

Arquitectura en Tierra:

Tecnología sostenible y reutilización patrimonial

XIV CIATTI 2017 MÉXICO
Congreso Internacional de Arquitectura en Tierra,
Tradición e Innovación

Coordinadores:
José Luis Sáinz Guerra
Félix Jové
Luis Fernando Guerrero Baca

ISBN: 978-84-09-06433-5
D.L.: VA 829-2018
Impreso en España
Noviembre de 2018

Publicación online.

Para citar este artículo:

To cite this article:

ORTEGA, José; LELO DE LARREA, Laura; BANO, Maksim; ROBLES, Jasinto; VILLA, Luis Ángel; ÁVILA, Rocío Paulina. "Georadar (NDT) para identificar grietas y arreglos texturales en el muro testero de la iglesia de Santa María de Huiramangaro, Michoacán, México". En: *Arquitectura en tierra. Tecnología sostenible y reutilización patrimonial*. [online]. Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid, Valladolid 2018. Pp. 169-178

URL de la publicación:

<http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones.html>

Este artículo sólo puede ser utilizado para la investigación, la docencia y para fines privados de estudio. Cualquier reproducción parcial o total, redistribución, reventa, préstamo o concesión de licencias, la oferta sistemática o distribución en cualquier otra forma a cualquier persona está expresamente prohibida sin previa autorización por escrito del autor. El editor no se hace responsable de ninguna pérdida, acciones, demandas, procedimientos, costes o daños cualesquiera, causados o surgidos directa o indirectamente del uso de este material.

This article may be used for research, teaching and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, re-distribution, re-selling, loan or sub-licensing, systematic supply or distribution in any form to anyone is expressly forbidden. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

Copyright © Todos los derechos reservados

© de los textos: sus autores.

© de las imágenes: sus autores o sus referencias.

GEORADAR (NDT) PARA IDENTIFICAR GRIETAS Y ARREGLOS TEXTURALES EN MURO TESTERO DE LA IGLESIA DE SANTA MARIA HUIRAMANGARO, MICHOACÁN, MÉXICO

XIV CIATTI 2017. Congreso Internacional de Arquitectura de Tierra, Tradición e Innovación. Ciudad de México

José Ortega Ramírez. Doctor Ingeniero Geólogo
Laura Lelo de Larrea López. Doctora en Arquitectura
Maksim Bano. profesor del Instituto de Física
Jasinto Robles Camacho. Doctor en Geoquímica
Luis Ángel Villa Alvarado. Ingeniero Geofísico
Rocío Paulina Ávila Luna. Arquitecta*

Laboratorio de Geofísica, Centro INAH, Michoacán, México

PALABRAS CLAVE: Georadar, NDT, Santa María Huiramangaro, 1500 MHz

1. Introducción

México cuenta con una abundante herencia cultural: tenemos a lo largo del territorio importantes y bien conocidos vestigios arqueológicos que varían desde pinturas rupestres hasta arquitectura monumental prehispánica del periodo Posclásico e igualmente arquitectura colonial. Nuestra herencia ocupa el sexto lugar entre las más ricas del mundo, después de Italia, España, China, Alemania y Francia con un total de 29 sitios considerados Patrimonio de la Humanidad.

Para su conservación, el uso de técnicas o métodos no destructivos son importantes para evitar intervenciones basadas como en el pasado en aproximaciones, lo cual limitó en muchas ocasiones la efectividad de las intervenciones de conservación, algunas incluso resultando contraproducentes y causando mayor daño a los monumentos.

En la actualidad, la protección efectiva de un bien cultural monumental requiere del conocimiento de la estructura y de los materiales

que componen dicha obra, de un diagnóstico integral y de una evaluación de la eficiencia de los materiales utilizados en las intervenciones de conservación. Para ello, existe una gran variedad de técnicas analíticas y métodos disponibles para el diagnóstico, algunos de carácter invasivo, por ejemplo el acústico o ecoespectrográfico, el vibrómetro láser² y la resistividad eléctrica; y otros no invasivos ni destructivos (NDT *Non Destructive Testing*), dentro de los que se incluyen los sónicos y ultrasónicos, el procesamiento digital de imágenes, la termografía infrarroja, los rayos-X y Radar de Penetración Terrestre o georadar (GPR: *Ground Penetrating Radar*). Este último ha demostrado ser muy rápido y sensible en las investigaciones de monumentos históricos de mampostería y concreto,^{3,4,5,6,7,8,9} en la evaluación de monumentos y estructuras históricos,^{3,8} de gran utilidad también en la localización y posicionamiento de vacíos e inclusiones de materiales diferentes y para definir la presencia y nivel de humedad.¹⁰ Así mismo ha servido de control de calidad para medir la efectividad en las intervenciones de restauración y para indicarnos la geometría y morfología de muros o paredes de múltiples hojas de piedra y estructuras de mamposterías^{3,9} así como galerías y criptas.^{11,12,13,14}

En efecto, el GPR es una técnica no destructiva^{15,16} para sondear el subsuelo y/o superficies inclinadas y puede proporcionarnos imágenes en 3-D.^{6,11,13,17} El sistema utiliza una radiación electromagnética: pulsos u ondas entre 50 y 2600 MHz a través de los cuales podemos obtener información de manera remota sobre daños estructurales, incluyendo fracturas, fisuras, y arreglos texturales que provocan desprendimientos de acabados dentro de la construcción, por lo que el GPR puede ser usado para mejorar los planes o proyectos de restauración.

