



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea



Ingeniaritza Goi Eskola Teknikoa  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Bilbao

# GEORADAR: ÁMBITOS DE INTERÉS, FUNCIONAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE SEÑAL

Trabajo Fin de Máster



infra  
estructuras



Alumna: **CAROLINA VARGAS BARROS**

Directores: **Dr. IGNACIO PIÑERO SANTIAGO**

**Dr. IGNACIO MARCOS RODRÍGUEZ**

**Máster en Ingeniería de la Construcción**

**TECNALIA- UPV/EHU**

Septiembre, 2017

## INDICE

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>1 CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.1.1 <i>Ensayos No Destructivos</i> .....	1
1.1.2 <i>El Georadar</i> .....	4
1.1.3 <i>Aplicaciones del GPR en diferentes áreas</i> .....	6
1.1.4 <i>Aplicaciones del GPR en el análisis de estructuras</i> .....	7
1.2 OBJETIVOS DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER.....	8
1.2.1 <i>Objetivo principal</i> .....	8
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	9
1.3 ESTRUCTURA DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER.....	9
1.4 RELEVANCIA Y UTILIDAD DEL TFM .....	13
<b>2 CAPITULO 2. SITUACIÓN ACTUAL DEL GEORADAR, ÁMBITOS DE INTERÉS .....</b>	<b>15</b>
2.1 INTRODUCCIÓN .....	15
2.2 APLICACIONES DEL GPR EN DIFERENTES ÁREAS.....	15
2.3 ESTADO DEL ARTE .....	19
2.3.1 <i>Medida del radio de las barras de acero en el hormigón usando una imagen digital de GPR</i> .....	20
2.3.2 <i>Medición de espesor de pavimento con GPR</i> .....	21
2.3.3 <i>Puente Luiz Bandeira, Oliveira de Frades, Portugal:</i> .....	22
2.3.4 <i>Detección de bóvedas de ladrillo de un edificio histórico</i> .....	24
2.3.5 <i>Evaluación del recubrimiento en puente en Roanoke Texas.</i> .....	25
2.3.6 <i>Espesor de gunitado, humedad y anclajes del túnel de Serió, Madrid-Galicia, del tren de alta velocidad.</i> .....	26
2.3.7 <i>Detección y cuantificación de la corrosión usando GPR</i> .....	28
2.4 NORMATIVA EXISTENTE .....	29
2.4.1 <i>Norma ASTM 6432 – 11</i> .....	30
2.4.2 <i>Norma ASTM D6087 – 08</i> .....	30
2.5 CONCLUSIONES.....	31
<b>3 CAPÍTULO 3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL GPR .....</b>	<b>33</b>
3.1 GENERALIDADES.....	33
3.1.1 <i>Ecuaciones de Maxwell</i> .....	34
3.1.2 <i>Ecuaciones del GPR</i> .....	34
3.2 PARÁMETROS ELECTROMAGNÉTICOS .....	35
3.2.1 <i>Conductividad</i> .....	35
3.2.2 <i>Permitividad eléctrica</i> .....	35
3.2.3 <i>Velocidad de propagación y Longitud de Onda</i> .....	35
3.2.4 <i>Factor de atenuación</i> .....	36
3.2.5 <i>Reflexión y refracción</i> .....	36
3.3 TOMA DE MEDIDAS .....	38
3.3.1 <i>Ventana temporal</i> .....	39
3.3.2 <i>Representación de las medidas</i> .....	40
3.3.3 <i>Selección de Pulso</i> .....	41
3.3.4 <i>Selección de la frecuencia de muestreo</i> .....	42
3.4 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN DE GPR.....	43
3.4.1 <i>Filtro (dewow)</i> .....	43
3.4.2 <i>Filtro FIR</i> .....	43
3.4.3 <i>Deconvolución Predictiva</i> .....	44

