entre otros.

Históricamente, aproximadamente desde 1776 (Virreinato del Río de la Plata), el auge de las colonias en América del Sur y el propio Buenos Aires, demandó la utilización del ladrillo cocido como material de construcción esencial, siendo en muchos casos los jesuitas (ej. ciudades de Córdoba y Buenos Aires), los que recurrieron a él en sus obras (siglos XVII y XVIII) para resolver, en muchos casos, lo que fue la falta de herramientas o mano de obra especializada (Ctibor et al., 2019).

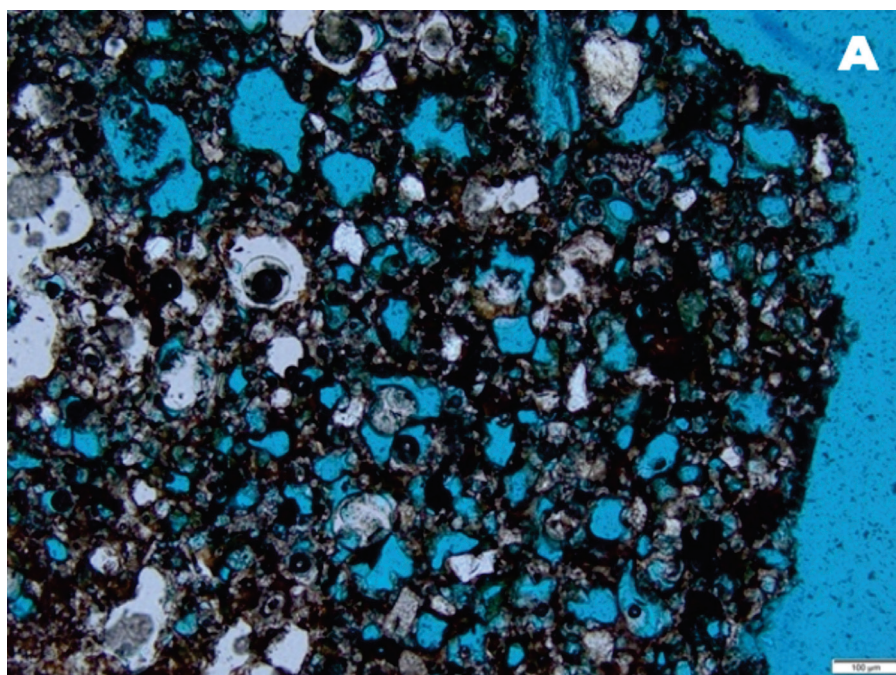


Figura 16. Microfotografías (nicoles //) de cortes delgados del ladrillo moderno FB M1 (patio con aljibe). Corteza externa (A), sector interno (B) y detalle de la microporosidad del sector externo

Figura 17. Microfotografías (nicoles //) de cortes delgados del ladrillo moderno FB M1 (patio con aljibe).(B) y detalle de la microporosidad del sector externo

