

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y MECÁNICA DEL MATERIAL CALIZO UTILIZADO EN EL SURESTE MEXICANO

Karen Estefany Acosta Guzmán¹, Danna L. Trejo-Arroyo²,
Julio C. Cruz Argüello³, Alberto Yeladaqui Tello⁴

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 01/07/2019 Aceptado: 24/09/2019 Publicado: 03/12/2019

Resumen.- La influencia de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de rocas, agregados finos y gruesos, se ven reflejadas directamente en las propiedades mecánicas de elementos de concreto o morteros. En este estudio se presenta la caracterización físico-química y mecánica de roca y agregados calizos provenientes del sureste de la península de Yucatán que son utilizados para la industria de la construcción. Las muestras analizadas son provenientes de la subprovincia fisiográfica n°64, correspondientes al estado de Quintana Roo. Las propiedades físicas de los agregados fueron analizadas por medio de las normas ASTM que corresponden a granulometría, módulo de finura, absorción, humedad y peso volumétrico. Los análisis por MEB y EDS determinaron sus características superficiales y su composición elemental, respectivamente.

Palabras clave: Agregados calizos, caliza dolomítica, microestructura.

PHYSICAL-CHEMICAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF THE LIMESTONE MATERIAL USED IN SOUTHEASTERN MEXICO

Abstract.- The influence of the physical, chemical and mechanical properties of rocks, fine and coarse aggregates, are directly reflected in the mechanical properties of concrete or mortar elements. This study presents the physical-chemical and mechanical characterization of rock and limestone aggregates from the south-east of the Yucatan Peninsula that are used for the construction industry. The samples analyzed are from physiographic subprovince n° 64, corresponding to the state of Quintana Roo. The physical properties of the aggregates were analyzed by ASTM norms that correspond to granulometry, modulus of fineness, absorption, humidity, volumetric weight and sanitation. The analyzes performed by SEM and EDS determined their surface characteristics and elementary composition, respectively.

Keywords: Limestone aggregates, dolomitic limestone, microstructure.

Introducción

La Península de Yucatán posee varios tipos de calizas (piedras sedimentarias no clásticas; calizas: margas, dolomitas y yeso) compuesta mayoritariamente en carbonato de calcio (Monteiro k. e., 1998). En abundancia han sido utilizados desde tiempos antiguos en la infraestructura y edificación. Dentro del ámbito de la construcción, en la península de Yucatán, el agregado calizo es considerado como un material de propiedades físicas, químicas y mecánicas de comportamiento muy variable dentro del concreto, mortero, asfaltos etc. (Chan, 2003) ya que sus propiedades dependen de su formación y evolución geológica por lo que pueden afectar directamente en su vida útil (Salomón, 2003). En algunas regiones es común utilizar este tipo de rocas calcáreas como materia prima para la industria de la construcción. Este grupo de rocas tiene una distribución dentro del territorio nacional, en el sureste (Quintana Roo, Tabasco y Oaxaca) que se concentra en el 16.6% (Minero, 2014). Debido a sus propiedades físicas y mecánicas del agregado (porosidad capilar, densidad, sanidad, resistencia a compresión entre otras) los concretos llegan a ser sobredosificados para alcanzar las resistencias que establecen las normas internacionales existentes como las de American Society for Testing and Materials (ASTM) (Chan, 2003), las cuales no son adecuadas para el tipo de agregado calizo de la región mencionada; generando gastos superiores a los establecidos a la hora de diseñar y ejecutar el concreto.

¹ Karen Estefany Acosta. Estudiante de la Maestría en Construcción. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal.

² Danna Lizeth Trejo-Arroyo. Cátedra Conacyt-Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal. danna@itchetumal.edu.mx (**Autor correspondiente**).

³ Julio Cesar Cruz-Argüello. Profesor-Investigador del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal.

⁴ Alberto Yeladaqui Tello. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal. Tecnológico Nacional de México/I. T. Chetumal.

Durante mucho tiempo los agregados calizos han sido considerados como un relleno inerte y por lo tanto un material carecido de atención con respecto a su posible influencia en las propiedades del concreto. Sin embargo, debido al creciente conocimiento del papel que juegan los agregados para determinar muchas propiedades importantes del concreto, la idea tradicional del agregado como relleno inerte está siendo cuestionada, por lo tanto, toma mayor relevancia. Los últimos años se han estudiado los cambios que ha sufrido la roca madre del sureste de la península de Yucatán, ya que ocupan un gran volumen que va del 50 al 70% de la mezcla del concreto, su estudio es de gran importancia, ya que los agregados son componentes críticos dentro de la mezcla dando un efecto significativo en el comportamiento de las estructuras. (Minero, 2014).

