

**EN EL MARCO DEL PROYECTO ESTUDIO DE LA COMPATIBILIDAD  
ELECTROMAGNÉTICA EN LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN FASE I.**

**YINET QUINTERO ARROYAVE**

**KELLY YULIANA VARGAS**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA TELEMÁTICA  
MANIZALES**

**2016**

**EN EL MARCO DEL PROYECTO ESTUDIO DE LA COMPATIBILIDAD  
ELECTROMAGNÉTICA EN LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN FASE I.**

**YINET QUINTERO ARROYAVE**

**KELLY YULIANA VARGAS**

**Informe final de trabajo de grado**

**ASESOR UCM:**

**OSCAR CARDONA MORALES**

**Docente UCM**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA TELEMÁTICA  
MANIZALES**

**2016**

## Tabla de Contenido

<b>1. RESUMEN</b> .....	4
<b>2. INTRODUCCIÓN:</b> .....	5
<b>3. ESTADO DEL ARTE COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA</b> .....	6
<b>3.1. Salud</b> .....	6
<b>4. PROCESAMIENTO DE SEÑALES</b> .....	8
<b>4.1. Separación de fuentes ocultas</b> .....	8
<b>4.2. Regresión por aproximaciones sucesivas</b> .....	9
<b>4.3. Sistemas expertos</b> .....	11
<b>4.4. Filtros adaptativos</b> .....	12
<b>5. HARDWARE</b> .....	14
<b>5.1. Normativo</b> .....	14
<b>5.2. Circuitos impresos (PCB)</b> .....	14
<b>5.3. Mejoramiento de calidad de la señal por procesamiento de datos (algoritmos)</b> 17	
<b>5.4. Antenas</b> .....	23
<b>5.5. Adquisición de datos</b> .....	24
<b>6. MODELOS DE PROPAGACIÓN</b> .....	26
<b>7. CONCLUSIONES</b> .....	28
<b>8. REFERENCIAS</b> .....	29

## **1. RESUMEN**

El proyecto estudio de la compatibilidad electromagnética en los sistemas de comunicación fase I consta de cuatro capítulos fundamentales que nos permitirá entender de una manera detallada y clara dicha compatibilidad.

El primero corresponde a la historia del arte de compatibilidad electromagnética donde se relaciona el aspecto preponderante de la salud; el segundo hace alusión al procesamiento de señales donde se nombra la separación de fuentes ocultas, regresión por aproximaciones sucesivas, los sistemas expertos y los filtros adaptativos. El tercero es enfocado en el hardware donde se incluye la parte normativa, los circuitos impresos, el mejoramiento de calidad de la señal del procesamiento de datos, las antenas y la adquisición de datos. El último capítulo hace referencia a los modelos de propagación. Para esto se tuvieron en cuenta 58 artículos producto de investigación para la misma, los cuales fueron parte de un proceso de selección en la búsqueda de determinar aquellos que más se acercaron al objetivo del proyecto.

Como resultado se obtuvo los subtemas que muestran las diversas aplicaciones que existen del electromagnetismo, mostrando que este no solo corresponde a un área exclusiva de la física eléctrica y magnética, sino que también tiene muchas otras aplicaciones en la ciencia.

## 2. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación fue realizado con el objetivo de conocer acerca de la compatibilidad electromagnética en los sistemas de comunicación fase I en los diferentes campos. Entendiendo la definición de dicha compatibilidad como la rama de la tecnología electrónica que estudia los mecanismos para eliminar, disminuir y prevenir los efectos de acoplamiento entre un equipo eléctrico o electrónico y su entorno electromagnético, aún desde su diseño, basándose en normas y regulaciones asegurando la confiabilidad y seguridad de todos los tipos de sistemas en el lugar donde sean instalados y bajo un ambiente electromagnético específico.

La investigación documental constituye una variante de la investigación científica, en este caso como un apoyo para el desarrollo conceptual y teórico en la construcción de una tesis, donde el objetivo fundamental es el análisis de diferentes fenómenos presentados por el “*Electromagnetismo*” en diversas áreas de la ciencia y sus diferentes aplicaciones por medio de herramientas de búsqueda sistemática usando para ello diferentes tipos de documentos. Para esto se indaga, interpreta y presenta datos e informaciones sobre el tema anteriormente mencionado, los cuales son analizados teniendo como finalidad obtener resultados que pudiesen ser base para el desarrollo de dicha tesis. También permite además orientar hacia otras fuentes de investigación y elaborar diversas hipótesis.

En este documento se encuentran clasificados los diferentes temas de la investigación, donde se observan temas como Salud, en el cual existe una fuerte preocupación con respecto a la relación entre las exposiciones a campos electromagnéticos en diferente formas que afectan tanto en lo laboral como personal al ser humano.

También se encontrarán temas como Procesamiento de Señales, los cuales permiten determinar los estudios sobre detección y eliminación de interferencias electromagnéticas (EIM), causada en equipos eléctricos y electrónicos sea convertido en un tema importante en los últimos años debido al renovado interés en mejorar la fiabilidad en estos dispositivos por motivos técnicos de seguridad y de comercialización.

Por otro lado el tema de Hardware refiere al modelado y análisis de interferencias electromagnéticas (EMI) para un controlador de señal digital (DSC) de 32 bits que hace posible un buen rendimiento y aplicaciones de control en tiempo reales asegurando la compatibilidad electromagnética (EMC) de los sistemas electrónicos.

En cuanto al tema Modelos de Propagación se observan documentos que permitirán discutir mediciones empleadas para caracterizar los usuarios de espectro de radar y sin radar, como cada uno tiene cuestiones que deben abordarse. Primero, la física de propagación de por qué los usuarios de espectro buscan acceso a las bandas de frecuencia seleccionadas.

### 3. ESTADO DEL ARTE COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA

#### 3.1.Salud

La contaminación electromagnética no ionizante se da como subproducto de las Actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, para uso Doméstico e industrial y también de actividades de telecomunicación (Javier Ignacio Torres *et al*, 2003). Estas actividades vistas como procesos inherentes a las actividades cotidianas de la sociedad, dejan al hombre inmerso en un ambiente electromagnético artificial, que puede afectar al individuo y a la población en general. Esta afectación se relaciona con el riesgo antrópico que se deriva del uso o aplicación inadecuada de tecnologías, que se manifiesta cuando se exceden los límites recomendados por la normatividad ambiental, los cuales pueden generar conflictos ambientales urbanos; dado este panorama, en Colombia se han generado normas de carácter jurídico-técnico que están dirigidas a la protección de la población, que a pesar de estar consagradas para proteger al hombre, presentan falencias en su conformación y para su aplicación, lo que puede generar escenarios propicios para la incubación de un nuevo tipo de conflicto ambiental urbano. La principal fuente para estos conflictos es el desconocimiento de este tipo de contaminación por la comunidad, dado que no es perceptible a simple vista bajo condiciones normales. Para poder acercarse a este tema se deben clarificar unos conceptos básicos y analizar la legislación vigente y los métodos de aplicación. Para concluir en Colombia existe todo un contenido jurídico de mecanismos para la protección del ambiente, pero dada la carencia de entes acreditados por La Superintendencia de Industria y Comercio (SIC), en la realización de mediciones del nivel de intensidad de los CEM a los que está expuesta la población que permitan la construcción de la norma, se presenta un posible conflicto ambiental urbano generado por conflicto de datos. Se debe hacer una adecuación de las normas apelando a principios como el de cautela o prevención, para que se pueda realizar la protección de la salud y del derecho a gozar de un ambiente sano. Dado que las reglamentaciones carecen de efectividad y sumado al desconocimiento imperante en la comunidad estas normas se deben incorporar en los procesos de ordenamiento territorial.

Al respecto, se han realizado estudios basados tanto en simulaciones como en mediciones de campos electromagnéticos (CEM) radiados por una ERB (estación base celular), como por ejemplo el estudio hecho en la ciudad de Curitiba- Brasil (Harry Korman & Jose Ricardo Descardecí, 2003) En el cual, las simulaciones computacionales se hacen usando la ecuación de transmisión de Friis para calcular la densidad de potencia radiada por cada punto 3D en el espacio. Los resultados simulados se comparan con las mediciones experimentales. Por último, se comparan estos resultados con los límites establecidos de la norma ICNIRP (Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante).

Los valores de densidad de potencia obtenida en esta investigación (simulados y medidos) son 50dB por debajo de los límites que presenta ICNIRP / ANATEL. Los teléfonos móviles son parte del día a día de nuestras vidas y su uso está incrementando rápidamente, considerando que en algunos países solo la mitad de la población usa comunicación celular y para el 2005 se esperaba alcanzar 1.6 billones de usuarios de celulares. Tal aumento en la comunicación celular impone una preocupación sobre los efectos biológicos debido a la radiación electromagnética.

Desde un punto de vista práctico, en (Aponte *et al*, 2007) se plantea una metodología de medición del campo electromagnético producido por instalaciones de radio y telecomunicaciones donde se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de 50 sitios en la ciudad de Cali-Colombia. La necesidad de investigar esta zona, se originó por la preocupación pública causada por la proliferación de estaciones de base de telefonía celular en el ámbito urbano y por los temores acerca de los posibles efectos nocivos de los campos electromagnéticos en la salud. La evaluación de los sitios se realizó con el propósito de conocer y cuantificar los niveles de campo electromagnético existentes en el medio ambiente de la ciudad. En general, los valores encontrados fueron inferiores al 0.5% del límite establecido por la Comisión Internacional para la Protección de las Radiaciones No Ionizantes, ICNIRP (0.2 mW/cm<sup>2</sup>). Sin embargo, en dos casos los niveles encontrados superan dicho límite”.

