

51

# ANÁLISIS DE DUREZA SUPERFICIAL DE LOS MAMPUESTOS QUE CONFORMAN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LA ESTRUCTURA CA-6 DEL SITIO ARQUEOLÓGICO OXKINTOK, YUCATÁN

VÍCTOR J. LEY PAREDES, LUIS R. PANTOJA DÍAZ  
Y CARLOS VINAJERA REYNA

**34** SIMPOSIO DE INVESTIGACIONES  
ARQUEOLÓGICAS EN GUATEMALA  
2021

**Museo Nacional de Arqueología y Etnología**  
26 al 30 de julio de 2021

## Editores

Bárbara Arroyo  
Luis Méndez Salinas  
Gloria Ajú Álvarez

## Referencia

Ley Paredes, Víctor J.; Luis R. Pantoja Díaz y Carlos Vinajera Reyna  
2022 Análisis de dureza superficial de los mampuestos que conforman los  
elementos estructurales de la Estructura CA-6 del sitio arqueológico Oxkintok,  
Yucatán. En *34 Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2021*  
(editado por B. Arroyo, L. Méndez Salinas y G. Ajú Álvarez), pp. 647-657.  
Asociación Tikal, Guatemala.



# ANÁLISIS DE DUREZA SUPERFICIAL DE LOS MAMPUESTOS QUE CONFORMAN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LA ESTRUCTURA CA-6 DEL SITIO ARQUEOLÓGICO OXKINTOK, YUCATÁN

VÍCTOR J. LEY PAREDES  
LUIS R. PANTOJA DÍAZ  
CARLOS VINAJERA REYNA

## PALABRAS CLAVE

Arquitectura Maya, Oxkintok, Sistema Estructural, Esclerómetro, Resistencia Mecánica.

## ABSTRACT

*The studies carried out on Maya buildings have focused on the architectural aesthetic-spatial aspect, and scarcely on structural issues; specifically on the resistance of materials. In recent years, multidisciplinary research has brought us closer to this topic through characterization techniques, mechanical and physicochemical studies that help to discuss and understand the behavior of the archaeological materials used. There have been few or almost no works that focus on determining the surface hardness of the rocks in archaeological monuments and specifically to the structural system. Which is why the present work focuses on studying such masonry, using a non-destructive technique, known as the method of surface hardness and corroborate that the Mayan builders had technical knowledge acquired over time on the characteristics of the rock and for each constituent part of the structural system, in particular Oxkintok.*

## INTRODUCCIÓN

Los trabajos de investigación en arquitectura maya han abarcado aspectos formales, estéticos, espaciales, entre otros; sin embargo, pocos han sido los estudios referentes al sistema estructural, lo que da cabida a la investigación en materia arquitectónica-ingenieril que permita desentrañar aspectos del conocimiento empírico aplicado por los constructores precolombinos y su desarrollo tecnológico en las obras arquitectónicas que hasta hoy conocemos.

Dichos estudios de manera incipiente, han permitido entender las características constructivas de la

llamada arquitectura menor (basamentos y cimientos), como se demostró con los resultados obtenidos del estudio realizado en algunos sitios de la Región de Mérida como: *Xamán-Susulá, Oxmuul y Dzunum* pertenecientes a la región de Ichcansihó (Ley *et al.* 2019), esto nos indica el grado de conocimiento que desarrollaron y emplearon para la construcción de ese tipo de construcciones, por lo cual, nos vemos implicados en realizar estudios similares en arquitectura monumental, lo que abre un abanico de oportunidades en el conocimiento sobre el dominio de la construcción prehispánica.

La aplicación de técnicas destructivas (Ensayos a compresión de rocas) y no destructivas (Emisión acús-

tica) (Ley *et al.* 2014) y Esclerómetro (Ley *et al.* 2019) permiten correlacionar y predecir aspectos de resistencia mecánica de los mampuestos utilizados en las construcciones mayas, lo que deriva en conocer si dichas vertientes son lineales en los modelos constructivos, tanto en arquitectura menor como en la monumental, de ser así, entender cómo trabajan los diferentes elementos del sistema estructural y someterlos a través de métodos no destructivos a pruebas, como es el caso del esclerómetro para determinar la resistencia mecánica y la dureza superficial.

En el panorama histórico de la arquitectura se cuenta con materiales sustentables, la piedra es uno de ellos y se ha usado a través de la historia de la arquitectura con éxito. Su uso como elemento de diseño y de construcción en muchas de las culturas de la humanidad denota cualidades de belleza y durabilidad, características que la hacen única en su área de obra edificada (Mendiola *et al.* 2014:155).

La piedra caliza, como principal elemento de fábrica de la obra arquitectónica prehispánica, ha jugado un papel preponderante para la interpretación de los elementos estructurales, además que ha sido utilizado para determinar periodos cronológicos (aspectos formales-regionales) con respecto al sistema constructivo que emplearon los constructores mayas prehispánicos, por tal motivo, el presente trabajo se enfocó al estudio de los mampuestos utilizados para la edificación y construcción de los recintos mayas prehispánicos de la ciudad de Oxkintok, Yucatán, México.

## GENERALIDADES

La ciudad de prehispánica se encuentra ubicada en la serranía conocida como “*Puuc*”, y registrado en el Atlas Arqueológico de Yucatán, con la clave 16Qd(7):7 (Garza y Kurjack 1980), siendo categorizada como Rango I (Velázquez 1988:71), y fue considerada durante varias décadas como la capital de la región serrana antes de la hegemonía de Uxmal y presenta un área de mayor concentración de estructuras monumentales o abovedadas que ocupa aproximadamente 1,5 km<sup>2</sup> de una suave depresión o valle que discurre paralelamente al sur de la cordillera Puuc (Pantoja *et al.* 2020:759) (Figura 1).

