

Control geológico de los materiales de construcción en el patrimonio arquitectónico. El ejemplar caso de estudio de la isla de Nueva Tabarca.

Geologic control of building materials in traditional architecture. The exemplary study case of Nueva Tabarca island.

Javier Martínez-Martínez¹, M^a Ángeles García-del-Cura², David Benavente³, Salvador Ordóñez³, José Manuel Baltuille¹, Enrique Álvarez Areces¹, Jorge Fernández Suárez¹

¹ Grupo de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Calle Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid (Spain).

javier.martinez@igme.es; jm.baltuille@igme.es; e.alvarez@igme.es; j.fernandez@igme.es

² Instituto de Geociencias, IGEO (CSIC, UCM). c/ José Antonio Novais 12, 28040 Madrid. agucura@geo.ucm.es

³ Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Universidad de Alicante. Campus San Vicente del Raspeig. 03690 San Vicente del Raspeig (Alicante, Spain).

david.benavente@ua.es; salvador@ua.es

ABSTRACT

Strength, porosity, fracturing degree and availability in the immediate surroundings were the most significant aspects for selecting a rock as building material in historical constructions. In the specific case of the Nueva Tabarca fortress and the San José Tower (both constructions located in the Nueva Tabarca island, SE of Spain) the selection of the building materials was limited to the outcropping rocks inside the island. The constructions of the initial phases of the fortress were built with a porous calcarenite. However, two different kinds of rocks were used in the last buildings: a black limestone in the lower parts of the buildings and the porous calcarenite in the upper parts. The use of the massive limestones provides resistance and durability to the building, as well as it prevents the capillary uptake of salty water. Diabases are very abundant in the island, but they were rejected as building material due to their low workability and high fracturing degree.

Key-words: building materials, heritage, quarry, petrology.

RESUMEN

La resistencia mecánica, la porosidad, el grado de fracturación y la disponibilidad en el entorno geográfico inmediato son los principales criterios para la elección de una roca como material de construcción en los edificios históricos. En el caso de la construcción del fuerte de Nueva Tabarca y la Torre de San José (en la isla de Nueva Tabarca, frente las costas de la provincia de Alicante) la elección se limitaba a las rocas que afloraban en la isla. Las calcarenitas porosas fueron elegidas para las construcciones iniciales, mientras que en las últimas edificaciones se procedió a una combinación de caliza (para las zonas bajas) y calcarenita (para las zonas altas) con el fin de aumentar la durabilidad, la resistencia y frenar el ascenso capilar del agua a través de los muros. El empleo de las diabasas que afloran en la mayor parte de la costa fue desechado tanto por la baja trabajabilidad como por el elevado grado de fracturación.

Palabras clave: materiales de construcción, patrimonio, cantera, petrología.

Geogaceta, 63 (2018), 71-74
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 3 de julio de 2017
Revisión: 4 de octubre 2017
Aceptación: 23 de octubre 2017

Introducción

La mayoría de las edificaciones históricas construidas con anterioridad al gran desarrollo de los medios de comunicación (el ferrocarril, principalmente, a mediados del siglo XIX) emplean y se abastecen de los materiales de construcción disponibles en su entorno más inmediato, optimizando los recursos naturales de la zona (Gómez-Heras *et al.*, 2010). Esta regla general, que se cumple de manera más o menos sistemática en la práctica totalidad de las edificaciones rurales o en núcleos de población pequeños, puede verse alterada en construcciones

especiales dotadas de mayor presupuesto (templos, palacios, etc.), en las que la importación de materiales de construcción exóticos, provenientes de otras regiones o países, son signo de ostentación y poder.

Sin embargo, en la mayoría de los casos, la necesidad de abaratar los costes de la edificación obliga a los constructores a la búsqueda de los materiales de construcción necesarios en las proximidades de la obra. De este modo, la construcción rural es un reflejo del entorno natural; y a su vez es la forma en la que el entorno natural imprime carácter a la arquitectura local.