Otro aspecto importante son las preocupaciones con respecto a la relación entre las exposiciones a campos electromagnéticos (EM) residencial y laboral, y los efectos reproductivos adversos. En (Gary M. Shaw and Lisa A. Croen, 1993) se repasa la evidencia epidemiológica para esta posible relación, incluyendo algunas cuestiones metodológicas pertinentes. La evidencia es una mujer, la cual observó un video durante el embarazo y esto le provocó un aborto espontáneo. Se evidencia una fuerte asociación entre el uso de video de la mujer y otros criterios de valoración reproductiva adversa, con algunos descubrimientos sugestivos sobre malformaciones congénitas y muy pocos datos para hacer una conclusión sobre otros criterios de evaluación. Con respecto a las exposiciones de campo EM de bajo nivel, además de los VDTs (VDT — *Video Display Terminals*), la escasez de datos previene de determinar si hay riesgos de salud reproductivos asociados con tales exposiciones. Por lo tanto, esta es un área que necesita investigación a fondo. Dado que el crecimiento alterado puede ser un efecto biológico subyacente de la exposición de campos EM, los criterios de evaluación que deben ser perseguidos en estudios futuros incluyen malformaciones congénitas no asociadas con anomalías cromosómicas, retardo del crecimiento intrauterino, y abortos espontáneos normales cromosómicamente.

## 4. PROCESAMIENTO DE SEÑALES

En esta sección se presentan aquellas contribuciones alrededor del uso de técnicas de procesamiento de señales para el análisis de interferencias electromagnéticas, y su apropiada caracterización e interpretación. Los diferentes aportes de los autores se agruparon según las técnicas empleadas tales como separación de fuentes ocultas, Regresión por aproximaciones sucesivas, Sistemas expertos y filtros adaptativo.

### 4.1. Separación de fuentes ocultas

El método de identificación de fuente de emisión electromagnética irradiada está basado en un Análisis de Componentes Independientes (ICA). La identificación es realizada para procesar un número adecuado de datos de espectro irradiados, según (Song Zhenfei & Su Donglin, 2010) los cuales son obtenidos por mediciones en diferentes puntos alrededor del equipo bajo prueba (EUT). Usando curtosis específico basado en el algoritmo del ICA, no podemos sólo distinguir la emisión irradiada del EUT a partir del ruido del ambiente electromagnético, sino que también podemos extraer la función de emisión de diferentes fuentes de irradiación. Usando coeficientes correlacionados de señal extraída y señal original para investigar la exactitud del método propuesto, el valor puede alcanzar por lo menos 0.98 y 0.72 para la simulación y el análisis de medición de datos respectivamente; la factibilidad y efectividad del método propuesto son verificadas con buenos resultados.

Un nuevo enfoque a la separación de ruido EMI es presentado por (Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2010) para un diagnóstico de ruido EMI basado en el algoritmo de separación de señal en cooperación con el uso de pruebas actuales en medición de dominio de tiempo. En este documento, lo más importante es el principio de BSS presentado y luego la implementación de BSS para la separación realizada de ruido EMI es descrita en detalle. Los resultados del experimento (*Separación de Señal Ciega u oculta, Algoritmo Aplicado en Diagnóstico EMI Ruidos*) muestran que usar el algoritmo BSS, el modo común y componentes de modo diferencial pueden ser separados efectivamente a partir de ruido EMI total realizado así como usar el modo común/modo diferencial red de discriminación. Comparado con señal de referencia con hardware basado en separación de ruido, la nueva técnica de software basado es más simple, estable y también de menor costo.”

(Li Hongyi *et al*, 2012) En este discutimos principalmente la evaluación y método de predicción para la interferencia electromagnética y compatibilidad electromagnética de



dispositivos electrónicos o sistemas. Se realiza un experimento de simulación de los equipos electrónicos que se han desarrollado rápidamente, los sistemas electrónicos puede constar de una variedad de equipos electrónicos, que hacen que el ambiente electromagnético se vuelva cada vez más complejo. Todo esto lleva a interferencia electromagnética, y EMC se ha vuelto cada vez más importante. También es dado para demostrar la validez y factibilidad del método propuesto. Finalmente, un esquema de proceso de combinación del ICA de método basado en el sistema propuesto, con el fin de ayudar a diseñar y analizar el rendimiento de EMC de los dispositivos y sistemas electrónicos.

(Paulo Ixtânio Leite Ferreira *et al*, 2013) Queremos mostrar cómo separar dos fuentes electromagnéticas con una leve frecuencia de diferencia y dos fuentes con la misma amplitud, fase y frecuencia. El caso de las fuentes cercanas separadas por ejemplo por  $\lambda_0/4$  es presentado. Es aplicado el método de análisis de componentes independientes (ICA). Un algoritmo ICA basado en la maximización de la negentropía y la ortogonalización simétrica (ICA rápido) es usado. Un sistema de medición apropiado es montado para la adquisición de datos para ser usados en la aplicación de ICA. Las fuentes usadas son antenas dipolo de longitud de onda de dos medidas, diseñadas para 1800MHz. El coeficiente de correlación es usado como un parámetro para comparar cuán similar es la señal estimada a la original. El límite de diferencia entre las frecuencias de las señales, que el ICA puede separar, es evaluado mediante simulaciones. La reconstrucción de la señal es requerida cuando las fuentes son iguales antes de la realización del proceso de separación. La reconstrucción de las fuentes después de la separación, usando el ICA, es comparada con las fuentes originales y están en concordancia.

#### **4.2.Regresión por aproximaciones sucesivas**

(F. G. Awan y N. M. Sheikh, 2010) Las dos opciones para una aplicación en filtros adaptativos son Least Mean square (LMS) y algoritmos RLS. Seleccionamos algoritmo RLS porque comparado con el algoritmo LMS, ofrece un reducido rendimiento requerido en el procesador de señal, convergencia más rápida y un rendimiento de seguimiento significativamente superior. Con respecto al sistema desconocido, a expensas de requerir más cálculos, muestra errores más pequeños que pueden ser manejados usando máquinas de alta velocidad y/o cálculos paralelos. El error cuadrático total, en algoritmo RLS, entre la señal deseada y la salida del sistema desconocido es minimizado. Únicamente hace uso de un factor olvidado que tiene en cuenta los valores de datos pasados y es útil prediciendo futuros valores.

(Bruno Audone & Michela Audone, 2012) Cuando tratamos con resultados experimentales de funciones de transferencia del sistema generalmente afrontamos situaciones donde solo la amplitud espectral está disponible porque la información de fase es difícil de obtener, debido a este hecho es imposible determinar la respuesta del sistema de señales transitorias en casos de EMC típicos tales como, por ejemplo, aquellos relacionados con acoplamientos cable a cable y campo a cable, líneas filtradas, estructuras blindadas cuando la señal de entrada es una transitoria generada por la iluminación, pulso electromagnético (EMP) o cualquier otra fuente de conmutación. son usados en el algoritmo de procesamiento de señal combinando los procesos de estimación y detección para identificar la estructura de una función de transferencia desconocida: en el primer paso determinamos los polos y ceros de la función de transferencia de fase mínima (estimación), en el segundo paso encontramos la función de transferencia real comparando su salida relacionada con el patrón desconocido de polo cero con las salidas relacionadas con todos los ceros posibles y patrones de polo (detección). La estructura del modelo es particularmente adecuada para implementar el modelo paramétrico, tal como el algoritmo de Steiglitz Mc Bride.

(F. G. Awan y N. M. Sheikh, 2010) Las dos opciones para una aplicación en filtros adaptativos son Least Mean square (LMS) y algoritmos RLS. Seleccionamos algoritmo RLS porque comparado con el algoritmo LMS, ofrece un reducido rendimiento requerido en el procesador de señal, convergencia más rápida y un rendimiento de seguimiento significativamente superior. Con respecto al sistema desconocido, a expensas de requerir más cálculos, muestra errores más pequeños que pueden ser manejados usando máquinas de alta velocidad y/o cálculos paralelos. El error cuadrático total, en algoritmo RLS, entre la señal deseada y la salida del sistema desconocido es minimizado. Únicamente hace uso de un factor olvidado que tiene en cuenta los valores de datos pasados y es útil prediciendo futuros valores.

(Bruno Audone & Michela Audone, 2012) Cuando tratamos con resultados experimentales de funciones de transferencia del sistema generalmente afrontamos situaciones donde solo la amplitud espectral está disponible porque la información de fase es difícil de obtener, debido a este hecho es imposible determinar la respuesta del sistema de señales transitorias en casos de EMC típicos tales como, por ejemplo, aquellos relacionados con acoplamientos cable a cable y campo a cable, líneas filtradas, estructuras blindadas cuando la señal de entrada es una transitoria generada por la iluminación, pulso electromagnético (EMP) o cualquier otra fuente de conmutación. son usados en el algoritmo de procesamiento de señal combinando los procesos de estimación y detección para identificar la estructura de una función de transferencia desconocida: en el primer paso determinamos los polos y ceros de la función de transferencia de fase mínima (estimación), en el segundo paso encontramos la función de transferencia real comparando su salida relacionada con el patrón desconocido de polo cero con las salidas relacionadas con todos los ceros posibles y patrones de polo

(detección). La estructura del modelo es particularmente adecuada para implementar el modelo paramétrico, tal como el algoritmo de Steiglitz Mc Bride

### 4.3.Sistemas expertos

Los estudios sobre detección y eliminación de interferencias electromagnéticas (EIM), por (Giulio Antonini, Antonio Orlandi, 2001) inducida en equipos eléctricos y electrónicos se han convertido en un tema importante en los últimos años debido al renovado interés en mejorar la fiabilidad en estos dispositivos por motivos técnicos de seguridad y de comercialización. La creciente proliferación de sistemas electrónicos sensibles es igual a la de las fuentes de perturbaciones electromagnéticas (EM) en entornos complejos EM, la identificación correcta de estas fuentes EMI es un requisito previo para un diseño efectivo de la mitigación de las interferencias asociadas. La identificación requiere primero dos pasos: la extracción a partir de las formas de onda alterada de algunas de las características propias de las fuentes de interferencias y posteriormente la clasificación de estas fuentes, el análisis de EMI se lleva a cabo muy a menudo en forma de onda de dominio de tiempo de la tensión perturbada o señales de corriente. Están disponibles a partir de señales reales registradas por medio de equipos de monitoreo o de simulaciones numéricas, en ambos casos antes de la extracción y clasificación de las características se requiere un tratamiento de la señal. Cuando proviene de la simulación numérica se deben comprender los datos para mantener solo las muestras significativas y disminuir la dimensión física de la señal. En este trabajo una formulación unitaria basada en el paquete de ondas se utiliza para llevar a cabo las 4 tareas mencionadas: eliminación del ruido y comprensión de la señal perturbada, características de extracción y clasificación de las fuentes de perturbación EM .

