

CONSTRUCCIÓN CON CORAL: CIUDAD DE VERACRUZ

CONSTRUCTION WITH CORAL: CITY OF VERACRUZ

José Antonio Rodríguez López ⁽¹⁾, Alejandra Vidales Barriguete ⁽²⁾, Julián García Muñoz ⁽³⁾

¹ Programa de Doctorado en Innovación Tecnológica en Edificación, Escuela Técnica Superior de Edificación, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, ja.lopez@alumnos.upm.es

² Departamento de Tecnología de la Edificación, Escuela Técnica Superior de Edificación, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, alejandra.vidales@upm.es

³ Departamento de Construcciones Arquitectónicas y su Control, Escuela Técnica Superior de Edificación, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, julian.garciam@upm.es

RESUMEN

La Ciudad y Puerto de Veracruz fue fundada por los españoles en la costa del Golfo de México, en el sitio conocido como Ventas de Buitrón. Desde finales del siglo XV y a lo largo de los siglos XVI al XVIII, se construyeron fortificaciones como murallas, puertas, cuarteles y atarazanas para proteger el puerto. Una de las principales estructuras defensivas fue el Castillo de San Juan de Ulúa, levantado sobre una isleta en el arrecife La Gallega. Para su construcción se empleó piedra coral extraída de arrecifes cercanos, un material peculiar que ha despertado interés por sus propiedades únicas.

Este material coralino, de la familia de las madreporas y conocido como piedra múcara, múca o mucar, fue utilizada primero en construcciones militares y luego en edificaciones civiles. La piedra se transformaba en sillares, mientras que los restos se pulverizaban y mezclaban con arena para fabricar un cementante que unía los bloques.

Actualmente, la extracción de esta piedra está prohibida debido a su impacto ecológico, lo que dificulta las labores de restauración con materiales originales. Como alternativa, se emplean materiales como bloques de piedra caliza o ladrillo, y se han propuesto nuevas técnicas de restauración. Entre ellas, destaca la fabricación de bloques sustitutivos con morteros de cal compatibles con los corales, mezclados con arenas de sílice y calcáreas.

En este documento se presentan los primeros resultados de los ensayos físicos y mecánicos realizados en diversos compuestos de cal propuestos como alternativa a la utilización del coral en la rehabilitación de estos inmuebles, con el fin de validar la viabilidad de estos nuevos materiales en la conservación del patrimonio. Estas innovaciones representan un avance importante para preservar la arquitectura histórica de Veracruz, marcada por su riqueza cultural y singularidad constructiva.

Palabras clave: Coral, Caribe, Fortalezas, Rehabilitación, Conservación de Patrimonio Histórico.

ABSTRACT

The City and Port of Veracruz was founded by the Spanish on the Gulf of Mexico coast, at a site known as Ventas de Buitrón. From the late 15th century and throughout the 16th to 18th centuries, fortifications such as walls, gates, barracks, and shipyards were built to protect the port. One of the main defensive structures was the Castle of San Juan de Ulúa, built on an islet in the La Gallega reef. Coral stone extracted from nearby reefs was used in its construction—a unique material that has attracted interest due to its distinctive properties.

This coral material, belonging to the madreporic family and known as piedra múcara, muca, or mucar, was initially used in military buildings and later adopted in civil architecture. The stone was cut into blocks, while the remnants were ground and mixed with sand to produce a binder used to join the blocks.

Currently, the extraction of this stone is prohibited due to its ecological impact, making restoration efforts with original materials difficult. As an alternative, materials such as limestone blocks or bricks are used, and new restoration techniques have been proposed. Among these is the production of substitute blocks using lime-based mortars compatible with coral, mixed with silica and calcareous sands.

This paper presents the first results of the physical and mechanical tests carried out on various lime composites proposed as an alternative to the use of coral in the rehabilitation of these buildings, in order to validate the viability of these new materials in heritage conservation. These innovations represent an important advance to preserve the historical architecture of Veracruz, marked by its cultural richness and constructive uniqueness.

Keywords: Coral, Caribbean, Fortresses, Rehabilitation, Conservation of Historical Heritage.

