

RESUMEN DE LA TESIS:

La importancia de la energía eléctrica dentro del mundo actual está fuera de toda duda. Entre sus particulares propiedades destacan la posibilidad de conversión, con elevado rendimiento y cada día mayor, en casi cualquier otro tipo de energía, así como su capacidad de subdivisión y regulación, y su facilidad de transporte a grandes distancias con medios relativamente simples y económicos. Todas estas características convierten a este flujo energético en un medio ideal de transporte y distribución de energía.

Pero, toda esta energía, como ya se ha comentado, ha de generarse, modularse y transportarse de algún modo, y es ahí donde toman el protagonismo los materiales que intervienen en la generación, transporte y explotación de la energía eléctrica: máquinas, transformadores y conductores eléctricos. Por tanto, el análisis detallado y el diseño optimizado de estos dispositivos electromagnéticos es de importancia primordial tanto desde el punto de vista técnico como económico. Las técnicas analíticas, que permiten realizar dicho análisis, solo son aplicables para casos muy simples, por lo que las técnicas de simulación numéricas han adquirido un papel preponderante en la actualidad. Sin embargo, y a pesar del gran avance en medios de computación digital que se está produciendo en la actualidad, dichas técnicas (elementos finitos, FDTD, etc), encuentran severas limitaciones cuando se intenta simular dominios complejos (transitorios en 3D), o realizar optimizaciones que requieren un gran número de iteraciones para explorar el dominio de posibles soluciones.

La presente tesis se centra en dar luz al estado actual de los métodos numéricos tradicionales, las limitaciones a las que nos enfrentamos, y las diferentes soluciones que se están planteando para la simulación del comportamiento electromagnético de diferentes materiales como conductores eléctricos en líneas de transmisión e instalaciones de puesta a tierra, basándose en la formulación que define la Teoría de Campos Electromagnéticos (Leyes de Maxwell), y las diferentes condiciones de cada problema particular a resolver.

El **objetivo principal** de la tesis es el investigar la aplicación de técnicas numéricas de muy reciente aplicación, conocidas como la Descomposición Propia Generalizada (Proper Generalized Decomposition PGD). Basándose en una técnica novedosa de descomposición de las variables multidimensionales (como el campo electromagnético) en una suma de productos (modos) de variables unidimensionales, y mediante algoritmos iterativos, la PGD permite abordar, con una reducida necesidad de medios computacionales, problemas complejos cuya solución requiere medios extraordinarios empleando las técnicas tradicionales. Estas nuevas técnicas han sido aplicadas con éxito en otros dominios, como el de la simulación de elementos mecánicos y en ciencia de los materiales. El objetivo de la presente tesis es precisamente el de la aplicación de estas novedosas técnicas a la simulación de **fenómenos electromagnéticos** en los diferentes elementos diseñados para la utilización de la energía eléctrica.

La tesis se centra en el desarrollo de la modelización de conductores de transmisión de energía eléctricas y redes de puesta a tierra, estructuras básicas en la tecnología eléctrica pero que sirven para analizar y observar con detalle además de validar con métodos tradicionales, de demostrada fiabilidad, el gran potencial de la PGD, dejando abierta la aplicación de la técnica a elementos técnicamente más complejos como transformadores y máquinas rotativas en futuras publicaciones del grupo de trabajo del Departamento de Ingeniería Eléctrica (DIE) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV).

Las principales novedades que aporta la tesis sobre trabajos realizados anteriormente son parte de los objetivos que persigue, y son las siguientes:

- **Optimización de la técnica** de la PGD. En la presente tesis se ha optado por una aplicación de la PGD con la máxima descomposición posible en funciones elementales, es decir, los modos se considerarán formados por productos de funciones exclusivamente unidimensionales (x , y , z , t , frecuencia, etc.)., discretizadas posteriormente con mallas unidimensionales uniformes. Esto nos llevará a obtener códigos simples, de sencilla implementación y que necesitarán de reducidos recursos computacionales.