Esta realidad se torna mucho más exigente en el caso de la isla de Nueva Tabarca, cuando en el siglo XVIII se planea la construcción de una villa fortificada (Fig. 1). Los planes originales incluían la construcción de murallas perimetrales, baluartes, revellines y demás elementos necesarios para garantizar una férrea defensa ante los ataques de piratas berberiscos, así como viviendas, iglesia y casa del gobernador. Por motivos políticos, económicos y logísticos, la idea inicial de fortaleza quedó inconclusa, y el sistema defensivo de la isla de Nueva Tabarca se dio por concluido con la construcción de la Torre de San José (hacia 1790) en el centro geográfico de la isla.

La condición insular, la economía de presupuesto y el bajo calado del puerto natural de la isla (lo cual impedía la entrada de barcos muy cargados) obligaron a emplear los materiales aflorantes en el entorno como material de construcción, sacrificando la calidad frente la disponibilidad, subrayando aún más si cabe la naturaleza autárquica de esta construcción histórica.

Geología de la isla de Nueva Tabarca

La isla de Nueva Tabarca pertenece a las Zonas Internas de la Cordillera Bética y cerca del límite de las Zonas Externas marcado por el accidente denominado Cádiz-Alicante o de Crevillente. Según la descripción cronológica elaborada por Estévez *et al.* (1985) las rocas más antiguas corresponden a materiales triásicos del Complejo Alpujárride, representando así el extremo más oriental de este complejo en la Cordillera Bética. En la base del conjunto triásico se encuentran diabasas con textura ofítica (Fig. 1), seguidas de un conjunto carbonático formado por margas, dolomías margosas, calizas grises y dolomías negras con estructura brechoide. Este conjunto es de edad Anisiense Superior-Ladiniense Inferior (Triásico Medio) según Kampschuur y Simon (1969). En discordancia angular y erosiva sobre el conjunto triásico, se disponen materiales marinos formados por conglomerados, calcarenitas y calcirruditas de edad miocena (Fig. 1). Finalmente, y en contacto discordante tanto sobre los materiales triásicos como los neógenos, se encuentra un conjunto de depósitos cuaternarios formado por conglomerados costeros y limos rojos continentales.

Descripción petrológica de las litologías

Teniendo en cuenta la potencialidad de los materiales para ser empleados como material de construcción, en la isla se reconocen cuatro litologías principales. La caracterización petrológica y mineralógica se realizó mediante microscopio petrográfico y difracción de Rayos-X (tabla I).

Diabasa: roca subvolcánica de color verde oscuro (Fig. 2). En los afloramientos de la isla de Nueva Tabarca, esta roca se presenta muy fracturada y con diferentes grados de alteración. Observada en microscopio petrográfico presenta textura ofítica con agregados de cristales subeuhedrales de clinopiroxenos (augita, Tabla I) y anfíboles (hornblenda) que encierran a grandes cristales de plagioclasas (labradorita, Tabla I). El grado de alteración de los minerales es elevado y es muy frecuente observar texturas de intercrecimiento mirmequíticas. Otros minerales secundarios identificados son epidota, clorita, biotita y cuarzo. Matrangolo (2009) también reconoció albita y moscovita.

Calizas microcristalinas: son unas rocas carbonáticas cristalinas de tonos grisáceos que presentan un alto grado de fracturación con cementación parcial de calcita (Fig. 2).

Bajo microscopio esta roca presenta textura equigranular criptocristalina. La porosidad total en estas rocas es muy baja (1%, Tabla II) y está asociada a poros tipo fractura y *vug* (Choquette y Pray, 1970) con desarrollo de cemento esparítico en ocasiones en forma de drusa.

Calizas brechoides: afloran principalmente en la zona de la Cala de Els Birros y constituyen rocas carbonáticas con textura brechoide en las que se diferencian fragmentos angulares rodeados por una matriz micrítica (Fig. 2). La cantidad de matriz varía notablemente. Al microscopio se reconocen clastos calcíticos de gran tamaño y fragmentos de cuarzo policristalino. En algunas zonas la matriz se encuentra parcialmente recristalizada (pseudoesparita). La porosidad en esta roca varía significativamente en función de la cantidad de matriz de la muestra (entre 4 y 17%, Tabla II).