Esta investigación ofrece establecer ventajas y desventajas de utilizar agregado calizo con diferentes tipos de composición mineralógica y/o un avance para mejorar la aplicación y uso en la construcción que se le da al agregado. Específicamente se determinan los efectos de las propiedades físico-químicas de los agregados calizos en las propiedades mecánicas del concreto. Para este estudio, se establece el banco de estudio en función de su fisiografía y tipo de material calizo existente en Quintana Roo. Posteriormente se realiza la caracterización físico-química de los diferentes tipos de agregado obtenidos del banco en estudio por medio de granulometría, peso volumétrico seco varillado, humedad, densidad, absorción y tamaño máximo del agregado. Para determinar sus características superficiales se realizó un ensayo por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) y se realizó un análisis químico elemental por medio de MEB-EDS. Se sugiere que la caracterización físico-química del material calizo presente en el estado de Quintana Roo utilizado en la industria de la construcción, aportará nuevos conocimientos que complementen los ya establecidos en cuanto al comportamiento mecánico de concretos, permitiendo recomendar la calidad técnica más adecuada..

Metodología: materiales y métodos

-Definir y establecer los bancos de estudio localizados en la subprovincia fisiográfica n°64 y con respecto a los diferentes tipos de material calizo existentes en Quintana Roo.

La república mexicana posee 15 provincias fisiográficas terrestres. Para la selección de los agregados en estudio, se tomó en cuenta que, de acuerdo a la estructura fisiográfica el estado de Quintana Roo se encuentra localizado dentro de la provincia N°13 con el nombre denominado península de Yucatán. La provincia fisiográfica “la península de Yucatán” posee a su vez 3 subprovincias denominadas, N°62 el Carso Yucateco, N°63 el Carso y Lomeríos de Campeche y n°64 Costa baja de Quintana Roo.

Para establecer los límites del trabajo de acuerdo a su fisiografía, se consideró el estudio enfocado a la zona fisiográfica n°64, costa baja de Quintana Roo (Zona escasamente explorada). Delimitando por su geología, el estado de Quintana Roo posee 13 tipos de suelo de la era cenozoica del cuaternario y del terciario específicamente.

-Identificar y definir los bancos asentados en el área de estudio, así como el tipo de agregado de cada uno de acuerdo a su fisiografía y geología.

El estado de Quintana Roo cuenta con 19 bancos activos en base a un estudio realizado por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), donde se da a conocer los nombres de cada uno de estos bancos, así como coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM) y, los usos más comunes en la construcción y mantenimiento de carreteras. En base a estas coordenadas, se realizó un dibujo técnico en el programa de AutoCAD el cual permitió determinar en qué zonas geológicas se localizan cada uno de estos 19 bancos existentes usando las coordenadas UTM. Se determinó que varios de los bancos se encontraron en zonas geológicas con el mismo tipo de suelo por lo que se fueron descartando, tomando en cuenta solo los que se encuentran dentro de la zona fisiográfica número n°64 y donde su tipo de suelo fue diferente.

-Sondear/muestrear el agregado calizo en base a la fisiografía y geología.

Una vez delimitada el área de estudio, se procedió a realizar la exploración de campo a los bancos seleccionados, por medio de las coordenadas UTM para establecer el muestreo de los agregados de acuerdo a las normas ASTM D-75 y NMX C-030-ONNCCCE 2004.

-Caracterización física de los agregados obtenidos del muestreo.

Pruebas físicas al agregado fino

Cuarteo. El agregado fino fue dividido en 4 partes iguales en forma de cruz y se tomaron 2 partes opuestas, se realizaron los cuarteos necesarios en base a la norma ASTM C-702, reduciendo la cantidad de agregado fino para la obtención de una muestra exacta.

Granulometría y módulo de finura. La granulometría de la arena se realizó en base a la norma ASTM C-136 y fue determinado el módulo de finura.

Absorción. Para obtener la absorción de humedad en el agregado fino se utilizó la norma ASTM C-128.

Contenido de Humedad. La determinación del contenido de humedad se realizó mediante la norma ASTM C-70..

Pruebas físicas al agregado grueso

Cuarteo. El cuarteo del agregado grueso se determina en base a la norma ASTM C-702 teniendo como opción el cuarteo mecánico y el manual. Por lo tanto, se realizó por el método manual como en el agregado fino.

Granulometría. La granulometría de la grava se realizan en base a la norma ASTM C-136 y C117. De acuerdo al banco; manejan agregados de 19 mm o 3/4 in a 9.5 mm o 3/8 in ± en promedio. Bajo este criterio es utilizada la norma que deberá aplicarse. Siendo la norma ASTM C117 para agregados gruesos menores de 1/2 in como se observa en la Figura 1a, y aplicando la norma ASTM C136 en caso de agregados gruesos de 1 in o más, como tamaño nominal, Figura 1b, norma ASTM C33.

a)		b)	
Nominal Maximum Size	Minimum Mass, g	Nominal Maximum Size, Square Openings, mm (in.)	Min. Sample Size, min, kg (lb)
4.75 mm (No. 4) or smaller	300	9.5 (3/8)	1 (2)
9.5 mm (3/8 in.)	1000	12.5 (1/2)	2 (4)
19.0 mm (3/4 in.)	2500	19.0 (3/4)	5 (11)
37.5 mm (1 1/2 in.) or larger	5000	25.0 (1)	10 (22)
		37.5 (1 1/2)	15 (33)
		50 (2)	20 (44)
		63 (2 1/2)	35 (77)
		75 (3)	60 (130)
		90 (3 1/2)	100 (220)
		100 (4)	150 (330)
		150 (6)	750 (1650)

Figura 1. a) Tamaño máximo nominal menor de 1/2" agregado grueso. b) Tamaño máximo nominal agregado grueso.

