



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD PROFESIONAL ZACATENCO

“ESTUDIO DE LAS TÉCNICAS DE MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EMITIDOS POR EQUIPOS LUMINARIOS Y SUS POSIBLES EFECTOS SOBRE CUERPO HUMANO.”

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

PRESENTAN:

BOJORGES MOLINA JESÚS ALBERTO

CRUZ BALMACEDA YONATAN

DÍAZ RODRÍGUEZ MARÍA FERNANDA

ASESOR METODOLÓGICO

ING. MORALES BECERRA PEDRO MARTIN

ASESOR TÉCNICO

M. EN C. CALTENCO FRANCA JOSÉ HÉCTOR



MÉXICO, D.F. 2015

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”

T E M A D E T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL
DEBERA (N) DESARROLLAR C. JESUS ALBERTO BOJORGES MOLINA
C. YONATAN CRUZ BALMACEDA
C. MARIA FERNANDA DIAZ RODRIGUEZ**

**“ESTUDIO DE LAS TÉCNICAS DE MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS CAMPOS
ELECTROMAGNÉTICOS EMITIDOS POR EQUIPOS LUMINARIOS Y SUS POSIBLES EFECTOS
SOBRE CUERPO HUMANO”.**

**MEDIR LAS EMISIONES Y EVALUAR LOS EFECTOS DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS GENERADOS
POR LUMINARIAS BALASTRADAS.**

- ❖ **EVALUAR LOS EFECTOS A TRAVÉS DEL USO DEL MÉTODO DE MEDICIÓN DE LA
NORMA INTERNACIONAL IEC 62493 CON SU VERSIÓN NACIONAL PT-NMX-J-599/3-
ANCE-2011**
- ❖ **IMPLEMENTAR UN CIRCUITO DE PROTECCIÓN PARA EL RADIO RECEPTOR EMI**
- ❖ **DAR SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES PARA LA EXPOSICIÓN A CAMPOS
ELECTROMAGNÉTICOS EMITIDOS POR LUMINARIAS BALASTRADAS**

CIUDAD DE MÉXICO, A 11 DE OCTUBRE DEL 2016.

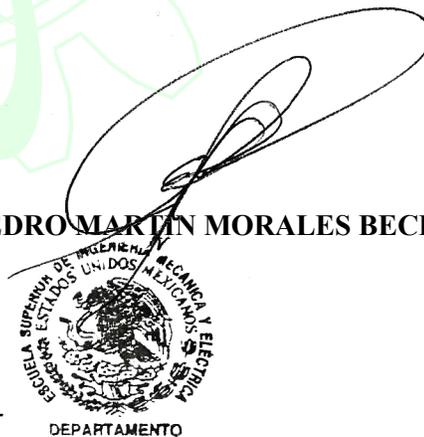
A S E S O R E S



ING. JOSÉ HÉCTOR CALTENCO FRANCA ING. PEDRO MARTÍN MORALES BECERRA



**ING. PATRICIA LORENA RAMÍREZ RÁNGEL
JEFA DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE
INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA**



CONTENIDO TEMÁTICO

ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	VII
OBJETIVOS	VIII
Objetivo General:	VIII
Objetivos Específicos:.....	VIII
JUSTIFICACIÓN	IX
1 CONCEPTOS GENERALES	1
1.1 Introducción lámparas y balastos.....	1
1.2 Radiación	6
1.3 Exposición a campos electromagnéticos	10
2 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	11
2.1 La Organización Mundial de la Salud.....	11
2.2 Clasificación de campos electromagnéticos de acuerdo a la frecuencia..	12
2.3 Efectos en la salud	13
2.3.1 Energía ionizante y no ionizante.....	14
2.4 Recomendación UIT K52	16
2.5 La tasa de absorción específica (SAR)	16
2.6 Propiedades biológicas de los tejidos	18
2.7 Intervalo de frecuencias	19
2.8 ¿Cómo estudiar el comportamiento de los sistemas lineales y no lineales?	21
2.9 La relación frecuencia longitud de onda.....	23
2.10 Teoría de redes eléctricas.....	25
2.10.1 Redes eléctricas inteligentes.....	26
3 MÉTODO DE EVALUACIÓN	27
3.1 Requisitos para el método de medición.	29
3.2 Circuito de protección.....	30
4 DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	41
4.1 Condiciones de experimentación.	41
4.2 Condiciones de operación.....	41
4.3 Distancias de medición.	42

4.4	Resultados obtenidos.....	43
4.5	Conclusiones.....	50
4.6	Recomendaciones de trabajos a Futuro.....	51
	GLOSARIO.....	52
	REFERENCIAS.....	53
	ANEXO I. EMI	55
	ANEXO II. DG2000 Función de la serie / Generador de forma de onda arbitraria DG2041A/DG2021A.....	56
	ANEXO III CONCEPTOS BASICOS	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Muestra el intervalo de frecuencias del espectro visible dentro del espectro electromagnético. [2]	3
Figura 2.1 Circuito de prueba utilizado para el circuito de protección.	24
Figura 2.2 Forma de onda de salida del generador de funciones.	24
Figura 3.1 Cabeza de pruebas “Van der hoodfen” para mediciones de corriente inducidas por radiación [15].....	30
Figura 3.2 Diagrama de conexión del circuito de protección [15]......	31
Figura 3.3 Las fases de funcionamiento del circuito de protección.	32
Figura 3.4 Diagrama de conexión del circuito de protección en la fase 1 con el software de simulación multisim.....	33
Figura 3.5 Respuesta en el tiempo de la salida de la primera fase en contraste con la señal de entrada del circuito de protección con una frecuencia menor a 720.484 KHz.	34
Figura 3.6 Diagrama de conexión del circuito de protección en la fase dos.....	35
Figura 3.7 Respuesta en el tiempo de la fase dos del circuito, en contraste con la señal de entrada del circuito (rojo) y la señal de salida de la fase 2 (color verde)	35
Figura 3.8 Respuesta en el tiempo de la señal de salida de la fase 3 del circuito de protección en contraste con la señal de entrada del circuito.....	36
Figura 3.9 Circuito de protección simulado con orcad.....	37
Figura 3.10 Funcion de transferencia del circuito de protección en el dominio de la frecuencia.....	37
Figura 3.11 Señal de entrada de circuito comparada con la señal a la salida de primera fase con una frecuencia de 600 KHz.....	38
Figura 3.12 Señal de entrada de circuito comparada con la señal a la salida con una frecuencia de trabajo de 2.1 MHz.....	38
Figura 3.13 Señal de entrada de circuito comparada con la señal a la salida de la segunda fase con una frecuencia de trabajo de 4 MHz.	39
Figura 3.14 Señal de entrada de circuito comparada con la señal a la salida de la cuarta fase con una frecuencia de trabajo de 4 MHz.	40

Figura 4.1 "Punto de referencia para establecer la distancia entre la cabeza de prueba y las lámparas".....	42
Figura 4.2 "Posición de la cabeza de prueba (antena esférica)"	43
Figura 4.3 "Comportamiento de la medición a 160 cm del equipo de iluminación obtenida mediante el software ESPC-K1"	44
Figura 4.4 "Comportamiento de la medición a 100 cm del equipo de iluminación obtenida mediante el software ESPC-K1"	46
Figura 4.5 "Comportamiento de la medición a 80 cm del equipo de iluminación obtenida mediante el software ESPC-K1"	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 uso de balastos en determinado momento para mostrar las elevaciones de temperatura en diferentes longitudes de onda [3]	5
Tabla 2.1 Diferencias entre las propiedades que caracterizan a los campos eléctricos y magnéticos [9].	12
Tabla 2.2 Muestra las denominaciones y aplicaciones de los distintos márgenes de frecuencias.....	20
Tabla 3.1 Especificaciones del analizador de espectros [15]	28
Tabla 3.2 Restricciones básicas de exposición del cuerpo humano, clase A (público en general), a campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo para frecuencias de hasta 10 GHz [15]	29
Tabla 4.1 "Valores obtenidos de la medición a 160 cm de separación del equipo iluminación"	45
Tabla 4.2 "Valores obtenidos de la medición a 100 cm de separación del equipo iluminación"	47
Tabla 4.3 Valores obtenidos de la medición a 80 cm de separación del equipo iluminación"	49

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1.....	17
Ecuación 2.2.....	17
Ecuación 2.3.....	17
Ecuación 2.4.....	18
Ecuación 2.5.....	18
Ecuación 2.6.....	18
Ecuación 2.7.....	24
Ecuación 2.8.....	25
Ecuación 2.9.....	25
Ecuación 2.10.....	25
Ecuación 3.1.....	33
Ecuación 3.2.....	33
Ecuación 4.1.....	44
Ecuación 4.2.....	45

OBJETIVOS

Objetivo General:

Medir las emisiones y evaluar los efectos de los campos electromagnéticos generados por luminarias balastradas.

Objetivos Específicos:

- I. Evaluar los efectos a través del uso del método de medición de la norma internacional IEC 62493 con su versión nacional PT-NMX-J-599/3-ANCE-2011.
- II. Implementar un circuito de protección para el radio receptor EMI.
- III. Dar sugerencias y recomendaciones para la exposición a campos electromagnéticos emitidos por luminarias balastradas.

JUSTIFICACIÓN

La exposición a campos electromagnéticos (CEM) es intemporal y universal, porque en el medio en el que vivimos este tipo de CEM abundan de forma natural y artificial. Tenemos ejemplos de CEM naturales, por mencionar algunas como tormentas eléctricas, la radiación cósmica o el mismo campo electromagnético que genera la Tierra, por otra parte, en los CEM artificiales podríamos tener los provocados por sistemas de radiodifusión, los electrodomésticos, sistemas de transmisión, los de distribución de energía eléctrica, etc.

La preocupación social sobre los posibles efectos a la salud causados por la larga exposición que se tiene cotidianamente a dispositivos emisores de campo electromagnético, en particular las luminarias balastradas de energía electromagnética, motiva a realizar un estudio de estos efectos para poder mostrar si existen afectaciones o no a la salud y dar recomendaciones de cómo poder disminuir estos efectos en caso de ser dañinos.

Se estudian estos tipos de luminarias balastradas ya que en el país siguen vigentes y son las más usadas, aunque en la actualidad se están incorporando al mercado las luminarias con LEDs.

1 CONCEPTOS GENERALES

1.1 Introducción lámparas y balastos

El ser humano siempre ha tenido el firme propósito de cubrir sus necesidades, tal es el caso en el ámbito de la iluminación, en donde uno de los más claros ejemplos es el descubrimiento del fuego con propósitos de seguridad e iluminación, donde el hombre cubre la necesidad de no permanecer en oscuridad. En la actualidad esta necesidad se convirtió en alargar el tiempo útil de jornada de actividades debido al constante uso de tecnologías modernas. Con el transcurso del tiempo y la evolución del mismo hombre, se ha provocado que se dedique a aprender, descubrir y dominar éste ámbito para conseguir un buen aprovechamiento en sus diversos aspectos.

Esto dio lugar a los sistemas de iluminación, los cuales hoy en día son muy utilizados en la sociedad pasando así del uso del fuego al uso de lámparas. Esta necesidad la pueden cubrir las lámparas, las cuales hoy en día cuentan con un dispositivo llamado balastro, que es el que limita la corriente para que no llegue en exceso, y el voltaje al ser poco, lo amplifica para hacer funcionar el dispositivo

Las lámparas fluorescentes y de alta Intensidad de descarga, son las de mayor preferencia porque iluminan adecuadamente y con un bajo costo.

Se mencionarán las lámparas más comunes en el mercado [1]:

Lámparas de alta intensidad de descarga (HID): Requieren un nivel de tensión del orden de KV para que el gas metálico se pueda ionizar, los gases pueden ser de Neón o Argón.

Lámparas de vapor de mercurio: Pueden ser de alta o baja presión, la baja presión tiene radiación ultravioleta donde en el espectro visible es considerada baja, y teniendo una eficiencia luminosa baja, mientras que en las de alta presión, tiene una energía normalmente de 50 watts a 1000 watts lo cual provoca una elevación de temperatura, como en una lámpara incandescente que son las más comunes, al trabajar con 10 watts de potencia y al trabajar en cierto tiempo, éste ya presenta

una elevación de temperatura. Estas lámparas solían ser las más utilizadas para el alumbrado público y todo el exterior.

Lámparas fluorescentes: Son las más comunes para iluminar en un hogar o la industria.

Hoy en día se existen diversos tipos de balastos, como a continuación se mencionan:

Balastos Magnéticos o Electromagnéticos: Están compuestos por un inductor y un capacitor, para limitar y estabilizar la corriente. También puede tener un transformador para elevar o disminuir la tensión que se requiere de la lámpara, así como también contienen un protector térmico para evitar que se sobrecaliente [2].

Balastos electrónicos: Generalmente este tipo de balastos trabajan en el intervalo de frecuencia de los 20 KHz, los cuales provocan que se tengan componentes electrónicos que generan el proceso de conversión de CA a CD [2].

Aunque los balastos electromagnéticos presentan una gran simplicidad y un costo bajo, estos tienen que trabajar a frecuencias de red (donde se transmite la misma señal en el mismo canal, lo cual trae como consecuencia un bajo rendimiento, por ello los balastos electrónicos son utilizados en nuestros días para la alimentación de lámparas, si hacemos una comparación entre el balastro magnético con el electrónico, este último proporciona mayor rendimiento, un control de potencia a la salida, larga vida a la lámpara y consumo de energía reducido.

Estos balastos, generan pulsos que provocan interferencias electromagnéticas no intencionales, de manera radiada o conducida y es por esta razón que se han tenido problemas de compatibilidad electromagnética, ya que no se ha llegado a la optimización del circuito electrónico en el balastro.

El problema principal que presentan los balastos electrónicos con respecto a las interferencias (ruido) en alta frecuencia se pueden presentar de forma conducida o radiada, que pueden llegar a generar mal funcionamiento de los equipos o también a equipos que se conecten en su misma línea de alimentación, puede afectar también a los sistemas de radiocomunicaciones por su alta sensibilidad [2].

En el presente trabajo se harán pruebas con lámparas balastadas, en el intervalo de frecuencias de 20 KHz - 10 MHz, dicho intervalo está ubicado dentro de la banda de radiocomunicación del espectro electromagnético el cual es considerado como energía no ionizante, debido a esto el estudio del funcionamiento de los balastos se basa en la problemática de las frecuencias, ya que la energía eléctrica se transforma en energía lumínica, la cual está en los límites de la energía ionizante y no ionizante, provocando una incertidumbre de las consecuencias que puede tener en el cuerpo humano (tejido vivo), estas energías se mencionarán más a fondo en el capítulo II, en el apartado de efectos en la salud.

El espectro visible (longitudes de onda en la que el ser humano es capaz de percibir la radiación electromagnética; intervalo de frecuencias en donde se encuentra la luz visible), se compone por 3 colores fundamentales que son: rojo, verde y azul, colores que conforman la luz blanca. El intervalo de frecuencias ionizante afecta a las células de los diferentes tejidos biológicos del organismo ya que cuando una célula del cuerpo es ionizada, ésta cambia su estructura química o eleva su temperatura a tal grado de dañarla, tal y como se explicará en el capítulo II [3].

