

# Resumen

El proceso de caracterización dieléctrica es un área de estudio fundamental para el desarrollo de sistemas y dispositivos de telecomunicaciones, ya que el conocimiento de cómo se comporta un material frente a una radiación electromagnética es de gran utilidad para diseñar y optimizar dispositivos de microondas.

Para obtener las propiedades dieléctricas de materiales se requiere de una técnica de medida y un método de análisis que sustente a dicha técnica. Existen multitud de técnicas de medida, entre las que destacan los métodos resonantes por la alta precisión que proporcionan en la medida. De igual manera, existen muchísimos de métodos de análisis, entre los que destacan los métodos modales por la exactitud de la solución que proporcionan al analizar teóricamente y de manera analítica el problema electromagnético.

Este trabajo se enmarca en esta área de conocimiento, concretamente pretende contribuir a la mejora de los procedimientos y métodos de análisis modales, proporcionando una generalización circuital de onda completa. Para ello, se han implementado una serie de librerías de elementos básicos mediante los cuales se pueden modelar diversas estructuras cilíndricas con geometría de revolución, que son de las más empleadas en dielectrometría.

En primer lugar, se ha generalizado con una caracterización de onda completa el método de análisis circuital, que hasta ahora solo tenía en cuenta modos simétricos. No obstante, este método ampliado tiene ciertas limitaciones en cuanto a la implementación de elementos básicos modelados con una formulación de onda completa, lo que resta versatilidad y flexibilidad al mismo.

Para solventar las limitaciones del análisis circuital de onda completa se ha implementado un método híbrido que combina el método de análisis modal puro y el circuital generalizado. Con la misma idea que en el análisis circuital, se ha implementado una librería de elementos básicos que, combinándolos, permite crear estructuras más complejas.

El estudio teórico ha sido validado mediante numerosas simulaciones y comparaciones con otros métodos y técnicas de análisis. Se ha hecho especial hincapié en el correcto modelado de cavidades resonantes orientadas a dielectrometría, pues es el objetivo principal de la tesis.

Además, se han llevado a cabo aplicaciones experimentales reales orientadas a la medida de materiales dieléctricos mediante distintas cavidades resonantes, de manera que se muestra la utilidad, versatilidad, flexibilidad y precisión que tiene el estudio que se ha realizado en este trabajo de una manera práctica y funcional.

Finalmente, se proponen líneas futuras de investigación para continuar el trabajo realizado hasta el momento.

# Resum

El procés de caracterització dielèctrica es un àrea d'estudi fonamental per al desenvolupament de sistemes i dispositius de telecomunicacions, ja que el coneixement de com es comporta un material sota una radiació electromagnètica es de gran utilitat per dissenyar i optimitzar dispositius de microones.

Per obtenir les propietats dielèctriques de materials es requereix d'una tècnica de mesura i un mètode d'anàlisi que sustenti a la pròpia tècnica. Existeixen multitud de tècniques de mesura, entre les que destaquen els mètodes ressonants per l'alta precisió que proporcionen en la mesura. De la mateixa manera, existeixen moltíssims mètodes d'anàlisi, entre els que destaquen els mètodes modals per l'exactitud de la solució que proporcionen al analitzar teòricament i de manera analítica el problema electromagnètic.

Aquest treball s'emmarca en esta àrea de coneixement, concretament pretén contribuir a la millora dels procediments i mètodes de anàlisi modals, proporcionant una generalització circuital d'ona completa. Per això, s'han implementat una sèrie de llibreries d'elements bàsics mitjançant els quals es poden modelar diverses estructures cilíndriques amb geometria de revolució, que són de les més emprades en dielectrometria.

En primer lloc, s'ha generalitzat amb una caracterització d'ona completa el mètode d'anàlisi circuital generalitzat, que fins ara només tenia en compte modes simètrics. No obstant això, aquest mètode ampliat té certes limitacions en quant a la implementació d'elements bàsics modelats amb una formulació d'ona completa, es que resta versatilitat i flexibilitat a aquest.

Per resoldre les limitacions de l'anàlisi circuital d'ona completa s'ha implementat un mètode híbrid que combina el mètode d'anàlisi modal pur i el circuital generalitzat. Amb la mateixa idea que en l'anàlisi circuital, s'ha implementat una llibreria d'elements bàsics que combinant-los permet crear estructures més complexes.

L'estudi teòric ha sigut validat mitjançant nombroses simulacions i comparacions amb altres mètodes i tècniques d'anàlisi. S'ha posat especial èmfasi en el correcte modelat de cavitats ressonants orientades a dielectrometria, ja que és l'objectiu principal de la tesi.

A més a més, s'han dut a terme aplicacions experimentals reals orientades a la mesura de materials dielèctrics mitjançant diverses cavitats ressonants, de manera que es mostri la utilitat, versatilitat, flexibilitat i precisió que té l'estudi que s'ha realitzat en aquest treball d'una manera pràctica i funcional.

Finalment, es proposen unes línies futures d'investigació per continuar el treball realitzat fins ara.

# Abstract

Dielectric characterization of materials is a very important area of study for the development of telecommunication systems and devices, since the knowledge of the materials' behavior in front of an electromagnetic radiation is very useful to design and optimize microwave devices.

Measurement techniques and analysis methods are required to obtain the dielectric properties of materials. There are many measurement techniques, among which resonant methods stand out due to the high precision that they provide in the measurement. In the same way, there are many methods of analysis, among which modal methods stand out for the accuracy of the solution they provide when the electromagnetic problem is analyzed theoretically and in an analytical way.

This work is framed in this area of knowledge, specifically it aims to contribute to the improvement of procedures and methods of modal analysis, providing a complete *full-wave* circuit generalization. For this purpose, some libraries of basic elements have been implemented, and combining them properly, any axisymmetric structure can be modeled.

First, the circuit analysis method has been generalized with a *full-wave* characterization, which up to now only took into account symmetric modes. However, this extended method has some limitations in terms of the implementation of basic elements modeled with a *full wave* formulation, which reduces its versatility and flexibility.

To solve the limitations of the *full-wave* circuit analysis, a hybrid method that combines the pure modal analysis method and the generalized circuital technique has been implemented. With the same idea as in the circuit analysis, a library of basic elements has been implemented, and combining them properly, more complex structures can be simulated.

The theoretical study has been validated through many simulations and comparisons with other methods and analysis techniques. Special emphasis has been placed on the correct modeling of resonant cavities oriented to dielectrometry, since it is the main goal of the thesis.

In addition, real experimental applications focused on the measurement of dielectric materials have been carried out with some different resonant cavities. Then, the usefulness, versatility, flexibility and precision of the study carried out in this thesis is shown in a practical and functional way.

Finally, future research lines are proposed to continue the work carried out so far.