Calcarenitas y areniscas mixtas: constituyen rocas carbonáticas con alta porosidad (entre 20 y 25%, Tabla II) de color amarillento que afloran en el entorno del islote de La Cantera y el Moll Vell (Fig. 1). La proporción de intraclastos y extraclastos varía notablemente según el nivel estratigráfico considerado, pudiendo llegar a alcanzar una concentración de hasta el 40% de fragmentos líticos (principalmente calizas, dolomías

	Aug	Lb	Ep	Cl	Hrn	Btt	Crz	Cc	Dol	Ill
Diabasa	9,8	25,6	5,5	13,7	25,0	8,4	12,0	-	-	-
Caliza Fracturada	-	-	-	-	-	-	*	99,9	*	-
Caliza Brechoide	-	-	-	-	-	-	3,2	96,8	*	*
Calcarenita	-	-	-	-	-	-	5,7	77,8	11,1	*

Tabla I.- Contenido mineralógico (%) de las rocas estudiadas con difracción de Rayos X. Aug: augita; Lb: labradorita; Ep: epidota; Cl: clorita; Hrn: hornblenda; Btt: biotita; Crz: cuarzo; Cc: calcita; Dol: dolomita; Ill: illita; *: indicios.

Table I.- Mineral content (%) of the studied rock after X-Ray diffraction analysis. Aug: augite; Lb: labradorite; Ep: epidote; Cl: Clorite; Hrn: hornblende; Btt: biotite; Crz: quartz; Cc: calcite; Dol: dolomite; Ill: illite; *: trace content

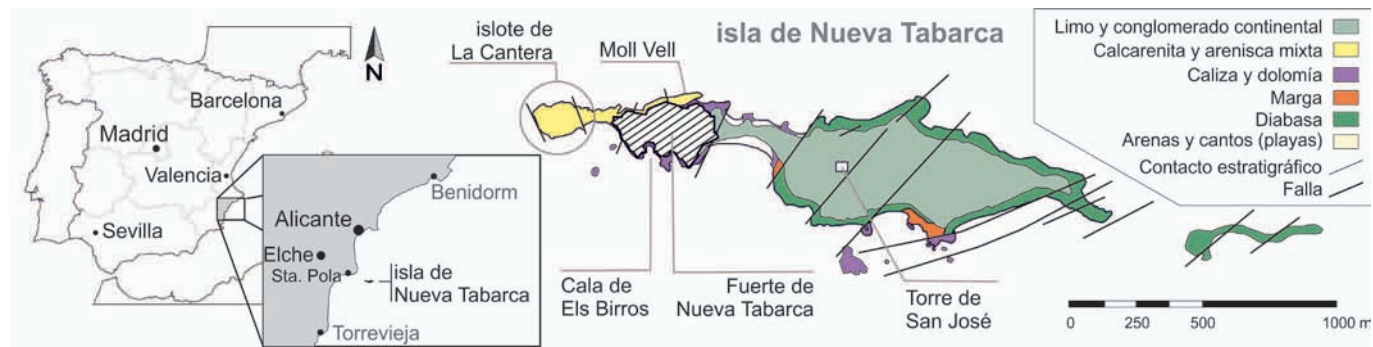


Fig. 1.- Situación de la isla de Nueva Tabarca y mapa geológico general de la isla (tomado de Estévez *et al.*, 1985). Ver figura en color en la web.
 Fig. 1.- Location of the Nueva Tabarca island and geological map of the island (after Estévez *et al.*, 1985). See color figure in the web.