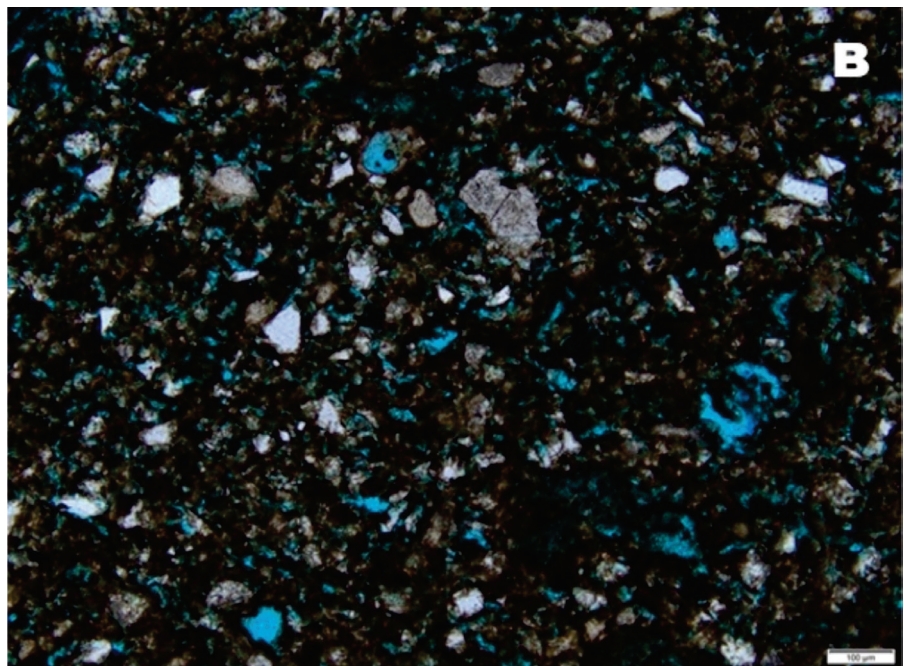
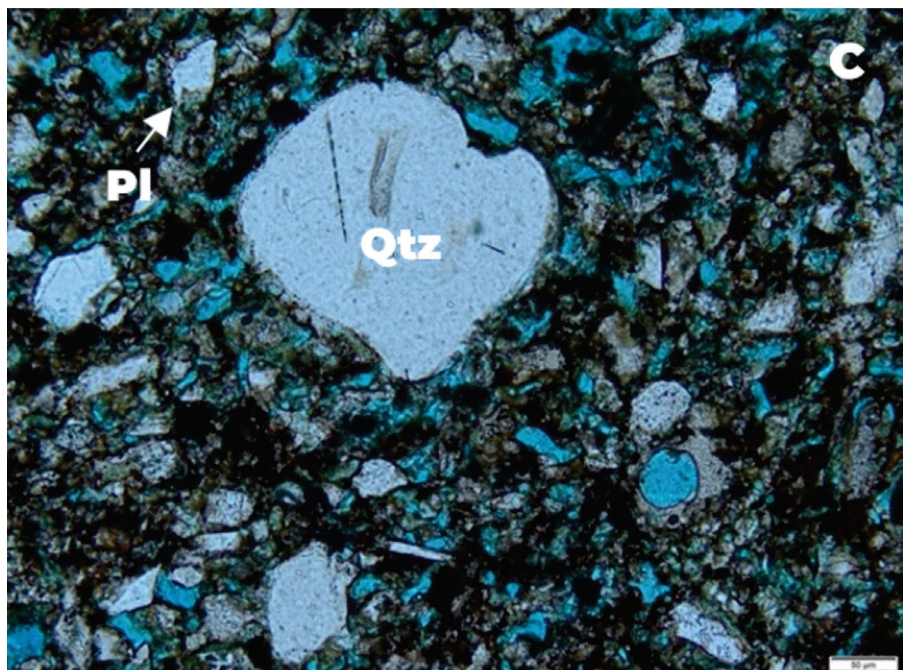


Figura 18. Microfotografías (nicoles //) de cortes delgados del ladrillo moderno FB M1 (patio con aljibe).(C). Inmersos en el material arcilloso original (lo más fino y castaño) se distinguen clastos de cuarzo (Qtz), feldespatos (Pl) y esporádicos líticos, mayormente tamaño limo y arena muy fina - fina. La porosidad petrográfica aparece en celeste (poros ocupados por resina coloreada). Barra: 0,10 mm.