Aunque a nivel mundial existen cada vez más trabajos con georadar aplicados al diagnóstico de inmuebles históricos, en nuestro país son casi inexistentes, por ello el presente trabajo tiene como objetivo principal demostrar la utilidad del método electromagnético, utilizando en los sondeos antenas de 1500 MHz sobre líneas separadas a 5 cm una de la otra para generar imágenes en 3-D con el propósito de investigar el interior del muro testero de la Iglesia de Santa María Huiramangaro, Michoacán que presentaba problemas de desplome y agrietamiento.

2. Localización y antecedentes históricos

El templo de Nuestra Señora de la Asunción se localiza en el pueblo de Santa María de Huiramangaro dentro del municipio de Pátzcuaro, región purépecha en el estado de Michoacán centro-oeste de la República Mexicana entre las coordenadas geográficas de 19°30'29.29" latitud norte y 101°45'58.72" longitud oeste a 2,256 msnm (figura 1). Geomorfológicamente, el poblado de Santa María Huiramangaro se encuentra en una pequeña depresión topográfica correspondiente a un escalón de falla rodeada por estructuras volcánicas de edad Plio-Pleistoceno de composición andesítica y/o basáltica.

Las investigaciones desarrolladas en relación al conjunto religioso de Santa María Huiramangaro¹ han permitido datar su factura durante la primera mitad del siglo XVI destacando entre las construcciones, el templo dedicado a Nuestra Señora de la Asunción de donde toma su nombre y advocación.

Se trata de un espacio devocional cuyo sistema y diseño arquitectónico presenta reminiscencias medievales como reflejo de las herencias mudéjares instituidas por los frailes franciscanos a inicios de la cristianización en Michoacán. La arquitectura del conjunto quedó conformada por un gran atrio antecediendo la entrada al templo, la casa cural, una huerta y un área de asistencia donde se ubicaron el hospital de indios y su capilla (figura 2).

El sistema constructivo privilegió el uso de materiales existentes en la región; muros de piedra irregular unida a través de juntas de lodo, piezas de adobe, techumbres y plafones de madera que inicialmente fueron cerrados con delgadas fajillas llamadas tejamanil, que fueron posteriormente sustituidas por tejas de arcilla cocida y aplanadas por barro.

El lugar logró conservar muchos de sus elementos arquitectónicos y bienes muebles facturados a lo largo de la época virreinal y fue en los siglos XIX y XX cuando las transformaciones más relevantes se suscitaron. El predio ocupado por el conjunto religioso fue fraccionado, algunos de sus retablos barrocos laterales se eliminaron, e incluso, entre 1996-97, la sencilla armadura de tijera que sostenía la cubierta del templo fue modificada. Esto, junto con el paso del tiempo, propició el gra-

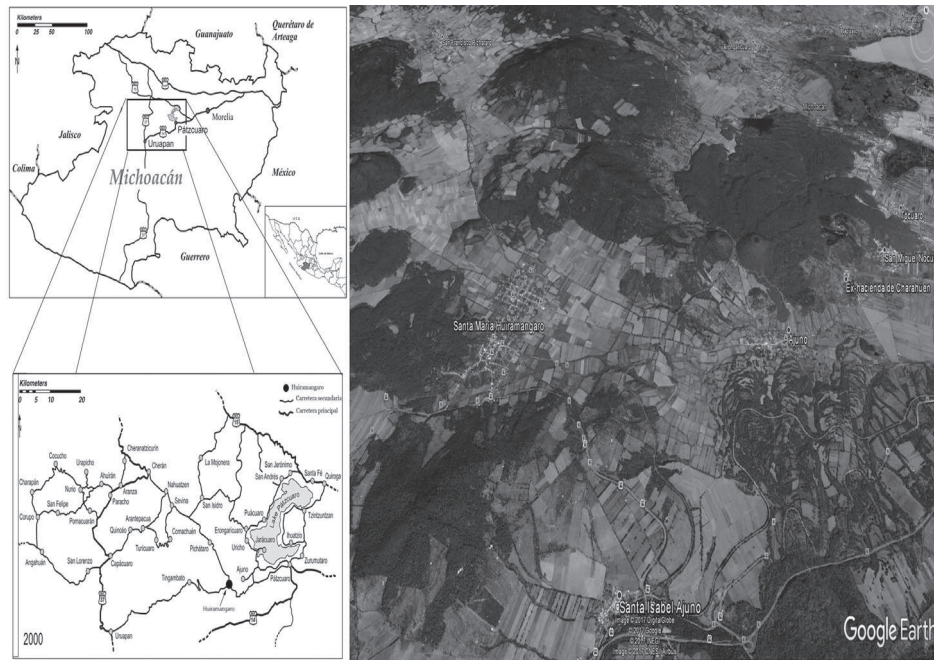


Figura 1.- Localización del poblado de Santa María Huiramangaro donde se encuentra el templo de Nuestra Señora de la Asunción del siglo XVI. Obsérvese en la figura de Google Earth las diferentes estructuras volcánicas que rodean al sitio. Fuente: Google Earth.

dual agrietamiento y pérdida de plomo del muro testero, afectando con ello la integridad del inmueble, del retablo principal sujeto al muro y del área del plafón policromado adosado a la corona del paramento.