---

3.4.4	Migración .....	44
3.4.5	Transformada Rápida de Fourier (TDF).....	45
3.4.6	Transformada Hilbert.....	45
3.4.7	Procedimientos de Corrección de Señales .....	45
3.5	CONCLUSIONES .....	47
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO 4. GEORADAR RAMAC/GPR, COMPONENTES, CONFIGURACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LA SEÑAL .....</b>	<b>49</b>
4.1	DESCRIPCIÓN DEL RADAR UTILIZADO .....	49
4.2	COMPONENTES.....	50
4.2.1	La Unidad de Control CUII .....	50
4.2.2	Monitor XV11 .....	51
4.2.3	Antenas apantalladas .....	53
4.2.4	Odómetros .....	56
4.2.5	Fuentes de alimentación, fibra óptica y cables de comunicación .....	57
4.3	PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN .....	58
4.3.1	Antenna (Antena).....	59
4.3.2	Time Window (Ventana de tiempo) .....	60
4.3.3	Velocity (Velocidad).....	60
4.3.4	Adquisition Mode (Modo de adquisición) .....	61
4.3.5	Wheel (Rueda).....	61
4.3.6	Point Interval (Intervalo de muestreo) .....	61
4.3.7	Adquisition parameters (Parámetros de adquisición).....	62
4.3.8	Signal Parameters (Parámetros de la señal) .....	62
4.3.9	Display Parameters (Parámetros de visualización) .....	63
4.4	SOFTWARE GROUNDVISION 1.4.5.....	64
4.4.1	Interfaz de usuario .....	64
4.4.2	Formato de los archivos .....	65
4.4.3	Aplicación de filtros.....	66
4.5	SOFTWARE REFLEXW .....	70
4.6	CONCLUSIONES .....	71
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO 5. APLICACIÓN EN INFRAESTRUCTURAS: PUENTE SOBRE EL RÍO CADAGUA EN LA QUADRA.....</b>	<b>73</b>
5.1	INTRODUCCIÓN .....	73
5.2	OBJETO DE LA PRÁCTICA.....	73
5.3	PROSPECCIÓN CON GEORADAR EN EL PUENTE DE LA QUADRA.....	74
5.3.1	Descripción general del puente:.....	74
5.3.2	Realización del ensayo .....	78
5.3.3	Configuración parámetros de entrada.....	79
5.4	RESULTADOS OBTENIDOS .....	84
5.4.1	Antena 1.6 GHz – Dirección 1.....	84
5.4.2	Antena 1.6 GHz – Dirección 2.....	86
5.4.3	Antena 800MHz – Dirección 1.....	88
5.4.4	Antena 800MHz – Dirección 2.....	91
5.4.5	Antena 800 MHz – Vía Férrea .....	94
5.4.6	Antena 1.6 GHz – Vía Férrea .....	94
5.5	CONCLUSIONES .....	95
<b>6</b>	<b>CAPÍTULO 6. APLICACIÓN EN EDIFICACIÓN EDIFICIO DE LA ALHÓNDIGA EN BILBAO .....</b>	<b>97</b>
6.1	INTRODUCCIÓN .....	97
6.2	OBJETO DE LA PRÁCTICA.....	97
6.3	ANTECEDENTES DEL EDIFICIO .....	98
6.4	PROSPECCIÓN CON GEORADAR EN EL EDIFICIO DE LA ALHÓNDIGA.....	98
6.4.1	Descripción General .....	99
6.4.2	Realización del ensayo .....	100