1. INTRODUCCIÓN

Posterior al establecimiento de los españoles en tierras de ultramar, en 1519, y específicamente en México (Rodríguez Herrero, 2013) (Cortés Hernández, 2009), se inició la construcción de edificaciones, en principio de carácter militar, con la finalidad de defender y proteger al puerto de Veracruz ante los latentes ataques de piratas y otras naciones en busca de conquistar el nuevo territorio de la corona Española (Priego Medina, 2022). En principio se estableció la fortaleza, fuerza o Castillo de San Juan de Ulúa sobre el islote nombrado del mismo modo (Priego Medina, 2022) por Juan de Grijalva a finales del mes de junio de 1518 (Melgarejo Vivanco, 1960). Tras una serie de incendios que azotaron la ciudad entonces conocida como “ciudad de tablas” por haber sido erigida principalmente con madera (Priego Medina, 2023), y por la falta de canteras cercanas a ella, se emitió el decreto de Cal y Canto que obliga a construir con mampostería (Pineda Campos, 2005) (Martínez Aguilar, 2020). Para dar cumplimiento a este decreto y ante la falta de canteras cercanas y con la experiencia de los inicios de la construcción de la Fortaleza, se optó por la extracción de corales de gran tamaño del fondo del mar, este material se le dio el nombre de piedra muca o múcar (Priego Medina, 2023). Conocidos popularmente como mucar, estos corales se denominan de tipo madreporico (Prado Núñez & Hernández Hernández, 2015), y se encontraban en los arrecifes bordeantes frente a las costas de la ciudad de Veracruz y del propio islote donde se erigió el Castillo (Pineda Campos, 2005). Los corales fueron secados al sol y careados en forma de sillar (Priego Medina, 2022).

Desde la época de la colonia (1521-1810) hasta la actualidad se ha extraído el sustrato madreporico como material de construcción, lo que ha provocado la casi total desaparición de algunos de los arrecifes bordeantes (Pineda Campos, 2005). Este hecho ha tenido una gran influencia sobre el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), pues de sus arrecifes coralinos se han extraído tanto la piedra múca, como el material que se utilizó para “pegar” los bloques con los que se construyeron casas y edificios públicos, algunos de los cuales permanecen hoy en día, y que estaban formados por coral blando, restos de coral duro triturado y otros organismos con esqueletos de carbonato de calcio (Programa de Manejo Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, 2017).

A consecuencia de la extracción del material arrecifal, se publica el Decreto, 1992 donde queda establecido el daño ecológico de gran magnitud generado en los arrecifes que se encuentran frente a las costas de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado pertenecientes al PNSAV. Como resultado el 24 de agosto de 1992 se publicó el Decreto en el Diario Oficial de la Federación (DOF), declarando área natural protegida con el carácter de Parque Marino Nacional a la zona conocida como Sistema Arrecifal Veracruzano, conviniendo en su artículo sexto la prohibición de captura o recolección de corales, algas coralígenas, así como especies malacológicas; de igual manera debido a que las áreas de donde se extraía el material madrepora, empleado para la construcción de edificaciones como antes se vio, quedó delimitado por un polígono establecido que contemplaba 52.238-91-50 hectáreas (Decreto, 1992). Este decreto ha pasado por dos modificaciones, la primera el 25 de noviembre de 1994 y la segunda y vigente el 29 de noviembre de 2012. En esta última reforma se estableció un conjunto de 28 formaciones arrecifales en una extensión de 65.516-47-08,05 hectáreas. Corresponde al artículo décimo establecer la prohibición de tocar o manipular los corales o las especies que se desarrollan en los arrecifes coralinos o dañar éstos en cualquier forma (Decreto, 2012).

En la búsqueda de la preservación de las técnicas constructivas originales y sus materiales, Pineda Campos hace una gran aportación al analizar seis tipos distintos de corales madreporicos o escleractinios, identificados como los usados principalmente en las construcciones, dando a conocer entre sus resultados

las propiedades mecánicas de estos (Pineda Campos, 2005). Por otra parte, Martínez Aguilar da a conocer los materiales y técnicas empleadas en los procesos constructivos de la Ciudad de Veracruz, a través de su investigación histórica, aportando con mayor detalle las características de los morteros y haciendo una revisión a las características y propiedades de los corales que de acuerdo con lo establecido en la documentación histórica fueron empleados, así como, la procedencia de los materiales (Martínez Aguilar, 2020). Los autores Lana, J. y Alvarez, J.I. por su parte analizan mezclas de morteros de cal para su empleo en restauración del patrimonio, probando mezclas de cal aérea e hidráulica con áridos de sílice y calcáreos, analizando las modificaciones de composición durante el fraguado y la evolución de propiedades fisicoquímicas y mecánicas (Lanas & Alvarez, 2006).

