

Geofísica de alta resolución en ingeniería civil. Estudios en estructuras de hormigón utilizando geo-radar

Enrique LORENZO*, Vicente CUÉLLAR**

*Doctor en CC. Físicas. Escola Universitaria Politécnica. Universidade da Coruña

**Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Laboratorio de Geotecnia del CEDEX (MOPTMA)

RESUMEN

La gran capacidad de resolución de las antenas de 500 MHz y 1 GHz de los equipos de geo-radar ha abierto un nuevo campo de aplicaciones de la prospección geofísica como apoyo a la ingeniería civil. En este trabajo se estudian tres situaciones de interés en ingeniería en las que el geo-radar se manifiesta como una gran ayuda para la resolución y prevención de problemas relacionados con estructuras de hormigón. El primer estudio muestra cómo el geo-radar es útil para la detección de cavidades bajo superficies rígidas. El segundo caso describe la localización de tuberías en el subsuelo. Finalmente, en el tercer estudio se analizan las posibilidades de reconocer las varillas metálicas dentro de una masa de hormigón armado utilizando esta técnica.

Palabras clave: Geo-radar, cavidades, tuberías, hormigón armado, ingeniería civil.

ABSTRACT

The great resolution of 500 MHz and 1 GHz ground penetrating radar (GPR) antennas has opened a new way of application of geophysics in civil engineering problems. In this work three applications are shown, all of them in relation with concrete structures. The first case shows the ability of GPR to detect cavities under concrete surfaces. The second describes its possibilities to locate pipes in the ground. The last one proves how GPR can be used to find bars inside a mass of reinforced concrete.

Key words: GPR, cavities, pipes, reinforced concrete, civil engineering.

1. INTRODUCCIÓN

Las primeras publicaciones que tratan sobre la aplicación de las técnicas de radar en el conocimiento del subsuelo comienzan a aparecer sobre la mitad de los años 70. Estos primeros intentos de prospección con geo-radar encuentran sus campos de aplicación en minería (Unterberger, 1974) y aplicaciones de tipo geológico (Rubin y Fowler, 1977), tratando de buscar las condiciones de penetración máxima para este tipo de técnicas.

Poco a poco, con la aparición de equipos estandar de geo-radar y el diseño de antenas de mayor frecuencia, comienzan a popularizarse las aplicaciones más cercanas a la superficie. Dada la alta resolución de este tipo de antenas, están capacitadas para detectar elementos de pequeño tamaño (del orden de unos pocos centímetros) dentro del terreno, así como para discriminar capas de espesor inferior a los 10 - 20 cm. Surge así un nuevo campo de aplicaciones, donde en algunos casos se podría hablar de auscultación más que de prospección, pudiendo aplicar esta técnica al estudio de estructuras habitualmente fuera del alcance de los métodos geofísicos convencionales y de gran interés en el campo de la ingeniería civil.

Este es el caso de las estructuras constituidas a base de hormigón: muros, tuberías, losas, presas, revestimiento de túneles, firmes rígidos, etc., que son susceptibles de investigar su espesor, sus fisuras, localizar armaduras en su interior, estudiar el estado del terreno bajo ellas o detectar la presencia de humedad o filtraciones a través de ellas.

En el presente trabajo se analizan tres de estas situaciones: mapeado de zonas de despegue del terreno bajo una losa de hormigón, localización de tuberías en el subsuelo y detección de las varillas dentro del hormigón armado. El geo-radar utilizado es un modelo SIR-8 de GSSI con antenas de 500 y 900 MHz perteneciente al Laboratorio de Geotecnia del CEDEX.

2. ESTUDIO DEL TERRENO BAJO ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN: CAVIDADES BAJO SUPERFICIES RÍGIDAS

La detección de cavidades en el subsuelo supone un tema de continuo interés en el mundo de la ingeniería y de la construcción, tanto como estudio previo a la ejecución de una obra, como posible consecuencia de la propia obra en sí o simplemente por el efecto que causa su aparición en construcciones ya edificadas. Este efecto depende en gran medida del tipo de superficie situado sobre la cavidad. En general, si la superficie está constituida por el terreno natural, cabe esperar algún tipo de «aviso» en forma de ondulación superficial. De distinta naturaleza son los problemas que se producen por la aparición de cavidades bajo firmes o estructuras rígidas, tales como losas de hormigón o forjados de edificios; en este caso el colapso se puede producir de forma inesperada.

En este apartado se describen los resultados de una investigación llevada a

cabo en un Centro Formación Profesional en el norte de España, en el cual habían aparecido grietas en algunos de sus edificios y se había producido dos socavones en un sector ajardinado de su recinto. El perfil estratigráfico sobre el que se ubica el Centro está constituido por un substrato rocoso de tipo calcáreo altamente karstificado y de profundidad muy variable, sobre el que se apoya una capa de arcillas blandas a muy blandas, existiendo zonas con una capa superficial de relleno artificial. La existencia de un pozo de extracción de agua en las cercanías parece aumentar el riesgo de colapso en algunas zonas, ya que las extracciones masivas de agua pueden ir acompañadas por descensos bruscos del nivel freático (situado entre 1 y 2.5 metros de profundidad el día del estudio), lo que provoca el arrastre de materiales finos, dando lugar a que se produzcan cárcavas o dolinas en la superficie del terreno.

En la investigación realizada, parte de las zonas que interesaba estudiar estaban localizadas bajo superficies rígidas, especialmente una existente bajo una pista polideportiva al aire libre constituida por una losa de hormigón de unos 25 cm de espesor. La antena elegida para el estudio fue la de 500 MHz, considerada suficiente para resolver el posible despegue de la losa, si éste era importante, y de paso tratar de relacionar el despegue con algún otro reflector situado bajo él.

