

Fernando Israel Rial Villar

CHARACTERIZATION AND ANALYSIS OF GPR
BOWTIE ANTENNAS. APPLICATION IN ROAD
SURVEYS.

*ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE ANTENAS
BOWTIE. APLICACIÓN A LA TOMA MASIVA DE
DATOS EN CARRETERAS MEDIANTE GPR.*

Supervised by / Supervisado por

**Henrique Lorenzo Cimadevila
Pedro Arias Sanchez**



Department of Natural Resources & Environmental Engineering
University of VIGO
*Departamento de Ingeniería de los Recursos Naturales y Medioambiente
Universidad de VIGO*

- OPTA AL DOCTORADO EUROPEO -

Pontevedra, 2007

Abstract

Preservation and restoration of the transportation infrastructure is a global concern, and it affects the lives of all citizens in all countries. Cost effective methods are essential given the scale of the problem and the ever-increasing cost to address it. GPR is an emerging powerful technology and it represents a cost effective tool that can contribute significantly towards achieving a wider range of tasks needed to secure safety and quality, and to monitor the health and performance of transportation infrastructure.

The present work can be viewed as being part of the framework of a larger project of which the main aim is the calibration and setting up of a radar system for road evaluation at speeds that do not obstruct traffic. The project is developed in two phases, each one of them focused on the two main objectives mentioned before: “*calibration*” and “*setting up*” of a radar system for road evaluation (...). The first of them, *calibration*, is the main goal of the present doctoral work. More precisely, this dissertation gathers the assumptions, methodologies, developed works and obtained results in order to reach a deep knowledge of a RAMAC GPR system belonging to the Close Range Remote Sensing and Photogrammetry Group (TF1) of the University of Vigo. This knowledge will allow testing of the versatility and suitability of a system not designed specifically for road evaluation purposes. The equipment is submitted to different experimental methodologies and control tests in order to obtain objective and factual information about its advantages and limitations, as well as its performance in actual field work conditions.

The synopsis of this work is divided into three sections. Part one, sets the work in context from a general perspective (GPR equipment, antennas, theoretical background, etc) but pays special attention to studies, uses and applications related to GPR in traffic infrastructure surveys. Part two constitutes the proposal of this PhD work itself. It consists of five relatively independent chapters with a common scientific-publication structure (0 Abstract, 1 Introduction, 2 Previous Considerations, 3 Methodology, 4 Results, 5 Discussion and Conclusions, 6 References).

When talking about radar system calibration one must consider two main categories: On the one hand, it is necessary to obtain a better understanding of the nature and characteristics of the signal and radiated field emitted by the antennas; these antennas, although subjected to a strict design process and exhaustive quality control tests, present, in general, slight differences in terms of performance and evolution in the

course of time. Specifically, chapters 1, 3 and 4 evaluate important parameters of the 500, 800 and 1000 MHz antennas under test, such as radiation pattern, resolution, and characteristics of the emitted signal. On the other hand, it is mandatory to consider the influence of a component of the system that has not been profusely studied in the specialized bibliography, the control unit. The control unit is of capital importance in the overall system stability and processing capacity, two fundamental characteristics in road evaluation studies. The evaluation of these two characteristics is the main topic of chapters 2 and 5, respectively. More in detail, the contents of each chapter are:

Chapter 1 - The main characteristics of the control unit and antennas under study are described. Detailed analysis of the signal emitted by the antennas is performed in time and frequency domains. In order to obtain this source wavelet some methodologies are proposed. Characterization of spreading losses and time zero determination are also discussed.

Chapter 2 - In this chapter different tests are carried out in order to evaluate and characterize the stability of the equipment, and they constitute a proposal for determining possible errors in the system and for verifying their normal operation.

Chapter 3 - In the third chapter a set of experiments designed to characterize the electric field emitted by the antennas are presented. Following two different methodologies, antennas' radiation patterns in air are shown and discussed.

Chapter 4 - In this chapter, the first results of a set of experiments about the resolution capabilities of the antennas are presented. These results are compared with theoretical estimations. The obtained conclusions constitute a step in order to establish the real bounds for the detection capability of these particular antennas.

Chapter 5 - Considering the type of applications where data acquisition speed is an outstanding factor, a series of experiments having the main objective of evaluating the real processing capacity of the equipment under different configurations are described and tested. The knowledge of the advantages and limitations of the system help to establish confidence boundaries for different antenna configurations.

Finally, as an epilogue, the general conclusions of the whole work are summarized in the third part of this manuscript, including suggestions and proposals for next future work.