Derivado de lo anterior nace el presente estudio que busca aportar nuevo conocimiento en el campo de la preservación del patrimonio, ofreciendo una variante al coral, proponiendo realizar reintegraciones en las edificaciones con bloques de mortero de cal y arena, provenientes de diversos puntos de España. A continuación, se presentan los resultados de los primeros ensayos mecánicos y físicos realizados a los morteros, ensayados a 28 días, para la creación de bloques sustitutivos cuyo objetivo es la compatibilidad con las características químicas y mecánicas de los corales, con el principal objetivo de evitar un perjuicio a las fábricas en las edificaciones. Se toman como referencia los valores obtenidos a los ensayos realizados en los corales, derivado de la investigación de Dolores Pineda (Pineda Campos, 2005).

2. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Para la elaboración de las probetas de dimensiones de 160 mm x 40 mm x 40 mm se utilizó cal en pasta de diversos proveedores, con periodo de envejecimiento entre seis meses a cuatro años; en presentación en polvo con clave de acuerdo con la norma UNE-EN 459-1 (UNE-EN 459-1, 2016). Para el material árido se empleó de sílice en diámetros de 0,2 mm y 0,4 mm de la marca SODIRA; calcáreo de mina con diámetro 0,4 mm de la marca SODIRA y proveniente de la playa Cala Mundina, España, cribada a 0,4 mm (Tabla 1).

Tabla 1. Origen de los compuestos, denominación y ensayos realizados.

Marca y nombre de la materia prima	Clave CAL	Clave ARENA	Denominación compuesto	Ensayos realizado
Cal cálcica CALCASA. Arena 2 mm sílice SODIRA.	CL-90	A-0,2	CL-90 A-0,2	- Dureza Shore D - Resistencia a flexión - Resistencia a compresión - Densidad en estado endurecido
Cal cálcica CALCASA. Arena 4 mm sílice SODIRA.		A-0,4	CL-90 A-0,4	- Absorción de agua por capilaridad
Cal de Gordillos. Arena 4 mm sílice SODIRA.	CLG	A-0,4	CLG A-0,4	- Dureza Shore D - Resistencia a flexión - Resistencia a compresión - Densidad en estado endurecido
Cal de Gordillos. Arena Caliza, 4 mm SODIRA AF-0/4-T-C.		A-CLC	CLG A-CLC	- Absorción de agua por capilaridad
Cal de PROIESCON. Arena 4 mm sílice SODIRA.	CLPR	A-0,4	CLPR A-0,4	- Dureza Shore D - Resistencia a flexión - Resistencia a compresión - Densidad en estado endurecido
Cal de PROIESCON. Arena Caliza, 4 mm SODIRA AF-0/4-T-C.		A-CLC	CLPR A-CLC	- Absorción de agua por capilaridad
Cal de PROIESCON. Arena Cala Mundina, de playa.		A-CM	CLPR A-CM	- Dureza Shore D - Resistencia a flexión - Resistencia a compresión - Densidad en estado endurecido
UNICMAL 80. Arena 4 mm sílice SODIRA.	CLU80	A-0,4	CLU80 A-0,4	- Absorción de agua por capilaridad
UNICMAL 80. Arena Caliza, 4 mm SODIRA AF-0/4-T-C.		A-CLC	CLU80 A-CLC	- Dureza Shore D - Resistencia a flexión - Resistencia a compresión - Densidad en estado endurecido
UNICMAL 80. Arena Cala Mundina, de playa.		A-CM	CLU80 A-CM	- Absorción de agua por capilaridad
UNICMAL 200. Arena A-0,4 SODIRA.	CLU200	A-0,4	CLU200 A-0,4	- Dureza Shore D - Resistencia a flexión - Resistencia a compresión - Densidad en estado endurecido
UNICMAL 200. Arena Caliza, 4 mm SODIRA AF-0/4-T-C.		A-CLC	CLU200 A-CLC	- Absorción de agua por capilaridad

2.2 Preparación de las probetas

Dado que no existe un procedimiento normativo específico para morteros con cal en pasta, esta investigación busca seguir, en la medida de lo posible, las metodologías establecidas en normas vigentes para otros compuestos, especialmente la UNE-EN 196-1 (UNE-EN 196-1, 2018). Esta norma indica las proporciones de materiales para preparar morteros de referencia (arena normalizada CEN, cemento y agua), y se utiliza como base para establecer un volumen equivalente de arena para otras mezclas. Para esto se mide el volumen de la arena CEN en una probeta de 500 ml, repitiendo el proceso al menos tres veces para promediar y marcar un nivel de referencia. Las arenas seleccionadas deben igualar este volumen para garantizar la comparabilidad. Luego, se pesa la cantidad de arena equivalente y se promedia su masa, dato que será usado para ajustar la relación agua/cal en los ensayos de consistencia. Como la cal en pasta ya contiene agua, no se aplica la relación agua/cementante, sino que se busca lograr un escurrimiento de 175 ± 10 mm según la UNE-EN-1015-2 (UNE-EN 1015-2, 1999) ajustando la masa de cal en pasta.