El muro testero constituido por un cimientado de mampostería de piedra que continúa hasta el arranque de los sillares de adobe separados por una viga de amarre, presentaba en el 2013 problemas de nivelación con aproximadamente 30 cm de desplome hacia el oriente, problemática que se había atendido parcialmente en años anteriores pero sin resultados definitivos. Ante el riesgo de derrumbe, en el año 2014 se colocó una estructura exterior de apuntalamiento (figura 3, A,B,C,D) y fue removido el retablo principal, actividades que permitieron llevar a la práctica los estudios de prospección geofísica con georadar sobre el muro para ubicar fallas estructurales y arreglos texturales.

La ejecución técnica del proyecto, incluida la restauración del testero, pudo concretarse en el año 2015 con la participación de la Secretaría de Cultura de Michoacán, el Centro INAH Michoacán e integrantes del patronato comunal.

3. Metodología

El GPR es una técnica geofísica basada en la propagación y la reflexión de los pulsos de radar. Ambas son controladas por las propiedades eléctricas de los materiales, siendo la más importante la permitividad dieléctrica relativa (ϵ_r), misma que varía en función del tipo de material y de su contenido de agua. Los pulsos son producidos por antenas y varían de 1 a 60 nanosegundos cercanos a la banda de VHF/UHF (30-3000 MHz). Estos pulsos son transmitidos hacia el medio estudiado, donde parte de la energía es devuelta a la superficie a través de una antena receptora y parte es propagada a través del medio discontinuo; la reflexión o energía reflejada que se produce proviene de las interfaces de las zonas con diferentes propiedades electromagnéticas.

La antena receptora incorpora un circuito electrónico denominado “demodulador”, conectado a un circuito receptor amplificador adonde llegan las ondas electromagnéticas causando la generación de una banda de pulsos de audiofrecuencia, mismos que son enviados a través de un cable de fibra óptica a la unidad central, donde la señal es reconstruida, procesada y guardada.

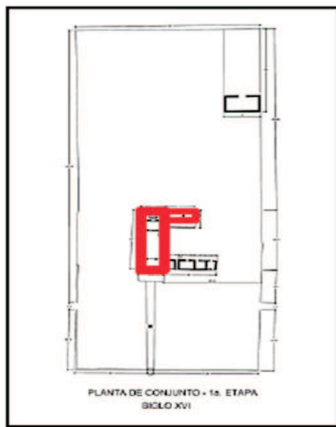


Figura 2. Planta arquitectónica de conjunto en sus orígenes en el Siglo XVI y vista del frente de la Iglesia.
Fuente: Laura Lelo de Larrea.

Los pulsos registrados se presentan en forma de traza, por lo que moviendo la antena sobre la superficie del medio, se puede obtener una imagen que revele la existencia de anomalías debidas a variaciones de las propiedades electromagnéticas y la resolución dependerá principalmente de las características de los materiales y de la banda de frecuencia de la onda. Cuanto más alta sea la frecuencia, más grande será la resolución, sin embargo tendremos una menor penetración en profundidad;²⁰ al contrario, con las antenas de baja frecuencia, se tiene mayor penetración pero menor resolución.

3.1 Sondeos

Aunque existen estándares tridimensionales de prospección con GPR basados en metodologías de tipo pseudo-3D, para adquisiciones de datos paralelos en una sola dirección con espaciamentos de 0.5 m a 1.0 m,^{6,18} para este trabajo y con el propósito de evitar distorsiones (*aliasing*) de las señales, se utilizó el método ultra denso¹⁹ con líneas de sondeo separadas cada 5 cm (figura 4) y con una velocidad de 0.128 m/ns, calculada a partir de las hipérbolas de difracción para frecuencias de 1500 MHz, reduciendo de esta manera el

espacio entre trazas a un cuarto de la amplitud de onda (teorema de Nyquist-Shannon).

La profundidad de penetración por su parte se relaciona con la amplitud de la onda, la cual depende de la frecuencia de la señal emitida y de la atenuación de ésta durante su viaje. Por lo tanto, las propiedades del medio afectan, absorben y dispersan la señal de radar y las reflexiones que se producen cuando la onda viaja a través del medio. Medidas experimentales en ladrillo, concreto y mampostería,¹⁷ indican que la profundidad de penetración para una frecuencia de 1500 MHz puede situarse entre 50 y 70 cm en materiales con poca humedad, como sería el caso del muro testero del templo de Santa María de Huiramangaro.