(Ilteris Demirkiran *et al*, 2010) Se analizan los resultados de la investigación y el desarrollo exploratorio de cómo aplicar y demostrar el conocimiento para analizar la compatibilidad electromagnética (EMC) de radiofrecuencia localizada (RF), en particular, se utiliza un pre-procesador de sistema experto para configurar el problema inicial y asegurar la disponibilidad de un modelo de geometría válida que se utiliza para calcular las pérdidas geodésicas en el dominio de la frecuencia. Se construye una base de conocimiento que contiene reglas de modelado esenciales y “scripts” que describen los pasos a seguir para la validación y la metodología de análisis de EMC de arriba hacia abajo. El problema de razonamiento en la geometría del sistema se realiza por primera vez en la etapa de pre - procesamiento. Un post- procesador basado en un sistema experto se utiliza para " vigilar " el entorno de la señal en el dominio del tiempo y seleccionar el esquema (s) de rechazo de interferencia apropiado para mitigar los efectos de interferencia presentes en un puerto receptor víctima. Son considerados varios esquemas de rechazo de la interferencia en función de las características del tipo de interferencia y el medio ambiente de la señal. Esto

es necesario ya que un esquema de rechazo de interferencia único no es realista ya que esperar para suprimir todos los tipos de interferencias que puedan estar presentes.

#### **4.4.Filtros adaptativos**

Las mediciones cerca del campo son a veces interrumpidas por el ruido del ambiente de fuentes lejanas o cercanas al mismo. El ruido de campo lejano puede ser removido realizando mediciones en una habitación blindada, pero esta opción no está disponible siempre. (Christopher Osterwise & Steven L. Grant, 2010) exponen una técnica de cancelación del ruido adaptativo, para cancelar la interferencia electromagnética del ambiente a partir de mediciones tomadas en un entorno ruidoso. Un algoritmo de procesamiento de señales, dominante del tiempo fue seleccionado para generar el filtro lineal adaptativo. Las mediciones en el campo cercano de un dispositivo electrónico en un ambiente ruidoso son comparadas con mediciones del mismo dispositivo en un entorno sin ruido para demostrar que el algoritmo remueve correctamente el ruido del ambiente electromagnético de las señales grabadas. Esta técnica ha sido usada exitosamente tanto en el dominio de frecuencia como en el dominio de tiempo. Más recientemente, se desplegó una implementación práctica para un sistema de cancelación de ruido de dominio de tiempo usando un método de filtro adaptativo de dominio de frecuencia sobrepuesto. La solución propuesta en este documento es similar a este método, pero difiere de las siguientes maneras: este método utiliza un algoritmo de proceso de bloques; y este método es diseñado para optimizar la medición de las emisiones de campo cercano a partir de un dispositivo de destino.

(Herbert Rojas & Camilo Cortes, 2012) Para medir, estudiar y clasificar los parámetros de las señales de campos eléctricos de iluminación en Bogotá, Colombia es necesario tener en cuenta que las mediciones son distorsionadas y exhiben niveles de ruido significativos causados por señales indeseadas del ambiente electromagnético junto con otros tipos de perturbaciones producidas por el sistema de medición, el cual inevitablemente introduce ruido en las mediciones de señal. Este documento muestra los resultados de la aplicación de la transformación fraccional de Fourier (FRFT) como una técnica alternativa para reducir la presencia de ruido y también de componentes de señal indeseados dentro del conjunto de firmas del campo eléctrico. Las condiciones básicas para llevar a cabo el proceso de filtrado en el dominio fraccional de Fourier (FRFd) son presentadas, después algunas características temporales del campo eléctrico de iluminación son analizadas usando las firmas procesadas.

(O. F. Escobar & F. Román, 2013) presentan la configuración y rendimiento de un sistema de medición de campo magnético en Bogotá-Colombia y describe el procedimiento de procesamiento de señal basado en filtros adaptativos usando la Transformación fraccional de Fourier (FRFT) en comparación con los filtros tradicionales y la aplicación de un método de integración numérica para reducir el ruido presente en las señales de relámpagos grabadas. Debido a su ubicación geográfica, la actividad de relámpagos en Colombia es muy alta, lo que permite continuos estudios de descargas de relámpagos, principalmente con el uso de los sistemas de ubicación de relámpagos (LLS). Particularmente, el grupo de investigación EMC-UNC está midiendo los campos eléctricos y magnéticos de los relámpagos producidos por las descargas eléctricas, en la gran altitud de la región de Bogotá-Colombia. Recientemente, un sistema de medición de campo magnético ha sido desarrollado, cuyas características son presentadas en este documento. El procedimiento de procesamiento de señales basado en filtros adaptativos que usan la Transformación fraccional de Fourier (FRFT) y la aplicación de un método de integración numérica para reducir el ruido presente en las señales de relámpago grabadas son discutidos en este documento. Adicionalmente, la configuración y rendimiento de la antena de medición del campo magnético también es presentada.

## **5. HARDWARE**

En este escrito se encontraran diversas opiniones sobre diferentes artículos, los cuales pretenden exponer a la vez aspectos teóricos y experimentales del modelo de EMC de los convertidores para un análisis de red. También se hallaran temas relacionados con el cumplimiento de los estándares electromagnéticos en el diseño de un PCB.

### **5.1. Normativo**

(David Staggs, 2014) Hay muchos procesos asociados al cumplimiento reglamentario que no están documentados o tampoco están adheridos a una compañía. La falta de un proceso claro y responsabilidad, representa una mayor complejidad del desarrollo del producto a través de todo el camino de manufactura del producto. El campo de compatibilidad electromagnética (EMC) es uno de los más difíciles de todas las aprobaciones regulatorias requeridas debido al número de estándares, número de métodos de prueba y número de procesos necesarios para obtener inicialmente el cumplimiento y sostenerlo. Este documento proporciona perspicacia para establecer autoridad para manejar y exigir el cumplimiento del producto, examina el riesgo de las compañías del incumplimiento de los productos y ofrece enfoques diferentes para gestionar el cumplimiento reglamentario de productos del equipo original del fabricante. Se hacen recomendaciones sobre cómo implementar un sistema de gestión de calidad que reducirá satisfactoriamente estas complejidades y provee una estructura clara para documentar los procesos de EMC.

### **5.2. Circuitos impresos (PCB)**

(Chao-jun XIN & Jing-bo YAO, 2011) Con el objetivo de estudiar los ambientes electromagnéticos y las estrictas peticiones de EMC en el campo de lanzamiento de vehículos aeroespaciales, una prueba a la señal multicanal y sistema de procesamiento, se configura basado en varios métodos de diseño de EMC. Los principios de operación de diseño de EMC son presentados, y las ideas de diseño de suministro de potencia, aislamiento de señal, diseño de PCB y filtración son recalçadas. Los métodos de diseño de EMC son valiosos para el diseño de dispositivos eléctricos en pruebas aeroespaciales.

(Petre-Marian Nicolae et al 2011) Algunas características de un equipo digital usado para monitoreo de parámetros y la grabación de eventos en un sistema de energía son presentadas. El equipo PC-XX/104 PROCESS CONTROL (PC/compatible 104) consisten en estructuras modulares que usan una unidad central para la adquisición y transformación de datos. Las variantes constructivas básicas incluyen 8 entradas analógicas (4 para voltajes, 4 para corrientes) con señales (no) unificadas. El equipo también puede operar en

sistemas donde varios equipos están conectados en una red compatible con FB o RS para proveer la comunicación entre el equipo, separado por distancias considerables. La sincronización entre relojes en tiempo real es un requisito en este caso. Los asuntos específicos relacionados con las modalidades de transmisión de las perturbaciones de EMI que pueden influenciar la adquisición y transformación de datos para este equipo. Es dada una atención especial a los acoplamientos capacitivos que permiten la transmisión de perturbaciones que exceden los límites impuestos por las normas de CISPR 11 (CISPR, IEC, EN) . De acuerdo a estas normas, las soluciones propuestas para la mejora de la EMC correspondiente a el equipo digital usado para el monitoreo de parámetros y la grabación de eventos en un sistema de energía son correctas, certificando la obtención de mediciones que son inmunes las perturbaciones de EM externas.

