

## Capítulo 14

### Lesiones mecánicas: fisuras y despegues.

#### Iglesia de San Jorge.

##### **Resumen.**

*Otro tipo de lesiones son las mecánicas, producidas por sobrecarga sobre algún elemento de la edificación, generando unas tensiones internas que acaban en ruptura. Los daños que se producen pueden ser fisuras (afectan a la superficie de la estructura o a elementos de recubrimiento), grietas (afectan a elementos constructivos en su totalidad) y despegues (desprendimientos del acabado).*

*En este capítulo se estudia la capacidad del radar de subsuelo para analizar este tipo de lesiones, aplicándolo a un caso concreto: la iglesia de San Jorge (en Paiporta, Valencia). En los muros de la torre se observan despegues y en los de la fachada principal fisuras y grietas.*

*El análisis de los muros dañados con radar de subsuelo ha permitido delimitar unas zonas en las que se observa un mayor número de anomalías, relacionadas con el problema estudiado. Se observa que los tiempos de propagación en las zonas dañadas son menores que en las zonas sanas, para un mismo espesor de muro, lo que hace suponer que en el primer caso la velocidad de propagación es mayor.*

*Finalmente se ha estudiado el subsuelo para analizar posibles causas de estas lesiones. Se han localizado zonas anómalas próximas a los muros afectados, con una profundidad no superior a los dos metros. Estos sectores anómalos pueden estar relacionados con los restos de una iglesia más antigua sobre la que se levanta la actual.*

## **14.1. Introducción**

En el capítulo 13 se han descrito algunas lesiones que se pueden presentar en edificios. También se han expuesto dos ejemplos de aplicaciones de georradar en el caso de lesiones por humedad, analizando la capacidad del método para acometer este tipo de análisis.

En este capítulo se realiza un análisis de la capacidad y limitaciones del radar de subsuelo para estudiar otro tipo de lesiones muy habituales en edificaciones antiguas: fisuras y oquedades. Para ello se estudia el caso de unos muros en la iglesia de San Jorge (en Paiporta), donde se han observado despegues del recubrimiento.

Se procede como en capítulos anteriores, empezando con una breve exposición de algunos antecedentes de este tipo de estudios, la explicación del problema que se analiza y las características del equipo que se utiliza. A continuación se realiza el análisis con georradar de los dos muros de la torre de la iglesia de San Jorge. Para finalizar se analizan los registros obtenidos del subsuelo en las proximidades de los muros afectados, para investigar las posibles causas del deterioro.

## **14.2. Lesiones por grietas, fisuras y oquedades.**

En general, este tipo de deterioro se suele generar por causas mecánicas, es decir, por esfuerzos sobre elementos de la estructura que generan unas tensiones que

acaban produciendo la ruptura cuando el esfuerzo mecánico generado es superior al previsto durante la construcción.

Estos daños se pueden ocasionar por todo tipo de sobrecarga producido en un elemento estructural (por ejemplo, un muro). Las causas de estas sobrecargas pueden ser diversas: asentamiento de la cimentación, movimientos del terreno, apertura de huecos en muros (puertas, ventanas, etc.), dilataciones térmicas, deformaciones del edificio (Muñoz, 1988) o problemas constructivos del edificio.

Los daños producidos pueden ser grietas, fisuras o desprendimientos. Las grietas son aquellas aperturas de un elemento constructivo que afectan a su totalidad. Las fisuras son aquellas que afectan únicamente a su superficie o a los elementos de recubrimiento de la estructura. Los desprendimientos son la separación de parte del acabado de una estructura del soporte sobre el que se había aplicado. A menudo, este último tipo de defecto es consecuencia de la evolución de fisuras y grietas (Monjo, 1991).

Determinados tipos de construcciones pueden facilitar la aparición de este tipo de lesiones. Por ejemplo, las técnicas constructivas antiguas consisten en un encofrado de piedra de buena calidad tallada por sus caras externas, relleno de materiales de peor calidad o menos trabajados. Las diferencias entre los materiales del muro pueden facilitar la aparición de lesiones. En general, la utilización de materiales heterogéneos puede facilitar la aparición de esta lesión por diferencias en los coeficientes de dilatación.

### **14.3. Antecedentes.**

El análisis fracturas internas a un medio o de pequeñas oquedades mediante georradar ha sido abordado mediante simulaciones (Goodman, 1994) y mediante el estudio de casos reales (Papaioannou, Papamarinopoulos y Stefanopoulos, 1996).