Para el amasado del mortero de cal en polvo y en pasta se sigue lo establecido en la UNE-EN-196-1 (UNE-EN 196-1, 2018), atendiendo a la misma se realiza el procedimiento para enmoldado de las probetas. Para el curado y conservación de las probetas se siguieron las indicaciones de la norma UNE-EN 1015-11 (UNE-EN 1015-11, 2020), que establece un desmoldeo a los 5 días y conservación en parrilla metálica por 23 días más, completando 28 días antes de realizar ensayos. Periodo que como se mencionó será presentado en este documento.

2.3 Plan experimental

Los siguientes ensayos físicos y mecánicos fueron realizados a las probetas: dureza Shore D, resistencia a flexión, resistencia a compresión, densidad en estado endurecido y absorción de agua por capilaridad.

2.3.1 Dureza Shore D

Se determina la dureza superficial de todas las mezclas. El ensayo se ejecuta sobre las dos caras longitudinales laterales de la probeta prismática de 4 cm x 4 cm x 16 cm. Se utiliza un durómetro para medir la Dureza Shore D de las probetas, aplicando la fuerza en al menos tres puntos ubicados a $\frac{1}{4}$ de su longitud y a 20 mm de los extremos (Figura 1). Luego, se calcula la media aritmética de las mediciones, descartando los valores que no estén entre el 0,9 y el 1,1 de dicha media.



Figura 1. Determinación de la dureza por medio de durómetro Shore D.

2.3.2 Resistencia a flexión

Para determinar el valor de rotura máximo a flexión de cada una de las mezclas propuestas, se utiliza el ensayo de flexión especificado en la norma UNE-EN 1015-11 (UNE-EN 1015-11, 2020). Cada una de las probetas prismáticas se coloca en el equipo de trabajo Autotest 200-10SW de Ibertest, una de sus caras laterales se debe apoyar sobre los rodillos inferiores (cuyos centros están separados 100 mm) (Figura 2). La carga es aplicada mediante un rodillo superior al centro de la probeta, hasta que se produce la rotura a continuación, se anota la carga máxima en unidades Newton. La resistencia a flexión viene dada por la expresión:

$$f = 1,5 \frac{F x l}{b x d^2} \quad (1)$$

donde,

f : es la resistencia a flexión en N/mm^2 ;

F : es la carga máxima aplicada a la probeta, en newtons (N);

l : es la distancia entre los rodillos de apoyo, en milímetros (mm);

b : es el ancho de la probeta, en milímetros (mm);

d : es la profundidad de la probeta, en milímetros (mm).



Figura 2. Ensayo de resistencia a flexión mediante equipo Autotest de Ibertest.

2.3.3 Resistencia a compresión

Se determina la resistencia máxima a compresión según UNE-EN 1015-11 (UNE-EN 1015-11, 2020), usando el equipo Autotest 200-10SW de Ibertest. Para ello, se emplea una de las mitades obtenidas en el ensayo de flexión, colocándola con sus caras laterales entre dos platos de acero de sección 40×40 mm (Figura 3), y se aplica carga hasta su rotura, anotándose el valor máximo en Newtons. La resistencia a compresión viene dada por la expresión:

$$R_c = F_c / 1600 \quad (2)$$

donde,

R_c : es la resistencia a compresión en N/mm^2 .

F_c : es la carga máxima soportada, en newtons (N).

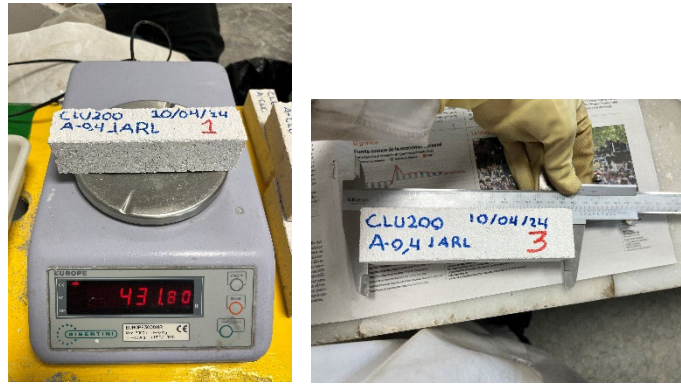
1600: es el área de la sección transversal de la placa de apoyo, en mm^2 .



Figura 3. Ensayo de resistencia a compresión mediante equipo Autotest de Ibertest.