La existencia de una cavidad apreciable bajo uno de los laterales de la losa y que se prolongaba bajo ésta, permitió calibrar el tipo de reflexión producido por los despegues. En la figura 1 se recoge el perfil de 30 metros y rango de tiempos 30 ns que atraviesa dicha zona a la altura del metro 22, mientras que en la figura 2 se realiza una interpretación del registro obtenido. El registro del contacto losa- terreno muestra una inflexión entre los metros 20 y 23 que es re-

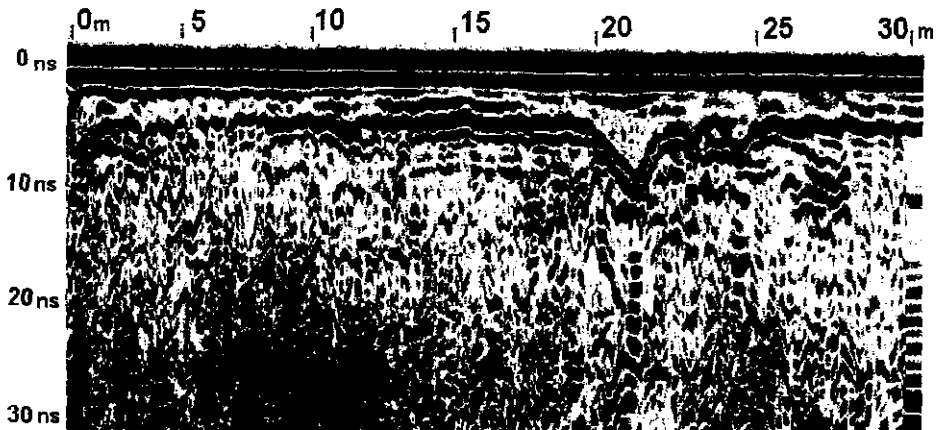


Fig. 1. Perfil de 30 metros realizado con la antena de 500 MHz y un rango tiempos de 30 ns sobre una losa de hormigón. En el metro 22 se observa la señal debida a una cavidad conocida.

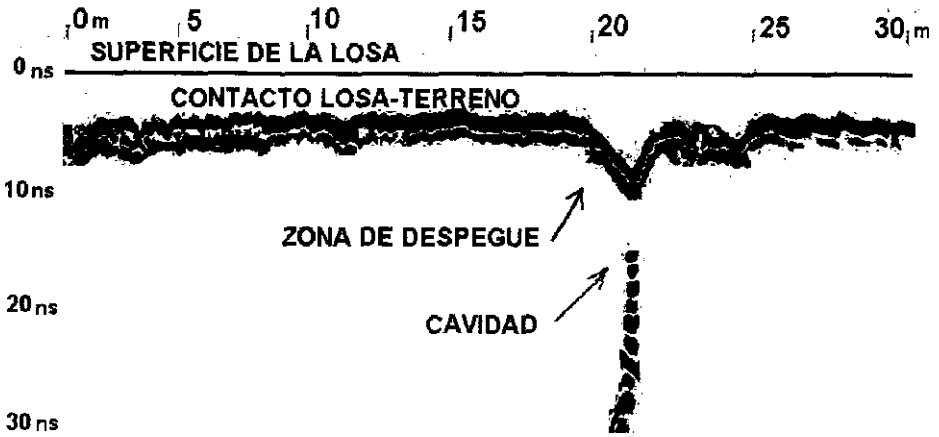


Fig. 2. Interpretación del registro de la figura 1.

presentativa del despegue entre ambos y que sirve de pauta para la interpretación del resto de perfiles que se realizaron sobre la losa. Justamente debajo del punto de máximo despegue se puede distinguir una reflexión de distintas características a las producidas por el terreno arcilloso a su alrededor considerada como representativa de cavidades de pequeñas dimensiones.

Como regla general se puede decir que en los registros obtenidos se pudo apreciar con nitidez el despegue de la losa con respecto al suelo, siendo muy difícil asociar este efecto a la presencia de cavidades bajo ellos, dada la com-

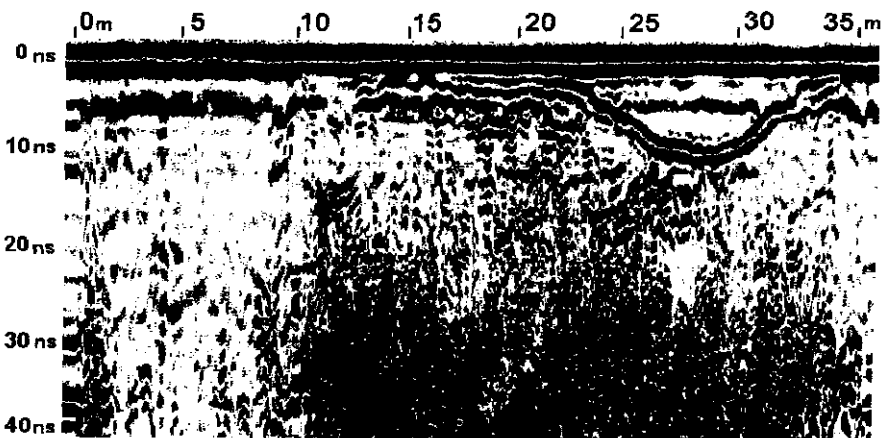


Fig. 3. Despegue de la losa de hormigón con respecto al suelo centrado entre los 23 y 32 metros (antena de 500 MHz, 40 ns de rango de tiempo, 35 m de longitud).

plejidad de las reflexiones provenientes del suelo arcilloso. En algunos de los registros fue posible diferenciar las reflexiones del contacto entre la base de la losa y el aire de la cavidad producida en el despegue, sin que se produjera solape con la reflexión del contacto aire-suelo, indicativa de la magnitud del despegue.