Una de las principales características de Oxkintok, son los conjuntos arquitectónicos *Ah May*, *Dzib* y *Ah*

*Canul*, que conforman la parte nuclear, con grandes plataformas basales que albergan edificios de diversas tipologías, donde se observa la evolución constructiva del llamado estilo Puuc (Pollock 1980, Andrews 1986), y abarca prácticamente todo el desarrollo de la arquitectura en la región Puuc, desde el Clásico Temprano hasta el Terminal, existiendo incluso elementos del Postclásico (Muñoz y Vidal 1994:558).

Sin embargo, en el área Puuc, las manifestaciones arquitectónicas más antiguas cuentan con escasos ejemplos documentados, de ahí la importancia de Oxkintok donde, la secuencia ocupacional presenta edificios pertenecientes al Clásico Temprano y Terminal.

El presente estudio se aplicó en la estructura CA-6, que forma parte del conjunto *Ah Canul* y es conocida como “Palacio de la serie inicial” por los dos dinteles con jeroglíficos y su “estilo” arquitectónico que pertenece al Proto *Puuc* (500-600 DC) (Pollock 1980:301); sin embargo, con base a los jeroglifos está fechado para el 487 DC que se enmarca para la fase Oxkintok temprano (300-500 DC) (Andrews 1986:6). Trabajos recientes en la estructura CA-6 la ubican para el Clásico Temprano (500/550-600/630 DC) con presencia de Posclásico (1200-1400 DC) (Pantoja *et al.* 2018). Arquitectónicamente, esta construcción tiene ocho cuartos, con dos secciones de su cubierta en saledizo en pie, con orientación este-oeste y su fachada con dirección al norte. En conjunto con la estructura CA-5 dan cierre a la plaza de la serie inicial en su costado sur (Figura 2).

## METODOLOGÍA

El estudio de resistencia de materiales, en particular de la roca caliza, ha sido motivo de análisis en la ingeniería durante varios años (Alonso y Espinosa 2003, Alonso *et al.* 2009, Estrada-Medina *et al.* 2019, Gómez 2014, Ley *et al.* 2014, 2019), como una manera de determinar su mejor uso posible y para predecir las causas que provocan las fallas, si bien, estos estudios y análisis han logrado caracterizar de buena manera, cada material bajo distintos esfuerzos y condiciones climáticas, en la actualidad el fenómeno de fatiga es una de las principales causantes de falla en materiales (Gómez 2014:9).

Los materiales pétreos presentan una elevada resistencia a la compresión y en menor medida a la flexión y la tensión, lo que los convierte en materiales muy apro-

piados para ser utilizados en obras donde predominan este tipo de esfuerzos, como muros, pavimentos, o en elementos constructivos como dinteles, columnas, revestimientos, etc. (ibíd.).

La selección de la estructura CA-6, estuvo basada principalmente en que el monumento arqueológico presentara todos los elementos del sistema estructural para poder aplicar el método del esclerómetro y obtener información tanto, cualitativa como cuantitativa, y determinar las variables de dureza y resistencias mecánicas de los elementos constructivos que la componen.

Basado en las labores de investigación en materia de conservación del sitio arqueológico de Oxkintok, dicha estructura fue elegida por su sobresaliente grado de conservación, con su arquitectura en pie y que cuenta con los elementos que constituye al sistema estructural (cimentación, apoyos, cerramientos, cubiertas y circulaciones) (Ley 2011).

Estudio de resistencia por ensayo esclerométrico ideado en un principio para estimar la resistencia a compresión del concreto, el martillo de Schmidt, se ha modificado convenientemente dando lugar a varios modelos, alguno de los cuales resultan apropiados para estimar la resistencia a compresión de las rocas.

Su uso es muy frecuente dada la facilidad de practicidad del aparato, consiguiendo aplicarse sobre la roca matriz o sobre sus discontinuidades, lo que se conoce como “resistencia de los labios”.

El ensayo consiste en medir la resistencia al rebote de la superficie de la roca. La medida del rebote se correlaciona con la resistencia a compresión simple mediante un gráfico creado por Miller (1965) que contempla la densidad de la roca y la orientación del martillo respecto del plano ensayado.

Mediante este ensayo, se puede, por tanto, estimar la resistencia a compresión simple de la roca a partir de la resistencia al rebote de la superficie limpia de roca ensayada (Gómez 2014:28).

Parte del proceso de investigación contempló el estudio comparativo entre elementos y el registro que incluyó un levantamiento gráfico y fotográfico, además de un levantamiento mediante una cédula donde se evidencie sus características físicas y detalles métricos del elemento en cuestión.

El muestreo consideró cada parte del elemento estructural realizando 111 lecturas de los mampuestos,

así como lecturas de la roca madre dentro del sitio y fuera de éste a 1.8 km aproximadamente.

## MUESTREO

El estudio se enfocó en las piedras (mampuesto) como elemento principal, con base al sistema estructural y de acabados; se realizaron muestreos en los diversos componentes constructivos como son los apoyos corridos (muros), los cerramientos (jambas y dinteles) y cubiertas (techos) para entender el mecanismo de selección de los mampuestos en función de su sistema (Figura 3).