2.3.4 Densidad en estado endurecido

Se determina mediante el ensayo de relación masa y volumen de acuerdo con la UNE-EN 1015-10 (UNE-EN 1015-10, 2000). La densidad aparente en seco (kg/m^3) de cada probeta de mortero se calcula dividiendo la masa de la probeta secada en estufa (kg), por el volumen (m^3) de la probeta del mortero endurecido (Figuras 4 y 5).



Figuras 4 y 5. Pesado de probeta después de secado y dimensionado.

2.3.5 Absorción de agua por capilaridad

El ensayo se realiza con base en la norma UNE-EN 1015-18 (UNE-EN 1015-18, 2003). Las probetas se colocan en una bandeja con las superficies de rotura hacia abajo, sumergidas en agua entre 5 y 10 mm sin tocar el fondo (Figura 6). Se inclinan para evitar burbujas de aire. Siguiendo la normativa y el criterio para morteros no destinados a renovación, se retiran tras 10 minutos, se secan superficialmente y se pesan (M1). Luego, se repite el procedimiento a los 90 minutos y se realiza una segunda pesada (M2). El coeficiente de absorción de agua se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$C = 0,1(M2 - M1)kg/(m^2 \cdot min^{0,5}) \quad (5)$$

donde,

M1: es la masa de la probeta después de una inmersión durante 10 min, en gramos (g);

M2: es la masa de la probeta después de una inmersión durante 90 min, en gramos (g);

C: es el coeficiente de absorción de agua de una probeta individual de mortero, $[kg/(m^2 \cdot min^{0,5})]$ (para morteros distintos a los de renovación).

El valor medio del coeficiente de absorción de agua (*C_m*) se calcula a partir de los valores individuales con una aproximación $0,1 kg/(m^2 \cdot min^{0,5})$.



Figura 6. Ensayo para determinar el coeficiente de absorción de agua.

3. RESULTADOS

3.1 Dureza shore D

A continuación, en la Figura 7 se presentan los resultados de dureza Shore D obtenidos al término de los 28 días, una vez finalizado el ensayo.

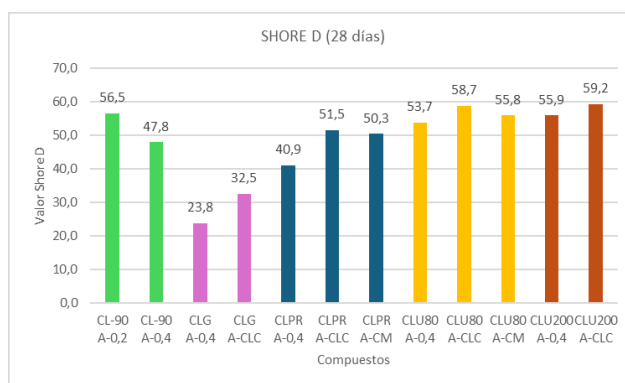


Figura 7. Resultados promedio posteriores al ensayo de dureza Shore D a 28 días.

Los compuestos con arena de tipo calcárea presentaron los valores de dureza más altos en comparación con los elaborados con arena de sílice. Con relación a los compuestos elaborados con cal en presentación en polvo (CL-90), donde ambos fueron mezclados con arena de sílice se observa para el compuesto CL-90 A-0,2 un valor promedio equiparable a los obtenidos en los compuestos con arena de tipo calcáreo.

3.2 Resistencia a flexión

En la Figura 8 se observa el resultado medio de los valores obtenidos en el ensayo a flexión realizado a los diversos compuestos de acuerdo con lo mencionado en el apartado 2.3.2 de este documento. Los valores se contrastan con el resultado promedio de la resistencia a flexión obtenida en el estudio de Dolores Pineda, 2005, representado por la línea horizontal.

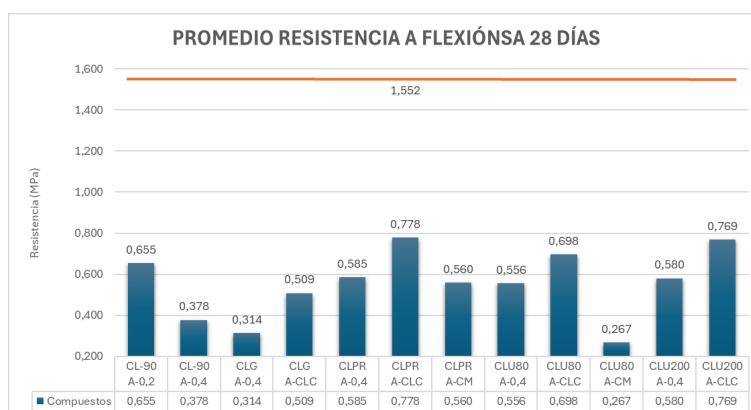


Figura 8. Resultados promedio posteriores al ensayo a flexión a 28 días en comparación con el valor medio resultado de los ensayos a flexión en los corales (línea naranja).