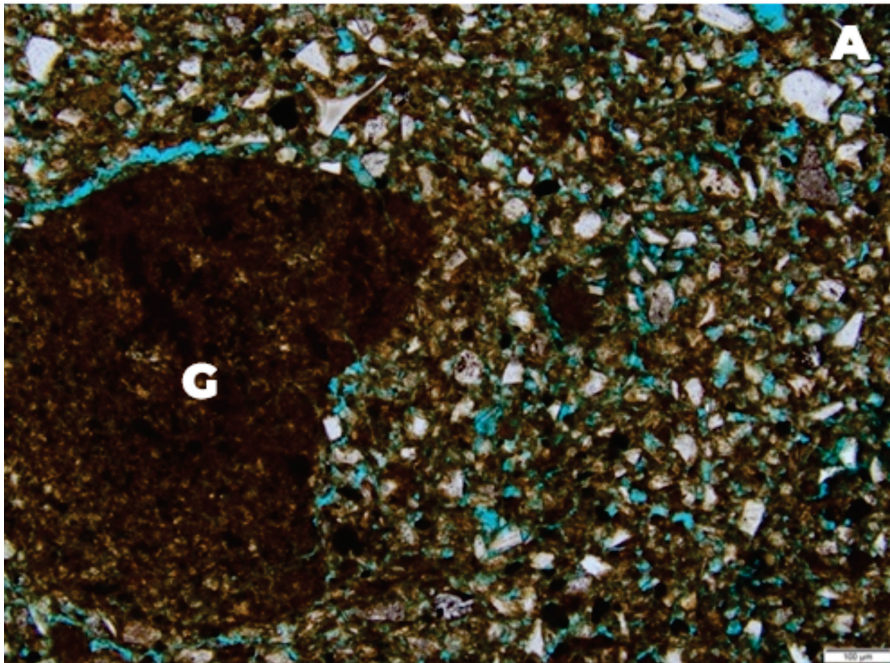


Figura 19. Vista microscópica (nicos //) del ladrillo FB M4 (base enterrada del muro antiguo). Nuevamente corteza externa (A), sector interno (B)

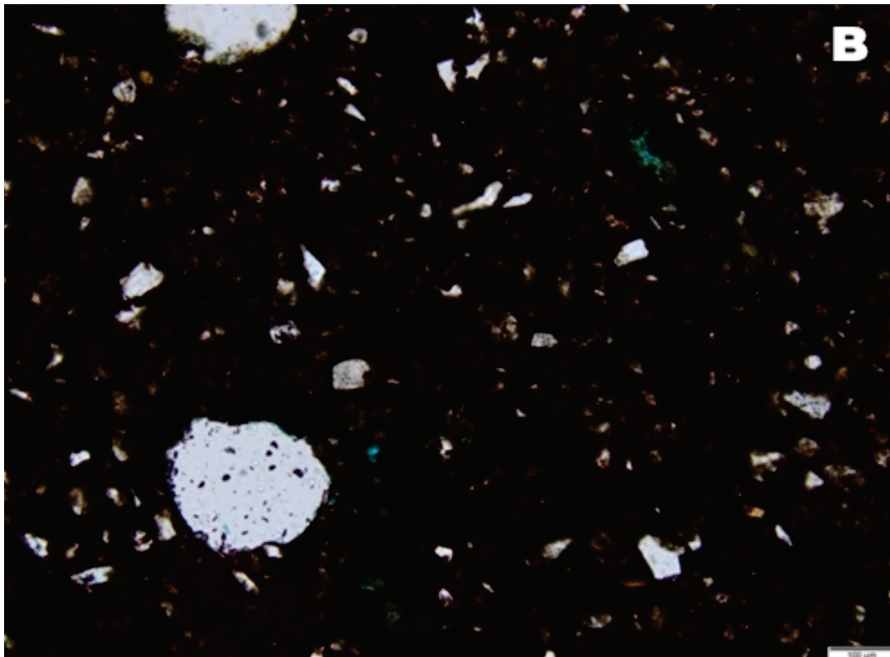


Figura 20. Vista microscópica (nicos //) del ladrillo FB M4 (base enterrada del muro antiguo). Nuevamente corteza externa (B) y un detalle de la microporosidad del sector externo

Figura 21. Vista microscópica (nicoles //) del ladrillo FB M4 (base enterrada del muro antiguo). Nuevamente corteza externa (C). Inmersos en lo que originalmente fuera el material arcilloso (castaño), se observan clastos de cuarzo, feldespatos y escasos líticos (tamaños predominantes limo y arena muy fina - fina), además de aislados grumos arcillosos (G). Círculos: trizas ví-treas heredada del loess. Barra: 0,10 mm.