(Zhou Changlin & Wang Jianmin, 2012) El modelado y análisis de interferencias electromagnéticas (EMI) para un controlador de señal digital (DSC) de 32 bits que hace posible un buen rendimiento y aplicaciones de control en tiempo reales asegurando la compatibilidad electromagnética (EMC) de los sistemas electrónicos es un gran reto. El modelo de comportamiento de EMI del DSC para emisión conducida, construido sobre el paquete y matrices de chips, es usado para predecir las emisiones EM del chip e imprimir los niveles de la placa de circuito (PCB). La caracterización de EMI ha sido analizada por simulaciones circuitales y mediciones de emisión conducida acorde al modelo de EMC. Es exitosamente demostrado que los resultados simulados son consistentes con las predicciones generadas usando el modelo propuesto. Y el modelo de chip de DSC, la simulación y medición de la interferencia electromagnética son necesarias para el análisis, predicción, y compatibilidad del PCB y el diseño de sistemas.

(M. Nagata & S. Shimazaki, 2013) Los interferentes dentro de la banda en los canales de comunicación inalámbrica, usadas por el procesamiento de señales digitales de banda base en una solución de un solo chip. Los impactos de los tonos falsos dentro de la banda en el funcionamiento inalámbrico son explorados con simulación de hardware en el bucle (HILS) de los sistemas compatibles con LTE. Los circuitos de receptor de RF fabricados en una tecnología CMOS de 65 nm son involucrados en los HILS, para las interacciones del nivel de circuito combinatorias al extremo frontal y procesamiento de señal digital a nivel de sistema en la parte de atrás. Los experimentos exhiben la sensibilidad del rendimiento de la comunicación LTE contra el ruido de acoplamiento de base de un emulador de ruido digital a los circuitos receptores RF en el mismo chip. La respuesta observada es equivalentemente confirmada con la entrada referida a las componentes de ruido sinusoidal RF añadidos intencionalmente a la entrada de señal RF con modulación LTE. El HILS habilita el diagnóstico jerárquico de un sistema de comunicación inalámbrico de interacciones a nivel de circuito a respuestas a nivel de sistema contra el acoplamiento de ruido.

(C. Spindler & Robert Bosch GmbH, 2014) Los sistemas electrónicos generaron mucha innovación en el desarrollo automotor en años recientes. El número de sistemas de sensores

integrados está aumentando significativamente este puede ser comparado con otro tipo de sistemas electrónicos en aplicaciones de automotoras. La miniaturización e integración limitan el espacio para las soluciones convencionales de robustez contra los campos electromagnéticos. Lograr la robustez de la Compatibilidad Electromagnética (EMC) de sistemas de sensores altamente integrados se está volviendo cada vez más desafiante. Para probar un diseño conforme a EMC en una etapa temprana del desarrollo y finalmente para cumplir las exigencias del usuario.

Este documento presenta un nuevo enfoque de mediciones de ingeniería por señales moduladas de radio frecuencia (rf). Está destinado a incrementar la precisión de medición a nivel de chip y ahorrar tiempo de prueba. El primer paso es describir diferentes parámetros de ruido de Circuitos Integrados (IC / ASIC) digitales modernos. Basándonos en estos parámetros de conocimiento de frecuencia modulada (FM) las señales son escogidas. Mediante el estudio de diferentes errores en los dispositivos de prueba, presentados por dispositivos de sensor inteligentes en sistema en un chip (SOC) y sistemas en paquete (SIP), la ventaja y capacidad de uso del método de prueba presentado es discutida y comparada con la prueba de EMC convencional a nivel de chip.

(Sunil Prasad & Ananda C M, 2014) El cumplimiento de los estándares electromagnéticos es fundamental durante el diseño de un PCB. Las herramientas de simulación existentes en la industria que usan los modelos de Información de Búfer de entrada/salida (IBIS) ayudan a resaltar los problemas de integridad de la señal en fases tempranas del diseño. El documento presente discute el análisis de integridad de la señal llevado a cabo para el bus digital del Sistema Autopiloto. El Sistema Autopiloto típico consta de Unidad de Mediciones Inerciales (IMU), Sensor de Altitud, Controlador Programable/Procesador y Módulo de Poder con las interfaces requeridas para el sistema externo. El IMU y el sensor de Altitud (Presión) han sido interconectados con el controlador usando un único bus de Circuito Inter-Integrado (I2C) digital. El diseño de reloj y las líneas de datos del bus I2C han sido ubicados paralelos al control de los sensores respectivos. Este documento presenta actividad de investigación hacia el análisis de señal de los datos y líneas de reloj para el Sistema Autopiloto. En este documento el bus I2C ha sido analizado para un patrón de bit definido en dominio de tiempo y los respectivos resultados han sido presentados.

(G. FRANTZ *et al*, 2014) La presencia de numerosos convertidores electrónicos de potencia en redes, origina aspectos de EMC. El modelo de EMC de los convertidores electrónicos de potencia no son los adecuados debido a la complejidad del modelo. Ciertamente, por un lado, el estudio de EMC necesita la mejor caracterización de cada elemento, entonces, solo un reducido número de convertidores enchufados a la red pueden ser descritos. Por otra parte, un enfoque de red convencional, representando los convertidores en un punto de vista puramente funcional, no permite tal análisis de cada elemento. Por lo tanto los enfoques de “caja negra” o “caja gris”, representando el comportamiento global de los convertidores, son un buen compromiso entre esas dos



necesidades antagónicas. Entonces, se necesita otro enfoque para cumplir con los estudios de EMC de red. Cada convertidor tiene que ser representado con solo un bajo número de parámetros; como resultado, un enfoque de “caja negra”, más adaptado al análisis de un sistema. Una ventaja adicional es que tal modelo no requiere del conocimiento preciso del contenido del convertidor (características de los componentes, modelo...) que es a menudo desconocido. Como un presentado adicional, un enfoque completo de “caja negra” puede guiar a resultados no físicos en el modelo, por consiguiente, se debería añadir más conocimiento en el proceso de identificación, llevando a un modelo de “Caja Gris”. Este artículo pretende exponer a la vez aspectos teóricos y experimentales del modelo de EMC de los convertidores para un análisis de red. Además del modelo de presentación y validación, también provee un análisis detallado de las cuestiones de identificación del modelo, lo que es determinante en el punto de vista del usuario.

Los resultados de medición son presentados por (M. Ahsan Rafiq *et al*, 2014) para mostrar el efecto de ranuras de blindaje y cables interconectando diferentes subsistemas en las emisiones radiadas. Está demostrado que al usar los niveles apropiados de blindaje de Emisión Radiada (RE) se puede reducir tanto como 40dB. Similarmente la atenuación de por lo menos 20 dB en niveles de voltaje medidos en las pruebas de emisión realizadas puede ser lograda mediante el uso de filtros  $\pi$  y tierra del chasis. En el caso de unidad de poder, también se ha diagnosticado que la causa principal de las emisiones conducidas (CE) es la conmutación del convertidor DC-DC.

### **5.3. Mejoramiento de calidad de la señal por procesamiento de datos (algoritmos)**

(Florian Krug *Student* & Peter Russer, 2003) Las señales procedentes de la antena se muestrean, se convierten de análogo a digital y se procesan digitalmente, la rápida transformación de Fourier (FFT) los periodogramas Welch and Bartlett se calculan de forma digital. En comparación con el estado de la técnica de los sistemas de medición EMI, el nuevo sistema TDEMI describe muestras de la fase completa y amplitud de la información de los EMI de forma simultánea en toda la banda de frecuencias considerada. Con el sistema de medición en dominio del tiempo presentado el tiempo de medición puede ser reducido por un factor de 10. El procesamiento digital de las mediciones EMI permite imitar en tiempo real diferentes modos de equipos análogos convencionales, por ejemplo: pico, promedio, detector eficaz y cuasi pico y también introduce nuevos conceptos de análisis por ejemplo espectros de fase, espectros de corta duración, evaluación estadística y FFT métodos de análisis basados en tiempo-frecuencia.

(Stephan Braun, 2010) Las mediciones de la interferencia electromagnética en el dominio del tiempo, permite reducir el tiempo de exploración en varios órdenes de magnitud, en

comparación con exploraciones automatizadas realizadas por voltímetros selectivos sintonizados, que son conocidos como receptores de EMI, el analizador de espectro de frecuencia se utiliza para mediciones selectivas de señales, estos analizadores pueden realizar barridos o exploraciones rápidas en grandes bandas, uno de los inconvenientes de los analizadores de espectro es su largo tiempo de barrido cuando se requiere una resolución de alta frecuencia. El sistema de medición basado en bandas permite acelerar las exploraciones en varios órdenes de magnitud. Los sistemas con una conversión descendente de banda ancha y un sistema convertidor de banda ancha de análogo a digital, permite ampliar el rango de frecuencia más allá de la frecuencia de Nyquist de los ADC disponibles hoy. Los potentes procesadores de corta duración de la transformada rápida de Fourier permiten procesar varias frecuencias al mismo tiempo. Un procesamiento sin pausas permite analizar señales no estacionarias, así como pequeñas señales de banda ancha.

(Xuchu Hu & Matthew R. Guthaus, 2011) La interferencia electromagnética (EMI) generada por los sistemas electrónicos está en aumento con la frecuencia de operación y el proceso de encogimiento de las tecnologías. La red de distribución de reloj es una de las mayores causas de EMI en el chip. El análisis de espectro muestra que la velocidad de respuesta de la señal es el parámetro principal que determina la distribución de contenido espectral de alta frecuencia. En este documento, proponemos un algoritmo de programación dinámico para optimizar la señal teniendo en cuenta las métricas tradicionales y la Compatibilidad Electromagnética (EMC). Nuestros resultados experimentales demuestran que la velocidad de respuesta puede ser controlada en un rango factible y que los contenidos del espectro de alta frecuencia pueden ser reducidos sin sacrificar las métricas tradicionales tales como el poder y la inclinación. Con la optimización eficiente y el método de poda, el punto de referencia más grande es capaz de completar en 4 minutos.