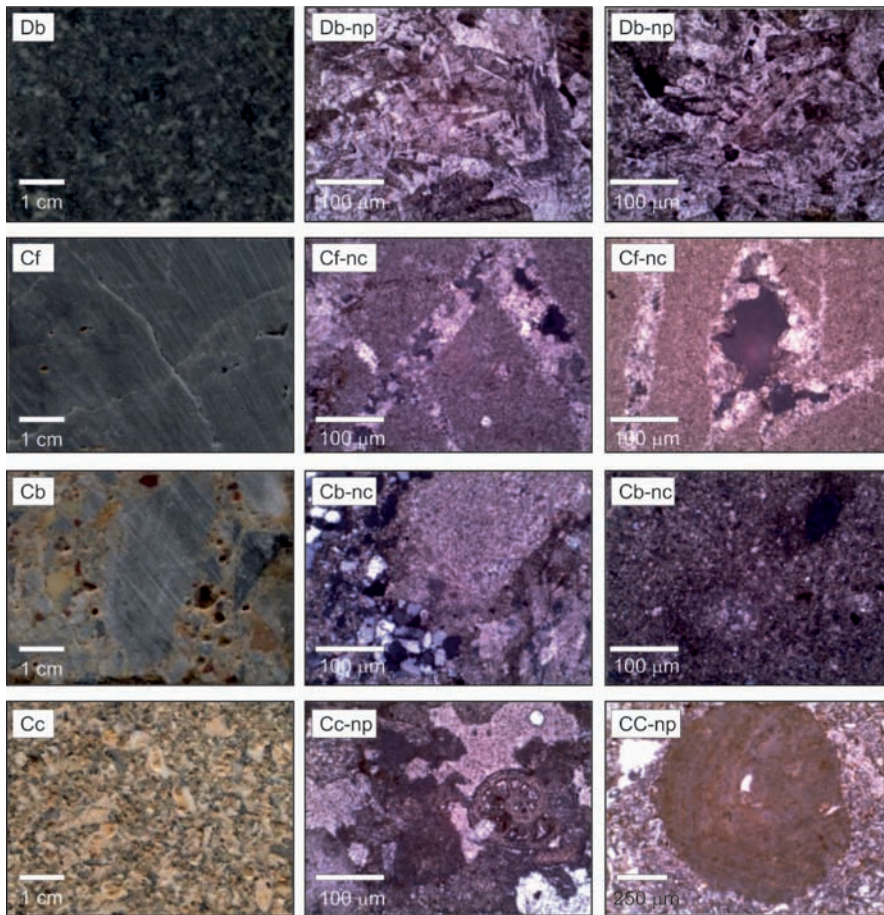


Fig. 2.- Aspecto de las rocas estudiadas en muestra de mano (columna de la izquierda) y en microscopio petrográfico. Db: diabasa; Cf: caliza fracturada; Cb: caliza brechoide; Cc: calcarenita; np: fotomicrografía adquirida con nicoles paralelos; nc: fotomicrografía adquirida con nicoles cruzados. Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- Studied rocks at hand sample scale (left column) and under petrographic microscope. Db: diabase; Cf: fractured limestone; Cb: brecciated limestone; Cc: calcarenite; np: photomicrography taken at parallel nicols; nc: photomicrography taken at crossed nicols. See color figure in the web.

y diabasas). Los bioclastos se encuentran fuertemente micritizados (Fig. 2) y corresponden a fragmentos de algas rojas, foraminíferos, briozoos y moluscos. Dentro del depósito de calcarenita se diferencian niveles de calcirruditas (tamaño medio de partícula > 2 mm).

Selección de los materiales de construcción

La selección de los materiales se hace según criterios de calidad mecánica, disponibilidad y trabajabilidad

La tabla II muestra los valores de porosidad y resistencia mecánica de las variedades disponibles para la construcción del fuerte de Nueva Tabarca. La resistencia a compresión uniaxial, la porosidad y la velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas P fueron determinadas según UNE-EN 1926, UNE-EN 1936 y UNE-EN 14579, respectivamente.