El patrimonio arqueológico como evidencia cultural, es invaluable, por tal motivo para este trabajo se utilizó un método no destructivo, a través de punteo mediante el martillo de rebote (esclerómetro) marca Brickell, para medir la dureza superficial de los mampuestos, el Esclerómetro o Martillo de rebote hecho de acero con un resorte interno precargado que cuando es liberado, éste impacta un embolo de acero que toca la superficie del material a muestrear (Figura 4).

Este método determina la dureza superficial de acuerdo con una escala propia del esclerómetro (entre 10 y 100) y en base a esto, se estima la resistencia a la compresión simple de la roca con una curva del propio equipo, no sustituye a las pruebas de compresión simple con muestras de roca, pero su uso se sugiere debido a que pertenece a la familia de pruebas no destructivas que se puede llevar a cabo “*in situ*” y no compromete al sistema estructural.

El proceso consistió en trazar métricamente una retícula sobre cada elemento a intervenir (sin dañar el elemento pétreo) y ésta, estuvo en función de las dimensiones del elemento en cuestión, ya sea sillarejo, jamba o dintel (Figura 5).

Los ensayos se basaron en la norma ASTM D5873, que recomienda realizar 10 lecturas, descartando aquellas que difieran en más de 7 golpes del promedio, para luego sacar el promedio de las restantes y así mismo, indica que no se puede realizar lecturas menores a 2,5 cm entre cada punto, y por lo mínimo deben realizarse nueve tomas de puntos del mallado para descartar valores mínimos y máximos del ensayo y obtener un índice esclerométrico óptimo. Asimismo, las dimensiones mínimas requeridas para dicha prueba son de 15 cm de diámetro por 10 cm de grosor (Brown 1981).

Por otra parte, el uso de este método nos proporcionó información con respecto a la uniformidad del pétreo, y a las áreas o zonas que son susceptibles por su calidad, es decir a posibles fracturas por los esfuerzos que la comprometen.

### ELECCIÓN Y PREPARACIÓN DE LOS MUESTREOS

La realización de los ensayos fue “*in situ*” y considero al mampuesto del área del sistema estructural que presentó mayor grado de trabajo estructural dentro del sistema; considerando también que la superficie no presentará desprendimiento y humedad, así como polvos. Por otra parte, se determinó la dirección de la toma de puntos y de la prueba, así como la temperatura del medio ambiente (entre 10 y 35°C).

Los elementos arquitectónicos que estuvieron a prueba tuvieron dimensiones que rebasan los límites mínimos de 100mm, es decir, los mampuestos (sillares) estuvieron en un intervalo de 0.25 a 0.30 m de largo por 0.20 a 0.25 m de ancho con una altura de 0.20 a 0.25 m, siendo éstos los materiales de muestreo más pequeños. Las jambas fluctuaron entre 0.35 a 0.40 m de largo por 0.25 a 0.30 m de ancho con un grosor de 0.25 a 0.30 m. Los dinteles oscilaron entre los 1.20 m de largo por 0.60 m de ancho con alto de 0.30 m.

El procedimiento de aplicación consistió en la obtención de los datos de dureza superficial mediante el método de rebote consiste básicamente en aplicar una fuerza externa al equipo en posición horizontal o vertical cuidando que este a 0° o 90° respectivamente, para obtener un resultado óptimo. Este método considera, la relación que existe entre el rebote del émbolo del equipo y la dureza superficial de la roca (Figura 5).

### RESULTADOS

Cada pétreo constituyente de un elemento del sistema estructural (vanos, apoyos, cubiertas) se pudo someter a prueba con el martillo de rebote, expresando por unidad sus valores mínimos y máximos extrapolados por línea de lectura (considerando su grado anisotrópico), lo que demostró las variables en su dureza superficial y, por ende, en su resistencia mecánica como se ejemplifica en las figuras 6 y 7.

Con base a los datos obtenidos de los 111 elementos muestreados en el edificio CA-6 de Oxkintok se pudo determinar las características y propiedades mecánicas de dichos elementos estructurales a partir del uso del martillo de rebote fijando los valores en la figura 6.

Para el caso de las diez jambas estudiadas, su valor de resistencia general de promedio mínimo está en 25.1 Mpa (250 kg/cm<sup>2</sup>) y su valor máximo en 56 Mpa (560 kg/cm<sup>2</sup>). En tanto, los seis dinteles oscilan entre los valores de resistencia mínima de 32 Mpa (320 kg/cm<sup>2</sup>) y valor máximo de 46 Mpa (460 kg/cm<sup>2</sup>).

Asimismo, los cuatro muros de carga y uno de cerámico oscilaron entre los valores mínimos de resistencia de 25 Mpa (250 kg/cm<sup>2</sup>) y valor máximo de 49 Mpa (490 kg/cm<sup>2</sup>). El intradós estudiado presentó valores de resistencia mínima de 22 Mpa (220 kg/cm<sup>2</sup>) y su valor máximo de 46 Mpa (460 kg/cm<sup>2</sup>).

Las tapas-losa de la cubierta tuvieron un valor mínimo de resistencia de 40 Mpa (400 Kg/cm<sup>2</sup>) y su valor máximo de 56 Mpa (560 kg/cm<sup>2</sup>). Los pétreos de la moldura media tienen una resistencia mínima de 34 Mpa (340 kg/cm<sup>2</sup>) y su valor máximo 46 MPa (460 kg/cm<sup>2</sup>) (Figuras 8, 9 y 10).