En la figura 3 se muestra el resultado de uno de los perfiles con una longitud total de 35 metros, utilizando la antena de 500 MHz y con una escala de tiempo doble de 40 ns. Hasta el metro 12 el perfil discurre por suelo natural (zona verde) para atravesar luego los 23 metros de ancho de la pista. Entre los metros 22 y 32 se puede apreciar el despegue del terreno bajo la losa que en su punto de máxima profundidad llega a alcanzar un metro de espesor.

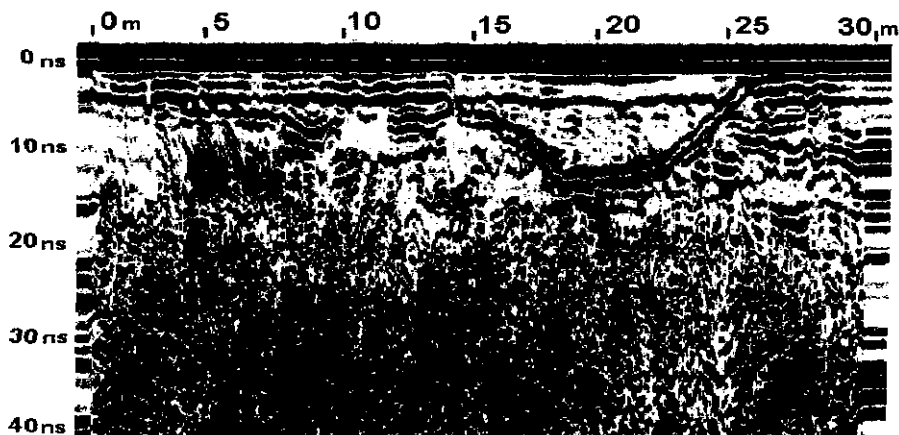


Fig. 4. Perfil perpendicular al de la figura 3 por la zona de despegue (antena de 500 MHz, longitud 30 m, escala de tiempos 40 ns).

En la figura 4 se incluye el resultado del perfil perpendicular al anterior en la zona de despegue. La similitud con el primero es grande, con la diferencia de que este perfil, de 30 metros, atraviesa la pista en sentido longitudinal y discurre totalmente sobre ésta, sin pasar por zona verde. Se puede apreciar con nitidez la magnitud del despegue entre los metros 15 y 25 aproximadamente.

Finalmente la figura 5 muestra un perfil paralelo al de la figura 3, separado de ésta 5 metros, y que también es representativo del estado del suelo bajo la losa. En ella no sólo se aprecia la continuación del despegue entre los 25 y 35 metros aproximadamente, sino que éste aparece prácticamente desde el comienzo de la losa en dos tramos, el anteriormente mencionado y otro desde los 13 hasta los 25 metros. En realidad la losa podría estar apoyada tan solo en tres puntos, al comienzo y final (metros 12 y 35) y a la altura del metro 25.

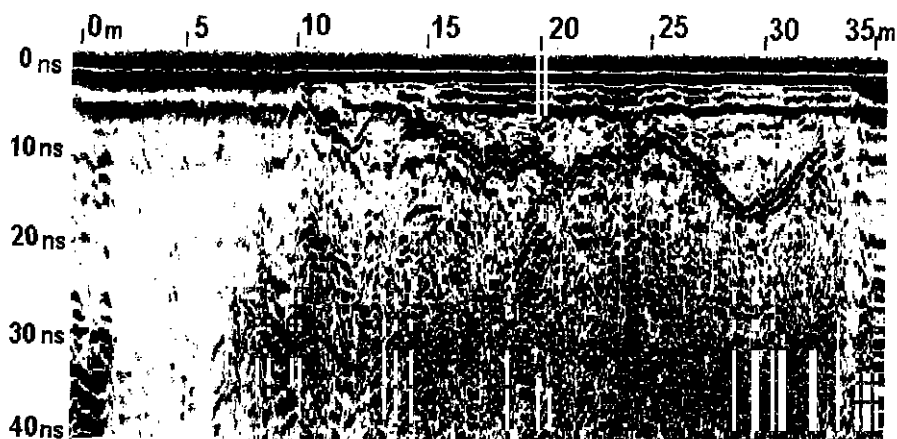


Fig. 5. Perfil paralelo al de la figura 3 en el que se observa cómo se prolonga el despegue de la losa (antena de 500 MHz, 40 ns de tiempo doble, 35 m de longitud).

El informe técnico posterior que contiene los trabajos que fueron realizados para recalzar la losa confirmó el importante estado de deterioro en que se encontraba el apoyo de ésta en el suelo, tal y como indicaban los registros efectuados con el geo-radar, pero no precisa con exactitud la situación concreta de los despegues. Éste se redactó casi un año y nueve meses después de la investigación que se ha presentado en este apartado, con lo que es posible que durante este tiempo se hubieran formado nuevas cavidades y evolucionado las existentes, ya de por sí suficientemente importantes como para justificar los trabajos de recalce realizados posteriormente.