Tamaño máximo nominal. El tamaño máximo nominal se estableció de acuerdo con la norma ASTM C33. De acuerdo a cada banco; manejan agregados de 19 mm o 3/4 in a 9.5mm o 3/8 in ± en promedio. Por lo tanto, de acuerdo a estos tamaños, el rango que determina el tamaño nominal será entre estos.

Masa volumétrica seca suelta y seca compacta. Para la obtención del peso unitario e índice de huecos en los agregados, se realizó en base la norma ASTM C-29.

Absorción. Para la determinación de la absorción del agregado grueso se realiza en base a la norma ASTM C 127.

Humedad. Para determinar la humedad en el agregado grueso se determinó en base a la norma ASTM C566.

Caracterización físico-química del agregado

Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) y Espectrometría de Dispersión de Energía de Rayos X (EDS). Esta prueba se realiza con un microscopio electrónico de barrido modelo JEOL JSM 6010PLUS/LA. Para realizar esta prueba fue necesario preparar las muestras con un tamaño menor a 0.5 cm de largo por 1mm de ancho posteriormente son colocadas en el porta-muestras del microscopio y es recubierta por un baño de oro.

-Diseño de mezcla en base a las características del agregado de muestreo y en base a una relación agua/cemento de 0.7

Con los resultados de las pruebas de caracterización física y química de los agregados grueso y fino, se elaborará un diseño de mezcla en base al método ACI-211.1 del American Concrete Institute y en base a lo establecido en la norma NMX-C-403-ONNCCE. En ese punto se ajustará el diseño con la condición que mantenga la relación establecida.

-Determinar la resistencia mecánica a la compresión de un concreto fabricado con los agregados en estudio

Se elaborarán especímenes de concreto a 28 días de curado por cada agregado en estudio proveniente de cada banco para determinar la resistencia a la compresión, aplicando la norma ASTM C-39. Todos los especímenes deben ser curados a la temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ en una solución de agua saturada con cal de acuerdo a la norma ASTM C 192.

Resultados

En la imagen de la Figura 2, se muestra la localización de los bancos de Quintana Roo obtenida de Carta Fisiográfica 1:1.000,000 Mérida XI 1987 (informativa, 1987); se puede observar la distribución de las zonas fisiográficas de la península de Yucatán donde se encuentran las subprovincias fisiográficas, n°62 Carso yucateco en color verde claro, n°63 Lomeríos de Campeche en color naranja y n°64 correspondiente a la costa baja de Quintana Roo en color verde oscuro. Se localizaron en el mapa los 19 bancos del estado de Quintana Roo en círculos color azul, de acuerdo a las zonas geológicas que poseen y a la zona fisiográfica se descartaron los que poseen el mismo tipo de suelo fuera de la subprovincia quedando así 4 tipos de suelo. La investigación presente se centró en el banco 001 de la zona geográfica n°64 señalada en el mapa con la flecha negra.



Figura 2. Fuente: Elaboración propia con los datos de la “Localización de los bancos de Quintana Roo, Carta Fisiográfica 1:1.000,000 Mérida XI 1987 (informativa, 1987)”

En la imagen de la Figura 3, que corresponde a “Inventario de bancos de materiales de Quintana Roo”, (Secretaría de comunicaciones y subsecretaría de infraestructura, 2019) señala que, el estado de Quintana Roo posee 4 tipos de material calizo de acuerdo a los 19 bancos existentes, los cuales corresponden a del tipo:

Aluvión (Qhoal), Caliza Coquina (Tmpl Cz-Cq), Caliza Marga (Te Cz-Mg) y Caliza-dolomía (Tm Cz-Do). Por lo tanto, los agregados seleccionados para el estudio correspondieron al banco denominado “El 21”, que de acuerdo al inventario del banco de materiales de Quintana Roo mostrado, corresponden a los agregados del banco Número 1, localizado en el kilómetro 251+00, en las coordenadas $18^{\circ}30'57.75''\text{N}$ - $88^{\circ}29'04.79''\text{O}$, con el tipo de material del

aluvión bajo la denominación (Qhoal), un material que contiene caliza alteradas por el intemperismo, arcillas lateríticas y limos correspondiente a la era cuaternaria (Castro G. G.).