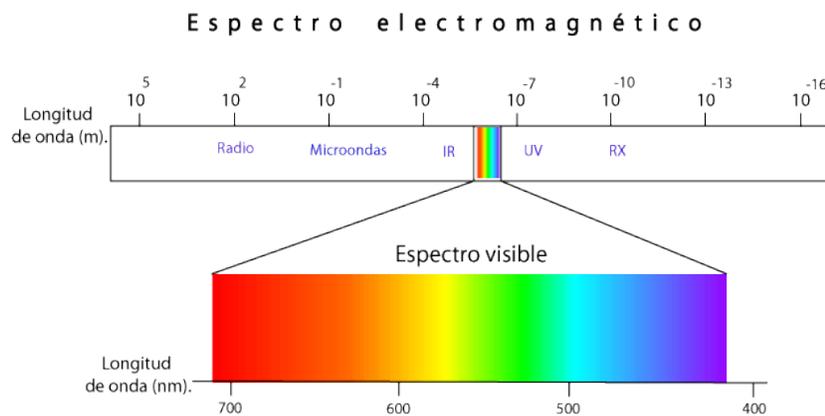
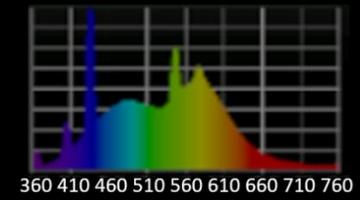
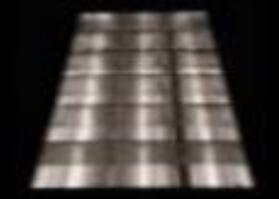
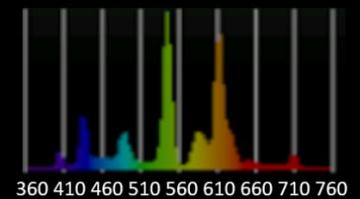
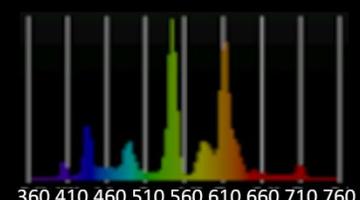
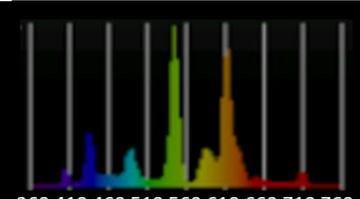
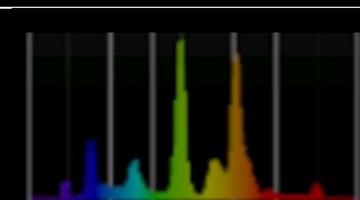


Figura 1.1 Muestra el intervalo de frecuencias del espectro visible dentro del espectro electromagnético. [2]

En la siguiente tabla se muestra el intervalo del espectro electromagnético que tienen diferentes lámparas tanto con balastos electrónicos y electromagnéticos, así como sus usos, siendo estas comerciales.

<p>Luminario 61x122 cm con difusor prismático, 2 balastos electromagnéticos estándar, 4 lámparas fluorescentes T12 39w luz de día 40w, 6110K, CRI 71 [2(2xF48T12/D)]</p>		
<p>Luminario 61x122 cm con louver parabólico 18 celdas, 1 balastro electromagnético convencional, 3 lámparas fluorescentes T12 39w blanco frío, 3980K, CRI 62 [1(3xF48T12/CW)]</p>		
<p>Luminario 61x122 cm con difusor prismático, 1 balastro electromagnético estándar, 2 lámparas fluorescentes T12 40w blanco frío, 4050K, CRI 63 [1(2xF40T12/CW)]</p>		
<p>Luminario 61x122 cm con difusor prismático, 1 balastro electrónico IS FB 0.85, 3 lámparas fluorescentes T8 32w, 3732K, CRI 83 [1(3xF32/T8/841)]</p>		
<p>Luminario 61x122 cm con baffles de acrílico metalizado semiespecular, balastro electrónico FB 1.0 PS, 2 lámparas fluorescentes T5 28w 4100K, CRI 82 [1(2xF28T5/841)]</p>		

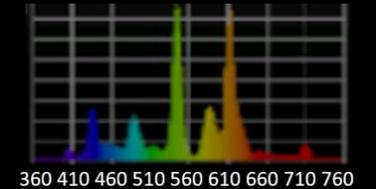
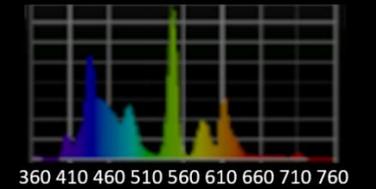
<p>Luminario abierto 61x122 cm con reflector especular facetado, balastro electrónico PS Premium FB 1.0, 3 lámparas T5 28w, 3727K, CRI 86 [1(3xF28T5/841)]</p>		
<p>Luminario 61x122 cm, louver parabólico semiespecular 18 celdas, balastro electrónico IS FB 1.0, 2 lámparas fluorescentes T5 54w, 10627K, CRI 77 [1(2xF54T5)]</p>		

Tabla 1.1 uso de balastros en determinado momento para mostrar las elevaciones de temperatura en diferentes longitudes de onda [3]

Se observa que varios de ellos tienen una elevación térmica en los intervalos de frecuencia que ocupan la radiación ultravioleta, mayores de 400 nanómetros en la tabla del espectro electromagnético (la longitud de onda está relacionada con la frecuencia por la expresión $\lambda = c / f$; donde c es la velocidad de la luz), por lo tanto la frecuencia que tiene esa longitud de onda es de 750 THz, lo que indica que se usa mayor frecuencia con menor potencia, como también prolongación del tiempo de exposición a la de luz infrarroja, pueden provocar una elevación de temperatura. Con lo antes mencionado se puede considerar una potencia baja o media, pero con un tiempo de exposición prolongado ¿Se tendrá una elevación en la temperatura?

La característica principal de este trabajo, es el enfoque en el aspecto de la radiación producida por luminarias balastradas, para poder dar un resultado de los posibles efectos que dichos dispositivos pueden generar en una persona, ya que se debe de considerar que si se radia con potencias altas en un tiempo prolongado puede tener consecuencias a nivel celular en el cuerpo humano, por ello se tomaron los siguientes parámetros a estudiar:

- Potencia
- Distancia
- Tiempo de exposición

- Frecuencia

Cada uno de esos factores, si exceden ciertos límites como lo señala la norma IEC 62493, así como el SAR y la medición de la radiación proveniente de diferentes dispositivos, pueden tener efectos indeseables en los tejidos vivos (estructuras celulares) [11].

Se ha mencionado que las lámparas producen interferencia electromagnética no intencional mediante radiación, pero ¿A qué se refiere este término? Es por ello que se necesita definir el fenómeno de radiación:

1.2 Radiación

La radiación es un modo de transmisión de cualquier tipo de energía de un medio a otro, puede tener como medio de propagación el espacio libre o un medio físico.

Existen dos tipos de radiación [4]:

- Intencionales (hechas por el hombre): Se encuentran comúnmente en los servicios de comunicaciones (Radiodifusión, telefonía, satelitales, microondas, entre otros). Esta radiación es resultado de emisores intencionales, los cuales utilizan campos electromagnéticos para la transmisión de señales. Estos campos pueden sobrepasar los límites de seguridad en algunas regiones, dependiendo de la potencia de trabajo, ganancia, frecuencia, orientación y directividad del tipo de emisor que se utilice.
- No intencionales (naturales): Este tipo de radiación se presenta de dos formas.
 1. Por fuentes naturales de energía electromagnética como pueden ser las radiaciones cósmicas, descargas atmosféricas, etc.
 2. Y las producidas por emisores no intencionales los cuales pueden producir CEM (Campos Electromagnéticos) debido a emisiones espurias (una emisión espuria está definida como toda emisión no deseada dentro o fuera de la banda útil, es decir, emisiones que no son deseadas para la operación o el desarrollo del dispositivo). Estos campos suelen estar apreciablemente por debajo de los límites de seguridad establecidos por las normas de la ICNIRP, las normas nacionales y otras.

Estas emisiones espurias se pueden presentar debido al cambio de los factores de operación de los emisores, esto puede ser ya sea por una falla debido al desgaste del equipo o por una perturbación externa al dispositivo, entre otras.

Los seres humanos vivimos inmersos en campos electromagnéticos los cuales son radiados en gran parte por los aparatos electrónicos que se usan algunos de ellos son: el celular, el microondas, la televisión, la computadora, las lámparas, estaciones de radiodifusión, entre otros.

La continua proliferación de los numerosos aparatos con transmisión en Radio Frecuencia, que son demandados por la sociedad actual y debido a la complejidad de los componentes que los constituyen, suelen trabajar a altas frecuencias, por ello se ha dado como consecuencia que se tomen diferentes medidas de prevención, normas para considerar la seguridad y la compatibilidad con otros aparatos. Ya que al parecer los efectos de la radiación pueden ser agudos, o aparecer a corto tiempo después de la exposición a la radiación, o crónicos, muchos años después de recibir la exposición.

Un estudio reveló que en promedio, los mexicanos ven televisión cuatro horas y 45 minutos por día, así como un nuevo estudio de la empresa Experian, en el que encontró que los usuarios en todos los sistemas pasan, en promedio, 58 minutos al día en sus teléfonos móviles inteligentes [5]. El periódico "El universal" presento un reportaje que muestra que una persona en promedio ve su celular 150 veces al día [6].

Suponiendo que una jornada laboral de una persona profesionista es de 8 horas diarias, las cuales transcurren frente a una computadora, lámparas o uso frecuente del celular, se puede notar que las personas viven expuestas a constantes y largos periodos de tiempo con aparatos que radian energía electromagnética.

Es alarmante este hecho, por ello se realizan estudios para poder determinar si esta radiación puede afectar a la salud y de qué manera.

Por otro lado, para que las lámparas que operan a alta frecuencia puedan ser comercializadas, deben de cumplir con ciertas normas de conformidad, así como de compatibilidad electromagnética, pero el problema es que no hay una norma

internacional aceptada, por lo tanto, solo se toman recomendaciones con base en las normas internacionales.

En resumen, la electrónica ha venido avanzando a lo largo de la historia, desde el desarrollo del bulbo, posteriormente la invención del transistor y hasta nuestros días no se ha dejado de desarrollar tecnología tal es el hecho que ahora todo los componentes electrónicos ocupan un menor tamaño como es el caso de la tecnología de montaje superficial , esto llevo a trabajar con frecuencias más altas, por lo tanto, los diseños son cada vez más complejos, con nuevos requerimientos para evitar problemas con la compatibilidad electromagnética.

Todo esto dio pauta a la aplicación de los desarrollos establecidos por la Compatibilidad Electromagnética (EMC por sus siglas en inglés Electromagnetic Compatibility), que se refiere a la capacidad de un aparato o un sistema para funcionar de manera satisfactoria en un entorno electromagnético sin introducir perturbaciones en dicho entorno o teniendo perturbaciones por un factor externo, esto quiere decir que el aparato o sistema no sea susceptible a ser interferido [7].

La susceptibilidad se define como la incapacidad de un sistema para funcionar sin degradación en presencia de una perturbación electromagnética (onda radiada), una alta susceptibilidad electromagnética indica alta tolerancia a trabajar en presencia de campos electromagnéticos [7].

Para el caso de los tejidos vivos la susceptibilidad es una condición del cuerpo que aumenta la probabilidad de que el individuo desarrolle una enfermedad en particular. La susceptibilidad está influenciada por una combinación de factores genéticos y ambientales [8].

La evaluación de EMC garantiza básicamente que cualquier dispositivo electrónico no va a propagar señales electromagnéticas hacia su entorno, que puedan provocar fallas en otros equipos dentro del mismo entorno y también la habilidad de funcionar satisfactoriamente en su ambiente, aun cuando pueda recibir radiación electromagnética que provenga de otros dispositivos externos que se

encuentran en su propio entorno, a este tipo de perturbaciones se les conoce como las EMI (Electromagnetic Interference, por sus siglas en inglés).

Las EMI's son perturbaciones que afectan a cualquier sistema eléctrico o electrónico, esto pasa cuando se tienen blindajes pobres en las líneas de alimentación y en equipos de alta sensibilidad o por un mal diseño. Estas interferencias se presentan de forma conducida y radiada. Existen dos tipos de fuentes de interferencias electromagnéticas, las que se pueden considerar como fuentes de EMI naturales y fuentes de EMI que aparecen debido a la acción del hombre. Fuentes de EMI naturales se pueden encontrar en los relámpagos que pueden llegar a ofrecer descargas de hasta 10 KV, durante tiempos muy cortos o efectos solares que afectan a la ionosfera.

En este trabajo se utilizará un medidor receptor EMI (Radiorreceptor para pruebas de EMI de 9KHz a 1GHz, Marca Rohde & Schwarz, Modelo ESPC) que medirá las interferencias (variaciones de energía) que sean propagadas por el sistema.

La EMC dentro de sus pruebas, realiza un análisis de descargas electrostáticas (ESD) y de los daños provocados por dichas emisiones, de modo que los aparatos deben de cumplir con ciertas normas de compatibilidad acordes a su entorno electromagnético de operación, de manera que en el diseño de nuevos productos electrónicos se deben de cumplir dichos requisitos para un mejor desempeño.

Otros aspectos a satisfacer son la integridad de Señal (Signal-Integrity) y la Integridad de la Alimentación (Power-Integrity), el objetivo en el que se centran consiste en mantener las señales en los circuitos sin distorsión y las señales de alimentación estables, esto con el fin de garantizar un correcto funcionamiento.

Así que para poder cumplir con estos aspectos de la EMC se necesita saber cuáles son los límites de la energía electromagnética que se propaga de manera guiada o radiada para no generar perturbaciones susceptibles a ellas y así poder llevar a cabo la evaluación y la aplicación de dichos límites, los comités internacionales se reúnen para poder así fijar dichas normas.

Actualmente estos límites están especificados en estándares o normas internacionales o locales, para efectos prácticos, las normas aplicables, en esta área, con mayor divulgación son las siguientes:

- IEC
- IEEE
- ANSI
- FTS
- CISPR
- FCC
- CENELEC
- ICNIRP

1.3 Exposición a campos electromagnéticos

Se sabe que el tejido biológico, al igual que los sentidos humanos, pueden ser afectados si son expuestos a un CEM, esto quiere decir expuestos a radiación.

Esta exposición puede implicar efectos en la salud, los cuales van aumentando a través del tiempo, para poder conocer los efectos de la exposición a campos electromagnéticos en el cuerpo humano se hace una medición, en el caso particular de este trabajo, alrededor de equipos de iluminación, densidad de corriente inducida en intervalos de frecuencias que van de 20KHz a 10MHz.

En los equipos de iluminación existen diferentes productos, tales como:

- a) Lámparas de techo
- b) Lámparas de escritorio
- c) Lámparas portables
- d) Equipos de radiación UV

Estos productos necesitan ser evaluados ya que son muy usados, como se ha mencionado anteriormente, por periodos de tiempo extensos, en el presente trabajo se estudiará si estos aparatos de iluminación pueden ser dañinos a la salud.

2 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

2.1 La Organización Mundial de la Salud.

En este trabajo se analizarán los efectos de la radiación emitida por equipos luminarios en el cuerpo humano, por lo que es necesario considerar las normas y regulaciones que se encargan del estudio en materia del cuerpo humano.