---

6.4.3	<i>Configuración y parámetros de entrada</i> .....	102
6.5	RESULTADOS OBTENIDOS .....	103
6.5.1	<i>Planta tercer nivel</i> .....	103
6.5.2	<i>Planta segundo nivel</i> .....	107
6.5.3	<i>Planta de primer nivel</i> .....	110
6.6	CONCLUSIONES .....	113
<b>7</b>	<b>CAPÍTULO 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>115</b>
7.1	INTRODUCCIÓN .....	115
7.2	OBJETIVO DEL CAPÍTULO .....	115
7.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA APLICACIÓN EN INFRAESTRUCTURAS EN EL PUENTE SOBRE EL RÍO CADAGUA .....	116
7.3.1	<i>Cálculo aproximado de un espesor capa de rodadura</i> .....	117
7.3.2	<i>Estimación de espesor de balasto vía férrea</i> .....	121
7.3.3	<i>Ubicación y espesor de las traviesas de la vía férrea</i> .....	123
7.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS APLICACIÓN EN EDIFICACIÓN EN EDIFICIO DE LA ALHÓNDIGA. ....	124
7.4.1	<i>Análisis de elementos estructurales del tercer nivel</i> .....	125
7.4.2	<i>Análisis elementos estructurales del segundo nivel</i> .....	131
7.4.3	<i>Análisis de elementos estructurales del primer nivel</i> .....	132
7.5	CONCLUSIONES .....	134
<b>8</b>	<b>CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES</b> .....	<b>135</b>
8.1	INTRODUCCIÓN .....	135
8.2	CONCLUSIONES .....	136
8.2.1	<i>Conclusiones referidas al problema.</i> .....	136
8.2.2	<i>Conclusiones referidas a los fundamentos teóricos.</i> .....	137
8.2.3	<i>Conclusiones referidas a los fundamentos de la tecnología Georadar, su configuración e interpretación.</i> .....	138
8.2.4	<i>Conclusiones referidas a la aplicación.</i> .....	139
8.2.5	<i>Conclusiones con respecto a los resultados obtenidos.</i> .....	140
8.3	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS .....	141
8.3.1	<i>Vías metodológicas</i> .....	141
8.3.2	<i>Vías hacia otros campos de aplicación.</i> .....	142
<b>9</b>	<b>CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>143</b>

## AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a todas las personas que han contribuido para poder llevar a cabo este Trabajo de Fin de Máster.

En primer lugar a mi tutor de investigación Dr. Ignacio Piñero, Investigador y Tecnólogo del departamento de Infraestructuras en la División de Construcción Sostenible de TECNALIA. Así mismo a mi tutor de Trabajo de Fin de Máster Dr. Ignacio Marcos Rodríguez de la Escuela Universitaria de Ingeniería de Bilbao. A ambos por confiar en mí para realizar ésta investigación, por guiarme, animarme y apoyarme incondicionalmente en este proceso de formación.

También agradezco a Javier Bengoetxea por toda la información que me ha facilitado y a Jesús Lucena por su aporte de conocimientos en el manejo del equipo, ya que debido a su ayuda he podido avanzar mucho más rápido en este proceso, resolviendo todas las dudas y problemas que se me han presentado en la etapa de reconocimiento del equipo, como también a Rosa San Mateos por facilitarme todas las herramientas disponibles en TECNALIA y a Darlington Mensah de Panatec por su información.

Agradezco también Jesús Isoird director del área de Infraestructuras de la División de Construcción sostenible por la oportunidad para realizar esta práctica y llevar poder llevar a cabo mi Trabajo de Fin de Máster y así mismo a toda el Área de Construcción Sostenible de TECNALIA por su acogida y su ayuda; y al grupo de investigación de Gobierno Vasco IT781-13 conformado por la UPV/EHU y TECNALIA.

También quiero agradecer a las personas que me han apoyado incondicionalmente en mi proceso de vida, haciéndomela más tranquila y llevadera que son mis padres y mi familia, especialmente a Ismael Rodríguez Alonso y a mi padre Hernando Vargas Hoyos quienes siempre han confiado en mis capacidades.

A todos: Muchas Gracias!!!

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

### 1.1.1 Ensayos No Destructivos

Se denomina Ensayo No Destructivo (también llamado END, o en inglés NDT de Non Destructive Testing) a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales.

Los Ensayos No Destructivos implican un daño imperceptible o nulo. Los diferentes métodos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada.

En general los Ensayos No Destructivos proveen datos menos exactos acerca del estado de la variable a medir que los Ensayos Destructivos. Sin embargo, suelen ser más baratos para el propietario de la pieza a examinar, ya que no implican la destrucción de la misma. En ocasiones los Ensayos No Destructivos buscan únicamente verificar la homogeneidad y continuidad del material analizado, por lo que se complementan con los datos provenientes de los Ensayos Destructivos.

La amplia aplicación de los métodos de Ensayos No Destructivos en materiales se encuentran resumidas en los tres grupos siguientes:

- ✓ Defectología. Permite la detección de discontinuidades, evaluación de la corrosión y deterioro por agentes ambientales; determinación de tensiones; detección de fugas.
- ✓ Caracterización. Evaluación de las características químicas, estructurales, mecánicas y tecnológicas de los materiales; propiedades físicas (elásticas, eléctricas y electromagnéticas); transferencias de calor y trazado de isothermas.