

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a mucha gente por lo que me han ayudado durante la realización de este Proyecto y también por el conjunto de mis casi seis años en la Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla.

En primer lugar empezaremos por el Proyecto, por el que querría agradecer enormemente a todo el grupo humano del Laboratoire PIOM: a mis tutores, Gilles Ruffié y François Demontoux, por haber tenido toda la paciencia del mundo conmigo durante los primeros días en los que estaba tan perdido, por ser tan comprensivos con mi situación en un país extranjero, con mis limitaciones lingüísticas y con mis ganas de exprimir cada minuto, día y noche, de mi estancia en su ciudad. También querría agradecer a mis compañeros de laboratorio, a Julien, a Yannick y a Dani especialmente por hacer que trabajar con ellos fuera realmente una experiencia enriquecedora también a nivel humano y a mi “familia” francesa: el grupo al completo de becarios Leonardo, por todos los momentos inolvidables que por coincidencia en el tiempo siempre asociaré a la realización de este Proyecto.

Querría agradecer también a mi tutor en la Escuela, el Dr. José Ramón Cerquides, por su ayuda y comprensión a lo largo de la realización de este Proyecto y al Tribunal que corregirá mi trabajo, por su atención y ¡espero que por su benevolencia!

Pero también este momento representa el final de la etapa de estudiante y es un buen momento para mirar atrás, a los años de clases y de exámenes, de los que siempre guardaré un bonito recuerdo gracias a mucha gente que ha estado a mi lado, como Pedro, Rocío, Francis, Manu, María, Sol y otros tantos con los que ha sido un auténtico placer compartir estos años de clases, prácticas, trabajos y por qué no decirlo, alguna que otra fiestecilla, que también forman parte de estos años. También es el momento de recordar a los profesores que más nos hicieron sufrir, a los que tengo que agradecerles que me hicieran más fuerte y a los profesores que menos nos hicieron sufrir, a los que tengo que agradecerles que nos lo pusieran fácil y nos hicieran trabajar poco.

Querría agradecer también a toda la gente que se ha preocupado por mí durante estos años.

No podía dejar pasar esta oportunidad para agradecer a mi propio hermano, que ha estado en todos los momentos que he mencionado anteriormente y aunque me resulte tan obvio el agradecerle por todo lo que hace por mí todos los días, creo que es de justicia reflejarlo por escrito.

Por último, pero no por ello menos importante, querría agradecer y dedicar este Proyecto a mis padres, por muchas razones que no explicaré una a una porque podría causar daños graves a la Naturaleza por todos los folios que harían falta, pero resumiré diciendo que siempre han estado muy pendientes para quitarnos toda la presión posible referente a los estudios y para que nunca olvidemos que vivir la vida y ser feliz vale mucho más que cualquier título. ¡Va por ellos!

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS

INTRODUCCIÓN.....	3
1 GENERALIDADES.....	4
1.1 LABORATORIO PIOM.....	4
1.2 L3AB.....	5
1.3 PROYECTO AURORA.....	5
1.3.1 MISIÓN EXO-MARS.....	7
1.4 LAS EVAPORITAS.....	8
1.4.1 ENTORNOS DE LAS EVAPORITAS.....	8
1.4.2 IMPORTANCIA DE LAS EVAPORITAS.....	10
1.5 HFSS.....	10
1.6 LA SONDA COAXIAL ABIERTA EN UN EXTREMO. TEORÍA.....	13
1.6.1 EL PROCESO DE LA MEDIDA.....	14
1.6.2 MÉTODOS DE ESTUDIO DE LA SONDA COAXIAL ABIERTA EN UN EXTREMO.....	15
1.6.3 MEDIDA DE PERMITIVIDAD EN MEDIOS ACUOSOS.....	23
2 VALIDACIÓN DE LOS MODELOS HFSS.....	25
2.1 MEDIDAS.....	25
2.1.1 SONDA N.....	26
2.1.2 SONDA SMA.....	26
2.1.3 SONDA SP.....	28
2.2 SIMULACIÓN HFSS.....	29
2.2.1 MODELO HFSS DE LA SONDA COAXIAL ABIERTA EN UN EXTREMO.....	30
2.2.2 SIMULACIÓN SONDA N.....	32
2.2.3 SIMULACIÓN SONDA SMA.....	36
2.2.4 SIMULACIÓN SONDA SP.....	37
3 DISEÑO DE LA SONDA.....	44
4 MEDIDAS.....	52
4.1 COMPORTAMIENTO DIELECTRICO DE LOS SUELOS HÚMEDOS Y SALINOS.....	52
4.2 MEDIDAS DE LA TASA DE HUMEDAD.....	54
4.3 MEDIDAS DE SALINIDAD.....	56
5 EXPLOTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	59
5.1 EXPLOTACIÓN DE LAS MEDIDAS DE HUMEDAD.....	59
5.2 EXPLOTACIÓN DE LAS MEDIDAS DE SALINIDAD.....	61
5.3 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON EL MODELO CAPACITIVO DE LA SONDA.....	62
6 INTRODUCCIÓN DE LOS RESULTADOS EN EL MODELO BICAPA.....	64
CONCLUSIONES.....	67
REFERENCIAS.....	68
ANEXOS.....	69