INVENTARIO DE BANCOS DE MATERIALES ACTIVOS QUINTANA ROO 2019										
N° DE BANCO	NOMBRE	KILOMETRO	COORDENADAS UTM	ULTIMO ESTUDIO	TIPO DE MATERIAL (CALIZA)	TRATAMIENTO	USOS	N° DE PLANO	ZONA FISIOGRAFICA	
1	EL "21"	251+00	18°30'57.75"N, -88°29'04.79"O	oct-96	Qhoal	TPC	5 al 10	1	64	
2	EL "60"	215+100	18°28'39.63"N, -88°49'17.12"O	oct-96	Trm Cz-Do	TPC	5 al 10	1	63	
3	S/N	078+200	19°10'01.79"O, -88°10'69.66"O	dic-08	Tmpl Cz-Cq	TPC	1	2	63	
4	CALICA	281+440	20°35'46.26"N, -87°10'21.00"O	oct-96	Tmpl Cz-Cq	TPC	5 al 11	4	62	
5	S/N	104+750	19°20'11.39"N, -88°04'45.89"O	nov-15	Tmpl Cz-Cq	TPC	1 al 5	2	62	
6	S/N	162+500	19°47'58.02"N, -87°52'50.57"O	nov-15	Tmpl Cz-Cq	TPC	1 al 5	3	62	
7	S/N	168+000	19°50'53.72"N, -87°51'24.91"O	nov-15	Tmpl Cz-Cq	TPC	1 al 5	3	62	
8	LA VACADILLA	001+100	18°29'45.95"N, -88°30'31.90"O	oct-96	Trm Cz-Do	TPC	5 al 10	1	64	
9	SABIDOS	18+500	18°22'01.35"N, -88°35'48.16"O	nov-15	Qhoal	TPC	5 al 10	1	64	
10	EL TAMARINDO	134+900	19°46'40.77"N, -88°44'10.87"O	nov-15	Te Cz-Mg	TPC	1 al 10	2	62	
11	DOS AGUADAS	145+000	19°42'45.62"N, -88°40'33.20"O	nov-15	Te Cz-Mg	TPC	1 al 10	2	62	
12	BETANIA	192+500	19°37'59.28"N, -88°16'47.69"O	nov-15	Tmpl Cz-Cq	TPC	1 al 10	2	64	
13	A.B.C.	309+900	21°07'27.16"N, -88°54'12.47"O	oct-96	Tmpl Cz-Cq	TTC	5 al 10	5	62	
14	S/N	10+500	20°17'44.16"N, -87°30'09.14"O	sep-05	Tmpl Cz-Cq	TPC	1 al 10	4	62	
15	TABASQUILLO	17+100	19°58'27.42"N, -88°41'36.64"O	sep-13	Tmpl Cz-Cq	TTC	1 al 10	2	62	
16	CHUNHUHUB	095+000	19°34'06.43"N, -88°35'44.28"O	jun-99	Te Cz-Mg	TTC	5 al 10	2	62	
17	EL IDEAL	2+380	20°53'57.06"N, -87°32'51.84"O	nov-15	Tmpl Cz-Cq	TTC	1 al 10	4	62	
18	EL CEDRAL	12+250	20°57'28.07"N, -87°30'50.55"O	nov-15	Tmpl Cz-Cq	TTC	1 al 10	4	62	
19	SAN PEDRO	001+300	20°59'22.14"N, -87°28'57.13"O	nov-15	Tmpl Cz-Cq	TTC	5 al 10	4	62	
tratamiento:						USOS:				
TPC	TRITURACION PARCIAL Y CRIBADO					6	concreto asfáltico			
TTC	TRITURACION TOTAL Y CRIBADO					1	revestimiento	7	mezcla asfáltica en el lugar	
					2	sub-base	8	sello		
					3	sub-balasto	9	mampostería		
					4	balasto	10	concreto hidráulico		
					5	base	11	escolleras		

Uso de explosivos: en general no tienen restricciones
 fecha de actualización: noviembre 2015
 aspecto económico: conveniente

Figura 3. Elaboración propia con los datos del “Inventario de bancos de materiales activos Quintana Roo, 2019.”

En cuanto a los resultados de la caracterización física de los agregados finos, los datos obtenidos del análisis granulométrico del banco 1 son presentados en la Tabla 1. Se obtuvo un Módulo de finura de 3.04 encontrándose dentro de los límites granulométricos que establece la norma ASTM C33 y como puede observarse en la gráfica de la Figura 3.

Tabla 2. Análisis granulométrico promedio del agregado fino.

TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	% DEL LÍMITE INFERIOR	% DEL LÍMITE SUPERIOR
9.5	0	0	0	100	100	100
4.75	0.6	0	0	100	95	100
2.36	202.4	20	20	80	80	100
1.18	226.8	23	43	57	50	85
0.6	178.20	18	61	39	25	60
0.3	224.8	22	83	17	5	30
0.15	144.2	14	97	3	0	10
Bandeja	23	2	99	0	-	-
Σ	1000			Módulo de finura	3.04	

Fuente: Elaboración propia.