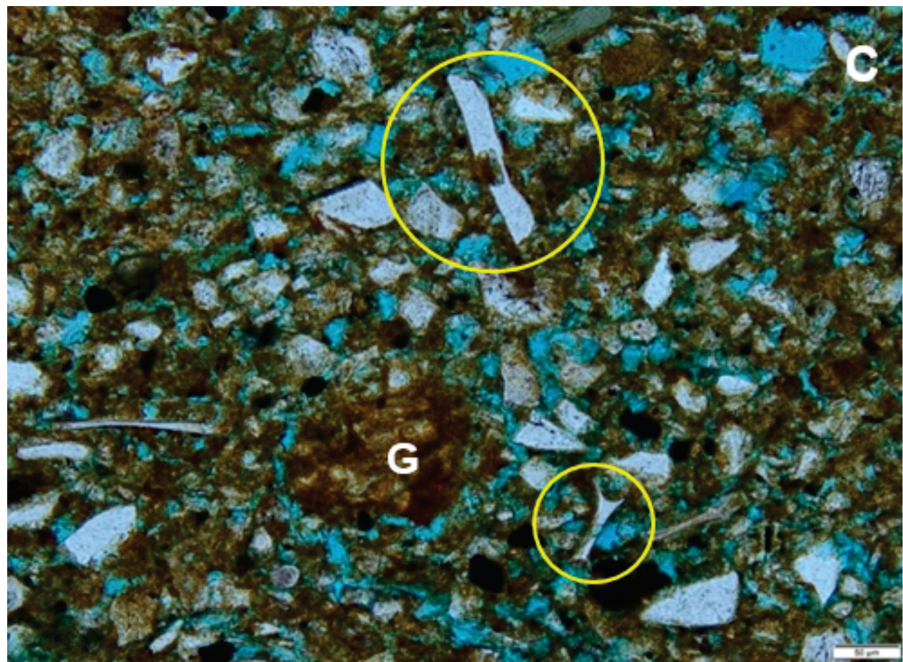
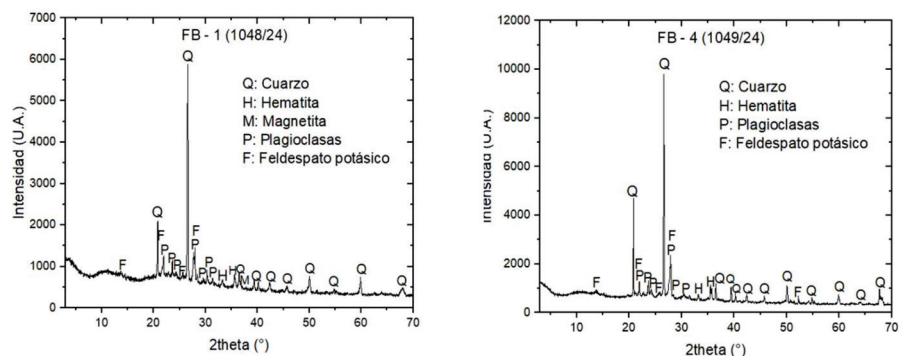


Figura 22. Difractogramas de rayos X sobre muestra total de los ladrillos FB M1 y FB M4 (izquierda y derecha, respectivamente).



CONCLUSIONES

- La materia prima utilizada para la elaboración de los morteros de los muros defensivos antiguos (ca. 1800), en los sectores investigados, fue local y correspondió a arenas provenientes de la playa del Río de la Plata.
- En este sentido, sobre un total de siete (7) muestras de juntas de ladrillo, seis (6) de ellas contienen sedimentos textural y mineralógicamente semejantes entre sí, a su vez correlacionables con arenas de la costa del Río de la Plata, mientras que la muestra restante (M2) presenta características distintas.
- De las seis (6) muestras mineralógica y texturalmente emparentables con depósitos costeros modernos del Río de la Plata, sólo cinco (5) representarían los sectores más antiguos de los muros (probablemente los originales) y clasifican como arenas feldespático-líticas y lítico-feldespáticas. La muestra restante (M3: arena feldespático-lítica), a pesar de provenir de intervenciones más modernas, no pudo ser diferenciada a partir del diagrama composicional de la Fig. 11, sugiriendo una fuente común con las mencionadas cinco (Río de la Plata). La muestra M2

(arena subfeldespática) tiene una mineralogía y textura que la hacen equiparable con arenas de uso comercial más moderno, como por ej. la denominada arena Argentina.