La Organización Mundial de la Salud, (organismo que se encarga en la especialización para gestionar políticas de prevención, promoción e intervención en salud a nivel mundial), en el año de 1996 creó un proyecto conocido como “Proyecto Internacional para la Evaluación de los Efectos de la Salud de CEM (Campo Electromagnético)”, esto debido al gran crecimiento de la tecnología alrededor del mundo, lo cual propicia que las poblaciones estén expuestas a campos electromagnéticos, los cuales están caracterizados por su longitud de onda, su frecuencia, así como su potencia, entre otras [9].

La longitud de onda es la distancia que hay en un ciclo completo de una onda, tal como la frecuencia dada en Hertz, que se define como el número de ciclos que ocurren en determinado tiempo, por lo tanto, es necesario que se establezcan científicamente los posibles efectos sobre la exposición a campos eléctricos y magnéticos, estáticos y variables con el paso del tiempo.

En la siguiente tabla se observan algunas de las diferencias entre campos eléctricos y campos magnéticos:

Campos eléctricos	Campos Magnéticos
*Su fuente de alimentación es la tensión eléctrica.	*Su fuente de alimentación es la corriente eléctrica.
*La intensidad está dada en Volts/metro.	*La intensidad se mide en amperios por metro.
*Existe un campo eléctrico aun cuando el aparato no esté en funcionamiento.	*Se utiliza una magnitud relacionada, conocida como micro teslas μT o militeslas (mT).
*La intensidad del campo disminuye debido al aumento de la distancia que haya desde la fuente.	*Se originan cuando se pone a funcionar un aparato eléctrico y la corriente comienza a fluir.
*Algunos materiales de construcción nos pueden proteger de los campos eléctricos.	*La intensidad disminuye conforme aumenta la distancia de la fuente.
	*No todos los materiales tienen la capacidad de atenuar los campos magnéticos.

Tabla 2.1 Diferencias entre las propiedades que caracterizan a los campos eléctricos y magnéticos [9].

Estas diferencias proporcionan una pauta para entender mejor el efecto que los campos Electromagnéticos producidos por luminarios, es por eso que en los siguientes apartados se abordará el estudio de las técnicas que se usan para la evaluación de éstos. Los campos eléctrico y magnético se llegan a presentar independientemente uno del otro, en esos casos se les denomina campos estáticos, un ejemplo de este tipo es cuando los campos eléctricos se originan entre las nubes y la tierra durante una tormenta antes de que se genere un rayo o bien una descarga eléctrica.

2.2 Clasificación de campos electromagnéticos de acuerdo a la frecuencia.

La exposición a CEM ha sido estudiada durante años, teniendo como resultado teorías de algunos impactos en la salud, es por eso que se ha estado planteando la posibilidad de que la exposición a Campos Electromagnéticos ocurre en tres diferentes niveles de frecuencia:

1. Frecuencias de la red eléctrica y todos los aparatos eléctricos, la cual es de 50/60 Hz, considerada como extremadamente baja (FEB), esto

debido a que son frecuencias generalmente hasta los 300Hz, la cual podría producir un incremento en la aparición de cáncer en niños, así como otros efectos perjudiciales para la salud.

2. Otras tecnologías las cuales producen frecuencias intermedias (FI) que van de 300Hz a 10 MHz, como ejemplo de estas frecuencias tenemos los sistemas antirrobo y los sistemas de seguridad.
3. La tecnología de Radiofrecuencia (RF), los cuales tienen un rango de frecuencia de 10 MHz a 300 GHz, se han estado utilizando en abundancia, debido a la constante demanda de servicios de transmisión de datos (voz, video o paquetes de información). Estos equipos los podremos encontrar como la radio, la televisión, las telecomunicaciones, otro de los usos de esta tecnología es el diagnóstico y tratamiento de enfermedades a través de microondas.

2.3 Efectos en la salud

En caso que un ser humano este expuesto a este tipo de campos electromagnéticos conduce a realizar estudios relacionados con los efectos que esta exposición pudiera llegar a causar.

En el organismo se producen ciertas corrientes eléctricas, debido a las reacciones químicas de las funciones corporales, incluso en ausencia de campos electromagnéticos externos, pero al ser participe una interacción con campos externos, estas corrientes son alteradas lo cual produce efectos biológicos y necesitan de una investigación especial para medir e identificar los riesgos.

Los principales efectos que se producen en cada uno de los CEM antes mencionados son los siguientes:

- A FEB los campos magnéticos y eléctricos inducen pequeñas corrientes en el interior del organismo y no existen pruebas hasta el día de hoy de que sea perjudicial para la salud.
- Los campos de FI se manifiestan en el calentamiento de los tejidos del cuerpo humano.

- Mientras que los campos de RF, representan una gran preocupación para las organizaciones centradas en ámbito de la salud, ya que la exposición a largo plazo puede tener relación con la proliferación de enfermedades como el cáncer debido a que en el intervalo de frecuencias con las cuales trabajan es alto por lo cual su longitud de onda es lo bastante pequeña como para poder afectar algunas de las capas del tejido vivo [10].

2.3.1 Energía ionizante y no ionizante

Cuando se quieren analizar los efectos biológicos de la radiación electromagnética es importante tener en cuenta dos tipos de radiación: ionizantes y no ionizantes, las cuales tienen efectos distintos en el cuerpo humano. La ionización es un proceso por el cual los electrones son desplazados de los átomos. Este proceso puede generar cambios moleculares capaces de provocar lesiones en las células o bien en los tejidos del cuerpo humano, incluyendo el material genético (ADN), como malformaciones en fetos expuestos a este tipo de radiación.

Para que esta radiación se presente es necesario trabajar con frecuencias extremadamente altas superiores a los PHz ($1 \times 10^{15} \text{ Hz}$), en cambio la radiación no ionizante no es capaz de desplazar a los electrones, pero pueden llegar a producir los efectos antes mencionados dependiendo de la frecuencia que se trabaje además que este tipo de energía se presenta en frecuencias menores a los THz ($1 \times 10^{12} \text{ Hz}$) [12].

Para que los equipos electrónicos no excedan el límite de la energía no ionizante a ionizante existen organizaciones las cuales se encargan de crear las regulaciones y parte de algunas recomendaciones establecidas, tal es el caso de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), la cual es la encargada de la reglamentación, la normalización, la coordinación y el desarrollo de las telecomunicaciones internacionales, así como de evaluar los límites de afectación y las recomendaciones la seguridad y sus posibles efectos para garantizar la salud debido a los niveles emitidos por los dispositivos, así como por las instalaciones de telecomunicaciones y radiodifusión incluyendo los teléfonos

celulares. También se pueden mencionar los trabajos realizados por la IEC (International Electrotechnical Commission), quien se encarga de lo relacionado a las normas de los equipos electrotécnicos y del estudio relativo de la EMC, quien hasta ahora se encarga de evaluar los límites de los aparatos eléctricos y electrodomésticos que operan en baja frecuencia.

Según investigaciones de la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), se han clasificado los campos de radiofrecuencias electromagnéticas como una posible causa del cáncer en los humanos basados en el incremento del “glioma”, que es un tipo maligno de cáncer en el cerebro, asociado al uso de teléfonos inalámbricos.

Como resultado de esta investigación el grupo de trabajo de la IARC evalúa las diferentes categorías que relacionan la frecuencia de campos electromagnéticos, teniendo así diferentes tipos de exposición:

- Exposiciones a radar y a las microondas.
- Exposición ambiental asociada con la transmisión de señales de radio, televisión y telecomunicación inalámbrica.
- Exposición personal asociada con el uso de celulares.

El equipo de trabajo de la IARC concluyó que puede haber un riesgo asociado con el uso del celular cuando hay exposición con el ser humano y para ello se necesita tener una supervisión del vínculo entre celulares y el riesgo al cáncer [10].

En los últimos años diversas investigaciones se han desarrollado para tratar de corroborar si los resultados que se obtienen en las pruebas de laboratorio sobre los efectos de los CEM son o no indicativos de daño a la salud o si se pueden usar con fines terapéuticos, pero que a su vez tenga efectos de tipo permanente o temporal. Por estas razones se crearon recomendaciones para tener algunos límites para exponer una persona a este tipo de radiación.

2.4 Recomendación UIT K52

En la recomendación UIT K52, en su serie K: Protección contra las interferencias, muestra una orientación al cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos.

El objetivo de esta recomendación es dar a conocer los límites de seguridad en las telecomunicaciones cuando se expone una persona a los campos electromagnéticos en frecuencias que van desde los 9KHz A 300GHz, lo cual nos indica que estamos hablando de frecuencias RF y FI [4].

Existen diferentes documentos, tanto nacionales como internacionales, en los cuales se indican los límites de seguridad de la exposición de las personas a los CEM, la mayoría de estos documentos comprenden límites básicos y de referencia.

Con respecto a los límites básicos, estos corresponden a las magnitudes fundamentales que determinan la respuesta física o lógica del cuerpo humano a los CEM, estos límites se expresan en la forma de la Tasa de Absorción Específica (SAR), Absorción Específica (SA) y densidad de corriente (CD).

Como parte de controlar o legislar los efectos de la radiación sobre la salud, algunas autoridades piden como requisito que los productos que salen al mercado contengan la indicación del SAR. En los últimos años la actualización del SAR ha estado centrada en Europa y en los Estados Unidos.

La mayoría de las propiedades dieléctricas de los tejidos biológicos, necesitan ser determinadas por el SAR, que son usados en modelos de materiales sintéticos y animales de laboratorio, debido a que las pruebas no se pueden realizar directamente en el cuerpo humano, por lo cual no se saben los efectos que estas pruebas puedan causar en organismos humanos vivos.

2.5 La tasa de absorción específica (SAR)

Se ha comentado que uno de los parámetros que proporciona información útil es el SAR pero en que consiste. El SAR es la unidad de medición de radiación no

ionizante obtenida del incremento de energía (dw) absorbida o disipada por un incremento de la masa (dm) contenido en un cierto volumen (dv) con una densidad dada ρ , el modelo matemático sería el siguiente [11]:

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dw}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dw}{\rho dv} \right) \quad (2.1)$$

También puede ser obtenido mediante la tasa de incremento de temperatura en cierto punto [16]:

$$SAR = \frac{\sigma |\vec{E}|^2}{\rho} \quad (2.2)$$

Dónde:

σ = Conductividad del tejido (S/m)

$|\vec{E}|$ = Campo eléctrico máximo existente en el volumen (V/m)

ρ = Densidad del tejido (kg/m^3)

Los límites generales son aplicados para los teléfonos móviles y aparatos similares.

Los límites de exposición se expresan como promedio de las magnitudes en cierto periodo (llamado tiempo promedio) que puede expresar como:

$$\sum_i X_i^2 t_i \leq X_l^2 t_{avg} \quad (2.3)$$

X_i = Campo eléctrico o magnético durante la exposición

t_i = Duración de exposición

X_l = Límite de referencia

t_{avg} = Tiempo promedio apropiado

El límite de densidad de potencia se expresa:

$$\sum_i S_i^2 t_i \leq S_l^2 t_{avg} \quad (2.4)$$

S_i = La densidad de potencia durante la exposición i

t_i = Tiempo de duración de la exposición

S_l = Límite de referencia

t_{avg} = Tiempo promedio

Se debe de considerar que el límite solo puede ser aplicado para exposiciones de corta duración. El SAR es una útil herramienta de evaluación, pero también se requieren conocer las características del material que se desea estudiar, y en este caso se referirá a las características eléctricas de los tejidos humanos.

2.6 Propiedades biológicas de los tejidos

Las propiedades de los materiales se obtienen por la medición de la permitividad relativa $\hat{\epsilon}$ que se expresa:

$$\hat{\epsilon} = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (2.5)$$

Donde ϵ' es la permitividad relativa del material y ϵ'' es la permitividad relativa considerando el factor de pérdida asociado.

$$\epsilon'' = \sigma / \epsilon_0 \omega \quad (2.6)$$

La variable σ es la conductividad del material que depende de la naturaleza de la muestra, ϵ_0 es la permitividad del espacio libre y ω es la frecuencia angular de la señal generadora del campo.

Las propiedades de un tejido resultan con la interacción de la radiación electromagnética y el nivel molecular- celular.

Las principales características dieléctricas en los tejidos biológicos son [12]:

- La permitividad relativa del tejido puede tener valores arriba de 10^6 o de 10^7 en frecuencias debajo de los 100Hz.
- Se decreta en altas frecuencias por: α , β y γ (dispersiones)
- Con γ en la región de los GHz (Gigahertz), es necesaria para la polarización de las moléculas del agua.
- Para β a partir de la región de los 100 KHz, es necesaria principalmente para la polarización de las membranas celulares que actúan como un muro para los iones entre el centro y exterior celular, también esta dispersión proviene de la polarización de la proteína (macromolécula).
- La baja frecuencia α está asociado a los procesos de difusión iónica en la membrana celular.
- Los tejidos tienen conductividad finita iónica que es proporcional a la naturaleza, de su contenido y movilidad iónica.

Como se mencionó anteriormente, los seres humanos están expuestos a CEM de altas frecuencias, las propiedades antes mencionadas sufren afectaciones debido a las radiaciones a las cuales son expuestas, varían en relación con la frecuencia a la que se radie, donde la frecuencia juega un papel muy importante al igual que la potencia, el tiempo de exposición y la distancia de la fuente de radiación hacia el tejido expuesto.

2.7 Intervalo de frecuencias

El espectro radioeléctrico se puede dividir en diferentes bandas de frecuencias, cada una de ellas tiene su intervalo, un uso específico y una longitud de onda, tal y como se observa a continuación:

Denominación	Intervalo de Frecuencia	λ (longitud de onda)	usos
ELF (Extremely Low Frequency)	<3 KHz	<100 km	
VLF (Very Low Frequency)	3-30 KHz	10-100 km	Sonar
LF (Low Frequency)	30-300 KHz	1-10 km	Ayuda a la navegación
MF (Medium Frequency)	0.3 – 3 MHz	10^2 - 10^3 m	Radio marítima, AM comercial, entre otros.
HF (High Frequency)	3-30 MHz	10 - 10^2 m	Comunicaciones barco, avión.
VHF (Very High Frequency)	30-300 MHz	1-10 m	Tv, FM comercial, policías, taxis.
UHF (Ultra High Frequency)	0.3-3 GHz	0.1-1 m	Tv, Radar, comunicación por satélite.
SHF (Super High Frequency)	3-30 GHz	1-10 cm	Enlaces de microondas, radar.
EHF (Extremely High Frequency)	30-300 GHz	1-10 mm	Sistemas de aterrizaje.
Región Submilimétrica	300-800 GHz	0.4-1 mm	Experimental.
IR (Infrarrojo)	800 GHz-400 THz	0.8-400 μ m	Comunicaciones ópticas.
V (Visible)	400-750 THz	0.4-0.8 μ m	Comunicaciones ópticas.
UV (Ultra Violeta)	7.5×10^{14} – 10^{16} Hz	12-400 nm	Comunicaciones ópticas.
Rayos X	10^{16} - 10^{20} Hz	0.6-12nm	

Tabla 2.2 Muestra las denominaciones y aplicaciones de los distintos márgenes de frecuencias.