INTRODUCCIÓN

La importancia de la humedad de los suelos sobre la respuesta de los sistemas radar ha sido objeto de numerosos estudios estos últimos veinte años. En particular, la relación existente entre las propiedades dieléctricas de los suelos y su tasa de humedad nos ha llevado a preguntarnos sobre la influencia de su concentración de agua sobre el coeficiente de retrodifusión radar. Si bien el efecto de la tasa de humedad sobre la permitividad ha sido ampliamente estudiado y modelado, no ocurre lo mismo con la salinidad. Recientes trabajos ([1]) han subrayado la influencia de la presencia de sales en solución sobre las propiedades dieléctricas de los suelos y en especial sobre la parte imaginaria de la constante dieléctrica. La parte real de la permitividad, unida a la polarización del medio, condiciona la velocidad de una onda en el material y por tanto la capacidad de este último de conducir la energía. La parte imaginaria, al estar ligada a la conductividad del medio, nos da la atenuación de la señal radar por absorción de la energía necesaria para alcanzar la polarización (pérdidas óhmicas). Por lo tanto, parece indispensable tener en cuenta la presencia de rocas salinas (evaporitas) en las aplicaciones de teledetección radar: para ello, nos proponemos estudiar la influencia de la presencia de sales sobre los coeficientes de retrodifusión, mediante el estudio de las propiedades dieléctricas de los medios considerados. El objetivo final es explotar las propiedades de las rocas salinas en las aplicaciones de detección de la presencia de agua, tanto en las superficies terrestres como en el marco de la exploración de Marte, en cuya superficie se sospecha de la existencia de evaporitas. Las condiciones atmosféricas no permiten la presencia de agua en estado líquido en la superficie de Marte, por tanto la búsqueda de agua debe efectuarse bajo la superficie marciana¹.

El objetivo último del Proyecto es estudiar la posibilidad de detectar la presencia de rocas salinas en las estructuras geológicas. Esta detección tiene una gran importancia en el marco del Programa Aurora, de la Agencia Espacial Europea (European Space Agency, ESA[23]), cuyo objetivo es la exploración del planeta Marte mediante un radar de sondeo, ya que la presencia de rocas evaporitas indica una presencia pasada o presente de agua. Para realizar el estudio, es necesario caracterizar desde un punto de vista dieléctrico las evaporitas, y para ello vamos a realizar una serie de medidas con la sonda coaxial abierta en un extremo (*open-ended coaxial probe*).

Anteriormente a este Proyecto, para los estudios relacionados con comportamientos dieléctricos de materiales se utilizaban dos tipos de aproximaciones al comportamiento de la sonda coaxial abierta en un extremo (el método de estudio de los modos y el método del circuito equivalente capacitivo). En este Proyecto, se va a intentar desarrollar un nuevo enfoque al estudio del comportamiento de dicha sonda. Por tanto, a lo largo de este Proyecto daremos una gran importancia al proceso de validación y de desarrollo del método. Este enfoque deberá superar las limitaciones existentes en los modelos que se utilizaban hasta este momento. Para ello, se construirán modelos de la sonda con el programa HFSS (High Frequency Structure Simulator). A priori no podemos estar seguros de que el método que se va a desarrollar vaya a funcionar, ya que al ser nuevo no se ha demostrado todavía que HFSS sirva para caracterizar de forma fiel la realidad. El primer paso que realizaremos tendrá que ser, por tanto, demostrar que los modelos que hemos diseñado representan fielmente el comportamiento real de la sonda en la medida.

Una vez validado el método, lo utilizaremos para calcular la permitividad de unas mezclas de arena con agua y sal a partir de unas medidas con la sonda coaxial. Estas mezclas modelan las rocas evaporitas, que no dejan de ser rocas arenosas mezcladas con sales y agua.

Finalmente introduciremos los datos de permitividad calculados en el modelo que tenemos ([5], [6]) de los primeros metros del subsuelo de Marte, intentando comprobar si existe una diferencia apreciable en el coeficiente de reflexión de la estructura (relacionado directamente con los parámetros de retrodifusión radar) en el caso de presencia de evaporitas.

Por último, cabe reseñar que el objetivo ha sido alcanzado, ya que como veremos en el Capítulo 6, la presencia de rocas salinas en estructuras geológicas puede ser detectada debido a un aumento considerable del coeficiente de reflexión y estos trabajos han dado como fruto la publicación de un artículo que se adjunta como anexo.

¹ Recientemente, investigadores de la Agencia norteamericana para el espacio (NASA), en el marco de la misión Mars Global Surveyor [24], han anunciado el descubrimiento de agua en estado líquido sobre la superficie de Marte, lo cual hace aún más interesante y necesaria la misión de exploración al Planeta Rojo.