En geología, Piccolo (1992) lo ha aplicado al estudio de canteras para localizar fracturas y se ha utilizado para determinar y modelar la estructura de las fracturas internas (Grasmueck, 1996) o para localizar cavidades (Casas et al., 1999).

En ingeniería se han realizado estudios de este tipo de lesiones en, por ejemplo, carreteras, pistas de aterrizaje y pistas deportivas, para localizar pequeñas oquedades bajo el pavimento (Lorenzo, 1994; Maser, 1992; Weil, 1992). También se ha utilizado para analizar el terreno donde se fundamentan puentes o viaductos, localizando oquedades (García et al., 1996; Haeni, Placzec y Trent, 1992).

En arquitectura se ha utilizado, entre otras cosas, para determinar la profundidad que alcanzan grietas en muros de edificios característicos o monumentales (Pappaioannou, Papamarinopoulos y Stefanopoulos, 1996; Pérez Gracia et al., 1996a).

#### **14.4. Equipo utilizado.**

El estudio de este tipo de lesiones suele requerir la detección de elementos anómalos de pocos centímetros (grietas y oquedades) y discontinuidades en los primeros metros del subsuelo. El estudio de microfisuras requiere técnicas de mayor resolución que no se tratan en este trabajo.

Por estos motivos se trabaja con dos antenas: la antena de 900 MHz (3101 de GSSI), la de 500 MHz (3102 de GSSI) y la de 100 MHz (3107 de GSSI). La primera para el estudio de las lesiones en muros y la segunda y tercera para el análisis del subsuelo.

Para la interpretación de los radargramas, se utilizan las velocidades y los parámetros electromagnéticos estimados en el capítulo anterior, tanto para los muros de la iglesia como para el subsuelo. La velocidad en los muros es de 13.5 cm/ns en el caso de material seco y de 10 cm/ns cuando el material está húmedo. Para la velocidad de propagación en el subsuelo se considera un valor de 7 y de 8.5 cm/ns a partir de los resultados del capítulo anterior.