3. ESTUDIO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN DENTRO DEL TERRENO: LOCALIZACIÓN DE TUBERÍAS

Cuando el geo-radar detecta una tubería, la geometría de ésta, habitualmente de sección circular, da como resultado la aparición de hipérbolas de reflexión en los registros. Estas formas pueden verse distorsionadas en función del contenido de la tubería: aquellas constituidas por materiales casi-dieléctrico (PVC u hormigón) vacías, o llenas de agua, provocan una primera reflexión en el contacto suelo - aire/agua y una segunda en el contacto aire/agua - suelo tal como se pone de manifiesto en el registro realizado por Ulriksen (1982) recogido en la figura 6. Gracias a la aparición de esta segunda reflexión es posible, midiendo el retraso entre ambas reflexiones, conocer el diámetro de la tubería, ya que la velocidad de propagación de las ondas en el aire o en el agua es bien conocida, y analizando la polaridad de la reflexión se puede estimar si proce-

de de una o de otra. El problema se complica en el caso de que la tubería esté parcialmente llena, pues aparecen reflexiones aire - agua que habitualmente solapan y enmascaran la reflexión de la base de la tubería.

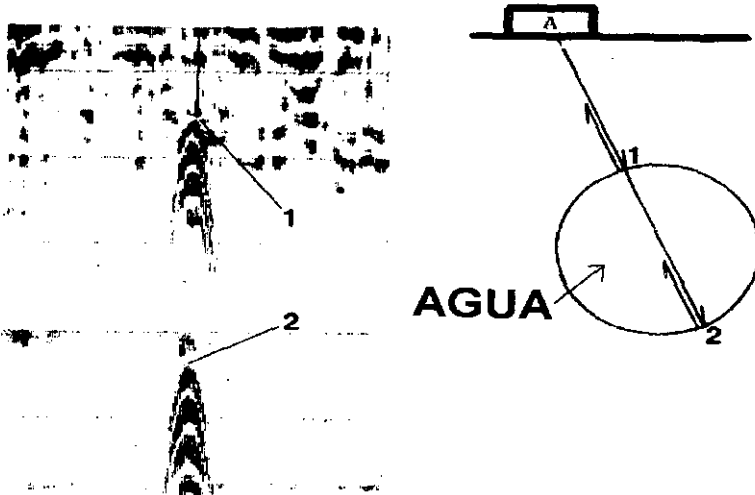


Fig. 6. Esquema y registro de las reflexiones de la señal del radar al atravesar una tubería (Ulriksen, 1982).

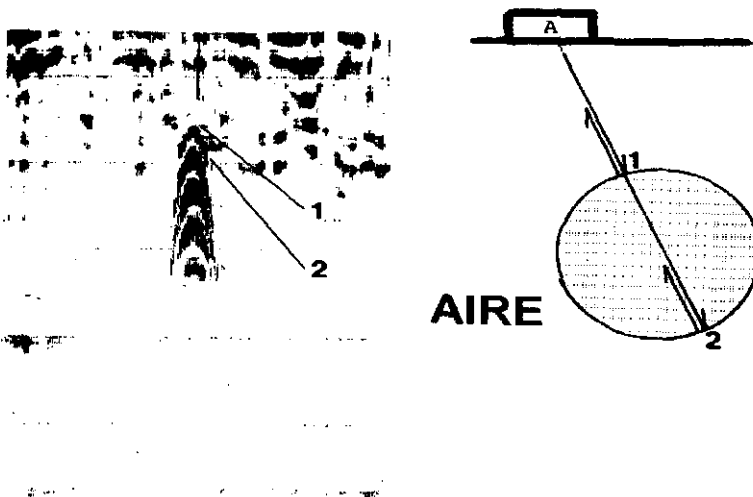


Fig. 7. Efecto que produciría en el registro de las reflexiones de la figura 6 la presencia de agua en lugar de aire en el interior de la tubería.

Un problema similar sucede cuando el diámetro de la tubería es pequeño en comparación con la duración de la señal en el tiempo. La duración del impulso más corto emitido por las antenas de geo-radar utilizadas en esta trabajo es del orden de 2 ns. Esto significa que si el diámetro es tal que la segunda reflexión se produce en un lapso de tiempo inferior a 1 ns ambas reflexiones interfieren

constructiva o destructivamente, dificultando la interpretación. El diámetro de la tubería de la figura 6 es de 30 cm y en el momento del estudio se encontraba llena de agua. Eso representa, al ser la velocidad de las ondas en el agua igual a 3 cm/ns, un retraso de 10 ns entre ambas reflexiones. En la figura 7 se ha reproducido sintéticamente el aspecto aproximado que hubiese tenido el registro de haberse encontrado la tubería llena de aire. La velocidad de propagación de las ondas en el aire es 10 veces superior a la del agua, con lo que el retraso entre ambas es de tan solo 1 ns, produciéndose interferencia entre las reflexiones.

El modelo puede complicarse aún más en el caso de que el espesor de las paredes de la tubería no se pueda despreciar frente a la longitud de onda de la señal empleada, como sucede en tuberías de hormigón de gran diámetro. En tal caso habría que considerar nuevas reflexiones entre el suelo y el material que constituya la tubería y entre este y el aire o agua.

Cuando la tubería es metálica no importa el fluido que contenga, ya que el metal actúa como un espejo para la señal del geo-radar reflejándola en su totalidad e impidiendo su paso a través de él. El aspecto de la reflexión producida por ellas es muy similar al de las tuberías no metálicas, siendo en muchos casos difícil diferenciarlas sin disponer de información adicional (como por ejemplo la magnitud o la polaridad del impulso reflejado). Una aplicación bastante extendida del radar en la investigación de tuberías consiste en localizar posibles fugas en ellas. Una vez situada la tubería no resulta complicado seguirla longitudinalmente; en el caso de existir en algún punto una fuga, por ejemplo, de agua, ésta aparecería en forma de anomalía relacionada con el material del entorno de la tubería debido al cambio de propiedades electromagnéticas que en él provoca dicho líquido.