Finalmente, podemos decir que con base a los datos obtenidos ciertos elementos arquitectónicos del sistema estructural en la estructura CA-6, tienen valores por encima de los parámetros mínimos que otros elementos debido a que realizan mayores esfuerzos y por la sección en la que trabajan requieren esa capacidad; como es el caso de las jambas que son similares con los muros, las piedras de la moldura media que sobre ellas descansan y dan inicio al *intra* y *extradós*, dando soporte al elemento estructural de la cubierta y tienen similitud con los dinteles, en tanto, que las tapas-losa presentaron valores por encima de los dinteles. Cabe señalar, que estas resistencias están en función de sus características de conformación geológica (relación densidad-porosidad).

### CONCLUSIONES

El empleo de nuevos instrumentos y métodos de estudio sobre los componentes materiales de la arquitectura maya, en particular, la roca usada para los mampuestos, que forma parte de las construcciones mayas permitió evaluar y comprender parte de los procesos mecánicos

a los que están sometidos dichos elementos pétreos cuando realizan esfuerzos, considerando aspectos físico-químicos como residuos en las superficies, humedad, temperatura, soleamiento, entre otros.

La medición de la dureza superficial de los mampuestos a partir del esclerómetro permitió corroborar desde el aspecto ingenieril y arquitectónico que los constituyentes constructivos de la arquitectura maya, como ya hemos mencionado en otros trabajos, abordan estudios de carácter formal para la interpretación arqueológica que demuestren las características básicas de los elementos arquitectónicos.

La caracterización mecánica de los mampuestos indicó la resistencia mecánica de cada uno de los elementos, comparándolos para determinar la aplicación de cada mampuesto con respecto al sistema estructural y su relación con su esfuerzo.

Finalmente, las bondades de esta técnica y método, es que no ocasiona daños al elemento sometido a estudio y provee de información cualitativa y cuantitativa (tablas de esfuerzos mecánicos). Que permitirá, aportar información sobre las áreas de los materiales que son susceptibles a daños por esfuerzos mecánicos (a través de los valores recopilados) y evaluar la resistencia superficial proporcionando valores ( $N/mm^2$ ) que pueden ser cotejados con otros materiales extraídos de bancos de materiales u otras construcciones y ser corroborados a través de las fuentes.

Estos datos confirman una vez más que los constructores mayas tenían un claro conocimiento sobre las características físicas de los mampuestos usados para en los edificios y determinaron cuales funcionaban para cada parte del sistema estructural. Asimismo, la noción de los parámetros de dureza permitirá predecir a partir, de su resistencia mecánica superficial, los posibles fallos estructurales propios de las rocas en los edificios mayas durante la intervención y de igual manera comprender como es el proceso de deterioro en cada unidad arquitectónica estudiada del área maya.

## REFERENCIAS

- Alonzo Salomón, Lauro y Leopoldo Espinosa Graham  
2003 Estudio de las propiedades de la roca caliza de Yucatán. *Ingeniería* 7-1. P.p. 27-36 Mérida Yucatán.
- Alonzo, Lauro; L, Espinosa y C. Vinajera  
2009 Características de las rocas. En *Características geotécnicas de los suelos y rocas de los estados de Yucatán y Campeche* (editado por Lauro Alonzo). Universidad Autónoma de Yucatán (PRIORI-UADY), Mérida, Yucatán, P.p. 107-124.
- Andrews, G.F.  
1986 *Los estilos arquitectónicos del Puuc. Una nueva apreciación*. SEP-INAH, Serie Arqueología, México.
- Brown, E. T.,  
1981 *Suggested Methods: Rock Characterization, Testing, and Monitoring*. International Society of Rock Mechanics (ISRM): Pergamon Press, London, (ASTM D5873).
- Estrada-Medina H., S. Valdez, A. Zanatta A. y S. R. Casolco  
2008 Análisis de compresión en rocas calizas de Yucatán. En *Memorias del 14 Congreso Internacional Anual de la Somim. 17 al 19 de Septiembre, 2008 Puebla, México*, pp. 602-608.
- Estrada-Medina, H., J. J. Jiménez-Osornio, O. Álvarez-Rivera, y R.C. Barrientos-Medina  
2019 El karst de Yucatán: su origen, morfología y biología. *Acta Universitaria* 29. Pp. 1-18.  
e2292. doi. <http://doi.org/10.15174.au.2019.2292>
- Garza, Silvia y E. Kurjack  
1980 *Atlas Arqueológico del Estado de Yucatán*, tomo I, SEP-INAH, México.
- Gómez Alvial, Álvaro Sebastián  
2014 *Caracterización de rocas y análisis de su resistencia a fatiga por hendimiento*. Tesis. Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles. Valdivia, Chile.
- Ley Paredes, Víctor.  
2011 *La tecnología constructiva de la arquitectura maya del cono sur: Witzinah, Yucatán, un sitio prehispánico del periodo Clásico en las Tierras Bajas Mayas*. Tesis de maestría, Mérida, Yucatán, 201 páginas.

Ley Paredes, Víctor; C, Ríos y Carlos Vinajera R.

2014 *Evaluating Damage and Mechanical Behavior of Mayan Archaeological Stones by Using Acoustic Emission XVII*, Japanese society for NDI, (editado por Shio-tani *et al.*), Pp. 151-156. Japan,

Ley Paredes, Víctor; Luis Pantoja Díaz y Carlos Vinajera Reyna

2019 Estudio de la resistencia mecánica en pétreos arqueológicos de la región de Mérida. En *Actas del III Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la construcción* Tomo I, Pp. 537-543. México, D.F.