Como el centro de frecuencia de la señal recibida se situó entre 950 y 1350 MHz, menor que el centro de frecuencia nominal de la antena utilizada, la resolución vertical se encuentra entre 2.3 y 3.3 cm para una velocidad calculada de onda de 0.128 m/ns y una resolución horizontal entre 6 y 8 cm considerando el uso del radio de la primera zona de Fresnel $R_f = \frac{1}{2} \sqrt{(2\lambda 2h)} \lambda$, siendo λ la amplitud de onda, h la profundidad del objetivo y r_f la trayectoria del radio de la antena a la profundidad h .



Figura 3. (A) Desmontaje del retablo principal y (B) cuadrícula de sondeos con georadar. (C) y (D) parte posterior del muro testero. Obsérvese en (D) sondeo con georadar con antena de baja frecuencia (200MHz) para detectar probables fracturas y fallas geológicas en el subsuelo. Fuente: J. Ortega.

3.2 Adquisición de datos

Para este estudio se empleó un georadar modelo SIR-3000 fabricado por la *Geophysical Survey System Inc.*, que consiste en una unidad central y una antena mono-estática de acoplamiento de tierra como equipo de adquisición de datos para este estudio.

Las condiciones que se utilizaron para los sondeos en el muro testero con la frecuencia de 1500 MHz fueron las siguientes: range 15 ns, muestreo 512 muestras por traza y 200 trazas por metro, es decir una traza cada 0.5 cm con una constante dieléctrica relativa calculada a partir del análisis de la forma de las hipérbolas de difracción de 5.94 y velocidad de onda de 0.123 m/ns.

3.3 Procesamiento de datos

Los datos fueron analizados y procesados usando las paqueterías de programas de cómputo especializadas para el procesamiento de señales electromagnéticas: *Post-Processing software for Subsurface Interface Radar*, *Radan 7.0 for Windows XP™ Profesional* y el *3D QuickDraw for Radan 7.0*, ambos de la *Geophysical Sur-*

vey Systems, de la manera siguiente: a) corrección de superficie (ajuste del tiempo cero); b) remoción o filtrado de bajas frecuencias (“dewow”); c) aplicación de ganancias automáticas (AGC); d) filtros pass-band (FIR: *Finite Impulse Reponse*; IIR: *Infinite Impulse Reponse*) y deconvolución según el método de Kirchhoff. Para el cálculo de velocidad y profundidad real se utilizaron hipérbolas.²¹

La superficie del muro testero se dividió en cuatro áreas de diferentes dimensiones:

Superficie 01, de 2.20 m de ancho x 5.60 m de largo; superficie 02, de 2.10 m x 5.50 m; superficie 03, de 1.70 m x 5.20 m; y superficie 04, de 1.80 m x 5.20 m de largo (ver figuras 3B y 4A).

En todas ellas los sondeos se realizaron a lo largo de líneas paralelas cada 5 cm de distancia con la frecuencia de 1500 MHz, con el propósito de generar imágenes tridimensionales del interior del muro a diferentes profundidades que detectasen el arreglo de las grietas, las texturas y las estructuras de los materiales de construcción y su relación con el desplome que presentaba el muro.



Figura 4. (A) La flecha señala la antena de 1500 MHz con su vehículo con odómetro integrado para su transporte y en (B) sondeos sobre el muro testero con líneas de sondeo a cada 5 cm. Fuente: J. Ortega.

4. Resultados

1. A 5 cm en la Superficie 01 se observaron dos zonas reflectoras: la primera atravesando la superficie de arriba hacia abajo y correspondiendo a la grieta observable superficialmente y la segunda, cerca de la cota N+3.07 en la base en color rojo (figura 5A). En la superficie 02, una zona horizontal muy reflectora en la base y una línea vertical arriba, que correspondió a la fractura visible superficialmente, mientras que en las Superficies 03 y 04, las anomalías se situaron de manera transversal en la parte superior (figura 5A, D).

2. En 2-D, los radargramas mostraron dos superficies de aproximadamente 30 cm de espesor separadas 10 cm una de la otra (figura 5 B y C): se trata de dos hiladas de adobe (figura 5E) con un contacto de aproximadamente 10 cm de espesor de material de relleno entre capas.

3. A 15 cm de profundidad, los rasgos principales fueron la aparición de una zona con múltiples reflexiones a N+3.97 (ver figura 6 A) y una zona horizontal bien definida a N+7.30 en la superficie 04, junto con las grietas o fallas en las superficies 01 y 02 que siguen siendo visibles.

A 50 cm de profundidad, la penetración de las ondas es muy débil, sin embargo la distinción entre mampostería y adobe fue visible al igual que la anomalía horizontal de la superficie 02 (figura 6B).

5. Conclusiones

1. La grieta o fractura visible superficialmente en la denominada superficie 02 desaparece entre 15 y 20 cm, lo cual indicó que se trata de un rasgo del acabado o aplanado y refleja parcialmente el esfuerzo de torsión del muro debido a la irregular distribución de cargas del techo sobre el muro testero, y no tiene incidencia en su estructura.