- **Aplicación de la PGD al campo del Electromagnetismo**, ya que la gran mayoría de las referencias que se pueden encontrar en la aplicación de la PGD se refieren al campo de la mecánica y los materiales. Este trabajo pretende utilizar avances logrados en este campo, y aplicarlos al campo del electromagnetismo, donde sólo muy pocos trabajos han sido publicados en los últimos años, con el objetivo de contribuir a seguir abriendo un nuevo frente en el desarrollo y aplicación de la técnica, que permita vencer las limitaciones y problemas que hasta el momento se presentan con las técnicas de resolución tradicionales.

La presente tesis se estructura según el siguiente esquema:

- El Capítulo 1 titulado Introducción a la tesis y desarrollado durante estas últimas líneas, sirve como precedente explicativo a los trabajos llevados a cabo en este documento.
- En el Capítulo 2 se lleva a cabo una revisión del Estado del Arte actual de los métodos numéricos y generalidades que envuelven el desarrollo y aplicación de los mismos a problemas reales, exponiendo la formulación básica a partir de la que se desarrollan en relación con el electromagnetismo, comenzando a descubrir los métodos más ampliamente utilizados hasta el momento, e introduciendo el método numérico en el que se centra la tesis: la PGD. Un estado del arte más específico y particularizado será desarrollado posteriormente en los capítulos de aplicación práctica de la PGD a casos concretos, los Capítulos 5, 6 y 7.
- El Capítulo 3 nos introduce ya plenamente en conceptos propios de la técnica de la *PGD*, centrándose en las verdaderas claves del método, es decir, describiendo las bases que la fundamentan, las principales novedades que aporta al campo de la simulación mediante métodos numéricos y la operativa del mismo, mostrando ejemplos y una breve comparativa que aporta una primera idea del gran potencial computacional de la técnica.
- El Capítulo 4 explica detalladamente la Formulación Discreta de la PGD, que se basa en métodos de descomposición de las diferentes variables que forman parte de una ecuación diferencial, discretizando mediante técnicas basadas en métodos numéricos tradicionales como Elementos Finitos o Diferencias Finitas, y posteriormente integrando los términos con derivadas para obtener un conjunto de soluciones buscadas del problema. Se habla en plural de las soluciones, y no en singular como habitualmente se hace, porque es quizás aquí donde radica la gran ventaja a nivel práctico en la aplicación de la PGD, que es capaz de obtener un gran número de soluciones en tan solo una aplicación, tanto porque la técnica lo permite como por la reducción de tiempos de computación que lleva asociada respecto a otros métodos. Ya que los métodos numéricos tradicionales necesitan de sucesivas aplicaciones para, por ejemplo, desarrollar la evolución de un proceso durante un determinado transitorio y/ o considerando diferentes condiciones paramétricas, en nuestro caso frecuencias, conductividades,...
- Los siguientes Capítulos muestran, precedidos cada uno por un breve estado del arte particularizado a cada punto, la aplicación del método de la PGD a problemas reales del electromagnetismo como son la circulación de corrientes por conductores aislados desarrollada en el Capítulo 5, mostrando claramente las consecuencias del efecto pelicular o *skin effect* en el conductor y en las principales magnitudes eléctricas que lo caracterizan - inductancia interna, resistencia y distribución de corrientes-; la circulación de corrientes por un sistema multiconductor analizada en el Capítulo 6, mostrando las principales afecciones del efecto proximidad; y por último la aplicación de la PGD al análisis de instalaciones de puesta a tierra en el Capítulo 7, analizando la distribución de potenciales y corrientes en el terreno y en la malla de puesta a tierra.
- Como conclusión a la tesis, el Capítulo 8 recoge las principales aportaciones realizadas por la presente tesis en la aplicación de la PGD al campo del electromagnetismo, recogiendo además una serie de posibles futuros trabajos que pudieran dar continuidad a lo desarrollado en el presente documento.