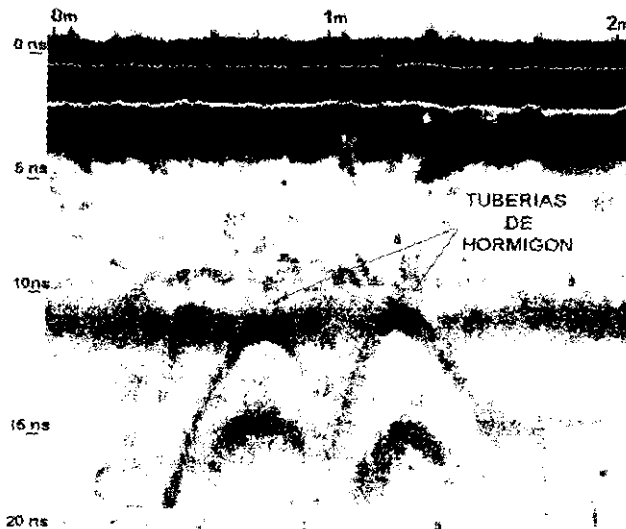


Fig. 8. Tuberías de hormigón identificadas con la antena de 900 MHz y 20 ns de rango de tiempos.

La profundidad a la que se encuentran las tuberías en el subsuelo suele ser reducida, por lo que es posible intentar su localización con las antenas de mayor frecuencia (500-1000 MHz) que, además, aportan la resolución adecuada para el pequeño diámetro que presentan muchas de ellas (del orden de centímetros). La figura 8 muestra un registro obtenido con la antena de 900 MHz sobre dos tuberías de hormigón de diámetro conocido (unos 35 cm) situadas bajo un bloque de hormigón de 0.5 m de altura.

Las tuberías destacan como dos grandes hipérbolas que se cruzan lateralmente. Dichas tuberías discurrían parcialmente llenas de agua, sin embargo en el registro no es posible diferenciar reflexiones que pudieran provenir de ésta, así como tampoco de la parte inferior de ambas tuberías. Posiblemente la causa se deba a una utilización insuficiente de las ganancias en el registro y especialmente en la parte inferior de la escala de tiempos.

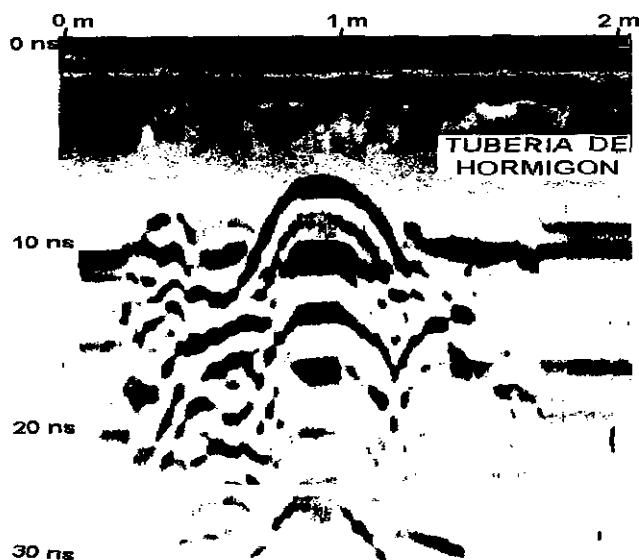


Fig. 9. Registro de una tubería de hormigón de 70 cm de diámetro obtenido con la antena de 900 MHz y un rango de 30 ns.

La figura 9 recoge un perfil similar al anterior consistente en una sola tubería de hormigón que está comunicada con las anteriores y discurre enterrada en el terreno. El diámetro de esta tubería es el doble de las anteriores. El registro es mucho más claro a pesar de estar realizado bajo circunstancias similares al de la figura 8. La causa más probable hay que buscarla en el tipo de superficie que cubre las tuberías en estos registros. Mientras que en el perfil de la figura 8 las tuberías están situadas bajo un bloque de hormigón, en el perfil de la figura 9 la tubería está cubierta por suelo natural seco. El bloque de hormigón actúa como un filtro para las frecuencias más elevadas en comparación con el suelo, con lo que el registro resulta mucho más tenue y menos definido. Por el contrario, en

la tubería de la figura 9 es posible apreciar reflexiones internas a la tubería y de su parte inferior, siendo complicado tratar de separar el efecto de unas y otras.

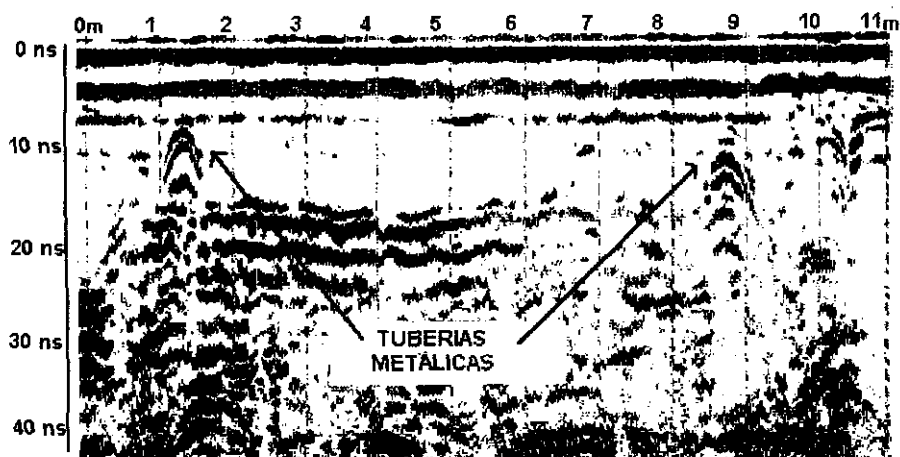


Fig. 10. Tuberías metálicas de unos 5 cm de diámetro localizadas con la antena de 500 MHz con un rango de 40 ns.