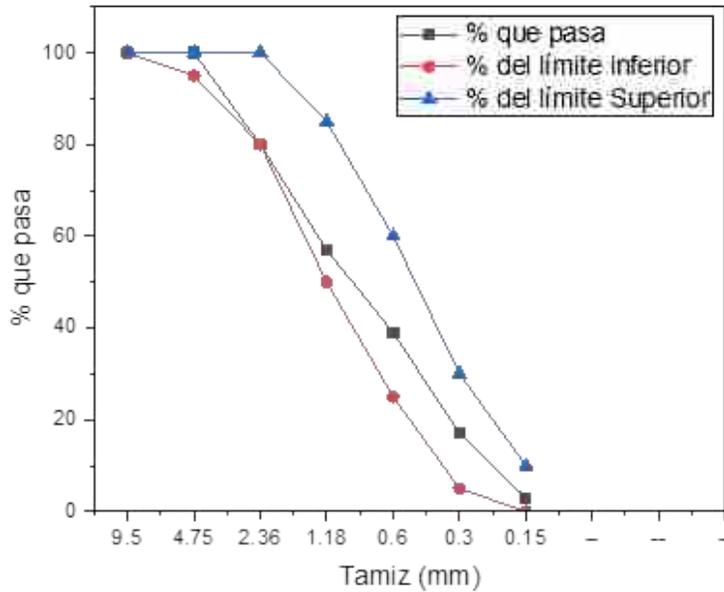


Figura 3. Análisis granulométrico promedio del agregado fino.

Los datos del análisis granulométrico del agregado grueso son presentados en la imagen de la Figura 4. Se sugiere que el agregado grueso obtenido del banco 1 cumple con las especificaciones establecidas de acuerdo a la norma ASTM C 136 por medio de la cual se determinó el tamaño máximo del agregado siendo este de 3/4 in.

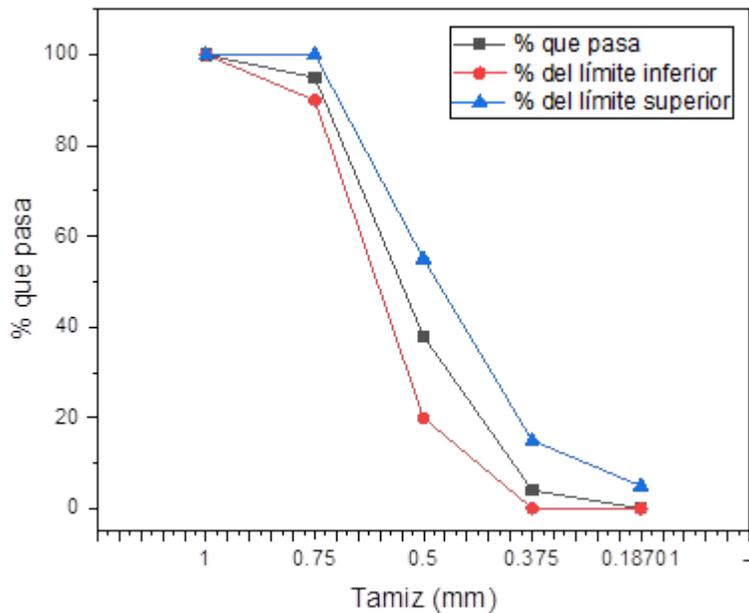


Figura 4. Análisis granulométrico promedio del agregado grueso.

En las Tablas 3 y 4, se presentan los resultados obtenidos de la caracterización física de agregado fino y grueso, en la cual se observó un porcentaje de absorción de los agregados considerablemente alto por lo que son considerados como agregados de alta absorción.

Tabla 3. Caracterización física mediante las normas ASTM de agregados finos.

Caracterización Física Agregados Finos				
Absorción %	Humedad superficial %	Densidad aparente kg/m ³	Densidad relativa	Módulo de finura
4.90	0.30	2665.76	2.67	3.04

Tabla 4. Caracterización física mediante las normas ASTM de agregados gruesos.

Caracterización Física Agregados Gruesos				
Peso Volumétrico suelto kg/m ³	Peso Volumétrico compacto Kg/m ³	Absorción %	Densidad aparente kg/m ³	Densidad relativa
5.953	6.736	3.31	2595.65	2.6

Los análisis de la caracterización físico-química por medio de MEB y MEB-EDS se muestran a continuación. La micrografía de la Figura 5a, muestra una imagen de un agregado fino a una magnificación de 2000X donde se observa en general una morfología irregular, su superficie expuesta parece estar compuesta por diversos poliedros o superficies angulosas y rugosas lo que sugiere es benéfico para su uso en concretos ya que según (Çeçen, 1997) y (Monteiro k. M., 1998), las reacciones químicas interfaciales mejoran la resistencia de la unión (adherencia) entre la pasta cementante y las superficie de las partículas de agregado, obteniendo a edades tempranas una reducción en la fuerza de adherencia mientras que a edades tardías estos poros llegan a llenarse con productos de reacción incrementando la fuerza de adherencia (Tasong 1999), (Chan, 2003). En cuanto al análisis químico por EDS de los agregados, en la gráfica de la Figura 5b, puede observarse los picos característicos correspondientes a los elementos encontrados como Ca y Mg, (los picos presentes de C y Au forman parte de los elementos utilizados para la preparación de las muestras).