La alta resistencia mecánica de los materiales garantizaría, *a priori*, la construcción de obras resistentes y durables. Sin embargo, una excesiva resistencia mecánica y baja porosidad dificultaría en exceso el tallado y extracción de bloques (baja trabajabilidad). Por otra parte, la agresividad del ambiente marino en el que fue erigido el fuerte de Nueva Tabarca haría recomendable el uso de materiales poco porosos con el fin de disminuir la acción de la haloclastia y la abrasión eólica (Martínez-Martínez *et al.*, 2017). Un tercer factor a tener

en cuenta para la selección del material de construcción idóneo es el grado de fracturación de los materiales en los afloramientos. Las diabasas, por ejemplo, poseen un elevado grado de fracturación, con un espaciado entre fracturas de apenas 11 cm, lo cual impide la extracción de sillares. Por otra parte, la alta fracturación de las calizas está compensada con la cementación parcial de las fracturas, lo cual permitiría el aprovechamiento de aquellos bloques más cementados.

Ante la dificultad de emplear las diabasas como material de construcción por su baja trabajabilidad y alto grado de fracturación, la opción más recomendable hubiera sido la selección de las calizas. Sin embargo, la ubicación del fuerte justo sobre los afloramientos de calizas impedía el desarrollo de las canteras. Finalmente, las calcarenitas del islote de La Cantera fueron seleccionadas como material de construcción del proyecto inicial del fuerte de Nueva Tabarca. Además, la ausencia de fracturas en el afloramiento permitiría la obtención de sillares de grandes dimensiones.

Grandes bloques de calcarenita fueron empleados para la construcción de las murallas perimetrales, la iglesia, la casa del gobernador y varias viviendas en el interior del recinto fortificado. Sin embargo, un cambio de criterio constructivo ocurrió cuando, tras años de paralización de las obras, se decidió dejar inconcluso el proyecto inicial y finalizar la fortificación de la isla mediante la construcción aislada de la torre de San José (Fig. 1).

Para esta nueva obra se seleccionaron aquellos bloques más compactos de las calizas fracturadas y brechificadas, empleándolos en los dos tercios inferiores de la torre. El último tercio se coronó con sillares de calcarenita procedentes del islote de La Cantera. Este cambio de método constructivo debió estar promovido por la baja durabilidad observada de las calcarenitas. En cambio, la baja porosidad de las calizas, junto con su elevada resistencia mecánica, las hacía mucho más durables a la vez que

	Φ total (%)	σ_c (MPa)	Vp (km/s)
Diabasa	[0,4-2,0]	[188,7-318,8]	[5,1-6,0]
Caliza Fracturada	[0,8-1,5]	[70,5-102,9]	[5,9-6,4]
Caliza Brechoide	[3,5-17,4]	[55,8-72,8]	[3,1-5,5]
Calcarenita	[18,0-24,9]	[57,7-65,0]	[2,9-3,5]

Tabla II.- Valores mínimos y máximos de porosidad (Φ total), resistencia a compresión (σ_c) y velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas P (Vp) en las rocas estudiadas.

Table II.- Minimum and Maximum values of porosity (Φ total), strength (σ_c) and ultrasonic P-wave velocity (Vp) in the studied rocks.

actuaban como barrera aislante para el ascenso capilar de agua salada a través de los muros. Además, el abandono del plan inicial de fortificación del extremo occidental de la isla permitió el desarrollo de pequeñas zonas de extracción de bloques de caliza y su empleo en la torre. Estas zonas de extracción probablemente se desarrollaron en la zona de la cala de Els Birros.

A pesar de la dudosa calidad de las calizas fracturadas y brechificadas de Nueva Tabarca (en los términos actuales de roca ornamental), debieron ser relativamente apreciadas en su época. Esto queda evidenciado en la anotación que realiza el botánico A.J. Cavanilles cuando en 1792 (contemporáneamente a la construcción de la torre de San José) visitó las proximidades de Elche y Santa Pola. En esta visita únicamente realiza una breve mención a la isla de Nueva Tabarca resaltando que: "Queda al sudeste de la población y a media legua larga la Isla plana, hoy Nueva Tabarca, de donde se han sacado mármoles preciosos, entre ellos la hermosa brecha parecida a la de Alepo: es muy compacta y se compone de fragmentos negros, amarillos y blancos, matizados de otros colores vivos" (Cavanilles, 1795).