(Gao Ziyang *et al*, 2011) Los Pulsos Electromagnéticos (EMP) pueden interrumpir seriamente la operación de los instrumentos electrónicos. Los métodos tradicionales para la medición de EMP están enfocados principalmente en técnicas para diseñar puntas de prueba. Este documento presenta un nuevo enfoque a la medición de la intensidad del campo de EMP concentrándose en las técnicas de transformación de los datos medidos. Utilizando las técnicas de transformación de señal, el método baja significativamente los requisitos en las especificaciones de prueba de instrumentos y puede lograr teóricamente mediciones sin distorsión. El método no es caro y es fácil de implementar, con amplias aplicaciones que van desde blindaje electromagnético a problemas de compatibilidad electromagnética.

(Jian Xu & Fei Dai, 2011) Una técnica avanzada de transformación de señal para mediciones de interferencia electromagnética de dispositivos electrónicos será presentada. Un ruido de ambiente lo más bajo posible es preferido en las mediciones de interferencia

electromagnética. No todos los productores de dispositivos pueden pagar por una medición de cuarto oscuro, porque realmente cuesta mucho. Este método proporciona una oportunidad para realizar una medición de interferencia electromagnética en un sitio contaminado con ruido electromagnético del ambiente. Resultado a partir de un dispositivo bajo prueba real, la medición automática con este método que cancela exitosamente el ruido del ambiente.

(Bruno Audone, 2012) Uno de los problemas más críticos en la prueba de inmunidad es detectar las averías del equipo bajo prueba (EUT) cuando las señales de susceptibilidad son inyectadas dentro de él. En la mayoría de las especificaciones de EMC se deja al operador de la prueba decidir si el EUT es susceptible en la base de la exanimación de los parámetros de salida cualitativos; incluso si los datos cuantitativos están disponibles la decisión pasa/falla sigue estando basada sobre consideraciones puramente deterministas, que no tienen en cuenta posibles degradaciones debido a muchos factores tales como las características de realización aleatoria de el equipo de prueba, el envejecimiento del equipo y el parámetro de esparcimiento de los componentes electrónicos usados en los procesos de manufactura. Las evaluaciones estadísticas pueden ser necesarias para encontrar una solución adecuada a este problema especialmente en caso de la seguridad de equipos críticos y sistemas.

(Tarkeshwar Mahto & Hasmat Malik, 2012) Debido a esto se realizó un estudio mostrando que la duración de uso de un teléfono móvil ha obtenido un efecto significativo en las características de EMI. Esto sucede porque una operación de largo tiempo (transmitiendo y recibiendo) del teléfono móvil causa que su hardware se desgaste por un periodo de tiempo a medida significativa. Por consiguiente, la operación de desgastar elementos produce errores que degradan el rendimiento de los algoritmos de control de flujo de energía junto con el del hardware, lo que resultará en un control de flujo de energía pobre en el hardware del teléfono móvil. Esto lleva a la generación de interferencia y obliga a un teléfono a violar las regulaciones de compatibilidad electromagnética. Pues degrada la calidad de los servicios del teléfono móvil y conlleva a el mal funcionamiento de los dispositivos eléctricos/electrónicos en su área y también de los sistemas conectados a su misma red.

(Stephan Braun & Peter Russer, 2012) Las mediciones de interferencia electromagnética de dominio de tiempo permiten reducir el tiempo de exploración por varias órdenes de magnitud, en comparación con las exploraciones automatizadas realizadas por los voltímetros selectivos sintonizados, que son conocidos como receptores de EMI. Los analizadores de espectro son usados para barridos rápidos para obtener una visión general. Tales analizadores pueden realizar barridos rápidos o exploraciones sobre bandas grandes.

Con la actualización de CISPR 16-1-1 Ed 3.1 los requisitos para los sistemas de medición de EMI de dominio de tiempo han sido descritos. Estos sistemas de medición de EMI de dominio de tiempo están usando la transformación rápida de Fourier de corto tiempo para

simular un establecimiento de más de 4000 receptores simultáneamente. Un requisito importante es la adquisición sin pausas durante el tiempo de permanencia. En este documento los requisitos y soluciones para las mediciones de dominio de tiempo son discutidos. Una condición importante es la transformación sin pausas de la señal de entrada. Esta condición es obligatoria para detectar el tiempo de observación y el impulso aislado. Otros requisitos son los anchos de banda de filtro IF y la indicación en los varios modelos de detector para las diferentes frecuencias de repetición de pulsos así como el alcance dinámico. En este documento los requisitos relativos a la calibración son discutidos. Se demuestra que el sistema de medición de dominio de tiempo puede ser usado para la medición precisa de una medición final completamente confiable y también para barridos ultra rápidos, reemplazando los analizadores de espectro. En ambos casos los barridos y tiempos de exploración son reducidos.

(Arnd Frech & Peter Russer, 2012) De acuerdo al estándar CISPR 16-2-3 de mediciones de interferencias electromagnéticas (EMI) son llevados a cabo ya sea en cámaras anecoicas o en sitios área abierta. Para probar en sitios de prueba abiertos es necesario escoger una ubicación remota donde el ruido artificial sea mínimo para evadir el cubrimiento de las emisiones del dispositivo bajo prueba por señales del ambiente. La organización y procedimientos de medición regulados, descritos en el estándar, es obligatorio para mediciones confiables y resultados de las mediciones reproducibles de las mediciones de emisión irradiada en el rango de 30 MHz a 1 GHz. En este documento los métodos son presentados para reprimir el ruido del ambiente indeseado y entonces se permite la realización de mediciones en sitios abiertos con contaminación acústica. Mediante el uso de convertidores de análogo a digital de ultra alta velocidad probando las emisiones de señal en dominio de tiempo y aplicando la transformación rápida de Fourier las mediciones de EMI son aumentadas de velocidad por varias órdenes de magnitud comparadas con las mediciones realizadas con receptores heterodinos tradicionales operando en dominio de frecuencia. Combinando la tecnología de dominio de tiempo con las técnicas de filtrado adaptativo el sistema presentado puede realizar mediciones de emisión ultra rápidas en la presencia de ruido ambiental. Estrategias avanzadas con capacidad en tiempo real para cancelación de ruido adaptativa basadas en una plataforma poderosa de hardware son mostradas. La filtración adaptativa de dominio de frecuencia y de dominio de tiempo es comparada. Los algoritmos de filtrado adaptativo son investigados y mejorados respecto a la implementación del algoritmo de cancelación de ruido en el campo de matrices de puertas programables asegurando unos continuos datos de rendimiento por una transformación optimizada de señal digital en tiempo real. Las mediciones por encima de 1 GHz son llevadas a cabo en el interior de sitios urbanos. La supresión del ruido del ambiente en tiempo real es demostrada en bandas de frecuencia de más de 125 MHz una vez.

(Christian Hoffmann *et al*, 2012) Un sistema de medición de EMI de dominio del tiempo para el rango de frecuencia a partir de 10 Hz a 40 GHz es presentado. Las señales con una frecuencia mayor a 1.1 GHz son probadas mediante un convertidor análogo a digital (ADC) de punto flotante ultra rápido y procesadas en tiempo real en una matriz de compuerta de campo programable (FPGA). Un convertidor descendente de múltiples etapas de ultra banda ancha permite la medición de señales con frecuencias mayores a 40 GHz. Los tiempos de medición pueden ser reducidos por varias órdenes de magnitud comparadas con los receptores de EMI tradicionales que trabajan en dominio de frecuencia. Con amplificadores de bajo ruido integrados preseleccionados, el sistema ofrece una alta sensibilidad especialmente en la banda  $K_a$  desde 26.5 GHz a 40 GHz. La figura del sistema de bajo ruido de 26.5 GHz a 40 GHz produce un nivel medio de ruido de fondo de alrededor de 12 dBV usando un filtro IF de ancho de banda de 1MHz en este rango. Con un rango dinámico de alto sistema de más de 70 dB, el sistema se acomoda excelentemente para la medición de banda ancha, emisiones transitorias o señales de alta dinámica como los pulsos de radar. Las emisiones no estacionarias pueden ser medidas por medio de espectrograma en tiempo real o por medio del método de medición de la distribución de amplitud de probabilidad (APD) multi-canal.

(J. A. Russer *et al*, 2013) El espectro de EM de dominio de tiempo y los sistemas de medición de Interferencia Electromagnética (EMI) prueban la señal EMI de banda ancha con frecuencias de muestreo de GHz y computar el espectro de EMI mediante transformación de señal digital, por ejemplo mediante la transformación rápida de Fourier (FFT). Esto da una considerable reducción del tiempo de medición por más de cinco órdenes de magnitud. Los campos EM estocásticos juegan un rol importante en las comunicaciones inalámbricas, sensores electromagnéticos e interferencia electromagnética radiada. El ruido en los sistemas electromagnéticos degrada la calidad de la señal en transmisión de información inalámbrica. La interferencia electromagnética radiada puede imponer severas limitaciones al desempeño de los sistemas electrónicos. Los métodos para la computación de los campos de EM estocásticos han sido presentados. Desde la mitad de los treinta del siglo pasado el método tradicional para llevar a cabo mediciones de interferencia electromagnética está basado en el uso de receptores de EMI operando en el dominio de frecuencia. La resolución de frecuencia requerida es lograda mediante el filtrado de banda estrecha de la señal interferente. En el 2004, el primer sistema de medición de EMI de dominio de tiempo para el rango de frecuencia de 30 MHz a 1 GHz fue realizado. El sistema realiza el cálculo del espectro mediante la transformación rápida de Fourier (FFT) y una evaluación simultánea del espectro en el modo de detector de pico, promedio, y media cuadrática. En [11], una reducción del tiempo de medición por un factor de 8000 comparado con los sistemas de dominio de frecuencia fue lograda. Un sistema multi-resolución sistema con tres convertidores análogo a digital paralelos análogos permitió cumplir los estándares internacionales de EMC de CISPR 16-1-1.