Cuando se conoce la frecuencia de trabajo de algún dispositivo a su vez se conoce su longitud de onda, por lo cual se puede tener medidas de protección para evitar la exposición a dicha energía electromagnética radiación, pero hay casos donde se presentan radiaciones de energía no intencionales, existen dos tipos de radiaciones de CEM, previamente mencionado, donde se presentan las emisiones espurias:

Estas emisiones son causadas por factores internos y externos, dentro de la banda útil las principales causas de estas emisiones son:

- Elementos no lineales
- Sobre modulación
- Oscilaciones parásitas

Se profundiza en los elementos no lineales ya que son empleados en este trabajo para el análisis de la radiación emitida por luminarias, estos se caracterizan por no mantener la relación de proporcionalidad entre su respuesta en corriente y el voltaje, ni cumplen el principio de superposición, algunos de estos elementos pueden ser diodos, lámparas incandescentes o semiconductores como transistores.

2.8 ¿Cómo estudiar el comportamiento de los sistemas lineales y no lineales?

El método de evaluación de la radiación empleado en este trabajo contiene componentes electrónicos que tienen tanto comportamientos lineales como no lineales y para poder entender estos comportamientos se tiene que aclarar qué son y cómo se pueden presentar.

Sistemas lineales: Analizan estructuras con parámetros concentrados, es decir, de acuerdo a las leyes físicas que gobiernan el sistema, son modelos determinísticos (se repiten), sus magnitudes físicas las podemos ubicar en un punto en el espacio. Recordando que cumplen con la propiedad de Superposición y Proporcionalidad [13].

Pero ¿En qué consiste el principio de Proporcionalidad y Superposición?

*Propiedad de Superposición:

Para un elemento dado, al cual le aplicamos una entrada x_1 , obtenemos una salida S_1 , y cuando se le aplica una entrada x_2 se obtiene una salida S_2 . El elemento cumple con esta propiedad ya que al aplicarle una entrada $x = x_1 + x_2$ se obtiene una salida $S = S_1 + S_2$, dicho de otra manera, la superposición es la capacidad de pacificar fuentes que afectan al sistema que se estudia, para realizar

un análisis de cada una de las fuentes con sus respectivos efectos y por consiguiente hacer una suma de todas las afectaciones que producen las fuentes.

*Propiedad de Proporcionalidad:

Establece que, si la entrada del sistema es multiplicada por un factor de proporcionalidad, la salida también se multiplica por el mismo factor en una relación proporcional $kx = ky$, esto quiere decir que, si las entradas de un sistema sufren alguna modificación, estas mismas las presentaran las salidas correspondientes.

Estas dos propiedades son las que dan la pauta para decir que un sistema es lineal o no lo es.

Sistemas No lineales: Generalmente son procesos aleatorios que cambian con respecto al tiempo y dependen de las condiciones que presente el sistema por consecuencia no cumplen las propiedades de linealidad antes mencionadas y difieren de éstas en dos aspectos.

En los sistemas lineales usualmente se puede obtener la expresión matemática que describe el comportamiento exacto del sistema, sin embargo, esto no es siempre posible en los sistemas no lineales [14].

Para los sistemas no lineales se requiere de modelos matemáticos con una mayor complejidad, los cuales dan una aproximación al comportamiento del sistema.

El segundo aspecto que los diferencia es el análisis que se realiza en los sistemas no lineales generalmente involucra matemáticas que son más complejas como se ha mencionado. Un ejemplo son los modelos probabilísticos y estadísticos, así como los métodos de análisis estocásticos o bien los procesos de Markov.

Existe una relación entre los sistemas lineales y no lineales, esta relación se puede dar cuando se trabaja en frecuencias intermedias, ya que en estas frecuencias se puede mantener el comportamiento de los componentes concentrados y de esta manera se hacen aproximaciones muy precisas para

poder analizar los sistemas no lineales como si fueran lineales, a este proceso se le llama linealización [14].

En resumen:

- ⊖ Dentro de las bajas frecuencias se tienen los sistemas lineales, además de que predomina los modelos matemáticos que describen el comportamiento exacto del sistema.
- ⊖ Dentro del rango de frecuencias intermedias se encuentra el proceso de linealización.
- ⊖ Dentro del intervalo de Altas Frecuencias se tienen los sistemas no lineales, los cuales requieren de métodos que aproximen su comportamiento. Algunos de estos métodos son
 1. Probabilístico
 2. Estocástico
 3. Markoviano

2.9 La relación frecuencia longitud de onda

Existe un criterio muy importante, el cual permite determinar si consideramos el análisis con parámetros concentrados o distribuidos, este criterio es la frecuencia de operación del sistema, en el análisis mediante este tipo de parámetros, hay que tomar en cuenta el tamaño del circuito sea mucho menor que la longitud de onda de la señal eléctrica que es conducida por el circuito, en cuyo caso se realiza el análisis del circuito con parámetros concentrados y si por el contrario el tamaño del circuito es igual o mayor (o bien se aproxima a un décimo de λ) a la longitud de onda el análisis correspondiente se debe hacer con parámetros distribuidos considerando un sistema, como el que se presenta en la figura 2.1 que está compuesto por de un generador de funciones y una impedancia resistiva [17]:

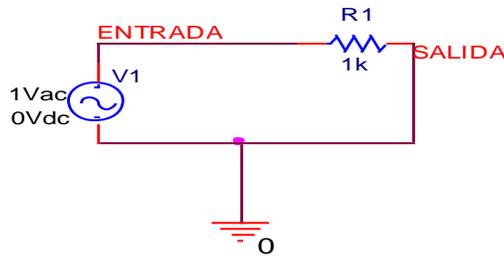


Figura 2.1 Circuito de prueba utilizado para el circuito de protección.

Se puede plantear que es de un tamaño mucho menor al de la longitud de onda eléctrica. Por otro lado, tenemos la forma de onda de salida del generador de funciones:

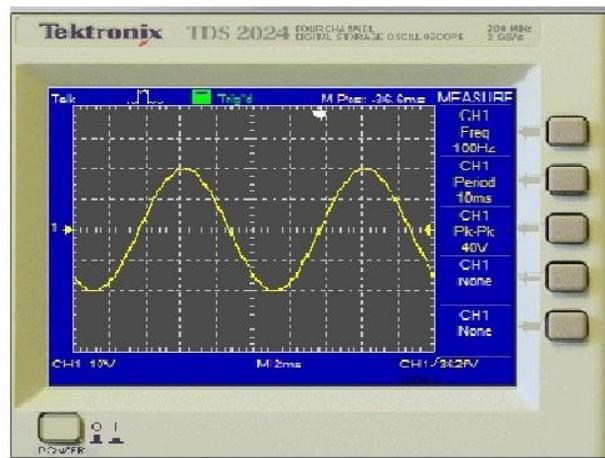


Figura 2.2 Forma de onda de salida del generador de funciones.

Como se puede observar en esta onda se define el periodo (τ) como un intervalo de tiempo en el que se produce un ciclo, la frecuencia (f), como el inverso del periodo, y la longitud de onda (λ), como la distancia entre dos puntos que tienen la misma fase, estos conceptos son únicamente aplicables para señales periódicas. Entre la frecuencia y la longitud de onda existe una relación, la cual está definida por la siguiente ecuación:

$$v = f * \lambda \quad (2.7)$$

Donde “ v ” es la velocidad con la que la onda se propaga, la característica particular de estos sistemas es que la velocidad de propagación en el aire, es igual

o muy próxima a la velocidad de la luz, definida por la letra c , por lo tanto, tenemos que:

$$c = f * \lambda \quad (2.8)$$

A partir de las formulas anteriores se obtiene lo siguiente:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{60 \text{ Hz}} = 5 \times 10^6 \text{ m} = 5000 \text{ km} \quad (2.9)$$

Cuando se tiene una frecuencia igual a 60 Hz la longitud de onda es de 5000 km, lo que implica que se tenga en consideración que la longitud física de materialmente cualquier circuito sea despreciable comparándolo con dicha longitud de onda, en dicho caso la señal eléctrica conducida no presenta cambios de fase.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{30 \text{ GHz}} = 0.01 \text{ m} = 1 \text{ cm} \quad (2.10)$$

Por el contrario, si la frecuencia fuese muy alta, es decir del orden de los GigaHertz la longitud de onda disminuiría, esto implicaría que el análisis del comportamiento de los componentes del circuito se realice con parámetros distribuidos, por lo que se provoca que la señal presente cambios de fase y que el modelo de análisis sea distinto.

Mientras que, cuando las dimensiones físicas del sistema donde se estudian los fenómenos es mucho menor que la longitud de onda, se requiere de un método diferente de análisis, es por ello que es requerida la Teoría de Redes Eléctricas.

2.10 Teoría de redes eléctricas

Mediante esta teoría se analizan los circuitos eléctricos, ya que los fenómenos que ocurren en ellos son de bajas frecuencias y esto implica que el análisis que se realiza del circuito es utilizando parámetros concentrados.

Si se comparan los dos resultados obtenidos en la ecuación 2.9 y 2.10, se puede observar que, con el aumento de la frecuencia, la longitud de onda decrece, lo que

provoca que exista un fenómeno conocido como emisión de energía (radiación). La energía comenzará a emitirse como Campo Eléctrico (E) y Campo Magnético (H).

Con esto las mediciones de los parámetros de Voltaje y Corriente cambiarán ya que se presentan pérdidas en la energía conducida por ello el método de medición tendrá que cambiar para cuantificar las pérdidas. Es importante tomar en cuenta las dimensiones físicas del dispositivo y la frecuencia con la que trabaja para no crear emisores no intencionales [17].

2.10.1 Redes eléctricas inteligentes

Suponiendo que la red eléctrica que suministra la energía a casa habitación tuviera una frecuencia de 30MHz y no de 60 Hz, ¿Qué efectos tendría tomando en cuenta lo previamente mencionado de los emisores no intencionales?

Las empresas de electricidad están enfocándose en retos como el mejoramiento de su infraestructura, teniendo en cuenta la energía suministran y la que usan de la red, para poder brindar un mejor servicio y así poder satisfacer las necesidades que les demande la sociedad, pero sin olvidar la protección al medio ambiente.

Por este motivo surge el concepto de redes eléctricas inteligentes. Es una red con la posibilidad de combinar la tecnología convencional eléctrica con la tecnología de la información y las comunicaciones, así como sistemas de control, monitoreo o incluso sistemas de monitoreo con el fin de conseguir un suministro eficiente, seguro y sustentable [18].

Estas redes proponen métodos para la generación, transmisión y distribución de la electricidad, incluyendo la parte de las comunicaciones, las cuales trabajan en un rango de los 30MHz, en cuyo caso la longitud de onda sería del orden de los centímetros, como se puede observar en la tabla 2.2, lo cual, comparando con las dimensiones físicas de los componentes de una red eléctrica habitacional dan la condición para que estos elementos se vuelvan radiadores no intencionales, recordando que para poder radiar energía eléctrica solo se necesita un décimo de la longitud de onda [17].

3 MÉTODO DE EVALUACIÓN

En el presente capítulo se explicará el método con el cual se llevaron a cabo las mediciones realizadas, así como algunas observaciones para la reproducción del método. Dicho método se obtuvo de la norma internacional “IEC 62493 – Assessment of lighting equipment related to human exposure to electromagnetic fields” [19], cuya versión mexicana es PT-NMX-J-599/3-ANCE-2011 [15].

Este método se refiere a la medición de la radiación emitida por equipos de iluminación, la evaluación propuesta en el método se basa en la densidad de corriente inducida en el intervalo de frecuencias desde 20KHz hasta 10MHz, también se apoya en la razón de absorción específica (SAR) en el intervalo de 100KHz hasta los 300MHz.

El método de medición es aplicable para ciertos equipos de iluminación como son:

- Todos los equipos de iluminación en general cuya función principal sea generar y/o distribuir luz para propósitos de iluminación y que se alimenta del suministro de energía eléctrica de baja tensión o para la operación con baterías para uso en interiores y/o exteriores.

Este método no es aplicable a los equipos como:

- Equipo de iluminación para aeronaves o pistas aéreas.
- Equipo de iluminación para vehículos de carretera.
- Equipo de iluminación para agricultura.
- Equipo de iluminación para botes/buques.
- Fotocopiadoras, o proyectores.

Ya que para estos equipos se requiere tomar en cuenta otro tipo de variables para su análisis. Los equipos de iluminación cuentan con diversos requerimientos para poder realizar dicha evaluación:

- Tensión máximo nominal, con una tolerancia de $\pm 2\%$. Los equipos pueden alimentarse con C.D o de lo contrario con C.A a 60Hz
- El intervalo de medición de la frecuencia se considera de 20KHz a 10MHz
- La temperatura ambiente de 15°C a 25°C
- Antes de realizar la medición deben de operarse las lámparas hasta que se logré una estabilidad:
 - 15 minutos para lámparas fluorescentes.
 - 30 minutos para otras lámparas de descarga.

Para realizar mediciones de interferencia electromagnética se debe utilizar un analizador de espectros o bien un Medidor de Interferencias Electromagnéticas (EMI) tomando en cuenta las especificaciones que se observan en la siguiente tabla:

Intervalo de Frecuencias	Intervalo de medición	f_{paso}	Detector
20KHz-150KHz	100ms	200Hz	Pico
150KHz-10MHz	20ms	10KHz	Pico

Tabla 3.1 Especificaciones del analizador de espectros [15]

Como cualquier método de medición, este tiene sus limitantes, es decir, solo es aplicable en ciertas condiciones, tal como se muestra en la en la tabla 3.1, siendo una recomendación de la norma PT-NMX-J-599/3-ANCE-2011.

Intervalo de frecuencias en Hertz	Densidad de corriente (cabeza-tronco) mA/m ² (rms)	SAR promedio (Cuerpo completo) Watts/kg	SAR específico (cabeza-tronco) Watts/kg	SAR específico (extremidades) Watts/kg
Hasta 1Hz	8	-	-	-
1-4 Hz	8/f	-	-	-
4-1,000 Hz	2	-	-	-
1kHz-100kHz	f/500	-	-	-
100kHz-10 MHz	f/500	0.008	2	4
10MHz-10 GHz	-	0.008	2	4

NOTA: f es la frecuencia en la que se trabaja en Hertz

Tabla 3.2 Restricciones básicas de exposición del cuerpo humano, clase A (público en general), a campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo para frecuencias de hasta 10 GHz [15]

No se trabaja en el intervalo de dichos límites, pero son mencionado porque forman parte de las restricciones de exposición al cuerpo humano, estos límites de exposición son generales más no exhaustivos, por normalización hay dos tipos de clasificación: clase A para equipos utilizados por público en general y clase B para equipos médicos, industriales y científicos.

3.1 Requisitos para el método de medición.

Para este método de medición se requiere de un radio receptor (EMI) o un analizador de espectros, así como una esfera metálica de 21 cm de diámetro (D) sin imperfecciones en la superficie, la cual formará parte de la antena receptora de la radiación proveniente de las lámparas.

Además de la esfera, se requiere un cable ordinario con una longitud de 30 centímetros, esta longitud se obtiene debido a la máxima frecuencia con la que se trabaja la cual es de 10MHz y con una velocidad de propagación igual a la velocidad de la luz (3×10^8 m/s) ya que se trabaja con radiación lumínica. Este cable se empleará para conectar la esfera metálica con un circuito de protección, el cual más adelante se explicará a detalle.