2. La parte inferior de la pared debajo de la cota N + 3.97 de las superficies sondeadas, y probablemente hasta el piso del muro, presenta una zona con múltiples difracciones provocadas por las rocas de la mampostería; su altura sin embargo disminuye en relación inversa (ver figura 6), esto sugiere que la base de "piedra y lodo", podría tener la forma de un trapecio, es decir una base más ancha que la cima a partir de la cual se inicia la pared con el adobe como material constructivo.

3. El muro testero está construido desde su base hasta una altura de aproximadamente 3.20 metros con piedras irregulares unidas con una mezcla de lodo a manera de "cimientito". Sobre esta se colocó una viga de madera, sobre la que se encimaron las piezas de adobe hasta su cerramiento. En ese contacto se presentó el desplome del muro (ver figura 7).

4. Nuestras inferencias a partir de la interpretación de los datos electromagnéticos coinciden con los resultados de las diferentes catas

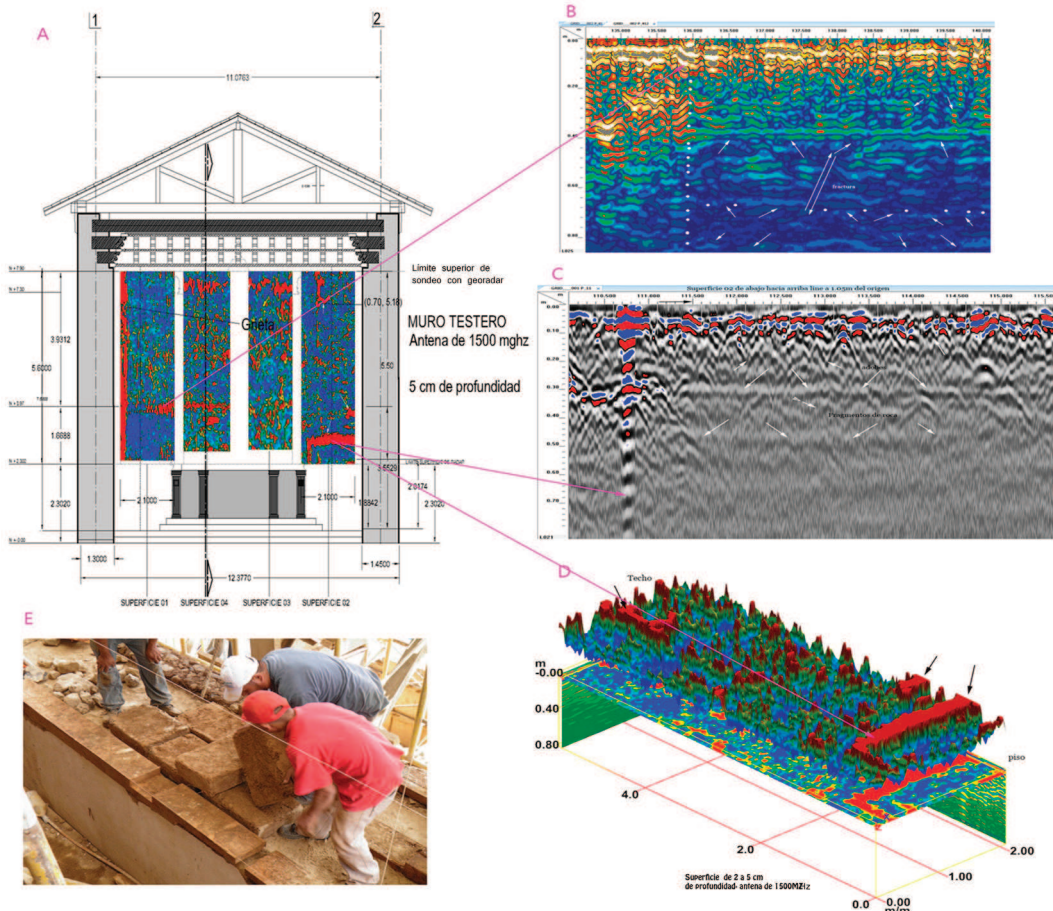


Figura 5. (A) Muro testero con imágenes procesadas en 3-D (mapas de amplitudes) a 5 cm de profundidad, los colores en rojo indican fuertes reflexiones; B y C radargramas de 2 líneas de las superficie 01 y 04, obsérvese una superficie muy reflectora a aproximadamente 40 cm se trata del contacto entre dos hiladas de adobe como se observa en (E). Fuente: J. Ortega, L. Lelo de Larrea y P. Ávila Luna.