## **14.5 Iglesia de San Jorge.**

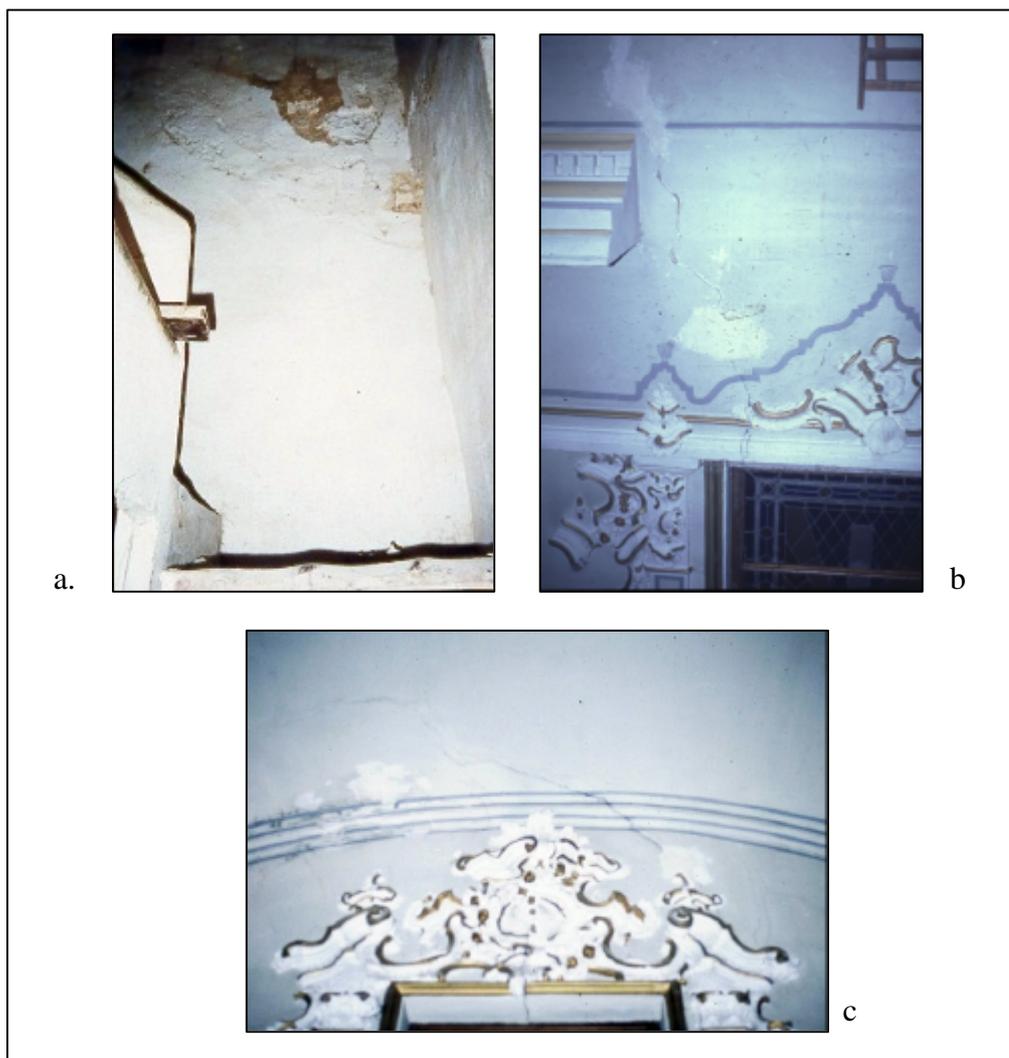
### **14.5.1. Problema.**

En la figura 14.1 se puede ver la iglesia. En la fotografía se observa su fachada principal (Norte) y la fachada Este. Las lesiones aparecen en el muro de la fachada Norte y en los muros de la torre de la iglesia (también emplazada junto a ésta).

En la superficie interior del muro de la torre se pueden observar fisuras y desprendimientos del recubrimiento. En la fachada principal se observan también fisuras y grietas que principalmente se inician en las esquinas de puertas y ventanas y se extienden hacia el techo y la bóveda de la iglesia. En la figura 14.2 se muestran detalles de estos daños.



**Figura 14.1. Fachadas Norte y Este de la iglesia de San Jorge. En la zona Norte (fachada principal y torre) existen los mayores problemas de fisuras.**



**Figura 14.2. Fotografía de las grietas y despegues que afectan a la iglesia de San Jorge. a) Escalera de acceso a la torre. b) Muro Norte. c) Grietas próximas a la bóveda en el muro Norte.**

Para analizar el alcance de las lesiones observadas en el interior de la torre se realizan dos perfiles (perfiles P11 y P12 de la figura 13.2) cubriendo zonas dañadas. La zona estudiada con el perfil P11 se muestra en la figura 14.2.a. La zona analizada con el perfil P12 se presenta en la figura 14.3. Los dos perfiles tienen una longitud de 2 m, introduciendo marcas de distancia cada 40 cm.



**Figura 14.3. Fotografía del interior de la torre de la iglesia de San Jorge. En la parte superior se observa el desprendimiento del rebozo de yeso, zonas reparadas con cemento y fisuras, incluso en estas zonas reparadas.**

### **14.5.2. Diagnóstico.**

La figura 14.4 muestra el radargrama correspondiente al perfil P12 y su interpretación y la figura 14.5 el del perfil P11. El espesor del muro es de 145 cm. Con este dato se identifican las reflexiones en las superficies interna y externa del muro y se estima la velocidad media de propagación<sup>1</sup> que resulta ser de 12 cm/ns. Teniendo en cuenta la precisión de las medidas y que se trata de muros distintos, este valor está razonablemente de acuerdo con los resultados obtenidos en el capítulo anterior. Por otra parte, pequeñas variaciones en la saturación del medio o en su porosidad pueden causar variaciones de la velocidad.

En los radargramas correspondientes al perfil P12 (figura 14.4) se observan anomalías distribuidas más o menos aleatoriamente aunque más frecuentes e intensas en los sectores del perfil correspondientes a las zonas dañadas en superficie (principalmente el tramo entre los 0.8 y los 2 m). También se observa una zona irregular cerca de los 0.4 m. En estas zonas, las mayores anomalías son muy superficiales y se detectan entre los 3.6 y 4 ns.

---

<sup>1</sup> El tiempo de propagación entre las superficies interior y exterior del muro es de 24.2 ns. Teniendo en cuenta que el espesor es de 135 cm, corresponde a una velocidad de  $v = 12$  cm/ns.