Por lo tanto, se sugiere que los agregados analizados correspondientes al banco 1 en estudio, pertenecen a agregados del tipo caliza-dolomítica, ya que presentó altos porcentajes de Mg alrededor del 21.09% en su composición, como puede observarse en el inserto de la Figura 5b del análisis químico por EDS. Cuando el carbonato de magnesio (MgCO₃) oscila entre el 10 y el 50% la roca puede denominarse caliza dolomítica (Mishari Al- Awadi, 2009) cuando posee más del 50% de MgCaO₃ se le considera dolomía, y cuando posea entre un 5% y un 10% de MgCaO₃ es considerado como caliza magnesiana un término que considera (Mishari Al- Awadi, 2009) obsoleto, con menos del 5% de MgCaO₃ la roca se denomina simplemente caliza.

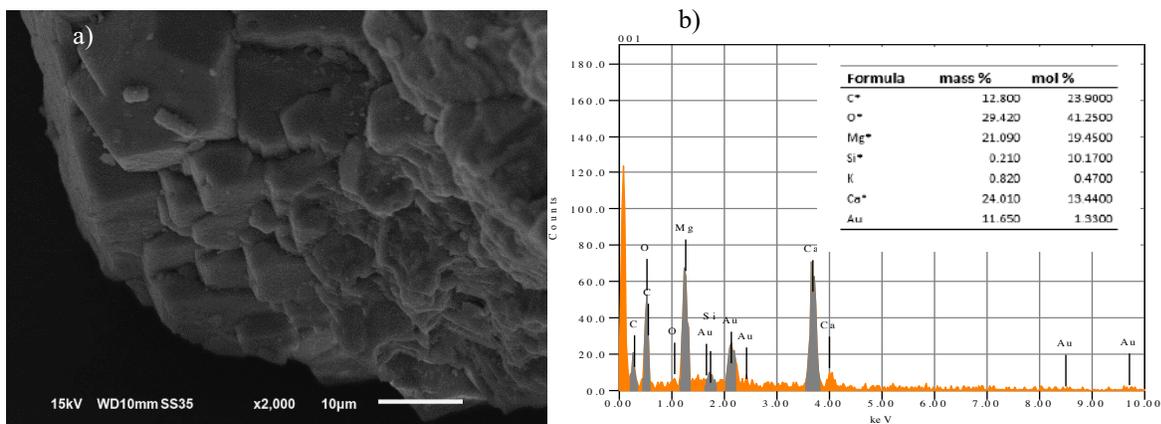


Figura 5. a) Micrografía obtenida por MEB de una muestra de arena de 2000X. b) Gráfica de EDS de la muestra de arena.

Discusión y contexto

Los resultados obtenidos corresponden al banco 1 denominado “el 21” de acuerdo al “Inventario de bancos de materiales de Quintana Roo”, localizado en el kilómetro 251+00, en las coordenadas 18°30'57.75"N, -88°29'04.79"O, que de acuerdo a la literatura contiene material calizo del tipo aluvión, sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio, el banco estudiado posee caliza del tipo caliza dolomítica el cual contiene más del 30% en contenido de magnesio (Mg), sugiriendo que además químicamente podría tener potencial reactivo. Las propiedades químicas de la roca serán evaluadas posteriormente por medio del método del cilindro de roca en función de la norma ASTM C-586.

El agregado posee un clivaje natural con formas geométricas definidas y de textura rugosa el cual de acuerdo a la literatura estas características incrementan la fuerza de adherencia entre los agregados y la pasta cementante. El agregado fino calizo cumple con la granulometría especificada y posee un módulo de finura de 3.04 lo cual indica que el agregado posee mayoritariamente partículas más gruesas que finas con respecto a los tamaños de malla que se manejan, esto es debido al alto módulo de finura que se obtuvo.

En cuanto a los agregados gruesos del banco 001, se sugiere que su tamaño máximo y su granulometría cumplen con lo establecido por la norma, dentro del rango de tamaño de 3/4 a 3/8 in, sin embargo el tamaño máximo del agregado puede variar en función de la condiciones de explotación y trituración.

Una de las ventajas del uso de agregados calizos con estas características morfológicas y superficiales que se han determinado, es que existe una mayor adherencia en la zona de transición interfacial debido a la interacción química de la pasta cementante con este tipo de roca caracterizada por su relativa porosidad, algunos autores han mencionado que incluso la falla se puede generar al interior de los agregados y no en esa fase considerada como la más propensa al inicio de falla.

Conclusiones

El estudio del banco “El 21” determinó que se obtuvo el 21.09% de magnesio por lo que se denomina caliza del tipo dolomítica.

Se determinó que la granulometría del agregado cumple con lo estipulado en la norma ASTM C33.

La morfología que posee el agregado del banco en estudio es irregular, con superficies expuestas compuesta por diversos poliedros, en su mayoría cuadriláteros con superficies angulosas y rugosas lo que sugiere es benéfico para su uso en concretos mejorando la adherencia entre la pasta cementante y la superficie de las partículas de agregado.