Otra de las partes requeridas es una base que sostenga la esfera metálica, esta base tiene que ser de un material aislante y con una altura de por lo menos 80 cm,

estos ochenta centímetros se consideran desde el suelo hasta la esfera, podemos observar la figura 3.1, obtenida de la norma PT-NMX-J-599/3-ANCE-2011.

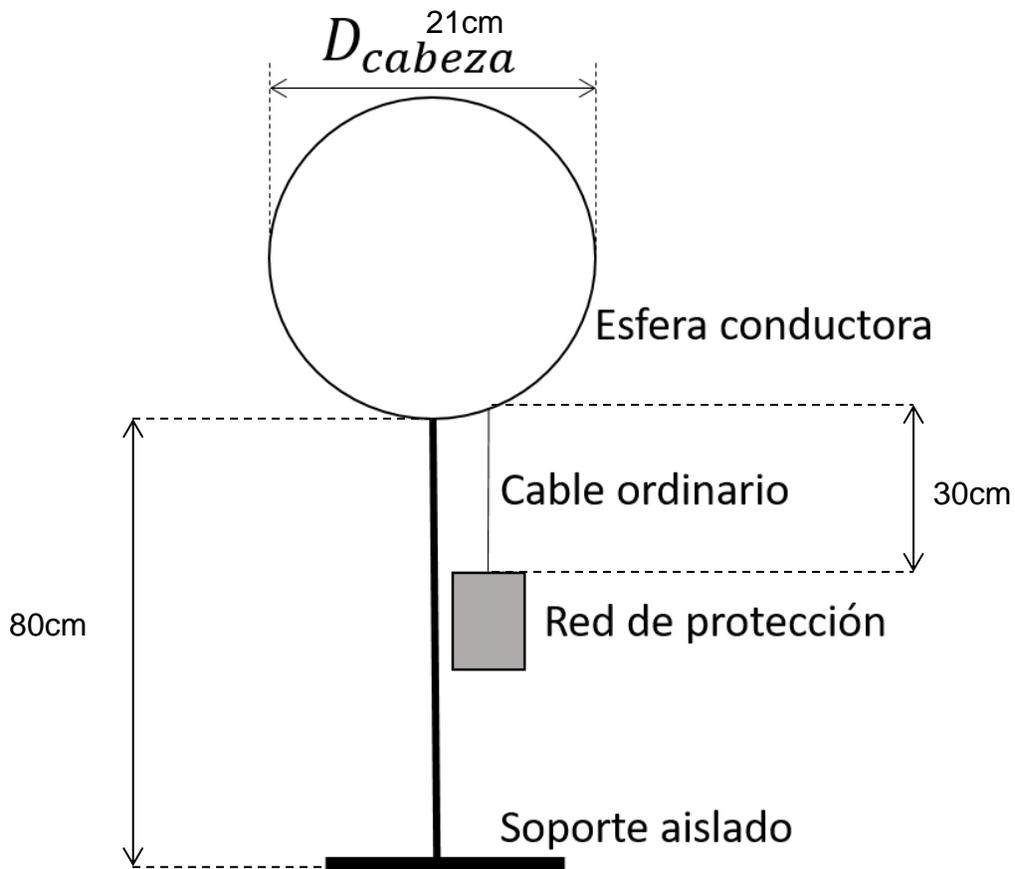


Figura 3.1 Cabeza de pruebas "Van der Hoodfen" para mediciones de corriente inducida por radiación [15].

NOTA: El cable utilizado para conectar la esfera al circuito de protección es un cable común, esto se debe a que es una extensión de la antena y no necesita una referencia a tierra sin embargo a la salida del circuito de protección se requiere una línea de transmisión. Para este modelo se utilizó un cable coaxial con impedancia característica de 50Ω , con el fin de evitar pérdidas en el sistema.

3.2 Circuito de protección.

Como se menciona anteriormente, este método cuenta con un circuito de protección el cual tiene la función de proteger el radio receptor (EMI) y está constituido por:

- 2 capacitores de 470 pFs

- 1 capacitor de 56 pF
- 1 resistencia de 150Ω
- 1 resistencia de 470Ω
- 1 conectores SMA hembra
- 6 diodos schottky

El diagrama de conexión del circuito de protección empleado para este trabajo se muestra en la figura 3.2, éste es sugerido por la norma PT-NMX-J-599/3-ANCE-2011.

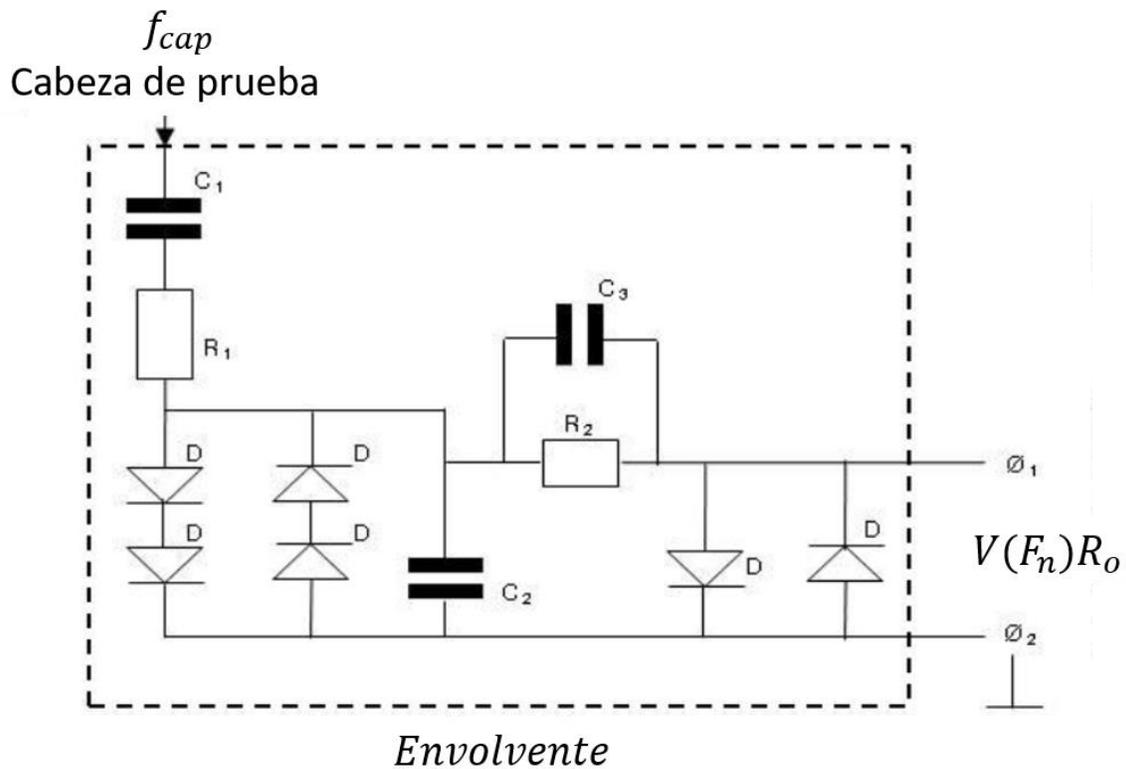


Figura 3.2 Diagrama de conexión del circuito de protección [15].

Dónde:

C_1 Es un capacitor de 470 pF

C_2 Es un capacitor de 470 pF

C_3 Es un capacitor de 56 pF

R_1 Es una resistencia de 470Ω

R_2 Es una resistencia de 150Ω

D Es un diodo Schottky

El circuito está constituido por cuatro fases de funcionamiento, tal y como se observa en la figura 3.3

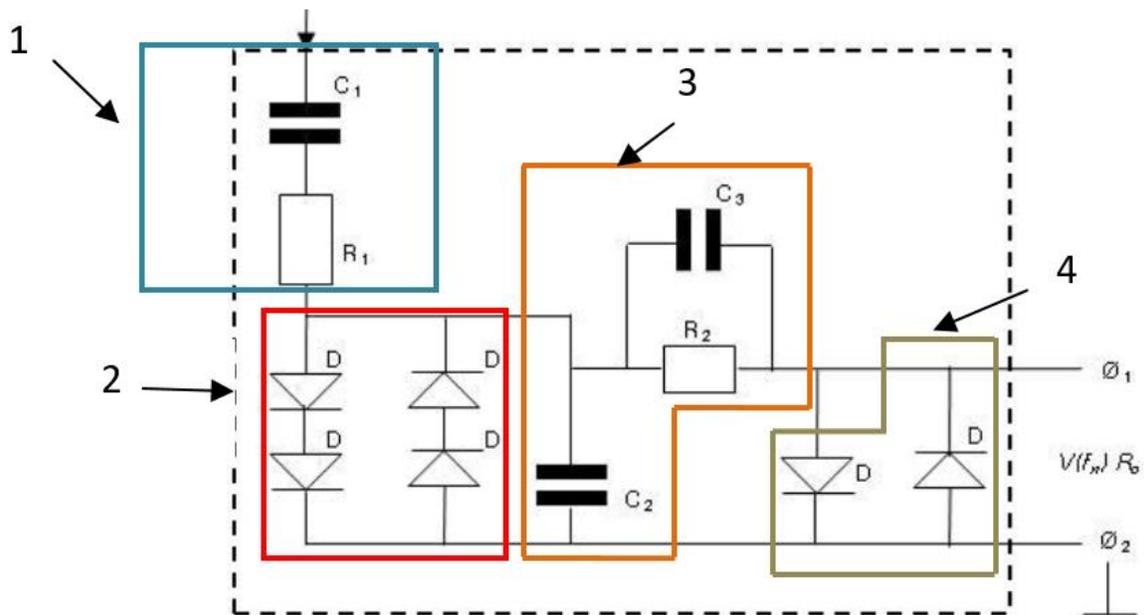


Figura 3.3 Las fases de funcionamiento del circuito de protección.

La fase uno, consta de un capacitor en serie con una resistencia, estos elementos se encargan de formar un filtro pasa altas, la cual se puede visualizar por la colocación de los componentes, el hecho que se coloque primero el capacitor nos indica que solo dejará pasar las frecuencias altas como se observa en la figura 3.4

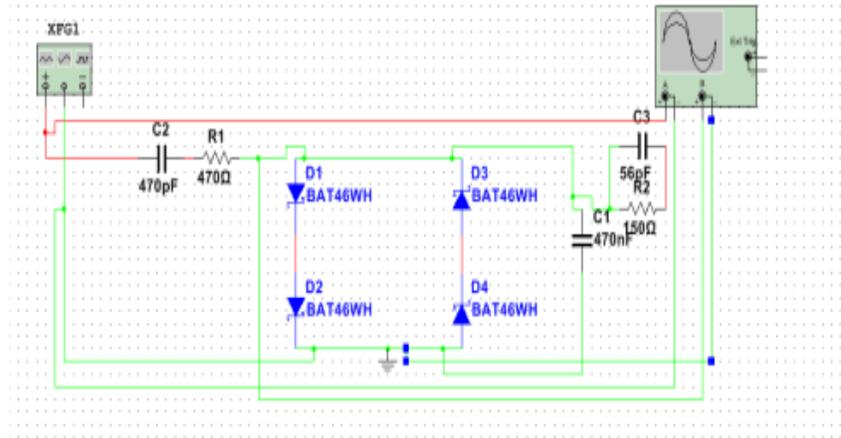


Figura 3.4 Diagrama de conexión del circuito de protección en la fase 1 con el software de simulación multisim

La frecuencia de corte se obtiene de la función de transferencia de esta primera fase, la cual se muestra a continuación.

$$f = \frac{1}{2 * \pi * R * C} \quad (3.1)$$

Donde;

R es la resistencia en Ohms

C es el capacitor en Farads

Substituyendo valores se tiene que la frecuencia de corte es de;

$$f = \frac{1}{2 * \pi * 470 * 470 * 10^{-12}} = 720.484 \text{ KHz} \quad (3.2)$$

Lo cual indica que a partir de esta frecuencia se podrá recibir señal como se puede observar en la figura 3.5.

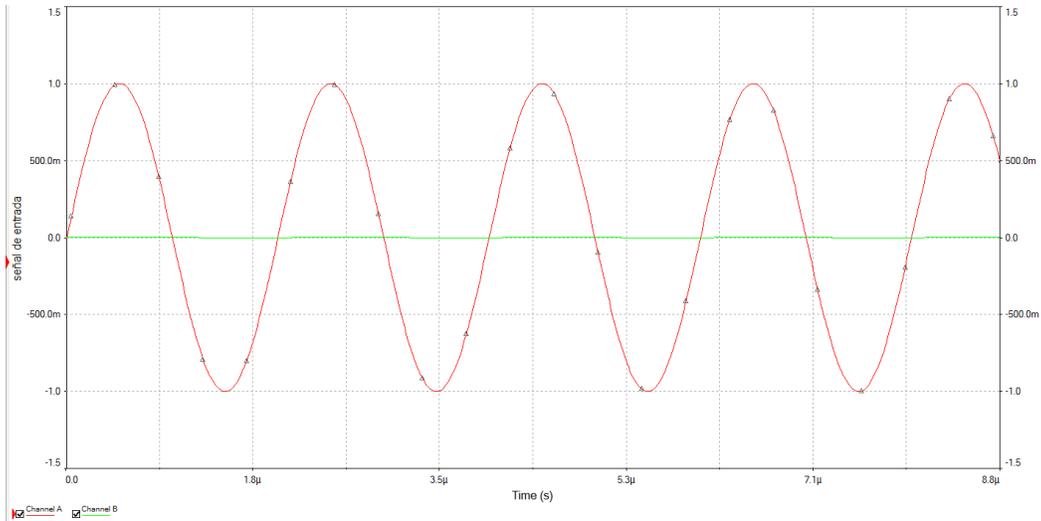


Figura 3.5 Respuesta en el tiempo de la salida de la primera fase en contraste con la señal de entrada del circuito de protección con una frecuencia menor a 720.484 KHz.

La segunda fase consta de 4 diodos Schottky los cuales son dispositivos que tienen una caída de voltaje directa muy pequeña del orden de 300 mV o menos. Operan a muy altas velocidades y se utilizan en fuentes de potencia, circuitos de alta frecuencia y sistemas digitales, reciben también el nombre de diodos de recuperación rápida (Fast recovery) o de portadores calientes.

La función de los 4 diodos Schottky en el circuito de protección es limitar la amplitud de la señal entrante al circuito, la cual es reducida a la suma de los voltajes de umbral de los diodos para ambos ciclos de la señal (positivo y negativo), como se ilustra en la figura 3.6:

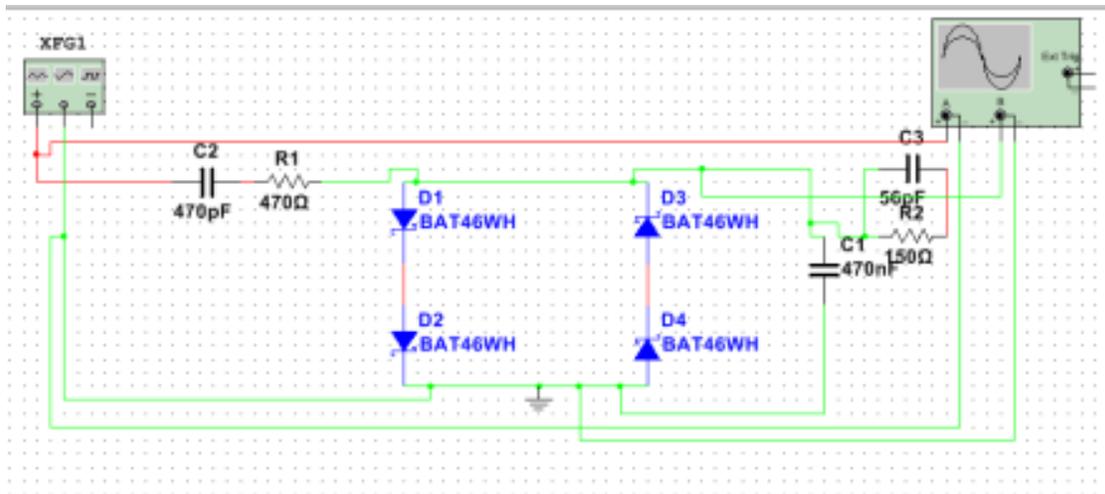


Figura 3.6 Diagrama de conexión del circuito de protección en la fase dos.