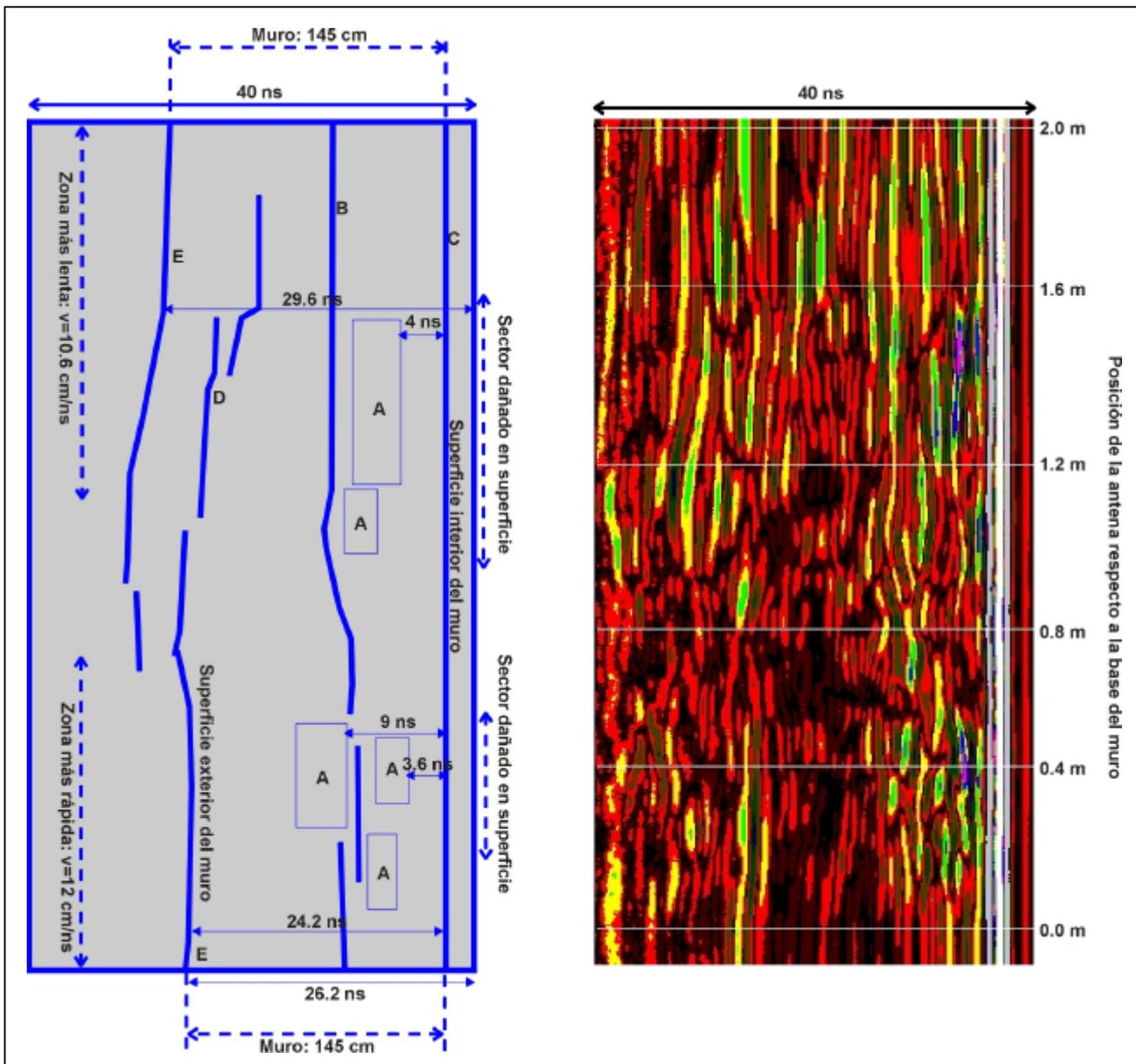


Figura 14.4. Registro obtenido en el perfil P12 e interpretación del mismo. Las reflexiones en las dos superficies del muro (C y E) permiten calcular la velocidad media de propagación en cada sector. A: Anomalías de pequeño tamaño asociadas a oquedades y fisuras. B y D: Reflexión continua asociada a un cambio de materiales en el interior del muro.