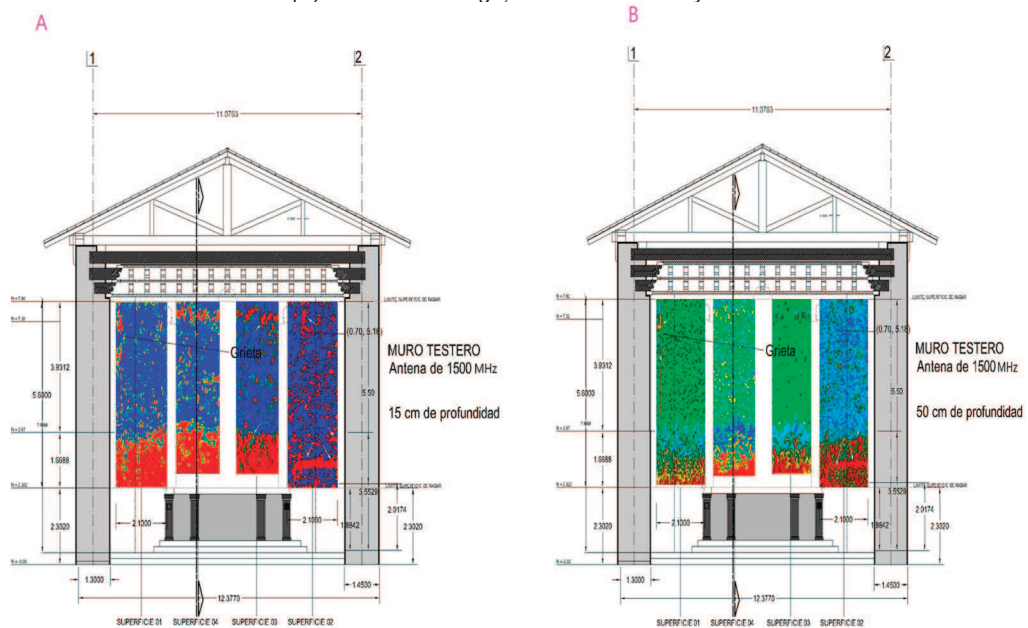


Figura 6.- Los colores rojos indican zonas reflexivas con multiples difracciones y las azul y verde en su mayoría ruido de fondo. En (A) a 15 cm y en (B) a 50 cm. Fuente: J. Ortega y P. Ávila Luna.

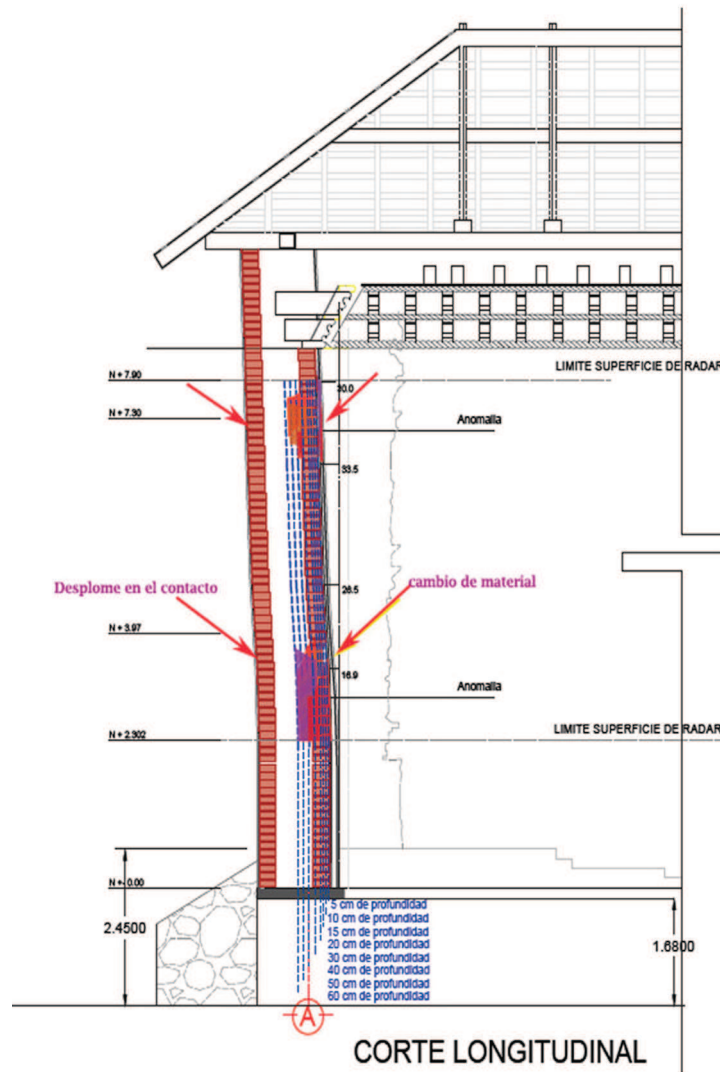


Figura 7. Corte longitudinal del muro testero. Obsérvese que el desplome se inicia exactamente en la cota $N + 3.97$ y se nota un cambio más en $N+ 7.30$ señalados por las flechas color rojo; estos corresponden al lugar donde se identificaron varias anomalías señaladas en las figuras nº 9 y 10 a 5cm y 15 cm de profundidad respectivamente. Fuente: P. Ávila Luna y J. Ortega.

poco profundas que se realizaron, lo cual corrobora lo aquí expuesto (ver figura 8) para el tipo de frecuencia utilizada.