Se logra observar que los valores más altos corresponden a los compuestos integrados con la arena A-CLC en cada uno de los grupos de cales. Por otra parte, con relación a los compuestos elaborados con arena de sílice la mayor resistencia se logra con la arena de 0,2 mm (A-0,2) obteniendo un valor medio en el orden los 0,600 MPa a 0,700 MPa dentro del rango de lo obtenido por la arena A-CLC. En contraste con el valor medio obtenido en los corales se observa que los resultados de los compuesto CLPR A-CLC y CLU200 A-CLC se encuentran por encima del 50%, mientras que los demás compuestos en su mayoría se encuentran por encima del 30% o por alcanzarlo. En comparación con el promedio obtenido en los corales (1,552 MPa), el valor más alto resultante del ensayo a 28 días es para el compuesto CLPR A-CLC siendo el 50,13% del valor de los corales.

3.3 Resistencia a compresión

Los valores obtenidos posterior al ensayo ejecutado de acuerdo con lo indicado en la norma UNE-EN 1015-11 (UNE-EN 1015-11, 2020) para resistencia a compresión se presentan en la Figura 9. Al igual que en la Figura 8 se compara el valor promedio obtenido por Dolores Pineda, 2005 contra el ensayo correspondiente a compresión a 28 días de los compuestos.

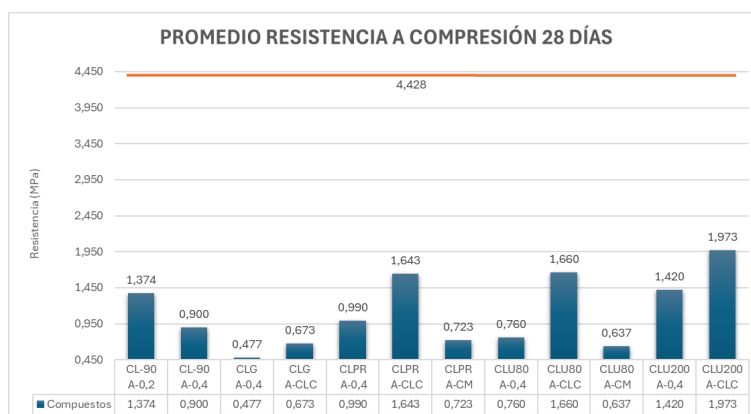


Figura 9. Resultados promedio posteriores al ensayo a compresión a 28 días en comparación con el valor medio resultado de los ensayos a compresión en los corales (línea naranja).

Derivado del ensayo se identifica que en los compuestos se destaca la mayor resistencia asociada al uso de la arena de origen calcáreo (A-CLC) con las diferentes cales empleadas. En cuanto a los compuestos elaborados con cal CL-90 la mayor resistencia se obtiene de la mezcla con arena A-0,2 con una notable diferencia del 34,50%. Comparando los valores promedio obtenidos en los morteros y de los corales el compuesto CLU200 A-CLC ha alcanzado un valor del 44,56% siendo el más alto, mientras que las mezclas CLPR A-CLC y CLU80 A-CLC han superado el 37%. Como resultado al contrastar el valor promedio de los corales (4,428 MPa) contra la media del compuesto con mayor resistencia, se observa que CLU200 A-CLC es el compuesto con mejor comportamiento ante las solicitudes de esfuerzos a compresión a 28 días.

3.4 Densidad en estado endurecido

En la Figura 10 se muestran los valores promedio de la densidad en estado endurecido obtenidos posteriormente a la toma de dimensiones y peso de las probetas a la edad de 28 días. Al igual que en los dos ensayos anteriores se representa con una línea horizontal el valor medio de lo obtenido por Dolores Pineda, 2005 en su investigación a los corales.