Los reflectores anteriores son de dimensiones importantes en relación con la longitud de onda de la antena empleada, sin embargo, como se muestra en la figura 10, se obtiene una respuesta similar en las tuberías de dimensiones inferiores, correspondiendo el siguiente ejemplo a un perfil realizado con la antena de 500 MHz sobre unas pequeñas tuberías metálicas de unos 5 cm de diámetro y que, por similitud, sirve de introducción al siguiente apartado dedicado al reconocimiento de las varillas metálicas que, a modo de armaduras, se sitúan en el interior de algunas estructuras de hormigón.

4. ESTUDIO DE ELEMENTOS SITUADOS DENTRO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN: LOCALIZACIÓN DE ARMADURAS

En el apartado anterior se trató el problema de la localización de tuberías constituidas por hormigón y se comentó el tipo de reflexión esperada por tuberías constituidas por materiales conductores (metálicos). La reflexión en la tubería metálica no se comporta igual que en el resto de tuberías, ya que el impulso del radar no es capaz de atravesar el grosor de su pared, reflejándose en su practica totalidad de vuelta hacia la antena. En este sentido el comportamiento del impulso del geo-radar es el mismo que si en su trayecto por un medio tropezase con cualquier otro elemento metálico, con lo que una vez tenido en cuenta el efecto de la geometría, el estudio de este tipo de reflectores puede hacerse de manera similar para todos ellos.

Pero si la similitud entre las reflexiones de tuberías metálicas y no metálicas se debe a la propia semejanza entre sus geometrías (sección circular), que permite reconocerlas entre otros reflectores, existen también otros elementos metálicos de cuya morfología cabe esperar reflexiones de características análogas a las de las tuberías metálicas. Dentro de este grupo se encuentran las armaduras y mallazos presentes en muchos casos dentro de bloques o estructuras de hormigón, tal y como se muestra en el registro de la figura 11, que contiene las reflexiones producidas por 6 varillas introducidas como armadura dentro de una estructura de hormigón.

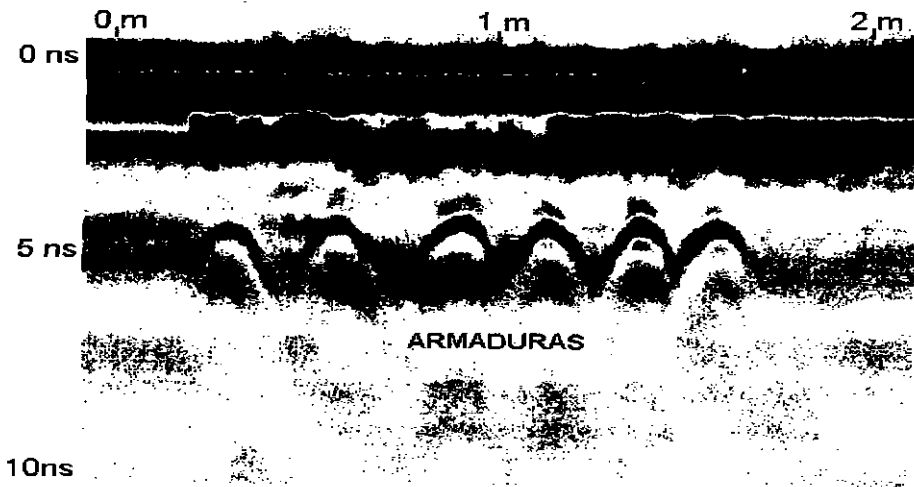


Fig. 11. Armaduras dentro de un bloque de hormigón localizadas con la antena de 900 MHz (trango de tiempos 10 ns).

En realidad, el problema de la reflexión de la señal en una varilla es exactamente el mismo que si se tratase de una tubería de acero de diámetro igual de pequeño que el de una armadura (ésta puede imaginarse como una tubería maciza, donde el interior no colabora en la reflexión ya que la reflexión se produce íntegramente en su superficie). La diferencia entre ambas está principalmente en sus dimensiones: el diámetro de las barras de las armaduras varía entre 4 y 50 mm y el de los mallazos entre 4 y 14 mm. No obstante las antenas de frecuencias del orden de 1 GHz ofrecen resolución suficiente como para detectarlas y discriminar las reflexiones producidas en varillas próximas entre sí.

En este sentido resulta fundamental la velocidad de desplazamiento de la antena sobre la superficie del hormigón: dadas las reducidas dimensiones de las varillas y su cercanía física es necesario mover la antena lentamente con el fin de que la traza resultante, que no es más que una reconstrucción-promedio de un elevado número de impulsos reflejados a lo largo del subsuelo sobre el que se ha movido la antena, contenga una aportación suficiente de reflexiones debidas al acero de la armadura como para poder definir su hipérbola caracte-

rística. En la figura 12 se ilustra el efecto de la velocidad de desplazamiento de la antena sobre el aspecto del registro del radar, mostrando dos perfiles realizados con la antena de 900 MHz sobre una misma losa de hormigón armado desplazando la antena a velocidades de 1 m/s y 0.2 m/s y manteniendo la unidad central registrando a 25 trazas por segundo.