- Ladrillos: fueron caracterizados en forma preliminar. Además de formar parte de estructuras distintas, muro defensivo y patio, difieren en dimensiones, coloración, composición mineral cuantitativa y algunas propiedades físicas. Petrográficamente y por DRX, FB M1 y FB M4 tienen composiciones mineralógicas cualitativas algo semejantes, no obstante, el ladrillo considerado ser más antiguo y proveniente de los cimientos de la parte trasera del muro frontal (FB M4), es más pobre en cuarzo y más rico en feldespatos totales, respecto del más pequeño, cercano al aljibe y considerado más moderno (relaciones Qtz total / Fsp total de 0,48 y 0,75, respectivamente). En cuanto a sus características físicas, el ladrillo de la base enterrada del muro es menos tenaz, más deleznable, tiene mayor absorción de agua y menor resistencia a la compresión, respecto del próximo al aljibe, lo que puede ser explicado por el menor grado de cocción del primero, sin descartar otras variables. Este menor grado de cocción de FB M4, también habría quedado reflejado por la mayor presencia de trizas vítreas angulosas de origen natural identificadas al microscopio respecto de FB M1, en donde, o bien no estaban presentes en la misma proporción en la materia prima con que se elaboró el ladrillo, o lo estuvieron y fueron modificadas (enmascaradas) por grados de cocción (sinterización) mayores.
- Por otra parte, puesto que los depósitos sedimentarios continentales del Cenozoico tardío bonaerense incluyen apreciables proporciones de material de origen eólico (loess) rico en vidrio volcánico y generalmente retrabajado por acción del agua (Teruggi, 1957), si el ladrillo FB M4 efectivamente representara un sector de los cimientos del muro original (hecho que sí estaría demostrando la observación de campo), entonces, la materia prima o suelos con que fueron elaborados estos ladrillos o, al menos, una parte de ellos, sería de origen local y los ladrillos no ser importados. El ladrillo FB M1, más tenaz, con mayor resistencia a la compresión y valores de absorción más bajos, presenta mayor contenido de óxidos de hierro totales detectados por DRX, estos son magnetita y hematita, mientras que en FB M4 (base interior del muro frontal), solo se identificó hematita.
- El examen petrográfico sigue siendo una herramienta de investigación histórica y arqueológica útil a la hora de estudiar patrimonios construidos, ya sea a partir del análisis de morteros como de ladrillos cocidos, permitiendo caracterizar y comparar materiales originales de otros introducidos por intervenciones posteriores.

Agradecimientos

A los árbitros anónimos cuyas sugerencias permitieron mejorar la versión final de esta contribución. A las Áreas Tecnología del Hormigón y Ensayos Mecánicos, por los ensayos de compresión simple y determinación de densidad - absorción en ladrillos, respectivamente. A la Comisión Nacional de Monumentos, de Lugares y de Bienes Históricos. A las autoridades de la Municipalidad de Ensenada, a su director de Cultura Esteban Bravo, a Eduardo Villar y al museólogo Ignacio Pérez (encargado del Museo Histórico Fuerte Barragán), por el apoyo, comentarios enriquecedores y material bibliográfico brindados, para poder llevar adelante los trabajos de campo con respectivos muestreos. A la arquitecta M. Cristina Avinceta (Museo del Ladrillo, Fundación Espacio Ctibor), por guiar a uno de los autores (A.R.) en el inagotable y apasionante paisaje histórico y socio-cultural de lo que el ladrillo representa. Al INREMI por facilitar el equipamiento para la realización de una parte de las microfotografías aquí incluidas (microscopio de polarización Olympus BX53 con cámara digital Olympus UC30). Al LEMIT-CICPBA, sin cuyo apoyo la realización de esta contribución habría sido imposible.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

ASTM C 642 - 97. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete (edition March 1997).

Bongiovanni, M.V., Grünhut V., Martinelli, P. y Oliva F., 2023. Prospección Arqueofísica en el Fuerte barragán, Ensenada, Pcia. De Buenos Aires. Actas del 17º Encuentro del Centro Internacional de Ciencias de la Tierra (E-ICES 17). Argentina. Encuentro virtual. <https://www.uncuyo.edu.ar/ices/e-ices-17>

Calegari H., Marolla M., Ghidini H. y Bernard T.D., 1992. Reseña Histórica de las Comunas Bonaerenses. Comisión de Historia de la Provincia de Buenos Aires. Dirección de Impresiones del Estado y Boletín Oficial. La Plata. Argentina.