Sin embargo estos resultados nos motivan a utilizar otras combinaciones en futuros trabajos, a mayores de la frecuencia utilizada, para obtener mayor detalle superficial, como 2600M Hz o de 900 MHz para mayor profundidad.

Agradecimientos.

Los autores agradecen la hospitalidad de los habitantes de Huiramangaro comprometidos con su patrimonio cultural, en particular a Iván Díaz Barriga. Igualmente a los Arqs. Ricardo González Garrido y Edith Mendoza Ávila, personal de la Sección de Monumentos Históricos de este Centro INAH, por su participación en la elaboración de las bases de datos.

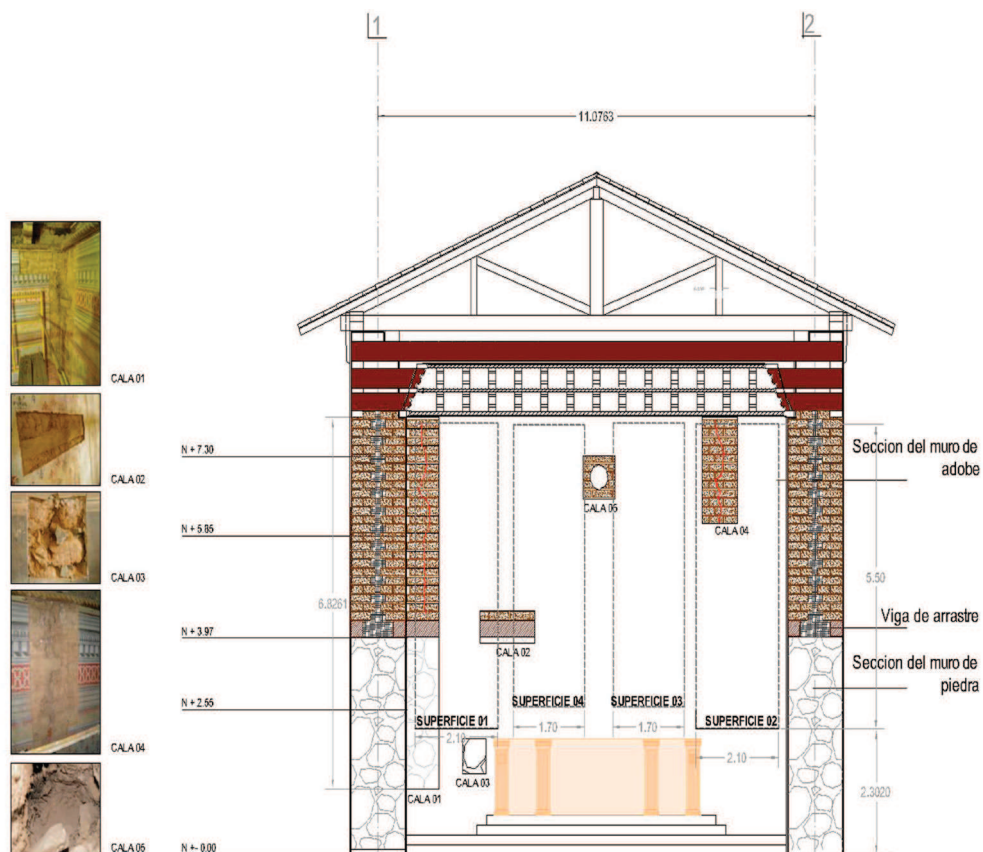


Figura 8. Diferentes calas y su posición espacial con relación a los resultados obtenidos. Obsérvese por ejemplo la cala nº 3: corresponde a la zona con abundantes difracciones provocadas por los tamaños y forma de los componentes sedimentarios. También en la cala 02, la denominada “viga de arrastre” se evidencia entre los 5 y 15 cm de profundidad (ver Figs. Nº 5 y 6). Fuente: L. Lelo de Larrea, P. Ávila Luna y J. Ortega.

Referencias

1. Lelo de Larrea López, L. 2013. *Configuración Espacial del conjunto religioso novohispano de Santa María Huiramangaro, Michoacán. Estructura Conceptual forma y significativa*. Tesis de Doctorado Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
2. Calicchia, P. and , Bosco Cannelli, G. 2005. Detecting and mapping detachments in mural paintings by non-invasive acoustic technique: measurements in antique sites in Rome and Florence. *Journal of Cultural Heritage* 6 (2005) 115–124.
3. Binda, L., Zanzi, A., Luandi, M., y Condoleo P. 2005.- The use of georadar to assess damage to a masonry bell tower in Cremona Italy. *NDT & E International*, 38:171-179.
4. Perez-Gracia, V., García, F., Pujades, L.G., González Drigo, R., y Di Capua, D., 2008. GPR survey to study the restoration of a Roman monument. *Journal of Cultural Heritage*, 9(1):89-96.
5. M. Solla, M., Lorenzo, H., Novo, A., and Rial, F. I. 2010. Ground-penetrating Radar Assessment of the Medieval Arch Bridge of San Antón, Galicia, Spain. *Archaeological Prospection* 17, 223–232.
6. Novo, A., Lorenzo., Rial, F. I., and Solla, M., 2010. Three-dimensional ground-penetrating radar strategies over an indoor archaeological site: Convent of Santo Domingo (Lugo Spain). *Archaeological Prospection*, 17:213-222.
7. Labropoulos, K., and Moropoulou, A. 2013. Ground penetrating radar investigation of the bell tower of the church of the Holy Sepulchre. *Construction and Building Materials*, 47:689-700.