Mendiola Germán, Ignacio, Silverio Hernández Moreno, Alberto Clemente Vázquez

2014 La piedra: elemento histórico y de calidad estética para un diseño arquitectónico sustentable. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, núm. 15, enero-junio. Pp. 153-163. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México, México

Muñoz Cosme, Gaspar y Cristina Vidal Lorenzo

1994 Análisis de la evolución arquitectónica en Oxkintok, Yucatán. En *VII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 1993* (editado por J. P. Laporte y H. Escobedo), pp. 558-568. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.

Pantoja Díaz, Luis; Víctor Ley Paredes y Mario Zimmermann

2018 Conservación e Investigación en el grupo Ah Canul de Oxkintok, Yucatán. En *Memorias del Cuarto simposio de cultura maya Ichkaantijoo*. Ed. Maldonado Editores del Mayab. Pp.64-78. Mérida, Yucatán,

Pantoja Díaz, Luis; Luis J. Venegas de la Torre y Víctor J. Ley Paredes

2020 Propuesta metodológica para el estudio, diagnóstico y conservación de la arquitectura prehispánica en Oxkintok, Yucatán. En *XXXIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2019* (B. Arroyo, L. Méndez y G. Ajú) Pp. 757- 769. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.

Pollock, H, E, D.

1980 *The Puuc. An Architectural survey of the hill country of Yucatan and Northern Campeche, Mexico*. Memoirs of the Peabody Museum of archaeology and Ethnology, Vol.19, Harvard University, Cambridge. Massachusetts.

Velázquez V. Adriana, Edmundo López de Rosa y Margarita Gaxiola

1988 *Zonas arqueológicas de Yucatán*. INAH SEP, México.

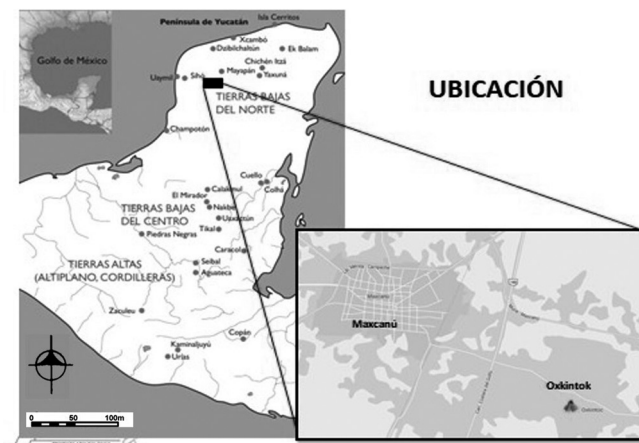


Figura 1. Ubicación del sitio arqueológico Oxkintok, Yucatán, México.

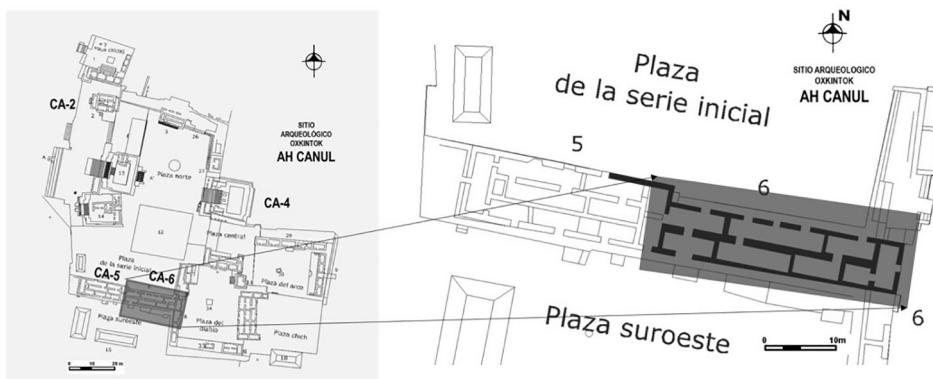


Figura 2. Izquierda) Grupo Ah Canul del sitio arqueológico Oxkintok, donde se indica la estructura CA-6; Derecha) Detalle de la planta arquitectónica.

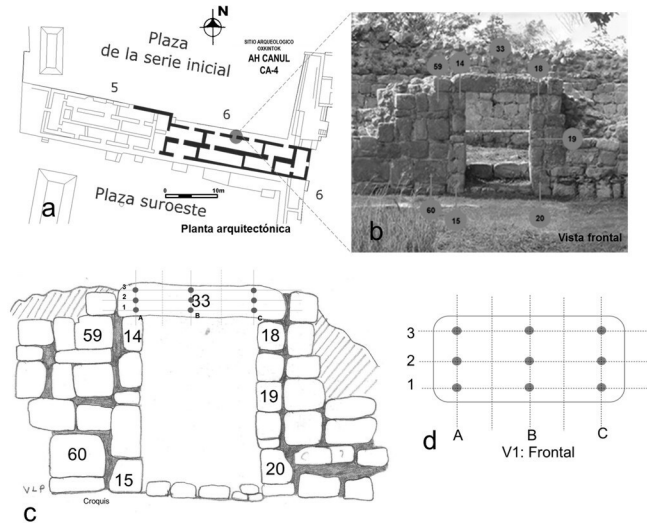


Figura 3. a) Ubicación, b) vista frontal, c y d) ejemplificación del proceso de lectura de los puntos de control para la determinación de la resistencia superficial en el dintel 2 de la CA-6, Oxkintok, Yucatán.