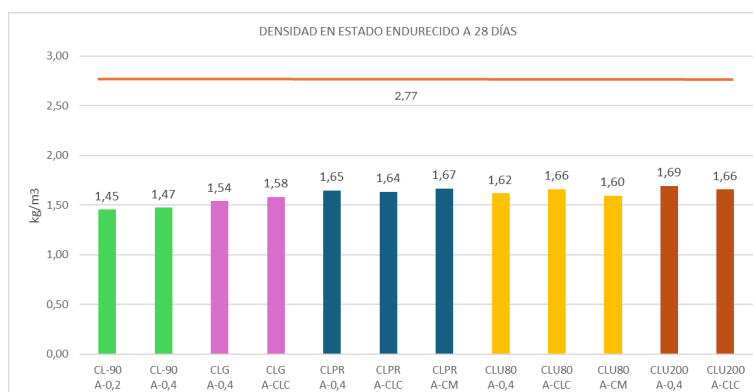


Figura 10. Resultados promedio posteriores al ensayo a compresión a 28 días en comparación con el valor medio resultado de los ensayos en corales (línea naranja).

A través del gráfico quedan reflejados los valores promedio de la densidad, siendo consistentes entre los grupos de compuestos regidos por el tipo de cal empleada, con una diferencia máxima de 0,24 kg/m³ entre los valores mínimos y máximos. El compuesto con arena de sílice CLU200 A-0,4 ha alcanzado un 61% del valor medio de la densidad de los corales, seguido por el compuesto con arena calcárea de playa CLPR A-CLM con el 60,29%.

3.5 Absorción de agua por capilaridad

En la Figura 11 se presentan los resultados obtenidos después de realizar el ensayo de absorción de agua por capilaridad. Con una línea horizontal punteada se representa el valor promedio de absorción de los corales, obtenido por Dolores Pineda, 2005.

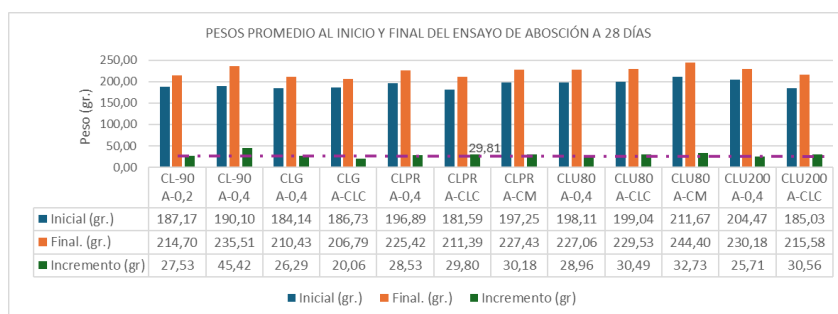


Figura 11. Pesos promedio en seco y al final de la prueba de absorción por capilaridad a 28 días en comparación con el valor medio de absorción resultado de los ensayos en corales (línea discontinua).

De los resultados obtenidos para las arenas de sílice (A-0,2 y A-0,4) existe una absorción promedio del orden del 13,53%; para la arena calcárea de mina A-CLC se encuentra dentro del 13,85% cuyo valor se obtuvo descartando el correspondiente al compuesto CLG A-CLC por quedar fuera del rango de valores; en cuanto a la arena A-CM el porcentaje promedio de absorción es del 13,33%. Cabe mencionar que el compuesto con menor absorción corresponde a CLG A-CLC con un incremento del 9,7%; en lo que corresponde al compuesto con mayor absorción destaca CL-90 A-0,4 con una absorción del 19,3%, seguido por el compuesto CLU80 A-CM con 13,4%. Contrastando los valores promedio del incremento de peso por absorción, resultantes de los ensayos a los diversos compuestos, contra el valor promedio obtenido en los corales ensayados por Dolores Pineda se observa congruencia entre ellos, siendo el compuesto CLPR A-CLC el del valor más cercano.

CONCLUSIONES

Los resultados de los compuestos ensayados a 28 días han presentado comportamientos favorables en contraste con los resultados obtenidos en los corales, lo que con ensayos subsecuentes a compuestos de mayor edad podrían estar alcanzando los valores promedio del material madreporico.

Hasta el momento los compuestos que presentan un mejor comportamiento con relación a dureza Shore D son aquellos con arena calcárea (A-CLC), a excepción del compuesto CLG A-CLC cuyo valor se encuentra por debajo de los demás que emplean el mismo árido. Para los ensayos sometidos a acciones mecánicas como flexión el compuesto CLPR A-CLC obtiene la mayor resistencia, mientras que para el caso de compresión se obtuvo que CLU200 A-CLC obtiene un valor promedio por arriba de los 0,300 MPa en comparación con los compuestos CLPR A-CLC y CLU80 A-CLC cuya diferencia entre ellos es de 0,017 MPa siendo valores más consistentes. En el caso de la densidad en estado endurecido se logra apreciar un comportamiento uniforme de los valores entre los diferentes compuestos, así como también, para el caso de absorción por capilaridad, destacando nuevamente el caso del árido A-CLC con valores muy cercanos a lo obtenido en los corales, a excepción del compuesto CLG A-CLC que presenta el menor valor de absorción de todos los compuestos.