Casadas, M.I., Peltzer, M.E., Rodríguez M.E. y Di Salvo G., 2006. Proyecto de Intervención Arqueológica y Puesta en Valor del Fuerte Barragán, Partido de Ensenada, Provincia de Buenos Aires. Actas de las V Jornadas Arqueológicas Regionales. Instituto Cultural de la Provincia de Buenos Aires, Municipalidad de Florentino Ameghino.

Casadas, M.I. y Peltzer, M.E., 2007. Desarrollo de las investigaciones en el sitio arqueológico Fuerte Barragán, partido de Ensenada. VI Jornada Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio. En formato digital: 9 págs. LEMIT-CIC, La Plata. CIC Digital Repositorio Institucional: <https://digital.cic.gba.ar/handle/11746/1495>

Castillo, R.P., 2021. La antigua ensenada de Barragán. Prosa Amerian Editores. 525 págs.

Cavallotto, J.L., 1995. Evolución geomorfológica de la llanura costera ubicada en el margen sur del Río de la Plata. Tesis doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP. 237 págs. Inédito.

Cavallotto, J.L. y Violante R.A., 2005. Geología y Geomorfología del Río de la Plata. En Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires (R.E. de Barrio et al., editores): 237-253.

Contreras I. y Luchini N., 2022. Puesta en valor del Fuerte Barragán. En Paisajes Culturales, video de YouTube, en Canal de Noticias del Patrimonio Cultural.

Ctibor L., Gómez J. y Avinceta M.A., 2019. Para Construir La Plata: ladrillos. Historia del ladrillo. De lo artesanal a lo tecnológico. En Ctibor. Tradición y futuro de la industria ladrillera. Publicación de la Fundación Espacio Ctibor, Latingráfica SRL, Buenos Aires, págs. 65-87.

Cultrone, G. 2006. Ladrillos. Capítulo en PH cuadernos 19 - Programa de normalización de estudios previos aplicado a bienes inmuebles. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Consejería de Cultura: 147-159.

Folk R.L, Andrews P.B. y Lewis D.W., 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. N. Zealand Journal of Geology and Geophysics 13: 937-968.

<https://www.argentina.gob.ar/Capital-Humano/Cultura/Comision Nacional de Monumentos, de Lugares y de Bienes Historicos>

<https://www.argentina.gob.ar/cultura/monumentos/antiguo-fuerte-de-barragan-museo-historico-del-fuerte-de-la-ensenada-de-barragan>

Oliva F., 2022. Informe de intervención arqueológica realizada en Fuerte Barragán - Fase 4. Informe inédito presentado en la Municipalidad de Ensenada y Comisión Nacional de Monumentos, de Lugares y de Bienes Históricos.

Ratto, H.R., 1930. Historia del Fuerte Barragán. Ministerio de Marina. Editorial Kraft.

Ribot A.M. y Panei, M., 2021. Caracterización de ladrillos y estudio petrográfico microscópico, determinación del residuo insoluble (RI) y estimación de la granulometría en muestras de asientos /juntas de ladrillo del Fuerte Barragán. LEMIT-CIC: Informe inédito Área Mineralogía y Petrografía presentado a la Municipalidad de Ensenada, 23 págs.

Sors de Tricerri, G., 2003. El puerto de la Ensenada de Barragán: 1727-1810. Re-edición de la Asociación Amigos del Archivo Histórico de la Provincia de Buenos Aires, La Plata, originalmente editado por Talleres Gráficos Olivieri y Domínguez, 1933, 343 págs).

Teruggi M.E., 1957. The nature and origin of Argentine loess. *Journal of Sedimentary Petrology* 27: 322-332.

Traversa L.P., 2021. Caracterización de ladrillos del Fuerte Barragán. LEMIT-CIC: Informe inédito para la Municipalidad de Ensenada (Expte. 58.877/21), 6 págs.