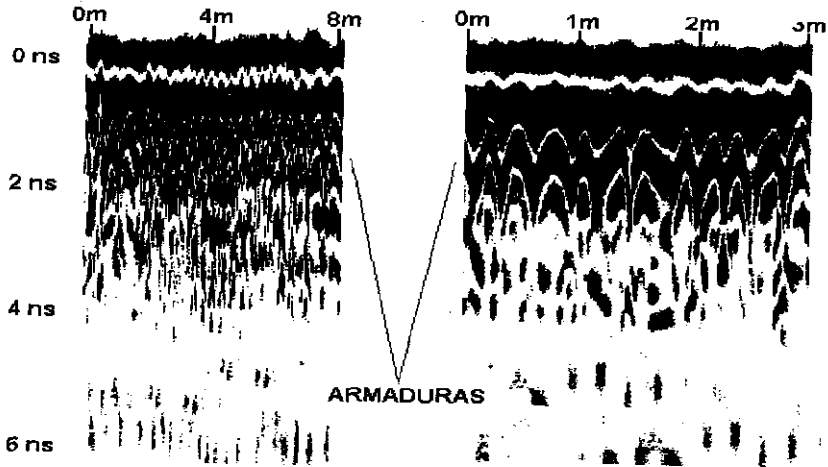


Fig. 12. Influencia de la velocidad de desplazamiento de la antena en la detección de armaduras (izquierda 1 m/s, derecha 0.2 m/s) (antena de 900 MHz, 10 ns de rango).

En el registro situado a la izquierda en la figura 12 resulta complicado reconocer las armaduras individualmente debido a que velocidad a la que se desplazó la antena fue excesivamente alta; en el registro de su derecha es posible incluso contar las varillas a pesar de que sus hipérbolas se superponen parcialmente.

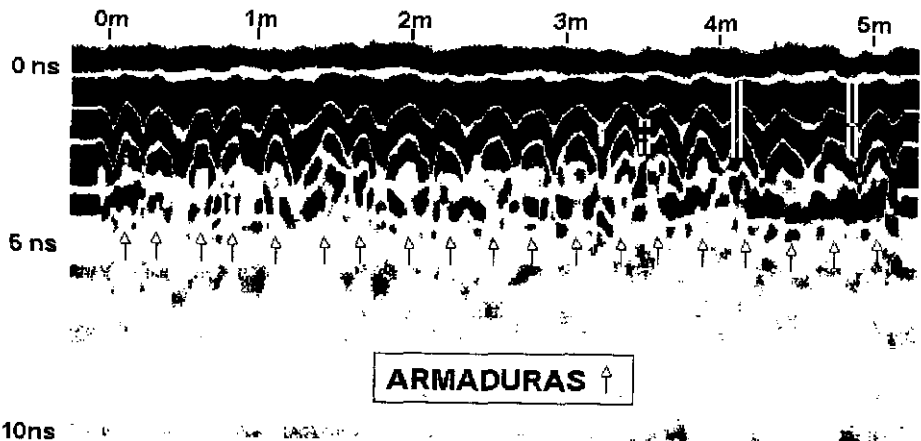


Fig. 13. Armaduras localizadas dentro de una losa de hormigón empleando la antena de 900 MHz y un rango de tiempos de 10 ns.

Por su parte, la figura 13 consiste en un perfil de 5 metros realizado sobre la losa anterior en el que puede apreciarse que la densidad de armaduras transversales a la dirección de movimiento de la antena es una varilla cada 25 cm. La poca profundidad a que se encuentran hace que se superpongan sus reflexiones con la señal directa entre dipolos de la antena de 900 MHz y con la reflexión de la superficie de la losa.

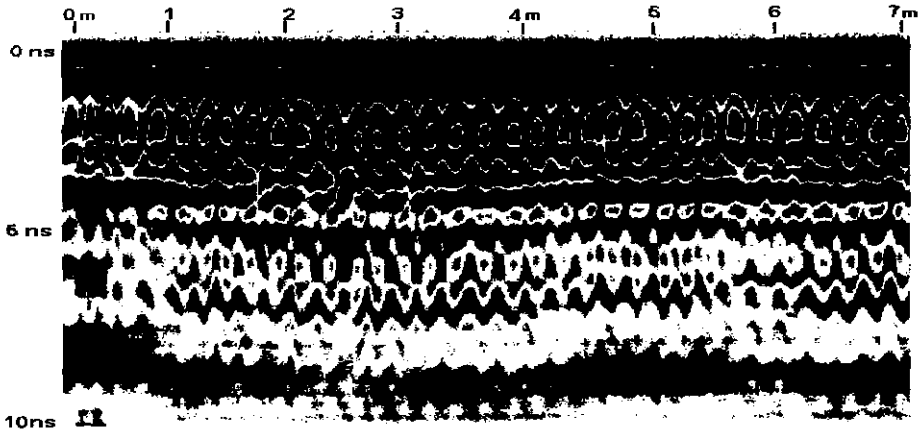


Fig. 14. Registro sobre losa de hormigón con dos niveles de armaduras (antena de 900 MHz, rango 10 ns).