El porcentaje de absorción del agregado fino del banco en estudio fue del 4.9%; las calizas de la región se distinguen por poseer una absorción que va más del 1% clasificándose como agregados de alto absorción, por lo que se debe tener en cuenta que el concreto que se elabore con materiales del banco “El 21” requerirán de un mayor porcentaje de agua en su mezcla.

Bibliografía

- Castro, G. G. (2010). Geología, biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán, 4-6.
- Cerón M., D. F. (1996). Propiedades físicas de los agregados pétreos de la ciudad de Mérida. “Boletín académico FIUADY,” (México), (31), 27.
- Chan, J. L. (2003). Influencia de los agregados pétreos en la características del concreto. Ingeniería 7-2, 39-46.
- Córdova, J. L. (1991). Regionalización geomorfológica de la República Mexicana. Instituto de geografía, universidad nacional autónoma de México, 25-63.
- Hernández, D. C. (2013). Caracterización de la roca caliza, producto de la explotación en los bancos de material pétreo en el municipio de Othón p. blanco. Chetumal. Quintana Roo.
- hubp, j. l. (1990). El relieve de la república mexicana. Univ. Nacional autónoma de México instituto de geología revista vol. 9, 82-111.
- informativa, i. n. (1987). Carta fisiográfica 1:1.000,000 Mérida. San Antonio abad 124 México 8, D.F.: dirección general de geografía del territorio nacional.

- Ing. Javier Zarate López, I. F. (2005). cartografía y edición por el servicio geológico mexicano "Carta Geológico-Minera Quintana roo y Campeche". col. venta prieta C.P. 42080 Pachuca hidalgo: servicio geológico mexicano.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. (enero 2010). NMX C-030-ONNCCE 2004. El concreto en la obra, problemas, causas y soluciones, 68-71.
- INTERNACIONAL, A. (1999). Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Carbonate Rocks as Concrete Aggregates (Rock-Cylinder Method) C 586. ASTM INTERNACIONAL Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., 1-5.
- INTERNATIONAL, A. (1994). Standar Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate. ASTM INTERNATIONAL, 1-3.
- INTERNATIONAL, A. (1996). Standard Test Method for Sieve Analysis of fine and coarse Aggregates C-136. ASTM INTERNATIONAL, 1-5.
- INTERNATIONAL, A. (1999). Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate C 88. Annual Book of ATSM Standards, Vol 04.03. Vol 14.02. y 14.03, 1-5.
- INTERNATIONAL, A. (2000). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils D 4318. ASTM INTERNATIONAL, 1-14.
- INTERNATIONAL, A. (2001). Standard Test Method for Density, Relative Density, and Absorption of fine aggregate C128. ASTM INTERNATIONAL, 1-6.
- INTERNATIONAL, A. (2001). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine C 131. ASTM INTERNATIONAL , 1-4.
- INTERNATIONAL, A. (2017). Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials ASTM E 384-17. ASTM INTERNATIONAL Book of Standards Volume: 03.01, -.
- Iriondo, M. H. (1985). Introducción a la Geología 3° edición. Paraná, Argentina: Brujas.
- José Lugo-Hup, J. F.-Q.-P. (1992). Rasgos Geomorfológicos Mayores de la Península de Yucatán . Universidad Autonoma de México, Instituto de geología volumen 10 numero 2, 143-150.
- José Luis Chan Yam, R. S. (2003). Influencia de los agregados pétreos en la características del concreto. Ingeniería 7-2, 39-46.
- Ke-Ru Wu*, B. C. (2001). Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of high-performance concrete. Cement and Concrete Research, 1421-1425.
- M.I. Sánchez de Rojas, N. G. (1999). Influencia del Medio Ambiente en el Deterioro de Materiales Calizos: estudios mediante Porosimetria de Mercurio. Materiales de Construcción vol. 49 n° 254, 31-41.
- minerio, D. g. (2014). perfil de mercado de la caliza. México.
- Mishari Al- Awadi, e. a. (2009). La dolomía: Aspectos de un mineral desconcertante. Oilfield Review VOLUMEN 21 N°3, 32-47.
- Monteiro, k. e. (1998). Concreto, estructura, propiedades y materiales. berkeley, universidad de california: Imcyc.
- R, U. (1991). El control de calidad en los agregados para concreto 3 parte. Construcción y tecnología," (México), p. 34.
- Salomón, J. P. (2003). Caracterización del material calizo de la formación carrillo puerto en Yucatán. ingeniería 7-1, 7-19.
- Secretaria de comunicaciones y subsecretaria de infraestructura, C. S. (2018). GOB.MX. Obtenido de <http://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/banco-de-materiales/>
- Trejo, A. D. (2018). Influence of ZrO₂ Nanoparticles on the Microstructural Development of Cement Mortars with limestone Aggregates. Applied sciences.
- Çeçen, T. Ö. (1997). Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of concretes with different strengths. Cement and Concrete Research, 165-170.