Anomalías parecidas se observan en el radargrama del perfil P11 (figura 14.5). La zona más dañada se sitúa entre los 1.6 y 1.2 m, en la que se puede ver una reflexión importante a unos 3.7 ns que en superficie corresponde con el área más dañada. Otras reflexiones de características similares indican que no se trata de



### **14.5.3. Análisis de las causas.**

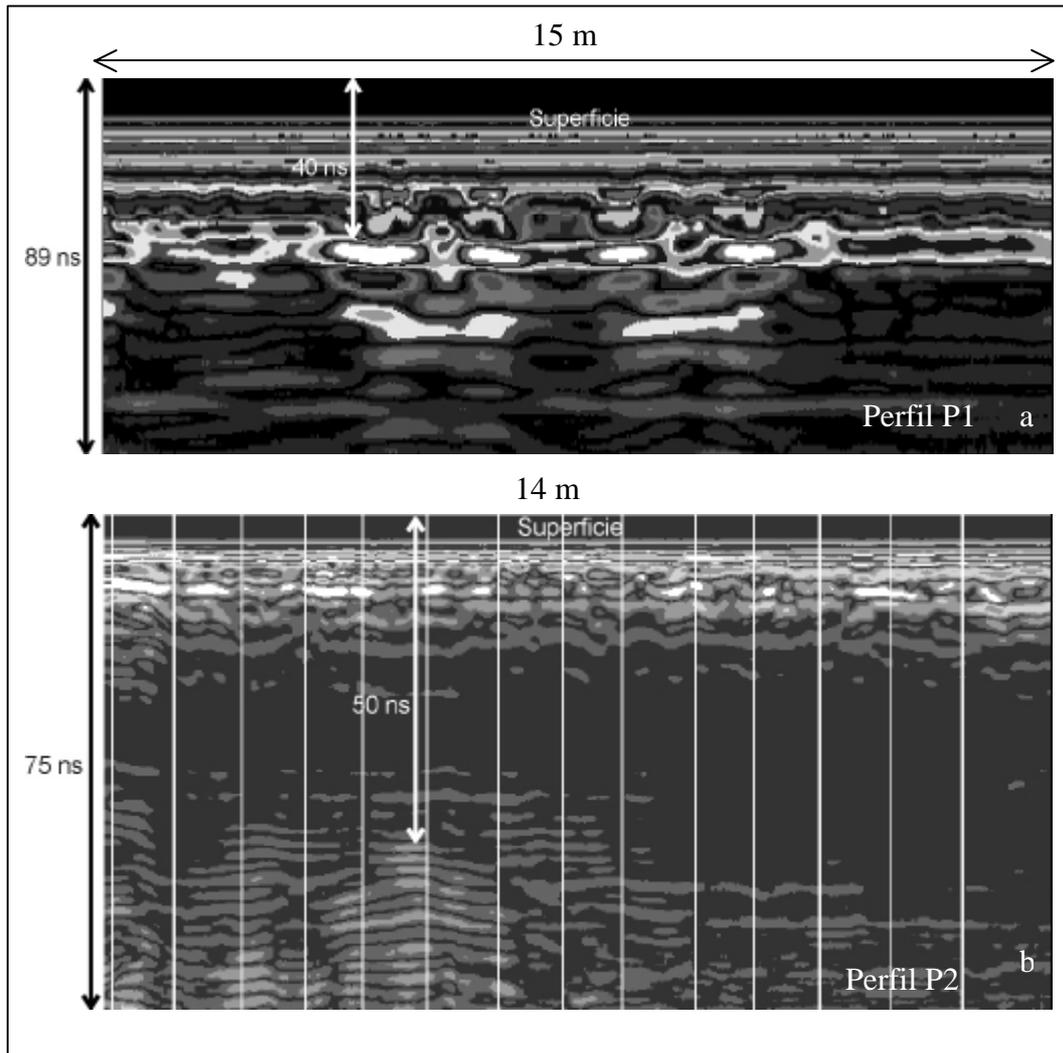
En general este tipo de deterioro de muros antiguos de espesor considerable se debe a asentamientos del edificio y/o a la técnica constructiva que suele incorporar materiales de diferentes calidades con poca cohesión entre ellos en la parte interior del muro.

Una grieta o fisura inicial producida por asentamiento puede inducir otras lesiones causadas, por ejemplo, por filtraciones de agua de lluvia que debilitan y pueden disolver materiales del muro facilitando la aparición de oquedades. Sin embargo, cuando se realizó el estudio no se observaba humedad en el muro analizado, localizado a una altura considerable del suelo. Es de suponer que estos fenómenos son estacionales y poco duraderos.