Se puede concluir que el mejor comportamiento en los ensayos a 28 días es atribuible a los compuestos que se forman a partir del árido calcáreo de mina A-CLC, con una mejor respuesta en composición con la cal CLPR por reaccionar ante las solicitaciones de los ensayos dentro de los valores de los demás compuestos sin estar por encima o debajo. Lo antes dicho se espera comprobar con los ensayos posteriores a mayor edad de las probetas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cortés Hernández, J. (2009). La Villa Rica de la Vera Cruz, espacio y tiempo. In P. Caro Sánchez & D. Nahmad Molinari (Eds.), *REVISTA OLLIN* (pp. 43–50). Centro INAH Veracruz.
- Decreto, por el que se declara área natural protegida con el carácter de Parque Nacional, la zona conocida como Sistema Arrecifal Veracruzano, con superficie de 52,238-91-50 hectáreas. (1992). https://simec.conanp.gob.mx/pdf_decretos/135_decreto.pdf
- Decreto, que modifica al diverso por el que se declara Area Natural Protegida, con el carácter de Parque Marino Nacional, la zona conocida como Sistema Arrecifal Veracruzano, publicado los días 24 y 25 de agosto de 1992. 1 (2012). https://simec.conanp.gob.mx/pdf_decreto_mod/15_135_decreto-mod.pdf

- Lanas, J., & Alvarez, J. I. (2006). Preparación y ensayos de morteros de cal de nueva factura para su empleo en restauración del patrimonio. In *V Jornada "Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio"* (p. 13). https://www.researchgate.net/publication/273113918_PREPARACION_Y_ENSAYOS_DE_MORTEROS_DE_CAL_DE_NUEVA_FACTURA_PARA_SU_EMPLEO_EN_RESTAURACION_DEL_PATRIMONIO
- Martínez Aguilar, G. (2020). *Las técnicas constructivas de las fortificaciones en el siglo XVIII. Factores determinantes en la transformación tecnológica de la arquitectura militar de Veracruz*. [Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://ru.dgb.unam.mx/handle/20.500.14330/TESO1000803939>
- Melgarejo Vivanco, J. L. (1960). *Breve Historia de Veracruz* (Facultad de Filosofía y Letras, Ed.). Universidad Veracruzana.
- Pineda Campos, D. (2005). *Investigación de los materiales coralinicos utilizados en la construcción y restauración de la Fortaleza de San Juan de Ulúa, Veracruz, México, para su conservación* (Primera). Editorial de la UPV.
- Prado Núñez, R. I., & Hernández Hernández, A. I. (2015). *La piedra múcar en el sistema arrecifal del puerto de Veracruz*. https://phi.aq.upm.es/site_media/media/files/La_Piedra_M%C3%BAcara_en_el_Sistema_Arrecifal_Veracruzano_-_Alberto_Hern%C3%A1ndez.pdf
- Priego Medina, C. de los Á. (2022). La Veracruz amurallada del siglo XVIII. In M. Flores Román & Do. Pineda Campos (Eds.), *Caminería Histórica Novohispana y Rutas Militares* (Primera, pp. 39–54). Universidad de Xalapa A.C.
- Priego Medina, C. de los Á. (2023). Trazado y evolución urbana de la nueva ciudad de Veracruz, siglos XVII al XIX. In R. Arboleyda Castro (Ed.), *VERACRUZ 500 años de cara al mundo a través del mar* (Primera, pp. 97–112). Secretaría de Cultura - Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Programa de Manejo Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, 1 (2017). https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/135_libro_pm.pdf
- Rodríguez Herrero, H. (2013). *Una ciudad hecha de mar* (J. H. Hernández Alvarado, Ed.; IVEC). Instituto Veracruzano de la Cultura.
- UNE-EN 196-1, Métodos de ensayo de cementos Parte 1: Determinación de resistencias (2018).
- UNE-EN 459-1, Cales para la construcción Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad (2016).
- UNE-EN 1015-2, Métodos de ensayo de los morteros para albañilería Parte 2: Toma de muestra total de morteros y preparación de los morteros para ensayo (1999).
- UNE-EN 1015-10, Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 10: Determinación de la densidad aparente en seco del mortero endurecido 8 (2000).
- UNE-EN 1015-11, Métodos de ensayo de los morteros para albañilería Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido 12 (2020).
- UNE-EN 1015-18, Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 18: Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad del mortero endurecido (2003).