En la figura 14 se incluye un nuevo registro sobre losa de hormigón armado obtenido con la antena de 900 MHz, la más indicada para este tipo de estudios, en el que es posible observar el efecto que produce la presencia de dos niveles de varillas en el interior de la losa, pudiendo apreciarse en este caso que la densidad de armaduras es de una cada 20 cm. El varillaje superior se identifica por las hipérbolas que produce en la parte superior del registro, en analogía con el del registro de la figura 13. Por debajo de 4 ns, es posible reconocer otro conjunto de hipérbolas, menos definidas que las anteriores, pero igualmente identificables. Resulta complicado fijar el instante de llegada de estas últimas reflexiones pero no así su situación, ya que las hipérbolas ganan en nitidez en la parte inferior del registro.

Como último ejemplo de la capacidad de resolución de la antena de 900 MHz en este tipo de aplicaciones se ha seleccionado en la figura 15 un registro correspondiente a un firme de carreteras compuesto por 3 capas: la primera, de 5-6 cm, de mezcla bituminosa, una segunda de espesor variable (entre 10 y 25 cm) constituida por hormigón de regulación y una tercera capa de hormigón armado. Debido al reducido espesor de la capa de asfalto no es posible diferenciarla de la señal de la superficie; sin embargo el contacto entre el hormigón armado y la capa de nivelación de hormigón es apreciable, así como las

armaduras presentes en forma de pequeñas hipérbolas a una profundidad variable equivalente a 5-8 ns. La mayor distancia a la que se encuentran situadas estas armaduras, unido al efecto de la velocidad de movimiento de la antena, imposibilita reconocer en este caso la densidad de armaduras.

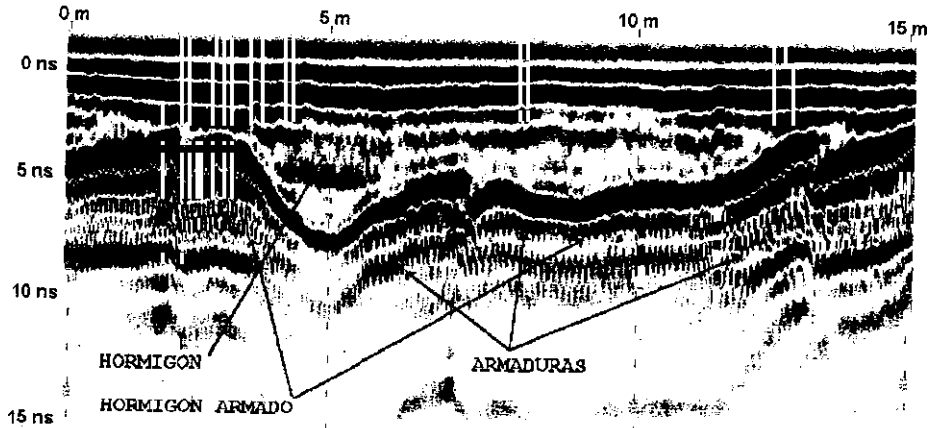


Fig. 15. Registro de 15 metros sobre un firme de carreteras con presencia de armaduras en el hormigón de la subbase (antena de 900 MHz, rango 15 ns).

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se han presentado ejemplos que ponen de manifiesto como el geo-radar puede servir de gran ayuda en la resolución y conocimiento de problemas relacionados con la ingeniería civil y la construcción, centrandose los casos mostrados en investigaciones llevadas a cabo en estructuras de hormigón.

Mediante el empleo de antenas de frecuencias superiores a 500 MHz fue posible detectar el despegue de una losa de hormigón de 25 cm respecto al suelo sobre la que debía estar apoyada. Los registros que se producen en este tipo de situaciones son muy característicos y fácilmente identificables, por lo que el geo-radar puede servir para rastrear estos problemas en zonas de interés, como pueden ser pistas de aeropuertos o firmes de carretera rígidos.

Con respecto a la detección de tuberías, la poca profundidad a la que suelen estar enterradas favorece su localización con geo-radar, habiéndose mostrado ejemplos del tipo de reflexión que producen tanto tuberías de materiales casi-dieléctricos (hormigón) como conductores (metálicas), y que se asocian a hipérbolas bien definidas que permiten reconocerlas entre otros reflectores.

Por último, se ha demostrado la utilidad de las antenas de mayor frecuencia para identificar el número y separación de varillas metálicas existentes en

una masa de hormigón armado a pesar de que el diámetro de éstas pueda ser inferior al centímetro, con la consiguiente aplicación a estudios de control de calidad en este tipo de estructuras.

6. AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría dejar constancia de nuestro sincero agradecimiento a la Dra. Dña. María del Carmen Hernández Lucendo del Departamento de Geofísica y Meteorología de la Facultad de CC. Físicas (UCM), codirectora de la Tesis Doctoral de Enrique Lorenzo de la cual están extraídos los trabajos presentados en el presente artículo.

7. REFERENCIAS

- LORENZO, E. (1994): *Prospección Geofísica de Alta resolución Mediante Geo-radar. Aplicación a Obras Civiles*. Memoria presentada para la obtención del grado de Doctor en Ciencias Físicas. UCM. 203 p.
- RUBIN, L. A., y FOWLER, J. C. (1977): «Ground probing radar for delineation of rock features». *Engineering Geology*, 12, p.163-170.
- ULRIKSEN, C. P. (1982): *Application of Impulse Radar to Civil Engineering*. Ph. D. Thesis, Department of Engineering Geology, Lund University of Technology, 175 p.
- UNTERBERGER, R. R. (1974): *Electromagnetic wave propagation in salt, probing into salt with radar*. 4th Symposium on salt, v. 2, Rock Mechanics & Geophysics. A. H. Coogan ed., p. 11-26.