Por lo tanto se procedió a investigar el subsuelo de la iglesia para evaluar posibles causas de asentamientos. De hecho, estas construcciones se suelen edificar sobre las ruinas de otros edificios, a veces también de tipo religioso.

A partir de la información histórica a la que se ha tenido acceso, se sabe que la iglesia de San Jorge, de estilo neoclásico valenciano, se ha levantado sobre otras construcciones antiguas, algunas bien documentadas y confirmadas. De otras se conoce su existencia, pero se desconoce su situación exacta y sus características. Concretamente, la fachada principal de la iglesia se alza sobre los restos de una iglesia románica.

De los perfiles de prospección realizados en el suelo en el interior del templo, sólo se observan anomalías significativas en los que cubren las zonas cercanas al muro dañado. El perfil P2 discurre paralelo al muro. El perfil P1 se inicia en la entrada y recorre la nave principal trazando una línea perpendicular al muro (figura 13.2). La figura 14.6 presenta dos sectores de los radargramas de los perfiles P1 y P2. La figura 14.6.a corresponde a los 15 primeros metros del perfil P1 y la figura 14.6.b antenas de 100 y 500 Mhz, respectivamente.



**Figura 14.6. Registros obtenidos en el perfil P1 (a) y en el perfil P2 (b) para determinar la posible existencia de zonas anómalas que pueden provocar las lesiones del muro Norte y de la torre de la iglesia. La separación entre líneas verticales es de 1 m sobre la superficie.**

Se observan reflexiones importantes y claras entre los 40 y los 50 ns que corresponden a 30 y 46 ns a partir de la reflexión en la superficie. Aceptando para la velocidad del suelo  $v = 8.5 \text{ cm/ns}$  (estimado en el capítulo anterior), los elementos anómalos reflectores se encuentran entre los 1.3 y 2 m de profundidad, siendo su anchura de 1 m. La zona de anomalías se halla próxima al sector dañado, no detectándose este tipo de reflexiones en otras zonas investigadas del suelo de la iglesia (perfiles P3, P4, P5 y P6 de la figura 13.2).

Estos registros muestran, por lo tanto, indicios de que las lesiones de los muros de la fachada Norte de la iglesia tienen su origen en asentamientos de la construcción ocasionados por los elementos anómalos del subsuelo. Eventualmente, factores

climatológicos pueden haber contribuido a aumentar el daño, tanto más si se considera que se trata de la cara Norte del edificio, más expuesta a las inclemencias del tiempo.

Las profundidades indicadas son orientativas, pues pequeñas variaciones en las constantes electromagnéticas del medio se traducen en diferencias de la velocidad que, a su vez, modifican la estimación de la profundidad. En el capítulo 16 se presenta una discusión detallada de los aspectos relacionados con los errores.

## **14.6. Resumen y conclusiones.**

Las fisuras, grietas y oquedades son un tipo de lesiones que se produce en edificios antiguos por causas mecánicas y, particularmente, por asentamientos diferenciales de la construcción que inducen tensiones importantes en los muros.

El radar de subsuelo ha demostrado ser una herramienta excelente para el diagnóstico y análisis de estos procesos patológicos siempre que las dimensiones de las anomalías sean resolubles por el equipo disponible.

En este capítulo se ha analizado el caso de la iglesia de San Jorge de Paiporta (Valencia) que en los muros de su fachada principal (en la cara Norte) presenta este tipo de lesiones.

El estudio con georradar de un área dañada en los muros la cara Norte de la torre ha permitido delimitar la zona deteriorada y estimar la velocidad de las ondas electromagnéticas en su interior. La velocidad es ligeramente mayor en las zonas dañadas que en las sanas, de acuerdo con lo que se espera en este tipo de patologías que aumentan la porosidad del medio. Con todo, los cambios de velocidad no son significativos y mucho menos importantes que en las lesiones por humedad, analizadas en el capítulo anterior.

También se ha investigado el subsuelo de la iglesia para analizar las causas posibles de las lesiones. Se ha detectado la existencia de anomalías intensas cerca

de los muros dañados. Estas anomalías se localizan a una profundidad de unos 2 m y no se detectan en otras zonas del templo. Por lo tanto, hay indicios de que las lesiones de los muros pueden tener su origen en asentamientos diferenciales de la construcción.

La resolución fina de este tipo de lesiones requiere otro tipo de métodos y equipos que los aquí utilizados que, sin embargo, han permitido obtener una buena aproximación al problema.