En la figura 3.7, la señal de entrada del circuito es de color rojo y la señal de salida de la fase 2 es color verde

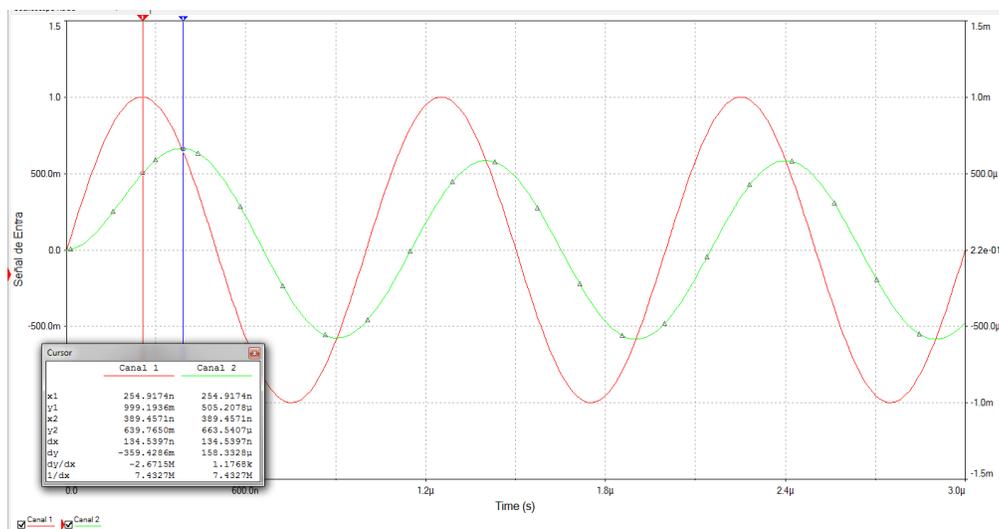


Figura 3.7 Respuesta en el tiempo de la fase dos del circuito, en contraste con la señal de entrada del circuito (rojo) y la señal de salida de la fase 2 (color verde)

Así también se observa un desfase (debido a los componentes), entre las señales que es de 61.2 grados, los cuales son calculados de la diferencia entre señales y la duración del ciclo de la onda; así como la amplitud de la onda de salida de la fase dos es disminuida en una relación 1:1000, lo cual implica que por cada volt se tendrá 1 mV a la salida.

La fase tres del circuito está conformada por un capacitor en paralelo a los 4 diodos y una resistencia en serie con dicho capacitor, realizan la función de disminuir el ruido en la señal, esto se lleva a cabo por la carga y descarga del capacitor con la limitante de la resistencia dando una constante RC la cual determina el tiempo en que se carga y descarga el capacitor.

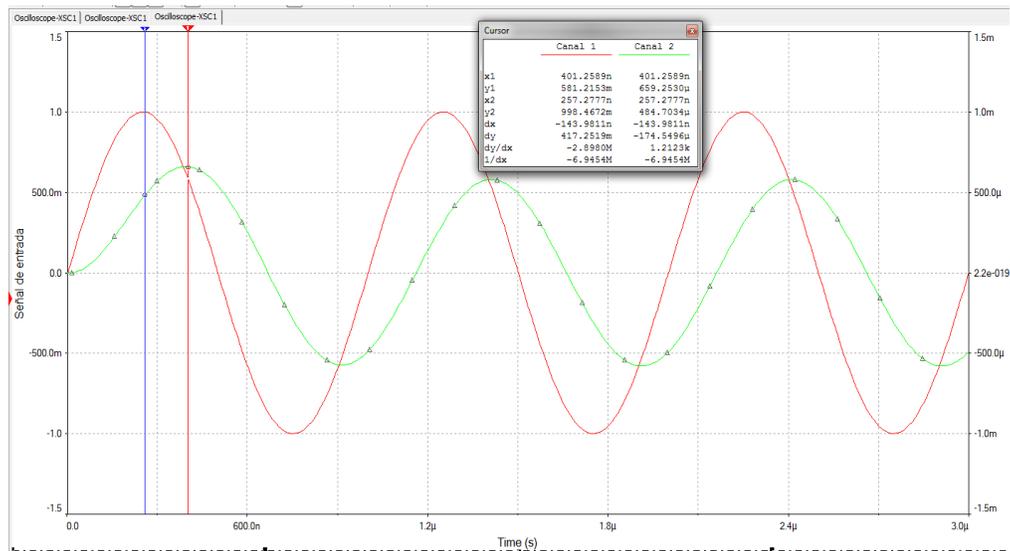


Figura 3.8 Respuesta en el tiempo de la señal de salida de la fase 3 del circuito de protección en contraste con la señal de entrada del circuito.

En la figura 3.8 se observa que el desfase de las señales se mantiene, cabe mencionar que se utilizó el simulador multisim creado por la empresa National Instruments, el cual permite simular un entorno SPICE, donde SPICE es un acrónimo inglés de Simulation Program with Integrated Circuits Emphasis (Programa de simulación con énfasis en circuitos integrados), el cual permite simular condiciones ideales y por ello los defectos de los componentes electrónicos no se puede apreciar la disminución del ruido.

NOTA: El capacitor C_3 solo se utilizará si la función de transferencia lo requiere para que las mediciones no se desvíen en más de un \pm dB

La cuarta y última fase está compuesta por dos diodos Schottky, los cuales vuelven a limitar la señal en una relación 1:2.

Siendo así que cada fase tiene una función específica. Para poder tener un panorama general del funcionamiento conjunto de las fases, se simuló el circuito de protección en el dominio de la frecuencia ya que se requiere analizar el comportamiento en distintos intervalos, donde ésta trabaja con un amplio ancho de banda, en la figura 3.9 se muestra el circuito completo.

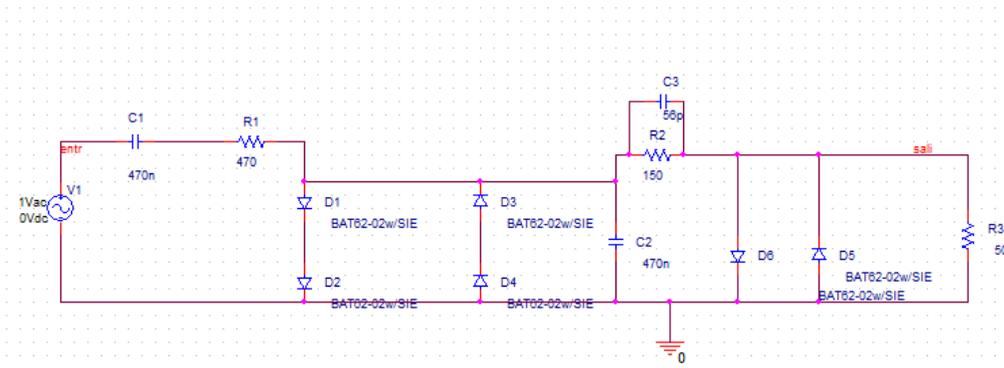


Figura 3.9 Circuito de protección simulado con orcad.

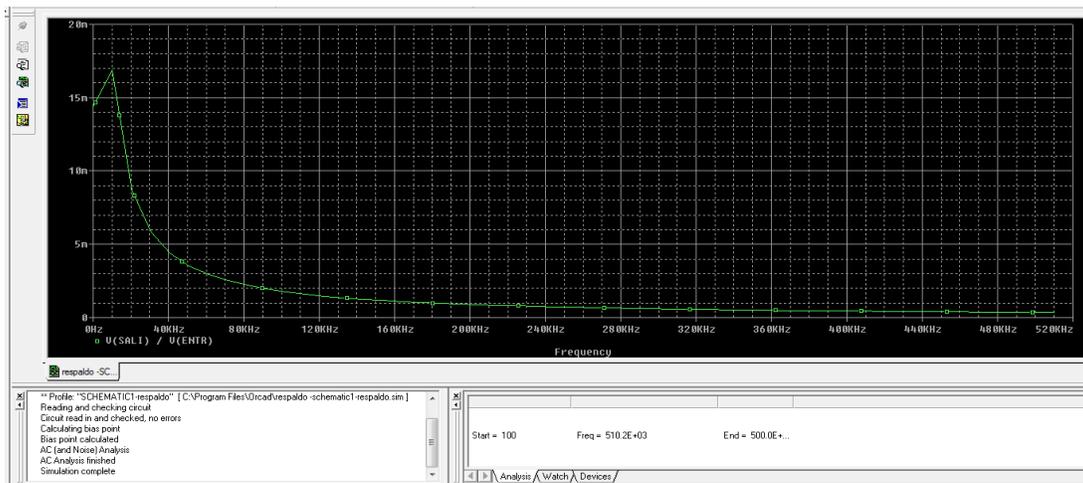


Figura 3.10 Función de transferencia del circuito de protección en el dominio de la frecuencia.

Como se puede observar en la figura 3.10, la función de transferencia del circuito de protección en el dominio de la frecuencia se comporta como un filtro pasa bajas, esto quiere decir que entre más alta es la frecuencia, más pequeña se vuelve la amplitud de la señal y ésta deja de ser legible a los 10 MHz.

A continuación, se presenta el comportamiento del circuito por cada fase de manera física.

NOTA: Las mediciones que se realizan son con un generador de señales RIGOL DG2041A y un osciloscopio TEKTRONIX utilizando puntas atenuadas para realizar las mediciones con más precisión (ver anexos).

- Fase 1

Filtro pasa altas con una frecuencia de corte de 720.48 KHz tomado de la ecuación 3.2.

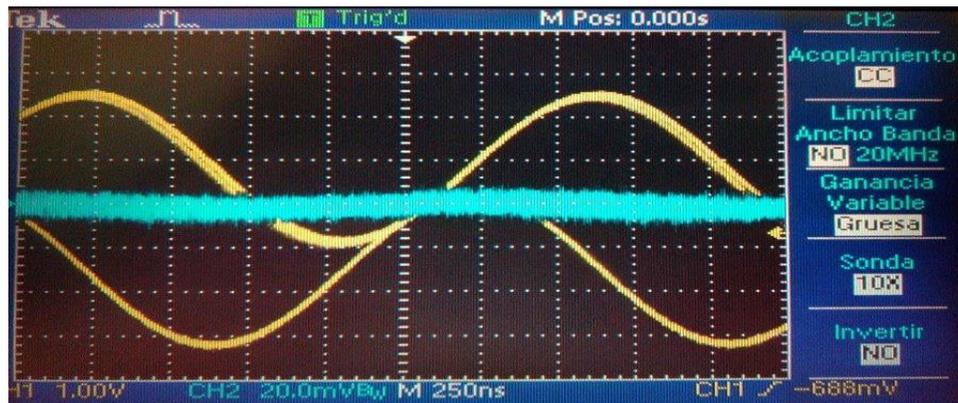


Figura 3.11 Señal de entrada de circuito comparada con la señal a la salida de primera fase con una frecuencia de 600 KHz.

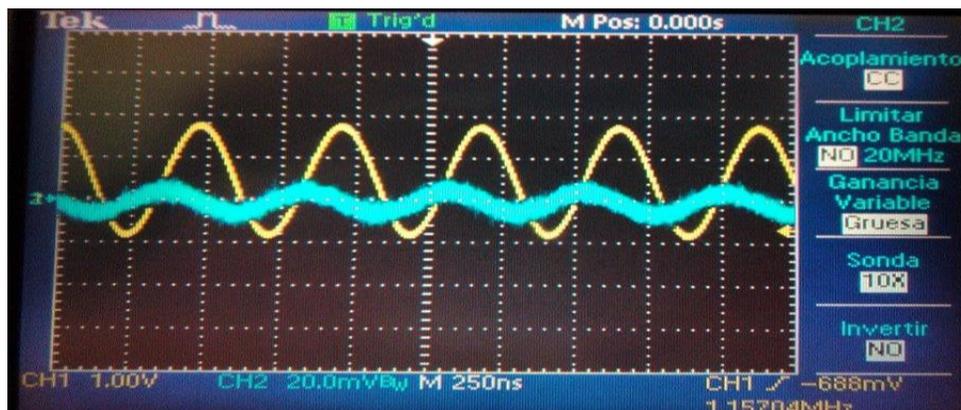


Figura 3.12 Señal de entrada de circuito comparada con la señal a la salida con una frecuencia de trabajo de 2.1 MHz

Entre la figura 3.11 y 3.12 existe una diferencia en la frecuencia de trabajo, así como una clara visualización del cambio en la forma de la señal, debido a que en la figura 3.11 se trabaja con valores por debajo de la frecuencia de corte, mientras

que en la figura 3.12 se trabaja con valores por arriba de la frecuencia de corte, con lo que podemos concluir que la fase uno funciona como un filtro pasa altas.

- Fase 2

Limitador de amplitud de la señal en el ciclo positivo y en el ciclo negativo

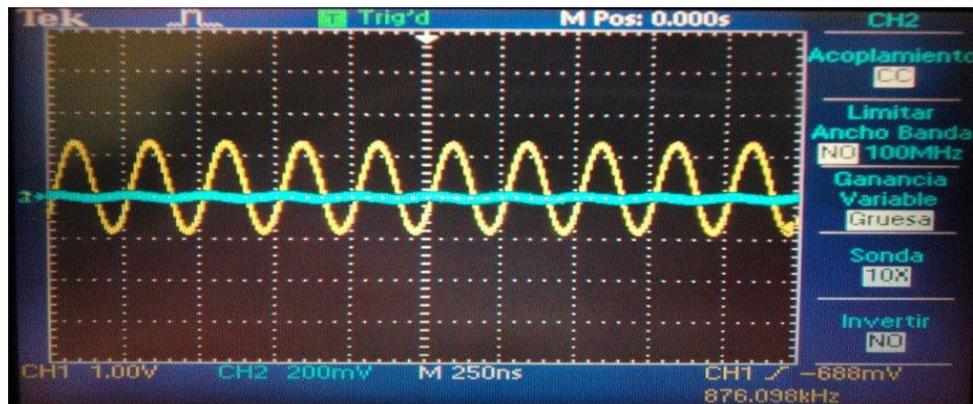


Figura 3.13 Señal de entrada de circuito comparada con la señal a la salida de la segunda fase con una frecuencia de trabajo de 4 MHz.

Como se puede observar en la figura anterior, hay una clara disminución de amplitud en la señal de salida de la fase, con respecto a la señal de entrada, esto es debido al uso de los diodos Schottky que limitan tanto en el ciclo negativo, como en el positivo.