(Brian D. Cordill & Sarah A. Seguin, 2013) La interoperabilidad del sistema de radar y comunicación es un problema en marcha que está aumentando debido al saturamiento espectral agudo. Este documento se concentrará en examinar la degradación del funcionamiento de los receptores del sistema de radar a partir de las señales de comunicación OFDM tales como WiMAX y LTE. Específicamente, un radar meteorológico de largo alcance de banda S simulado será sometido a interferencia OFDM y la degradación de su rendimiento será medida. Los sistemas de radar nacionales que usan técnicas de procesamiento de radares incoherentes y coherentes serán examinados. La efectividad de las técnicas de mitigación de interferencia del primer orden, tales como el filtrado de muesca, serán medidas y comparadas. Estos tipos de mediciones pueden ayudar a los ingenieros de diseño y a los operadores de sistemas mientras la interferencia OFDM se vuelve más frecuente”.

La cuestión de la integridad de la señal se ha hecho cada vez más importante en años recientes. (Sheng-Yun Hsu & Chiu-Chih Chou, 2014) Con el fin de tener una buena calidad de señal, muchos aspectos deben ser cuidadosamente considerados en un canal digital. En este documento comparamos los efectos de un controlador de salida no ideal y diferentes redes de distribución de poder (PDNs) en la integridad de la señal. La variación del rendimiento del canal bajo diferentes tasas de bit de control es también analizada. Adicionalmente, para reducir el tiempo de simulación, varios algoritmos para la estimación rápida y precisa de integridad de la señal han sido propuestos como alternativas para la simulación convencional de PRBS de consumo de tiempo. La siguiente parte de este documento compara los rendimientos de estos algoritmos para un circuito con PDN no ideal. A partir de estos resultados, podríamos obtener un entendimiento de calidad de estos algoritmos.

(Sui Wei-shuna & Cheng De-wang, 2014) Con el propósito de expandir el rango de aplicación del sistema de medición de Cámara Virtual de EMR (Radiación Electromagnética) y mejorar la precisión de medición en mediciones reales, un método matemático de filtro adaptativo y filtro Wiener es usado para analizar los defectos inherentes del sistema de medición basado en ANS (Supresión Automática de Ruido), y la tesis señaló que el factor principal que restringe el rango de aplicación y la precisión de la medición es la existencia de componente de fuente de señal el cual es detectado en el canal de referencia. Acorde al análisis del resultado, el sistema de medición está reconstruido, viniendo como un ANS basado en estimación espectral. Analizando la señal mixta detectada en el canal principal, el sistema remodelado puede obtener el PSD (densidad del espectro de poder) de señal de radiación y señal de ruido. De acuerdo a la frecuencia del punto de frecuencia en el PSD, el filtro de ranura ha sido diseñado para filtrar el componente de señal de radiación capturado por el canal de referencia, luego el sistema hace su expectación. La simulación resulta indicando el buen desempeño del método en la circunstancia de medición de alta SNR (radio del ruido de la señal) así como de baja SNR.

(Yanan Cai *et al*, 2014) La falla mecánica es la falla principal del cortacircuitos de alto voltaje. Para pronosticar con precisión la falla mecánica del cortacircuitos, es esencial estimar la compatibilidad electromagnética (EMC) y confiabilidad del dispositivo de vigilancia. Este documento propone el método de estimación de confiabilidad de falla mecánica del dispositivo de vigilancia para cortacircuitos basado en el análisis del árbol de fallas (FTA). El modelo del árbol de fallas es establecido en la estructura del dispositivo de vigilancia para un cortacircuito de alto voltaje. Implica la adquisición de datos, análisis de señal, diagnóstico de falla y gestión de datos. Buscando un riguroso proceso de análisis, el ambiente electromagnético es tenido en cuenta. Considerando las características de todas las características, el grado relativamente inferior y la función de afiliación son usados para evaluar sintéticamente las probabilidades de falla. Mientras tanto, el proceso de análisis de jerarquía fuzzy (FAHP) es adoptado para definir el peso de importancia del evento básico. Este método de análisis puede estimar efectivamente la confiabilidad de la falla mecánica del dispositivo de vigilancia para cortacircuitos de alto voltaje.

(Jens Medler, 2014) Los instrumentos de medición basados en FFT pueden ser usados para mediciones del cumplimiento de EMI de acuerdo a la Enmienda 1ª a 3ª Edición de CISPR 16-1-1 si este estándar es referenciado en el estándar del producto. El uso es motivado por reducir el tiempo de exploración en varias órdenes de magnitud. Una parte de este ahorro de tiempo puede ser usada para aplicar tiempos de medición más largos con objeto de detectar de forma fiable las señales intermitentes de banda estrecha o pulsos aislados. Para mediciones precisas y reproducibles el uso de filtros de preselección es altamente recomendado.

#### **5.4. Antenas**

(2010. CUI Yaozhong *et al*, 2010) Los modelos de simulación de cámara de reverberación agitados por dos antenas y una sola antena son construidos. La uniformidad del campo en 80 MHz y 120 MHz es obtenida cuando una sola antena y dos antenas son utilizadas respectivamente. En comparación con una antena de emisión única, la uniformidad del campo es mejorada usando dos antenas de emisión. El mecanismo de uniformidad del campo mejorada es analizado. Además, usar dos antenas podría disminuir más el requisito de amplificador de poder que cuando se desea la misma intensidad de campo. Entonces la cámara de reverberación que usa dos antenas podría bajar el costo de la prueba de compatibilidad electromagnética.

(Ravi Prakash Dwivedi & Usha Kiran Kommuri, 2015) La antena de parche rectangular de tira en L acoplado Electromagnéticamente es propuesta y los resultados de simulación fueron obtenidos por la herramienta HFSS. El rango de frecuencia cubierto por la antena

única es de 1800MHZ a 2370MHZ con -10db de pérdida de retorno con peso óptimo del parche del plano terrestre 16.8mm. Los parámetros de la antena que influyen en la ganancia, ancho de banda, y pérdida de retorno fueron analizados y los gráficos son trazados. El diseño se centra principalmente en los servicios de internet 3G. Cubre los DCS, PCS y UMTS. Adicionalmente, la adaptación significativa y la alta ganancia de 10.8 dB a 2.4 GHz es obtenida”.

### **5.5.Adquisición de datos**

(Zhou Changlin & Hu Mingxin, 2010) Con el fin de mejorar la compatibilidad a nivel de chip y sistema, la compatibilidad electromagnética (EMC) de controladores de señal digital (DSCs) es analizada en este documento. Los problemas de EMC con DSCs, relacionados con la emisión y susceptibilidad para incluir chips múltiples complejos periféricos corriendo a bastantes frecuencias de alto reloj, y el enfoque del control EMC son considerados. El modelo electromagnético DSCs se propone para lograr la emisión, simulación y análisis de susceptibilidad a nivel de chip, y es posible estimar el efecto de alteraciones en la medición y sistemas de control. Finalmente el circuito DSC está diseñado para que el cumplimiento EMC tenga más fiabilidad.

(Christian Hoffmann & Peter Russer, 2011) Un sistema de medición de EMI de alta dinámica de dominio de tiempo de bajo ruido que permite mediciones de 9 kHz – 26 GHz es presentado. Combina una ultra rápida conversión análogo a digital y un procesador de señal digital en tiempo real en un campo programable con compuerta de matrices (FPGA) con una conversión descendente de múltiples etapas ultra banda ancha. El alcance dinámico del sistema IF excede los requerimientos de 16-1-1 de CISPR por sobre 20 dB y permite la medición de señales de alcance altamente dinámico como pulsos de radar. La sensibilidad del sistema se incrementa gracias al uso de componentes de baja pérdida e integrados, amplificadores de bajo ruido de banda ancha (LNA). Esto produce una ultra baja densidad espectral de potencia de ruido de fondo típicamente por debajo de -150dBm/Hz sobre el alcance completo de frecuencia. La alta sensibilidad del sistema permite la caracterización de la banda ancha, señales de bajo nivel cerca al ruido de fondo, como comunicación de ultra banda ancha (UWB). El tiempo de exploración se ve disminuido por varias órdenes de magnitud comparado a receptores EMI heterodinos. Una exploración de 9 kHz a 26 GHz con filtro IF de 9 kHz y un tiempo de permanencia de 100 ms es completado en menos de 200s, mientras más de  $5 \times 10^6$  puntos de frecuencia son calculados”.

(Peter Russer & Institute for Nanoelectronics, 2011) Las técnicas de medición de interferencia electromagnética (EMI) de dominio de tiempo y banda ancha son discutidas.



Los sistemas de medición de EMI de dominio de tiempo están basados en conversión análoga a digital de banda ancha y la transformación digital en tiempo real posterior de las señales de medición de EMI. Esto nos permite reducir las veces de medición por varias órdenes de magnitud. Los sistemas modernos de medición de EMI de dominio de tiempo para bandas de frecuencia de más de 18 GHz y sus principios de operación son presentados. Como los receptores de EMI convencionales, los sistemas de medición de EMI de dominio de tiempo facilitan la medición de promedio, rms, pico promedio, y los valores del cuasi promedio de EMI. Adicionalmente, los sistemas de medición de interferencia electromagnética de dominio de tiempo permiten medir espectros de fase, espectros de corto tiempo y realizar análisis estadísticos de las señales medidas”.