Conclusiones

Cuatro litologías diferentes fueron susceptibles de haber sido seleccionadas como material de construcción para llevar a cabo el proyecto inicial del fuerte de Nueva Tabarca (Alicante): diabasas, calizas fracturadas, calizas brechoides y calcarenitas.

Las diabasas son las rocas con mayor resistencia mecánica y menor porosidad de todas las rocas estudiadas (valores resistencia a compresión uniaxial entre 185 y 320

MPa y porosidad en torno al 1%). Con estas propiedades, la diabasa hubiera sido el material de construcción idóneo para garantizar durabilidad y resistencia. Sin embargo, su empleo fue desechado por su baja trabajabilidad y su alto grado de fracturación (espaciado entre fracturas menor a 11 cm). El material de construcción finalmente seleccionado fue la calcarenita, puesto que las calizas (a pesar de sus buenas propiedades mecánicas y su baja porosidad) presentaban problemas de disponibilidad al aflorar en el área donde se proyectó el fuerte. La alta trabajabilidad de la calcarenita y la ausencia de fracturación facilitó la extracción de grandes bloques para las murallas, la iglesia y la casa del gobernador.

Los bloques de calcarenita debieron mostrar un proceso rápido de degradación, por lo que cuando se decidió abandonar el proyecto inicial de ciudad fortificada y construir una única torre en el centro de la isla (Torre de San José) el sistema de construcción cambió, utilizando sillares de caliza en los dos tercios inferiores de la torre y bloques de calcarenita en la parte alta. De esta forma se evitó el ascenso capilar de agua salada a través de los muros, y se aumentó la resistencia de la construcción a la abrasión eólica, sobre todo en los tramos más susceptibles a ser erosionados por la acción del viento (tramos inferiores).

Agradecimientos

Los autores agradecen a José Manuel Pérez y a Felio Lozano su ayuda durante las campañas de campo. Al Excmo. Ayto. de Alicante (Concejalía de Medio Ambiente) y a la Reserva Marina de Tabarca por facilitar el uso de sus medios disponibles. Esta investigación ha sido financiada por los proyec-

tos GRE12-03 y GRE14-05 (Universidad de Alicante). Los autores agradecen la revisión detallada del trabajo por el Dr. J.M. Soria y un revisor anónimo.

Referencias

- Cavanilles, A.J. (1795). *Observaciones sobre la Historia Natural, Geografía, Agricultura y Población y Frutos del Reyno de Valencia*. Madrid, Imprenta Real.
- Choquette, P.W. y Pray, L.C. (1970). *AAPG Bulletin* 54, 207-244.
- Estévez, A., Pina, J.A., Cáliz, F. y Hervás, J.L. (1985). En: *La reserva marina de la Isla Plana o Nueva Tabarca (Alicante)*. Ayto. Alicante, 25-35.
- Gómez-Heras, M., Smith, B.J. y Viles, H.A. (2010). En: *Natural Stone resources for Historical Monuments*. Geological Society, London, 101-110.
- Kampschuur, W. y Simon, O.J. (1969). En: *Ext. C. R. Som., Société Géologique de France*, 37-38.
- Martínez-Martínez, J., Benavente, D., Jiménez Guitérrez, S., García-del-Cura, M.A. y Ordóñez, S. (2017). *Building and Environment* 121, 262-276.
- Matrongolo, G. (2009). *Studio petrografico e geochimico di rocce basiche intruse nelle successioni mesozoiche della Calabria settentrionale e della Cordigliera Betica*. Tesi di Laurea, Univesità della Calabria, Italia, 51 p.
- UNE-EN 1926 (2007). *Determinación de la resistencia a compresión uniaxial*. AENOR, 19 p.
- UNE-EN 1936 (2007). *Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total*. AENOR, 21 p.
- UNE-EN 14579 (2005). *Determinación de la velocidad de propagación del sonido*. AENOR, 20 p.