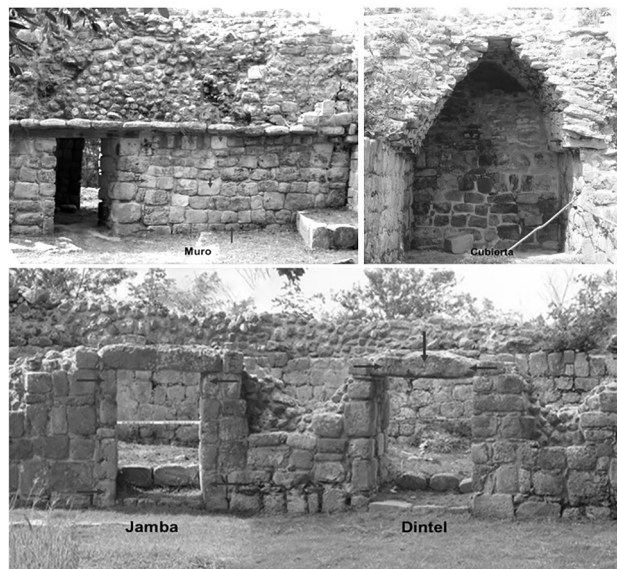


Figura 4. Estructura CA-6, parte del sistema estructural (muro, cubierta, jamba y dintel) donde se realizaron la toma de lecturas para el análisis de dureza superficial.

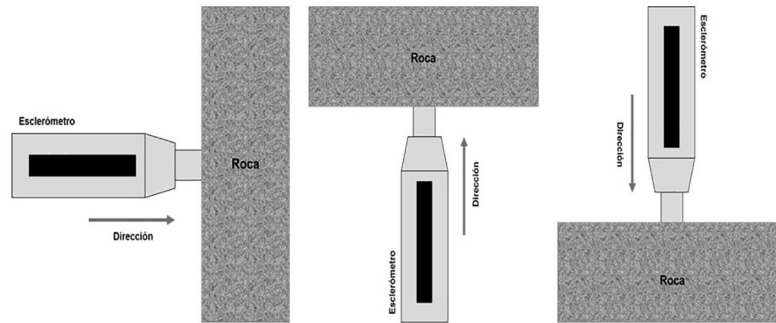


Figura 5. Ejemplificación de la técnica de uso del martillo de rebote para la obtención de la dureza superficial.

LEVANTAMIENTO FISICO									
PIEDRA NÚMERO: 1									
Puntos	A	B	C	TOTAL	Promedio	Dureza .(R)	Resistencia	% error	Angulo
1	23	22	18	63	21	21	(MPa)		0
2	24	20	17	61	20.3333333		20	6	0
3	23	20	22	65	21.6666667		200 kg/cm2		0

Victor Ley P

Figura 6. Ejemplificación de los parámetros físicos obtenidos con las lecturas del esclerómetro y su media de dureza superficial de cada uno de los mampuestos estudiados.

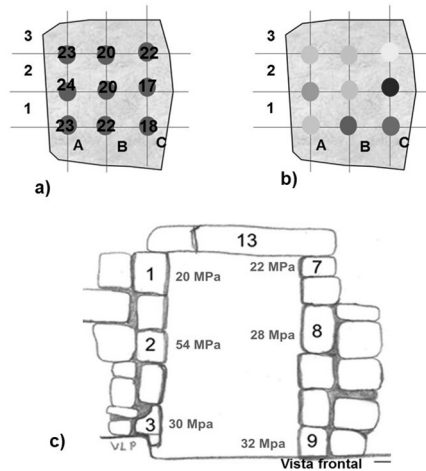


Figura 7. a) Parámetros físicos indicados por unidad de lectura en el mampuesto con sus valores de dureza superficial; b) Aplicación del método colorimétrico para ejemplificar los valores de mayor y menor dureza obtenidos en las lecturas con el esclerómetro; y c) Ejemplificación de los valores promedios de la resistencia en MPa de cada mampuesto dentro del sistema estructural (Jambas 1 y 2).