MIEMBROS DEL CONSEJO DE POSGRADO DE LA MAESTRÍA EN CONSTRUCCIÓN

José Antonio Domínguez Lepe, nació en Chetumal, Quintana Roo, México el 09 de marzo de 1966. Obtiene el título de Ingeniero civil en el Instituto Tecnológico de Chetumal en 1989. Es Maestro en Ingeniería-Construcción por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, México desde 1993. Es Doctor en ciencias técnicas por el Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” de La Habana, Cuba desde el 2006. Es Profesor del Instituto Tecnológico de Chetumal desde 1993. Responsable técnico y colaborador de diversos proyectos de investigación financiados. Es autor y coautor de múltiples artículos de Investigación a nivel nacional e internacional en revistas arbitradas. Ponente y conferencista en congresos Internacionales. Desarrolla investigación entorno al desarrollo sustentable de la construcción y administración de la construcción desde hace 23 años. Sus principales temáticas están relacionadas con los residuos de construcción y demolición y con el Análisis del Ciclo de Vida de procesos y materiales para la Construcción.

Luis Felipe Jiménez Torrez, Maestro y Doctor en Ingeniería por la Universidad Autónoma de Yucatán, profesor fundador de la Maestría en Construcción en el Instituto Tecnológico de Chetumal. Autor del libro Concreto con agregados reciclados Una opción durable y sustentable. Cuenta con diversas publicaciones en revistas especializadas y congresos relacionados con la Durabilidad del Concreto. Ha sido reconocido como perfil deseable del PRODEP desde 2010. Es miembro de organismos internacionales como el ACI y el RILEM dedicados al estudio de la tecnología del concreto. Se ha desempeñado exitosamente como consultor en Ingeniería Civil desde 1996 en México.

Alberto Yeladaqui Tello nació en Quintana Roo, México. Recibió el título de Ingeniero Civil del Instituto Tecnológico de Chetumal, México, en 1991 y el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería de la Construcción del Instituto Tecnológico de Durango en 1997. Actualmente, es profesor investigador en el Instituto Tecnológico de Chetumal. Autor y coautor de artículos. Responsable técnico y colaborador de proyectos de investigación. Sus líneas de investigación son: tecnologías del concreto y materiales alternativos para la construcción

Ricardo Enrique Vega Azamar nació en Veracruz, México. Recibió el título de Ingeniero Civil de la Universidad Autónoma de Yucatán, México, en 1997 y los grados de Maestro en Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México en 2001 y de Doctor en Ingeniería de la Escuela de Tecnología Superior de la Universidad de Quebec, Montreal, Canadá, en 2013. Actualmente, es profesor investigador en el Instituto Tecnológico de Chetumal y miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel I) del CONACYT. Autor y coautor de artículos científicos y revisor de artículos para revistas internacionales arbitradas. Responsable técnico y colaborador de proyectos de investigación. Sus líneas de investigación son: análisis de ciclo de vida energético, huella de carbono y evaluación de sostenibilidad en entornos construidos; ecología y metabolismo urbanos; dinámica de ecosistemas modificados por el ser humano.

Maritza Chan Juárez, nació en Chetumal Quintana Roo, México. Recibió el título de Ingeniería Civil y Maestra en Construcción en el Instituto Tecnológico de Chetumal en 2007 y 2009 respectivamente. Actualmente es profesora de la Licenciatura en Arquitectura y de la Maestría en Construcción. Sus áreas de interés son: Análisis del Ciclo de Vida, Huella de Carbono y Construcción Sustentable

Danna Lizeth Trejo Arroyo nació en Michoacán, México. Recibió el título de Ingeniera en Materiales del Instituto Tecnológico de Morelia, México, en 2006, y los grados de Maestra en Metalurgia y Ciencias de los Materiales en 2008 y de Doctora en Ciencias en Materiales y Ciencias en Metalurgia y Ciencias de los Materiales, por el Instituto de Investigaciones en Metalurgia y Materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2015. Actualmente, es Cátedra CONACYT adscrita al TecNM/Instituto Tecnológico de Chetumal y miembro del Sistema Nacional de Investigadores (candidato). Autor y coautor de artículos científicos y revisor de artículos para revistas internacionales arbitradas. Responsable y colaborador de proyectos de investigación. Sus líneas de investigación son: síntesis y caracterización de micro nanomateriales, materiales alternativos para la construcción sustentable.

Zakaryaa Zarhri nació en Marruecos. Recibió el título de Licenciatura en ciencias de la materia física de la Universidad Mohamed V de Rabat, Marruecos en 2010, y los grados de Maestro en Física Informática en 2012 y de Doctor en Física computacional aplicada a la ciencia de los materiales en la misma dicha Universidad en 2016. Actualmente, es profesor investigador Cátedra CONACYT en el Instituto Tecnológico de Chetumal y miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel I). Autor y coautor de más de 20 artículos científicos internacionales indexados JCR y revisor de artículos para varias revistas internacionales arbitradas. Colaborador de proyectos de investigación. Sus líneas de investigación son: Ciencia de los materiales, Física computacional y estudios Ab-initio, Energías limpias, Tecnología de la construcción, Estudios teóricos de las propiedades físico-químicas de los materiales y teoría de la densidad funcional DFT.