Resumen

La conservación y restauración de las infraestructuras de transporte es un tema de interés global, e influye en las vidas de todos los ciudadanos de cualquier país. Dada la magnitud del problema, y de que los gastos destinados a solucionarlo son cada vez mayores, es esencial la utilización de métodos efectivos y rentables. El GPR surge como una tecnología con un enorme potencial para llevar a cabo una amplia variedad de tareas necesarias para garantizar la seguridad y calidad de las infraestructuras de transporte, así como para monitorizar su estado y su nivel de rendimiento.

El presente trabajo se encuadra dentro de un proyecto de orden superior que tiene como objetivo la calibración y puesta a punto de un sistema radar para la evaluación de firmes de carretera a velocidad suficiente y sin necesidad de interrumpir el tráfico rodado. El proyecto se desarrolla en dos fases, focalizada cada una de ellas en los dos grandes objetivos citados anteriormente: "*calibración*" y "*puesta a punto*" de un sistema radar (...). El primero de ellos, la calibración, es objeto del presente trabajo doctoral. Más concretamente, este manuscrito recoge los postulados, metodologías, trabajos realizados y resultados obtenidos para alcanzar un conocimiento profundo del sistema radar RAMAC del grupo de investigación en Fotogrametría y Teledetección Cercanas (TF1) de la Universidad de Vigo, que es el que se pretende adaptar para su aplicación a la evaluación de firmes de carreteras. Este conocimiento en detalle nos permitirá ver hasta que punto este equipo -no diseñado originalmente para su uso particular en carreteras- resulta versátil y adecuado para este propósito, sometiénolo a ensayos de laboratorio y a controles que faciliten información veraz y objetiva sobre sus ventajas, limitaciones y aplicabilidad en circunstancias reales de trabajo de campo.

El trabajo se ha estructurado formalmente en tres bloques. El primero de ellos contextualiza el presente trabajo desde una perspectiva generalista (equipos GPR, antenas, background teórico, etc) pero con especial atención a los estudios, aplicaciones y utilidad del método en estudios de carreteras.

El segundo bloque constituye la propuesta doctoral propiamente dicha y se ha dividido en cinco capítulos relativamente independientes, cada uno de los cuales tiene una estructura formal idéntica a modo de artículo de revista (0 Resumen, 1 Introducción, 2 Consideraciones Previas, 3 Metodología, 4 Resultados, 5 Discusión y Conclusiones, 6 Referencias). Los ensayos presentados en ellos responde a dos tipos de

acciones: las dirigidas a calibrar y conocer mejor las antenas, y las dirigidas a profundizar en el conocimiento y caracterización de la unidad de control. En concreto, los capítulos 1, 3 y 4 evalúan parámetros importantes de las antenas de 500, 800 y 1000 MHz analizadas, tales como su diagrama de radiación, resolución y características de la señal emitida, mientras que los capítulos 2 y 5 se centran en el estudio de la estabilidad y capacidad de procesamiento general de la unidad de control del equipo. Más en detalle, los contenidos de cada capítulo son los siguientes:

Capítulo 1 - Se describen las principales características de la unidad de control y las antenas evaluadas. Se proponen y aplican determinadas metodologías para llevar a cabo el análisis detallado, en tiempo y en frecuencia, de la señal emitida por las antenas. La caracterización de las pérdidas por atenuación geométrica y la determinación del tiempo cero son también discutidas.

Capítulo 2 - En este capítulo se realizan una serie de pruebas con el objetivo principal de evaluar y caracterizar la estabilidad del sistema, constituyendo una propuesta a modo de test de calibración para determinar posibles errores en el sistema y verificar su correcto funcionamiento

Capítulo 3 - En el tercer capítulo se presentan un conjunto de experimentos diseñados para caracterizar el campo eléctrico emitido por las antenas evaluadas. Siguiendo dos metodologías diferentes, se han obtenido los diagramas de radiación de las antenas en el aire, que son representados y discutidos.

Capítulo 4 - En este capítulo se presentan los resultados de los experimentos para la determinación de la capacidad de resolución de las antenas. Los resultados son comparados con estimaciones teóricas. Las conclusiones obtenidas constituyen un primer paso en la determinación de los límites reales de la capacidad de detección de las antenas evaluadas.

Capítulo 5 - Considerando el tipo de aplicaciones donde la velocidad de adquisición de datos es un factor relevante, en este capítulo se exponen los experimentos realizados con el objetivo principal de evaluar la capacidad real de procesamiento del equipo. El conocimiento de las bondades y limitaciones del sistema evaluado ha permitido establecer los parámetros de ajuste adecuados para la toma de datos operando con distintas configuraciones de antenas.

Por último, en la tercera parte del documento se resumen, a modo de epílogo, las conclusiones generales del trabajo en su conjunto.