PARAMETROS FISICOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DEL ESCLEROMETRO SITIO ARQUEOLOGICO OXINTOK, ESTRUCTURA 6, PLAZA DEL DIABLO						PARAMETROS FISICOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DEL ESCLEROMETRO SITIO ARQUEOLOGICO OXINTOK, ESTRUCTURA 6, PLAZA DEL DIABLO							
ELEMENTO	PETREO	X	RESISTENCIA MPa	RESISTENCIA Kg/cm2	% ERROR	ANGULO	ELEMENTO	PETREO	DUREZA (N)	RESISTENCIA MPa	RESISTENCIA Kg/cm2	% ERROR	ANGULO
Jamba 1	1	21	20	200 Kg/cm2	0	0	Muro 1	01	34.88	42	420 Kg/cm2	7.1	0
Jamba 1	2	42	34	340 Kg/cm2	7.7	0	Muro 1	02	29.88	29	290 Kg/cm2	6	0
Jamba 1	3	27.44	30	300 Kg/cm2	6.6	0	Muro 1	03	27.77	32	320 Kg/cm2	6.6	0
Jamba 1	4	31.33	30	300 Kg/cm2	6.6	0	Muro 1	04	33.33	40	400 Kg/cm2	7	0
Jamba 1	5	20.88	30	300 Kg/cm2	6.5	0	Muro 2	05	36.88	46	460 Kg/cm2	7.3	0
Jamba 1	6	26.11	26	260 Kg/cm2	6.3	0	Muro 2	06	33.77	41	410 Kg/cm2	7	0
Jamba 2	7	21.77	22	220 Kg/cm2	6.1	0	Muro 2	07	37.55	46	460 Kg/cm2	7.3	0
Jamba 2	8	26.77	28	280 Kg/cm2	6.4	0	Muro 2	08	29.33	33	330 Kg/cm2	6.6	0
Jamba 2	9	28.44	32	320 Kg/cm2	6.6	0	Muro 2	09	39.55	50	500 Kg/cm2	7.6	0
Jamba 2	10	28.66	32	320 Kg/cm2	6.6	0	Muro 3	11	32.66	38	380 Kg/cm2	6.9	0
Jamba 2	11	36.55	42	420 Kg/cm2	7.1	0	Muro 3	12	32	38	380 Kg/cm2	6.9	0
Jamba 2	12	30	33	330 Kg/cm2	6.9	0	Muro 3	13	30.44	34	340 Kg/cm2	6.7	0
Jamba 3	14	36.22	44	440 Kg/cm2	7.2	0	Muro 3	14	33.11	39	390 Kg/cm2	6.9	0
Jamba 3	15	32.88	40	400 Kg/cm2	7	0	Muro 3	15	30.44	34	340 Kg/cm2	6.7	0
Jamba 3	16	36.88	40	400 Kg/cm2	7	0	Muro 3	16	33.11	39	390 Kg/cm2	6.9	0
Jamba 3	17	24.66	26	260 Kg/cm2	6.3	0	Muro 3	17	30.44	34	340 Kg/cm2	6.7	0
Jamba 4	18	20.88	20	200 Kg/cm2	6	0	Muro 3	18	30.22	34	340 Kg/cm2	6.7	0
Jamba 4	19	23	24	240 Kg/cm2	6.2	0	Muro 3	19	26.44	19	190 Kg/cm2	6.9	0
Jamba 4	20	32.88	40	400 Kg/cm2	7	0	Muro 3	20	35.33	42	420 Kg/cm2	7.1	0
Jamba 4	21	32	30	300 Kg/cm2	6.1	0	Muro 4	01	36	44	440 Kg/cm2	7.2	0
Jamba 4	22	31.33	30	300 Kg/cm2	6.6	0	Muro 4	02	33.77	40	400 Kg/cm2	7	0
Jamba 5	23	46	28	280 Kg/cm2	6.4	0	Muro 4	03	35.33	42	420 Kg/cm2	7.1	0
Jamba 5	24	37.33	40	400 Kg/cm2	7.3	0	Muro 4	04	38.88	46	460 Kg/cm2	7.4	0
Jamba 5	25	30	34	340 Kg/cm2	6.7	0	Muro 4	05	46.02	60	600 Kg/cm2	8	0
Jamba 5	26	36	44	440 Kg/cm2	7.2	0	Muro 4	06	34.88	42	420 Kg/cm2	7.1	0
Jamba 5	27	36.44	44	440 Kg/cm2	7.2	0	Muro 4	07	28.22	32	320 Kg/cm2	6.6	0
Jamba 5	28	32.88	40	400 Kg/cm2	7	0	Muro 4	08	28.22	32	320 Kg/cm2	6.6	0
Jamba 5	29	36.44	44	440 Kg/cm2	7.2	0	Muro 3 Int	71	35.55	42	420 Kg/cm2	7.1	0
Jamba 6	30	24.66	26	260 Kg/cm2	6.3	0	Muro 3 Int	72	21.66	20	200 Kg/cm2	6.0	0
Jamba 6	31	24.44	25	250 Kg/cm2	6.2	0	Muro 3 Int	80	25	26	260 Kg/cm2	6.3	0
Jamba 6	32	32.22	38	380 Kg/cm2	6.6	0	Muro 3 Int	81	33.77	40	400 Kg/cm2	7	0
Jamba 7	35	36.77	44	440 Kg/cm2	7.2	0	Muro 3 Int	82	26.22	26	260 Kg/cm2	6.4	0
Jamba 7	36	28.66	30	300 Kg/cm2	6.6	0	Muro 5	01	29.55	34	340 Kg/cm2	6.7	0
Jamba 8	37	33.77	40	400 Kg/cm2	7	0	Muro 5	02	24.22	24	240 Kg/cm2	6.2	0
Jamba 8	38	27.33	30	300 Kg/cm2	6.3	0	Muro 5	03	23.33	24	240 Kg/cm2	6.2	0
Jamba 9	40	20.33	20	200 Kg/cm2	6.4	0	Muro 5	04	23.33	24	240 Kg/cm2	6.2	0
Jamba 9	41	28	32	320 Kg/cm2	6.6	0	Muro 5	05	23.33	24	240 Kg/cm2	6.2	0
Jamba 9	42	32.88	40	400 Kg/cm2	7	0	Muro 5	06	44.66	56	560 Kg/cm2	7.9	0
Jamba 9	43	31.5	30	300 Kg/cm2	6.1	0	Muro 5	07	41.55	52	520 Kg/cm2	7.6	0
Jamba 9	44	36.55	44	440 Kg/cm2	7	0	Muro 5	08	24.88	26	260 Kg/cm2	6.3	0
Jamba 10	45	32	33	330 Kg/cm2	6.6	0	Muro 5	09	39.33	46	460 Kg/cm2	7.4	0
Jamba 10	46	32	33	330 Kg/cm2	6.6	0	Muro 5	10	37.66	46	460 Kg/cm2	7.3	0
Jamba 10	47	23.33	24	240 Kg/cm2	6.2	0	Muro 5	11	40.44	50	500 Kg/cm2	7.6	0

Figura 8. Parámetros físicos obtenidos de las jambas y muros del sistema estructural.