NOTA: La disminución de la amplitud es en una relación 1:40 y no 1:1000, esto es debido al tipo de semiconductores (diodos Schottky) y materiales de los componentes electrónicos que se utilizaron para el circuito de protección.

- Fase 3

Disminución de la distorsión presente en la señal debido al ruido, esta fase no fue probada, ya que no se utilizó como tal el modelo completo (la antena), debido a que el propósito de estas pruebas es comprobar el funcionamiento del circuito de protección, más no el del modelo de medición.

- Fase 4

Reducción de amplitud mediante el uso de diodos Schottky.

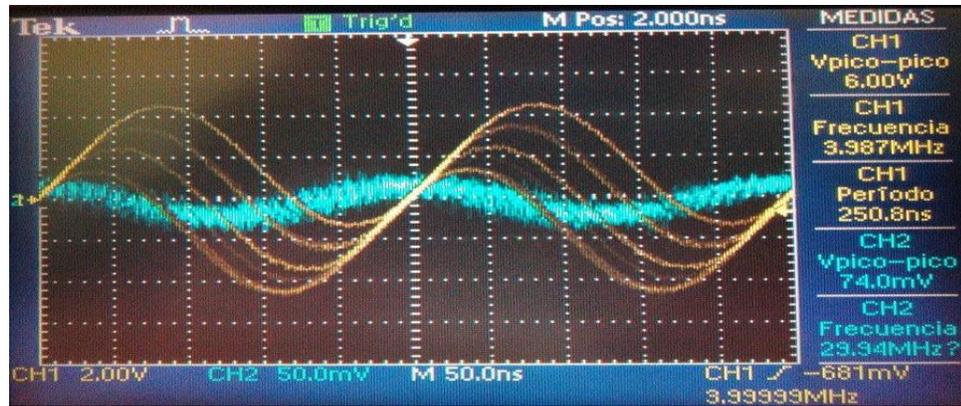


Figura 3.14 Señal de entrada de circuito comparada con la señal a la salida de la cuarta fase con una frecuencia de trabajo de 4 MHz.

La señal de salida nuevamente disminuye, pero esta vez con una relación 1:2, esto es debido la función que realizan los diodos Schottky como se comprobó en la simulación de la figura 3.8

Nota: Las señales se encuentran deformadas debido al ruido presente en el circuito, ya que la señal de entrada no está referenciada a tierra, con la finalidad de obtener una respuesta más aproximada a la esperada en la medición experimental.

4 DESARROLLO EXPERIMENTAL

Una vez descrito el método de medición, el cual se empleó en este trabajo, se procede a describir el desarrollo experimental y se analizarán los resultados obtenidos por el mismo. Por lo tanto, este capítulo se emplea para el análisis y descripción de los resultados.

4.1 Condiciones de experimentación.

Para poder realizar el experimento, se emplean condiciones semejantes a las presentes en una oficina o un cubículo, estas condiciones son:

- Lámparas con balastro: 2 lámparas tipo “u” con una potencia de 32 watts, con dimensiones de 56.6 x 17.5 cm y con un tiempo de vida de 8000 horas.
- Un espacio de pruebas de 355 cm de ancho, 450 cm de largo, 240 cm de altura y con una sola ventana.
- Un espacio de separación entre lámparas de 130 cm.

NOTA: El instrumento de medición (EMI) dio una limitante, al no poder moverlo de lugar, y así poder tener otras condiciones de experimentación.

4.2 Condiciones de operación.

Antes de llevar a cabo las mediciones, es necesario mantener encendidas las lámparas hasta que se logre una estabilidad en ellas, es decir, que deje de presentar parpadeos, se sugiere un tiempo de espera de:

1. 15 min para lámparas fluorescentes
2. 30 min para los demás tipos de lámpara

NOTA: Es recomendable realizar las mediciones en lámparas que tengan 100 horas de uso, aproximadamente una semana.

Las mediciones fueron tomadas en el intervalo de frecuencias de 20 KHz a 10 MHz, el cual se divide en dos: 20KHz a 150KHz y de 150KHz a 10 MHz, con la

finalidad de obtener un mejor análisis de los resultados, así como poder observar claramente las mediciones con su respectiva frecuencia.

Para el intervalo de 20KHz a 150KHz, se tomó una medición cada 10 KHz, para 150KHz a 10MHz una cada 50KHz ya que el instrumento de medición recomienda estos parámetros y cada una de ellas fue tomada con un tiempo de exposición de 50 milisegundos.

4.3 Distancias de medición.

El experimento se llevó a cabo en tres distintas distancias: 160 cm ,100 cm y 80 cm, estas distancias se consideran de la cabeza de prueba hacia la posición de las lámparas, como se puede observar la figura 4.1



Figura 4.1 "Punto de referencia para establecer la distancia entre la cabeza de prueba y las lámparas".

La colocación de la cabeza de prueba fue a 65 cm de separación entre cada lámpara, esta distancia se tomó debido a que en ese punto se concentran los dos espectros de radiación, dando una mayor área de inserción de luz de las lámparas en la cabeza de prueba, tal y como se puede observar en la figura 4.2.

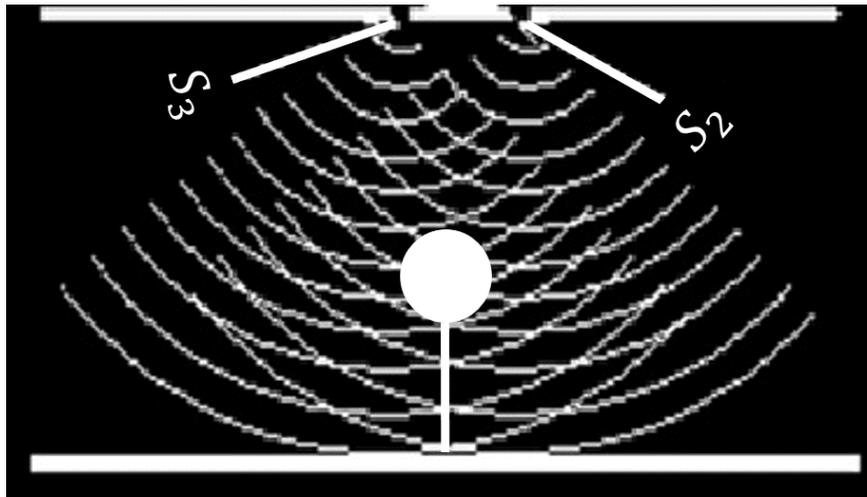


Figura 4.2 "Posición de la cabeza de prueba (antena esférica)"

Donde S_3 es la lámpara que se encuentra a la izquierda de la cabeza de prueba y S_2 es la lámpara que se encuentra a la derecha de la cabeza de pruebas, el círculo blanco es la cabeza de prueba.

NOTA: Durante las pruebas se recomienda no acercarse al equipo de iluminación a menos de 80 cm, para no interferir con las mediciones.

4.4 Resultados obtenidos.

Las mediciones obtenidas por EMI se presentan en dB's, debido a los valores pequeños captados, además que se requirió de una escala logarítmica para poder tener una escala óptima.

La primera medición se realizó con una separación entre cabeza de prueba y las lámparas de 160cm. El comportamiento de las mediciones se puede apreciar en la figura 4.3.

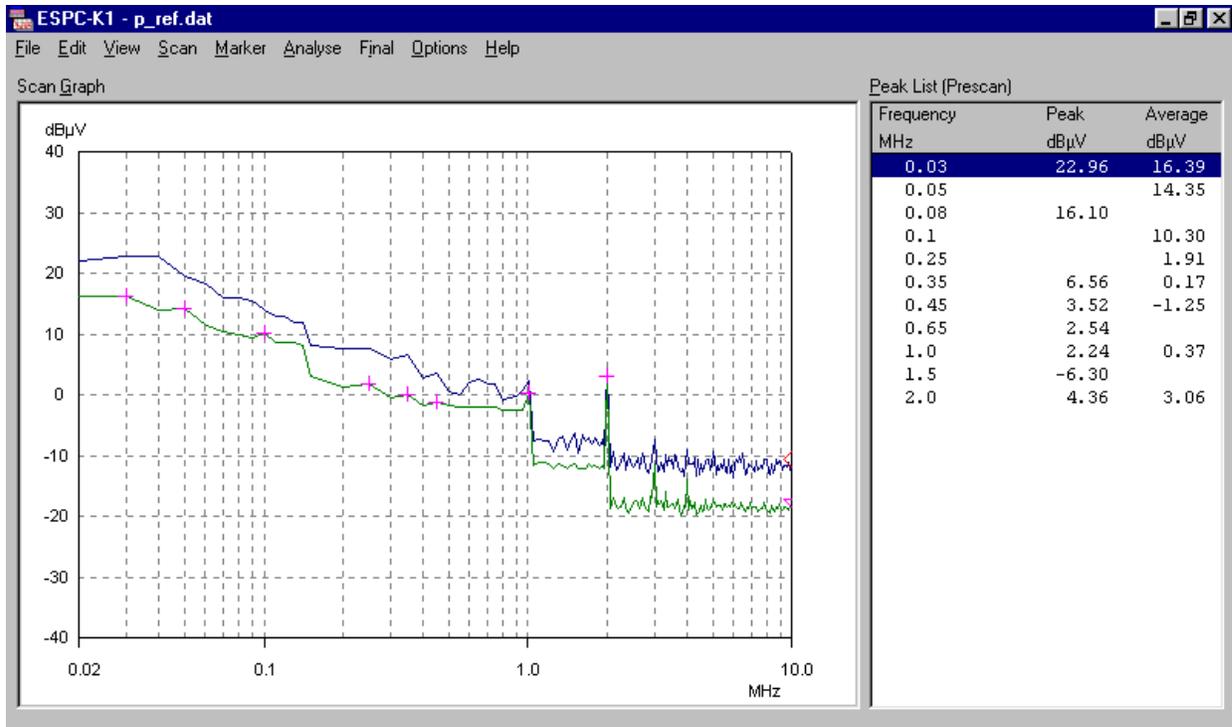


Figura 4.3. "Comportamiento de la medición a 160 cm del equipo de iluminación obtenida mediante el software ESPC-K1".

Como se puede apreciar en la figura 4.3, el software además de brindar de manera gráfica el comportamiento de las mediciones, muestran los picos de energía y el valor promedio en dicho punto. También se puede apreciar que no en todos los picos hay un promedio necesariamente, esto se debe a que el equipo de medición no fue capaz de detectar el pico o el promedio de la energía.

Analizando el comportamiento de las mediciones, se identifica que a frecuencias arriba de 2 MHz los valores leídos son del orden de los nanovolts por lo que se puede decir que entre más alta la frecuencia, la amplitud de las mediciones va disminuyendo.

Se transforman los de dB's, obtenidos de los picos y los promedios a volts mediante el siguiente modelo matemático.

$$dB\mu V = 20 \log \frac{V}{1 \times 10^{-6}} \quad (4.1)$$

Despejando V se tiene:

$$V = 10^{\frac{dB\mu V}{20}}(1 \times 10^{-6}) \quad (4.2)$$

Donde V es la energía en volts y los $dB\mu V$ son los dB's referidos a un micro volt.

Los valores obtenidos se muestran en la tabla 4.1.

Medición a 160 cm de separación				
Frecuencia en MHz	Medición pico en $dB\mu V$	Medición pico en μV	Medición promedio en $dB\mu V$	Medición promedio en μV
0.03	22.96	14.06 μV	16.39	6.59 μV
0.05	-	-	14.35	5.21 μV
0.08	16.10	6.38 μV	-	-
0.1	-	-	10.30	3.27 μV
0.25	-	-	1.91	1.24 μV
0.35	6.56	2.12 μV	0.17	1.01 μV
0.45	3.52	1.49 μV	-1.25	865.96 pV
0.65	2.54	1.33 μV	-	-
1.0	2.54	1.29 μV	0.37	1.04 μV
1.5	-6.30	484.17 pV	-	-
2	4.36	1.65 μV	3.06	1.42 μV

Tabla 4.1. "Valores obtenidos de la medición a 160 cm de separación del equipo iluminación".

Como se puede observar en la tabla 4.1 los valores de las mediciones son muy pequeños, tomando en cuenta que el tiempo de exposición fue de 50 milisegundos.

Para la segunda medición a 100 cm de separación de las lámparas, se tomó como referencia la primera medición, esto debido a que es necesario observar si hay alguna variación con respecto a la medición anterior.

Las mediciones obtenidas en la separación de 100 cm se observan en la figura 4.4

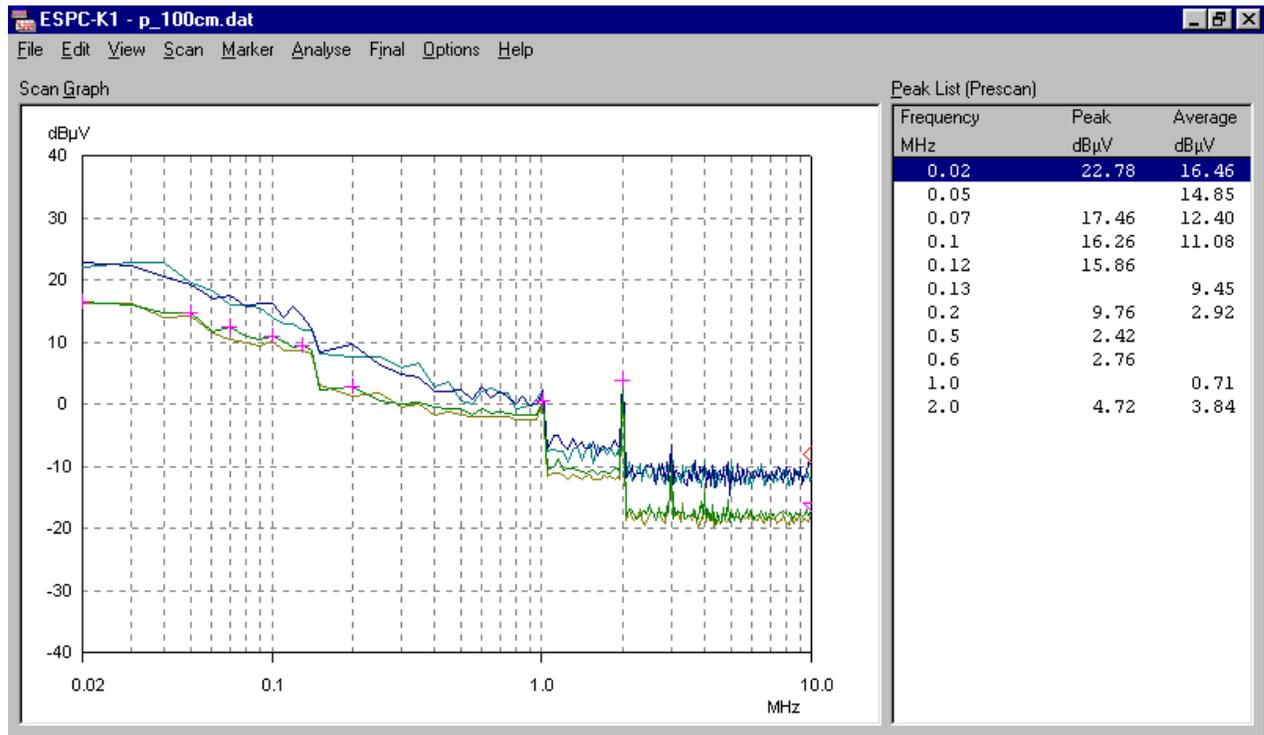


Figura 4.4. "Comportamiento de la medición a 100 cm del equipo de iluminación obtenida mediante el software ESPC-K1".