## 6. MODELOS DE PROPAGACIÓN

(George L. Turin & Fellow, 1972) Un experimento de propagación multipath urbana, involucrando la transmisión simultánea desde un sitio fijo de 100-ns vibra a 488, 1280, y 2920 MHz y su recepción descrita. El análisis estadístico de los datos en las respuestas resultantes del multipath es dado y usado como base para un modelo estadístico de propagación multipath urbana,

**(Shinji TSUZUKI & Akihiko GODA, 2010)** pues un sistema de transmisión de modo dual el cual utiliza el modo diferencial y común ha sido propuesto. Para mejorar la capacidad del canal, una simple diferencia, la cual selecciona el mejor modo de transmisión a un lado de la PC de un cliente, fue examinada en las habitaciones de un laboratorio en un edificio; encontrando que la cantidad de mejora del rendimiento fue de 45% comparado con el modo de transmisión monomodo convencional de modo diferencial. Para superar el problema de radiación involuntario causado por la transmisión del modo común, un algoritmo de compatibilidad electromagnética considerado como un algoritmo de control de energía el cual era adaptado al ambiente electromagnético (AEE) fue aplicado al sistema propuesto. Hemos concluido que en áreas relativamente pequeñas como una casa, un piso de oficinas en un edificio y así sucesivamente, serían el lugar adecuado para el sistema propuesto”.

(Yong Yang & Ru Zong, 2010) La plataforma de gran altitud (HAP) es la más prometedora infraestructura para la comunicación inalámbrica en el futuro cercano. Un problema esencial que necesita solución para el diseño los sistemas de comunicación HAP es establecer un modelo de canal efectivo para predecir las características del enlace de comunicación. Ha habido muchos documentos acerca de este problema y varios modelos de canales han sido propuestos. El trabajo principal de este documento es resumir y analizar los modelos de canal disponibles. Aquí, los modelos existentes son divididos en tres grupos acorde a sus respectivas especialidades y cada modelo es brevemente presentado con énfasis en el análisis de sus fortalezas y debilidades. Algunas cuestiones abiertas también son señaladas.

(CUI Yaozhong *et al*, 2010) Los modelos de simulación de cámara de reverberación se construyen por dos antenas y por una antena única. La uniformidad del campo en 80MHz y 120MHz se obtiene cuando la antena única y las dos antenas se utilizan respectivamente. En comparación con la antena de emisión única, la uniformidad de campo se mejora con el uso de dos antenas de emisión. Se analiza el mecanismo de la uniformidad de campo mejorado. Además el uso de dos antenas podría reducir el requisito de amplificar la

potencia cuando se desea la misma intensidad de campo. Así la cámara de reverberación que utiliza dos antenas podría disminuir el costo de la prueba de compatibilidad electromagnética

(Ricardo Jauregui y Marc Pous, 2010) Este documento presenta una nueva metodología de simulación para estudiar el efecto de las perturbaciones transitorias irradiadas en los sistemas de comunicación digital. El procedimiento está dividido en dos etapas. En la primera, la simulación numérica FDTD es usada para determinar los niveles transitorios acoplados en las antenas. En la segunda etapa, estos niveles son analizados por medio un software de simulación de proceso de señal para determinar la degradación causada en el sistema. El procedimiento es aplicado a un sistema DAB en un carro cuando una interferencia irradiada es generada por un pasajero en un vehículo de cable. Los resultados muestran que la amplitud de la señal transitoria acoplada irradiada es un parámetro clave, pero también es esencial tener en cuenta otros parámetros como la duración de la ráfaga y frecuencia.

(Lawrence S. Cohen & Randy J. Jost, 2013) El espectro electromagnético, a partir de 2 MHz hasta 94 GHz, es un recurso en evolución. Muchos usos del espectro incluyen comunicaciones, radio y radiodifusión televisiva, radionavegación, sensores y radares. La región del espectro de 2.4 GHz ha llegado a ser particularmente problemática debido a la afluencia de los sistemas inalámbricos tales como WiMAX y LTE dentro de un área que ha sido asociada tradicionalmente con los sistemas de radar. Aunque el espectro completo de EMI se está volviendo cada vez más congestionado, concentramos nuestros ejemplos en esta banda como un sustituto para entender qué está pasando alrededor del espectro, mientras señalamos los requisitos únicos en otras bandas. Este documento discutirá mediciones empleadas para caracterizar los usuarios de espectro de radar y sin radar, como cada uno tiene cuestiones que deben abordarse. Primero, la física de propagación de por qué los usuarios de espectro buscan acceso a las bandas de frecuencia seleccionadas. Las únicas características espectrales de los radares, generalmente no encontradas en los sistemas de comunicaciones serán discutidas. Las compensaciones al usar analizadores de espectro súper heterodinos convencionales y basados en FFT versus los analizadores de espectros más nuevos de tiempo real, así como otras técnicas de medición serán presentadas en términos de su capacidad de evaluar el espectro de EM y determinar cuál es la mejor forma de usar un recurso finito. Se proyecta que muchos sistemas de irradiación serán forzados a monitorear el espectro de EM y ajustar sus características de operación en una base de tiempo real.

## 7. CONCLUSIONES

- Según la revisión bibliográfica se puede ultimar que la Compatibilidad Electromagnética, es la capacidad de cualquier aparato, equipo o sistema para funcionar de forma satisfactoria en su entorno electromagnético. También se logra evidenciar que existen ciertas ventajas y desventajas según diversas opiniones y temas de aplicación del mismo.
- A la hora de realiza una investigación documental, es importante tener en cuenta la correcta forma de referenciar cada una de las fuentes de información, pues esto hace más válido y asertivo lo indagado.
- Por la tanto se puede concluir que está comprobado que con un mayor conocimiento sobre un campo de estudio, será más fácil detectar el área que necesita ser investigada y sobre la cual se puede profundizar para llegar al objetivo principal.
- El conocimiento impartido por los docentes de la Universidad, permite crear proyectos de muy buena calidad, teniendo en cuenta que la universidad enseña las bases de la ingeniería, pero los límites de aprendizaje los imponen los estudiantes.

## 8. REFERENCIAS

- Antonini, G., & Orlandi, A. (2001). Wavelet packet-based EMI signal processing and source identification. *Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on*, 43(2), 140-148.
- Aponte, G., Escobar, A., Pinedo, C. R., & Arizabaleta, G. (2007). Medición de campos electromagnéticos en la ciudad de Cali, Colombia. *Información tecnológica*, 18(3), 39-47.
- Audone, B., Audone, M., & Marziali, I. (2012, September). On the use of the minimum phase algorithm in EMC data processing. In *Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE), 2012 International Symposium on* (pp. 1-6). IEEE.
- Audone, B. (2012, September). On the detection of random broadband signals. In *Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE), 2012 International Symposium on* (pp. 1-6). IEEE.
- Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility, April 12 - 16, 2010, Beijing, China
- Awan, F. G., Sheikh, N. M., & Gohar, J. (2010, April). Simulation of a Parametric Model for Interference Cancellation in Open Space EMC Measurement. In *Information Technology: New Generations (ITNG), 2010 Seventh International Conference on* (pp. 924-928). IEEE.
- Braun, S., y Russer, P. (2012, mayo). Requisitos y soluciones para la medición de las emisiones en el dominio del tiempo de acuerdo a las normas internacionales de EMC. En *Compatibilidad Electromagnética (APEMC), 2012 Simposio de Asia y el Pacífico sobre* (pp. 209 a 212). IEEE.
- Braun, S. (2010, April). Spectrum analysis and EMI measurements based on time-domain methods. In *Microwave Techniques (COMITE), 2010 15th International Conference on* (pp. 13-18). IEEE.
- Cai, Y., Wang, Y., Chen, W., & Gao, J. (2014, September). Reliability assessment of monitoring device for mechanical failure of high voltage circuit breaker based on

- FTA. In *High Voltage Engineering and Application (ICHVE), 2014 International Conference on* (pp. 1-4). IEEE.
- Changlin, Z., Mingxin, H., Xin, L., Liming, D., & Tianchi, Y. (2010, April). Electromagnetic compatibility analysis and design for digital signal controllers. In *Electromagnetic Compatibility (APEMC), 2010 Asia-Pacific Symposium on* (pp. 668-671). IEEE.
- Changlin, Z., Jianmin, W., Xiangfeng, P., Fei, G., & Daojie, Y. (2012, October). Modelling and analysis of electromagnetic interferences for a 32-bit digital signal controller. In *Antennas, Propagation & EM Theory (ISAPE), 2012 10th International Symposium on* (pp. 1132-1135). IEEE.
- Cohen, L. S., & Jost, R. J. (2013, August). Spectrum analysis and measurements in a congested electromagnetic environment. In *Electromagnetic Compatibility (EMC), 2013 IEEE International Symposium on* (pp. 66-71). IEEE.
- Cordill, B. D., Seguin, S., & Cohen, L. (2013, August). Electromagnetic interference to radar receivers due to in-band OFDM communications systems. In *Electromagnetic Compatibility (EMC), 2013 IEEE International Symposium on* (pp. 72-75). IEEE.
- Demirkiran, I., Weiner, D. D., Drozd, A., & Kasperovich, I. (2010, July). Knowledge-based approach to interference mitigation for EMC of transceivers on unmanned aircraft. In *Electromagnetic Compatibility (EMC), 2010 IEEE International Symposium on* (pp. 425-430). IEEE.
- Escobar, DE, romano, F., Cortés, CA, y Rojas, HE (2013, octubre). Rayo sistema de medición de campo magnético en Bogotá-Colombia: Método procesadoras de señal. En *Protección contra rayos (XII SIPDA), 2013 Simposio Internacional sobre* (pp. 162-166). IEEE.
- Frantz, G., Frey, D., Schanen, J. L., & Revol, B. (2013, September). EMC models of power electronics converters for network analysis. In *Power Electronics and Applications (EPE), 2013 15th European Conference on* (pp. 1-10). IEEE.
- Frech, A., & Russer, P. (2012, May). Real-time ambient noise cancellation for EMI measurements on open area test sites. In *Electromagnetic Compatibility (APEMC), 2012 Asia-Pacific Symposium on* (pp. 213-216). IEEE.