PARAMETROS FISICOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DEL ESCLEROMETRO					
SITIO ARQUEOLOGICO OXKINTOK, ESTRUCTURA 6, PLAZA DEL DIABLO					
ELEMENTO	PETREO	DUREZA (R)	RESISTENCIA	% ERROR	ANGULO
		X	MPa		
Dintel 1	13	36.44	44	440 kg/cm <sup>2</sup>	7.2 0
Dintel 2	20	34.89	42	420 kg/cm <sup>2</sup>	7.1 0
Dintel 3	34	29.33	32	320 kg/cm <sup>2</sup>	6.6 0
Dintel 4	39	36	44	440 kg/cm <sup>2</sup>	7.2 0
Dintel 5	45	37	46	460 kg/cm <sup>2</sup>	7.3 0
Dintel 6	50	34.44	40	400 kg/cm <sup>2</sup>	7 0

PARAMETROS FISICOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DEL ESCLEROMETRO					
SITIO ARQUEOLOGICO OXKINTOK, ESTRUCTURA 6, PLAZA DEL DIABLO					
ELEMENTO	PETREO	DUREZA (R)	RESISTENCIA	% ERROR	ANGULO
		X	MPa		
Tapa-losa	100	34.22	40	400 kg/cm <sup>2</sup>	7 0
Tapa-losa	101	42	54	540 kg/cm <sup>2</sup>	7.7 0
Tapa-losa	102	39.77	50	500 kg/cm <sup>2</sup>	7.5 0
Tapa-losa	103	42.44	54	540 kg/cm <sup>2</sup>	7.7 0
Tapa-losa	104	42.66	56	560 kg/cm <sup>2</sup>	7.8 0

PARAMETROS FISICOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DEL ESCLEROMETRO					
SITIO ARQUEOLOGICO OXKINTOK, ESTRUCTURA 6, PLAZA DEL DIABLO					
ELEMENTO	PETREO	DUREZA (R)	RESISTENCIA	% ERROR	ANGULO
		X	MPa		
Intradós	92	35.11	42	420 kg/cm <sup>2</sup>	7.1 0
Intradós	93	26.4	28	280 kg/cm <sup>2</sup>	6.4 0
Intradós	94	22.25	22	220 kg/cm <sup>2</sup>	6.1 0
Intradós	95	30.75	34	340 kg/cm <sup>2</sup>	6.7 0
Intradós	96	34	42	420 kg/cm <sup>2</sup>	7.1 0
Intradós	97	35.5	42	420 kg/cm <sup>2</sup>	7.1 0
Intradós	98	30.25	34	340 kg/cm <sup>2</sup>	6.7 0
Intradós	99	37.25	46	460 kg/cm <sup>2</sup>	7.3 0

PARAMETROS FISICOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DEL ESCLEROMETRO					
SITIO ARQUEOLOGICO OXKINTOK, ESTRUCTURA 6, PLAZA DEL DIABLO					
ELEMENTO	PETREO	DUREZA (R)	RESISTENCIA	% ERROR	ANGULO
		X	MPa		
Laja M. siller	110	21.66	20	200 kg/cm <sup>2</sup>	6 0
Laja E.M. siller	111	32.66	38	380 kg/cm <sup>2</sup>	6.9 0

Figura 9. Parámetros físicos obtenidos de los dinteles, intradós, tapa-losa y muestra de roca madre.

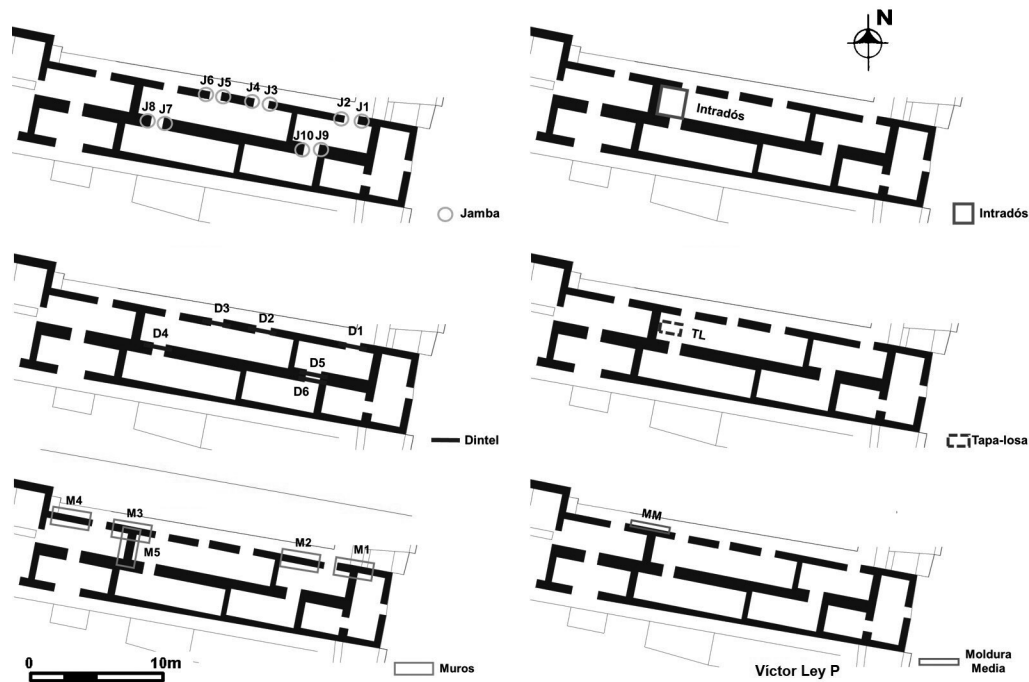


Figura 10. Muestreo del sistema estructural de la CA-6, Oxkintok, Yucatán, México.