8. Moropoulou, A., Labropoulos, K. Delegou, E. T., Karoglou, M., and Bakolas, A. 2013. Non-destructive techniques as a tool for the protection of built cultural heritage. *Construction and Building Materials*, 48:1222-1239.
9. Kanli, A.I., Taller, G., Nagy, P., Tildy, P., Pronay, Z., y Toros, E., 2015.- GPR survey for reinforcement of historical heritage construction at fire tower of Sopron. *Journal of Applied Geophysics*, 112:79-90.
10. Binda, L., Lenzi, G., and Saisi, A. 1998. NDE of masonry structures: use of radar test for the characterization of stone masonries. *NDT & E International*, 31(6):411-419.
11. Leckebusch, J. 2000. Two and three-dimensional ground-penetrating radar survey across a medieval choir: a case study in archaeology. *Archaeological Prospection*, 7:189-200.
12. Pérez-Gracia, V., Canas, J.A., Pujades, L.G., Clapés, J., Caselles, O., Gracia F., and Osorio, R. 2000. GPR survey to confirm the location of ancient structures under Valencian Cathedral (Spain). *Journal of Applied Geophysics*, 43(2-4):167-117.
13. Leucci, S. 2002. Ground-penetrating radar survey to map the location of buried structures under two churches. *Archaeological Prospection*, 9:217-228.
14. Lorenzo, H., Hernández. M.C., and Cuellar, V. 2002. Selected radar images of manmade underground galleries. *Archaeological Prospection*, 9:1-7.
15. Jol, H. J. (Editor), 2008. Ground penetrating radar theory and applications. Elsevier 524p.
16. Owen, T. E. 1995. Special issue on ground penetrating radar. *Journal of Applied Geophysics* 33:1-255.
17. Pérez-Gracia, V., Caselles, O., Clapés, J., Osorio, R., Canas, J. A., & Pujades L. G. (2009). Radar exploration applied to historical buildings: a case study of the Marques de Llió palace, in Barcelona (Spain). *Engineering Failure*, 16:1039-1050.
18. Samet, R., Celik, E., Tural, S., Sengönül, E., Özkan, M., and Damci, E. 2017.- Using interpolation techniques to determine the optimal profile interval in ground-penetrating radar applications. *Journal of Applied Geophysics*, 140:154-167.
19. Grasmueck, M., Weger, R., and Horstmeyer, H. 2005. Full-resolution 3D GPR imaging. *Geophysics* 70(1):K12-K19.
20. Orlando, L. 2007. Georadar data collection, anomaly shape and archaeological interpretation- a case study from Central Italy. *Archaeological Prospection* 14:213-2225.
21. Neal, A., Richards, J., Pye, K., 2002. Structure and development of shell cheniers in Essex, south-east England, investigated using high-frequency ground-penetrating radar. *Marine Geology* 185, 435-469.

Citas y notas

***José Ortega Ramírez.** Doctorado y Maestría por la Université Louis Pasteur de Strasbourg I, Francia: Ingeniero Geólogo. Investigador Titular "C", responsable del Laboratorio de Geofísica del INAH. E-mail: jorteg@gmail.com

Laura Lelo de Larrea López. Doctora en Arquitectura, Maestra en Arquitectura, Investigación y Restauración de Sitios y Monumentos, y Licenciada en Restauración de Bienes Muebles. Perito restaurador del Centro INAH Michoacán. E-mail: laura_lelo-delarrea@inah.gob.mx

Maksim Bano. Profesor Asociado; Institut de Physique du Globe de Strasbourg. E-mail: Maksim.bano@unistra.fr

Jasinto Robles Camacho. Dr. en Ciencias, Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Director del Centro INAH Michoacán y Profesor Investigador Titular "C" por el INAH. E-mail: jasinto_robles@inah.gob.mx

Luis Ángel Villa Alvarado. Ingeniero Geofísico por la UNAM, experiencia en la exploración geofísica aplicada a la conservación del patrimonio cultural, industria Petrolera, y riesgo geológico. E-mail: luisangelvillaalvarado@gmail.com

Rocío P. Ávila Luna. ENCRyM-CNMH-INAH. Arquitecta por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Maestría en Conservación y Restauración de Bienes Inmuebles en la Escuela Nacional de Conservación Restauración y Museografía del INAH. E-mail: pavilaluna@gmail.com