- Hoffmann, C., & Russer, P. (2011, August). A broadband high-dynamic time-domain system for EMI measurements in K-band up to 26 GHz. In *Electromagnetic Compatibility (EMC), 2011 IEEE International Symposium on* (pp. 489-492). IEEE.
- Hoffmann, C., Sidhom, A., Braun, S., & Russer, P. (2012, August). A broadband, low-noise time-domain system for EMI measurements through K a-band up to 40 GHz. In *Electromagnetic Compatibility (EMC), 2012 IEEE International Symposium on* (pp. 468-472). IEEE.
- Hongyi, L., Xi, W., Shuguo, X., & Di, Z. (2012, June). An ICA based prediction method for EMI and EMC. In *Robotics and Applications (ISRA), 2012 IEEE Symposium on* (pp. 287-289). IEEE.
- Hu, X., & Guthaus, M. R. (2011, January). Clock tree optimization for electromagnetic compatibility (EMC). In *Proceedings of the 16th Asia and South Pacific Design Automation Conference* (pp. 184-189). IEEE Press.
- Hsu, S. Y., Chou, C. C., & Wu, T. L. (2014, May). Signal integrity: Influence of non-linear driver, different bit rates, and estimation by different algorithms. In *Electromagnetic Compatibility, Tokyo (EMC'14/Tokyo), 2014 International Symposium on* (pp. 121-124). IEEE.
- Ixtanio Leite Ferreira, P., Fontgalland, G., Aragão, G. F., & Barbin, S. E. (2013, May). Separation of electromagnetic sources by the method of independent component analysis. In *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2013 IEEE International* (pp. 476-479). IEEE.
- Jauregui, R., Pous, M., Fernández, M., & Silva, F. (2010, July). Transient perturbation analysis in digital radio. In *Electromagnetic Compatibility (EMC), 2010 IEEE International Symposium on* (pp. 263-268). IEEE.
- Jin, N., y Rahmat-Samii, Y. (2005). Paralelo optimización por enjambre de partículas y en diferencias finitas de dominio de tiempo (PSO / FDTD) algoritmo para multibanda y de antena de parche de banda ancha diseños. *Antenas y Propagación, IEEE Transactions on*, 53 (11), desde 3.459 hasta 3.468.
- Korman, H., & Descardecí, J. R. (2003, September). A study on the electromagnetic radiation from cellular base station at Curitiba-Brazil. In *Microwave and*

*Optoelectronics Conference, 2003. IMOC 2003. Proceedings of the 2003 SBMO/IEEE MTT-S International* (Vol. 2, pp. 835-838). IEEE.

Krug, F., & Russer, P. (2003). The time-domain electromagnetic interference measurement system. *Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on*, 45(2), 330-338.

Mahto, T., Malik, H., Sood, Y. R., & Jarial, R. K. (2012, May). Impact of usage duration on mobile phones EMI characteristics. In *Communication Systems and Network Technologies (CSNT), 2012 International Conference on* (pp. 558-562). IEEE.

Nagata, M., Shimazaki, S., Azuma, N., Takahashi, S., Murakami, M., Hori, K., & Yamaguchi, M. (2013, December). Measurement-based diagnosis of wireless communication performance in the presence of in-band interferers in RF ICs. In *Electromagnetic Compatibility of Integrated Circuits (EMC Compo), 2013 9th Intl Workshop on* (pp. 37-41). IEEE.

Nicolae, P. M., Purcaru, D. M., Nicolae, I. D., Mihai, G., & Duta, M. (2011, August). On EM disturbances over digital equipment used for monitoring and events recording in a power system. In *Electromagnetic Compatibility (EMC), 2011 IEEE International Symposium on* (pp. 465-470). IEEE.

Osterwise, C., Grant, S. L., & Beetner, D. (2010, July). Reduction of noise in near-field measurements. In *Electromagnetic Compatibility (EMC), 2010 IEEE International Symposium on* (pp. 171-176). IEEE.

Prasad, S., Ananda, C. M., & Akula, P. (2014, November). Signal analysis of digital bus of Autopilot System. In *Circuits, Communication, Control and Computing (I4C), 2014 International Conference on* (pp. 101-104). IEEE.

Qiu, X., Zhao, Y., Chen, H., Lu, X., Dong, Y., y Yan, W. (2010, abril). Separación de señales de Ciegos (BSS) algoritmo aplicado en el diagnóstico de ruido EMI. En *Compatibilidad Electromagnética (APEMC), 2010 Simposio de Asia y el Pacífico sobre* (pp. Desde 1.602 hasta 1.605). IEEE.

Rafiq, M. A., Amin, M., & Yousaf, J. (2013, June). Effect of shielding, grounding, EMI filters & ferrite beads on radiated & conducted emissions. In *Recent Advances in Space Technologies (RAST), 2013 6th International Conference on* (pp. 583-588). IEEE.



- Rojas, H., Cortes, C., & Santamaria, F. (2012, September). Denoising of lightning electric field signals using fractional Fourier transform. In *Lightning Protection (ICLP), 2012 International Conference on* (pp. 1-9). IEEE.
- Russer, P. (2011, August). EMC measurements in the time-domain. In *General Assembly and Scientific Symposium, 2011 XXXth URSI* (pp. 1-35). IEEE.
- Russer, J., Braun, S., Frech, A., & Russer, P. (2013, September). Time-domain measurement of spectra of stochastic electromagnetic fields. In *Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA), 2013 International Conference on* (pp. 1123-1126). IEEE.
- Shaw, G. M., & Croen, L. A. (1995). Human Adverse Reproductive Outcomes and Electromagnetic Field Exposures: Review of Epidemiologic Studies.
- Staggs, D. (2013, August). Part 1: Dealing with complexities of worldwide regulatory compliance; beginning with EMC. In *Electromagnetic Compatibility (EMC), 2013 IEEE International Symposium on* (pp. 392-396). IEEE.
- Spindler, C. (2014, September). New EMC-testing-method for smart sensors during for IC-design-process. In *Electromagnetic Compatibility (EMC Europe), 2014 International Symposium on* (pp. 1186-1189). IEEE.
- Turin, G. L., Clapp, F. D., Johnston, T. L., Fine, S. B., & Lavry, D. (1972). A statistical model of urban multipath propagation. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 21(1), 1-9.
- Tsuzuki, S., Goda, A., Tatsuno, S., Ishii, S., Yamada, Y., Kawasaki, H., & Nishioka, J. (2010, March). Dual mode transmission PLC system with an EMC considered algorithm. In *Power Line Communications and Its Applications (ISPLC), 2010 IEEE International Symposium on* (pp. 213-218). IEEE.
- Torres, J. I., Agudelo, L. E., & Osorio, M. C. O. (2007). APROXIMACIÓN AL CONFLICTO AMBIENTAL URBANO, GENERADO POR LA CONTAMINACIÓN ELECTROMAGNÉTICA NO IONIZANTE EN COLOMBIA. *Revista Luna Azul*, (25), 78-85.

- Wei-shun, S., & De-wang, C. (2014, October). Applied research of EMR Virtual Chamber measurement system. In *Signal Processing (ICSP), 2014 12th International Conference on* (pp. 165-169). IEEE.
- Xin, C. J., & Yao, J. B. (2011, November). Application of EMC design in launcher multichannel signal testing and processing system. In *Microwave, Antenna, Propagation, and EMC Technologies for Wireless Communications (MAPE), 2011 IEEE 4th International Symposium on* (pp. 584-586). IEEE.
- Xu, J., Dai, F., Su, D., Qiao, Q., & Zheng, H. (2011, November). Ambient noise cancellation in frequency domain EMI measurement. In *Microwave, Antenna, Propagation, and EMC Technologies for Wireless Communications (MAPE), 2011 IEEE 4th International Symposium on* (pp. 555-558). IEEE.
- Yang, Y., Zong, R., Gao, X., & Cao, J. (2010, December). Channel modeling for High-Altitude platform: A review. In *Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS), 2010 International Symposium on* (pp. 1-4). IEEE.
- Yaozhong, C., Guanghui, W., Lisi, F., Xiaoping, L., & Xuedong, P. (2010, July). Effect of two emission antennas on field uniformity in a reverberation chamber. In *Signal Processing Systems (ICSPS), 2010 2nd International Conference on* (Vol. 3, pp. V3-227). IEEE
- Zhenfei, S., Donglin, S., Fei, D., Duval, F., & Louis, A. (2010, April). A novel electromagnetic radiated emission source identification methodology. In *Electromagnetic Compatibility (APEMC), 2010 Asia-Pacific Symposium on* (pp. 645-648). IEEE.
- Ziyang, G., Xiao, S., Yang, C., Zhang, J., Liu, S., & Yang, Z. (2011, December). A novel approach to measuring EMP based on signal processing techniques. In *Electrical Design of Advanced Packaging and Systems Symposium (EDAPS), 2011 IEEE* (pp. 1-4). IEEE.