En la figura 4.4 se observa el comportamiento de la primera medición con color verde claro (promedio) y azul claro (pico) mientras que el comportamiento de la segunda medición se observa con un verde y azul más oscuro, el software muestra los valores pico y promedio de ambas mediciones.

NOTA: En todos los comportamientos de las mediciones la gráfica superior de color azul son los valores pico y la gráfica inferior de color verde son los valores promedio.

Para analizar de una manera clara los valores obtenidos se repetirá el procedimiento de la primera medición para así comparar valores numéricos en las unidades correspondientes, los valores obtenidos de la segunda medición se aprecian en la tabla 4.2.

Medición a 100 cm de separación				
Frecuencia en MHz	Medición pico en $dB\mu V$	Medición pico en μV	Medición promedio en $dB\mu V$	Medición promedio en μV
0.02	22.78	13.77 μV	16.46	6.65 μV
0.05	-	-	14.85	5.52 μV
0.07	17.46	7.46 μV	12.40	4.16 μV
0.1	16.26	6.5 μV	11.08	3.58 μV
0.12	15.86	6.2 μV	-	-
0.13	-	-	9.45	2.96 μV
0.2	9.76	3.07 μV	2.92	1.39 μV
0.5	2.42	1.32 μV	-	-
0.6	2.76	1.37 μV	-	-
1.0	-	-	0.71	1.08 μV
2.0	4.72	1.72 μV	3.84	1.55 μV

Tabla 4.2. "Valores obtenidos de la medición a 100 cm de separación del equipo iluminación".

Como se puede observar en la tabla 4.2 los valores obtenidos en el EMI siguen siendo del orden de los micro-volts, aunque se incrementaron a los valores con respecto a la primera medición.

NOTA: Se recomienda tener cuidado en el momento de cambiar la altura de la cabeza de prueba, tomar en cuenta la longitud del cable coaxial, el cual conecta el circuito de protección con el EMI para evitar dobleces o falsos contactos en las conexiones del circuito y el EMI.

Para la tercera medición a 80 cm de separación de las lámparas se volvió a tomar como referencia la primera medición, esto debido a que es necesario observar si hay alguna variación a la posición inicial.

Las mediciones obtenidas en la separación de 80 cm se observan en la figura 4.5.

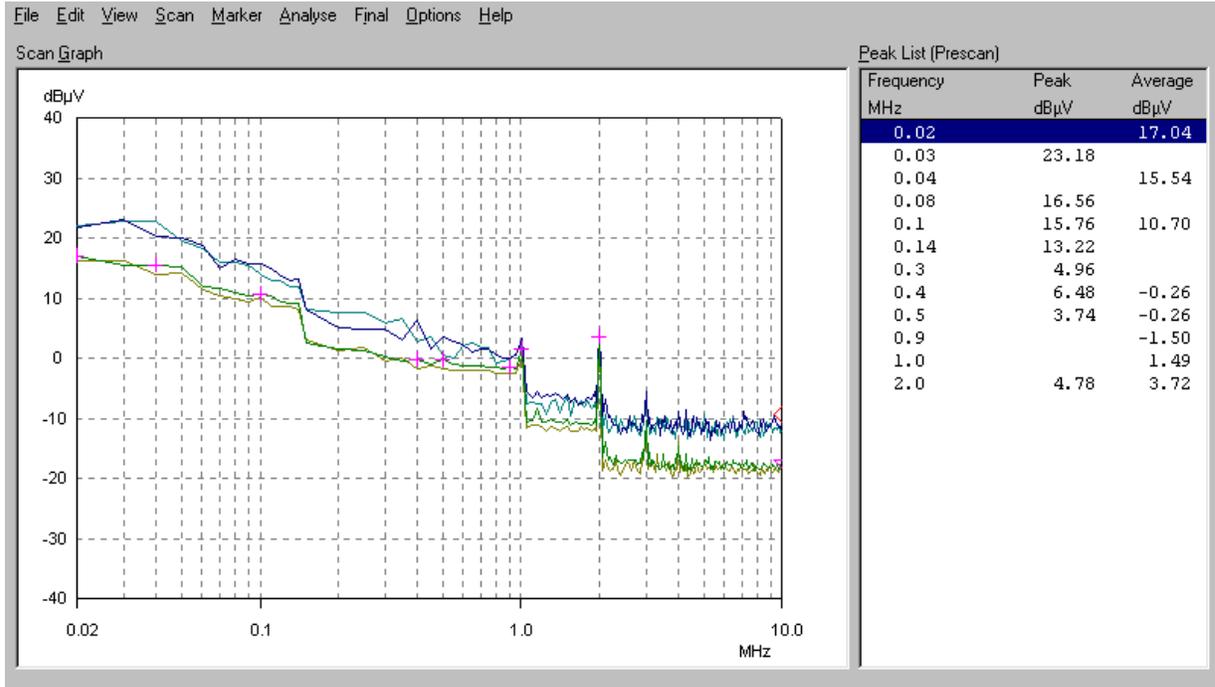


Figura 4.5. "Comportamiento de la medición a 80 cm del equipo de iluminación obtenida mediante el software ESPC-K1".

En la figura 4.5 se sigue manteniendo el mismo comportamiento que en las mediciones anteriores, solo con variaciones en la potencia del orden de micras, así también es necesario convertir los dB's a volts, el resultado de la conversión se observa en la tabla 4.3.

NOTA: Se sugiere revisar que la cabeza de prueba esté a la altura deseada y con estabilidad durante las mediciones, ya que puede afectar la recepción de energía.

Medición a 80 cm de separación				
Frecuencia en MHz	Medición pico en dBμV	Medición pico en μV	Medición promedio en dBμV	Medición promedio en μV
0.02	-	-	17.04	7.11 μ V
0.03	23.18	14.42 μ V	-	-
0.04	-	-	15.54	5.98 μ V
0.08	16.56	6.72 μ V	-	-
0.1	15.76	6.13 μ V	10.7	3.42 μ V
0.14	13.22	4.58 μ V	-	-
0.3	4.96	1.77 μ V	-	-
0.4	6.48	2.108 μ V	-0.26	970pV
0.5	3.74	1.53 μ V	-0.26	970.5pV
0.9	-	-	-1.5	841pV
1.0	-	-	1.49	1.18 μ V
2.0	4.78	1.73 μ V	3.72	1.53 μ V

Tabla 4.3 Valores obtenidos de la medición a 80 cm de separación del equipo iluminación”.

Al analizar las mediciones anteriores y los resultados obtenidos en ellas, cabe mencionar que el área de prueba se mantiene con una amplitud casi invariable, la cual es del orden de los micro volts, lo que implica un valor despreciable de energía radiada a la cabeza de prueba, ya que no existe una gran diferencia con respecto a la energía que se está recibiendo entre las distintas distancias.

4.5 Conclusiones

Con el presente trabajo y gracias al uso de la norma nacional e internacional utilizada para el conocimiento sobre la exposición a la radiación electromagnética y los efectos de ella en el cuerpo humano se concluye que para que la radiación afecte necesitamos tomar en cuenta los siguientes cuatro factores:

- I. Frecuencia a la que se radia
- II. Tiempo de exposición
- III. Potencia de emisión
- IV. Distancia de la fuente emisora

Estos factores dan una pauta para analizar la radiación recibida en el cuerpo humano debido a luminarios, dadas las condiciones de experimentación que se simularon, el tipo de lámpara y las distancias de referencia. Se puede concluir que no son la causa suficiente de efectos negativos en el cuerpo humano para las condiciones de experimentación aplicadas en este trabajo, el cual fue tomado en cuenta considerando las normas internacionales, ya que la radiación no solo proviene de los luminarios, sino de diferentes partes del entorno donde se pueden presentar reflexiones de las ondas en las superficies de los materiales y en consecuencia, no hay una sola fuente de radiación electromagnética. En la vida cotidiana los seres vivos están inmersos en un mundo con radiación constante.

En el presente trabajo y de acuerdo al estudio de la técnica base, aun cuando se alargue el tiempo de exposición la potencia no cambia, la distancia de la fuente emisora es un parámetro importante, ya que entre más cerca está la fuente de radiación al cuerpo de prueba, se incrementa la intensidad del campo con la que se está recibiendo la radiación.

En el desarrollo experimental, la intensidad de campo recibida fue pequeña por lo que la distancia fue un factor importante para observar cambios en ésta, y aunque se redujo la separación de la fuente de radiación con respecto a la cabeza de prueba, no se presentó un incremento exponencial, pero si ligeros incrementos del orden de micras.

La frecuencia con la que se trabajó se encuentra en el umbral de la frecuencia no ionizante, lo que implicó una incertidumbre de si era capaz de dañar el tejido humano, por lo que se demostró que no presenta efectos relevantes para decir que a estas frecuencias se provoquen efectos adversos que puedan dañar al tejido humano.

4.6 Recomendaciones de trabajos a Futuro

Durante el desarrollo del experimento, se corroboró que la tecnología con iluminación Led va en apogeo, esto debido a que el uso de balastos se está volviendo obsoleto debido a que hay un consumo mayor de energía, además de que los componentes electrónicos empleados son de mayor tamaño.

Por el contrario, el uso de tecnología Led implica menor consumo de energía y por lo mismo menor potencia, los componentes electrónicos empleados son de menor tamaño, lo cual hace que se trabaje a mayores frecuencias con menor potencia, mayor intensidad y un apreciable ahorro de energía.

Es por eso que se recomienda hacer el mismo análisis, con sus respectivas consideraciones, para equipo luminario basado en la tecnología de LED's, así como poder proponer un estudio de los efectos a la salud de las posibles fuentes de radiación con la utilización de esta nueva tecnología.

Otra recomendación de trabajo es modificar las condiciones de experimentación aquí presentada para poder mostrar si los efectos mostrados en este trabajo cambian con un mayor número de lámparas o con materiales de construcción distintos en las paredes o techo de la zona de prueba (plafón, tabla roca, superficies reflejantes, etc.).

GLOSARIO

EMC = Compatibilidad Electromagnética (Electro Magnetic Compability)

CEM = Campo Electromagnético (Electromagnetic Field)

IEC = Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission)

UIT = Unión Internacional de Telecomunicaciones (International Telecommunication Union)

OMS = Organización Mundial de la Salud

FEB = Frecuencia Extremadamente Baja

RF = Campos de Radiofrecuencia

FI = Frecuencia Intermedia

SAR = Tasa de Absorción Especifica (Specific Absorption Rate)

SA = Absorción Especifica (Specific Absorption)

IARC = Agencia Internacional Para La Investigación del Cáncer (International Agency for Research on Cancer)

ICNIRP = Comisión Internacional sobre Protección Frente a

Radiaciones No Ionizantes (the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)

ELF=Frecuencia Extremadamente Baja (Extremely Low Frequency)

VLf = Frecuencia Muy Baja (Very Low Frequency)

LF = Frecuencia Baja (Low Frequency)

MF = Frecuencia Media (Medium Frequency)

HF = Frecuencia Alta (High Frequency)

VHF = Frecuencia Muy Alta (Very High Frequency)

UHF = Frecuencia Ultra Alta (Ultra High Frequency)

SHF = Frecuencia Super Alta (Super High Frequency)

EHF = Frecuencia Extremadamente Alta (Extremely High Frequency)

IR = Infrarrojo

UV =Ultra Violeta

EMI= Interferencia Electromagnética (Electromagnetic Interference)

REFERENCIAS

- [1] <http://www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/dllyv/files/2011/05/cap04.pdf>
- [2] Gustavo García Rivero, Compatibilidad Electromagnética de Balastros Electrónicos, 2008, PP. 4-9
- [3] El paradigma de la medición de la luz (segunda parte) _ Illuminet_files
- [4] Recomendación UIT-T K.52 (Anteriormente Recomendación del CCITT)
- [5] eleconomista.com.mx/tecnociencia/2011/10/08/mexicanos-ven-hoy-mas-tv-que-hace-10-anos
- [6] <http://www.eluniversal.com.co/tecnologia>, 18 de Mayo del 2015
- [7] <https://www.inti.gob.ar/electronicaeinformatica/emc/ce.htm>
- [8] <http://es.mimi.hu/medicina/susceptibilidad.html>
- [9] Organización Mundial de la Salud . (s.f.). *www.who.int*. Recuperado el Abril de 2015
- [10] Azanza María, Ferrero Lluís, KogevinasManolis, Martínez Mercedes, Represa de la Guerra Juan, CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS Y SALUD PÚBLICA.
- [11] An Update on SAR Standars and the basic Requirements for SAR Assessment. SEABURY David, ETS-Lindgren, Abril 2005.
- [12] The dielectric properties of biological tissues: I. Literature survey, C Gabreil, S Gabriel and E Corthout, Physics Despartment, King´s College, Abril 2006
- [13] <http://www.uru.edu/fondoeditorial/libros/pdf/moron/SISTEMAS-CAP%201.pdf>, última fecha de actualización 2011.
- [14] M. Vidyasagar. "Nonlinear Systems Analysis", Ed. Prentice Hall, New Jersey 1993.
- [15] PT-NMX-J-599/3-ANCE-2011
- [16] J M Miranda, J L Sebastián, M Sierra y J Margineda. "Ingeniería de Microondas", Ed. Prentice Hall, Madrid 2002.
- [17] R P Clayton, "Physical Dimensions vs Electrical Dimensions", Mercer University, Macon, GA(USA).

[18] SENER, Secretaria de energía, “Redes Eléctricas Inteligentes”, Mayo 2016

[19] International Electrotechnical Commission, “Assessment of lighting equipment related to human exposure to electromagnetic fields”, edición 1.0 (2009-12)

ANEXO I. EMI

Características especiales de ESPC

- Amplio intervalo de frecuencia desde 150 KHz a 1000 MHz
- Opciones para la extensión de frecuencia de 9 KHz y 2500 MHz
- Detectores paralelos para lectura del promedio, pico y casi-pico
- Sintetizador de frecuencia con rápida resolución 10 Hz y 100 Hz

Potente procesador de sistema

- Macros para rutinas de prueba automáticas y semiautomáticas
- Calibración automática del nivel
- Medición de la tensión, intensidad de campo, intensidad y densidad espectral del pulso con visualización de unidades relevantes
- Consideración automática de factores de transductor dependientes de la frecuencia

Desde que el ESPC fue diseñado para su uso en industrias eléctricas y electrónicas con el propósito de cubrir todas las etapas de desarrollo y producción, éste ofrece una solución compacta y económica, en particular para

- medidas de diagnóstico de EMI que acompañan al desarrollo
- pruebas de pre y post calificación
- pruebas de producción

Con la ayuda de mediciones previas rápidas y posterior evaluación, el ESPC comprueba el equipo bajo prueba especificado hasta un límite de frecuencia de 1 GHz solamente. El ESPC proporciona una extensión de rango de frecuencia opcional de hasta 2,5 GHz que también se puede adaptar.

Las características del ESPC Rohde & Schwarz:

- Corregir la ponderación de interferencia a CISPR 16-1 hasta la frecuencia de repetición de impulsos de 10 Hz
- Preselección integrada
- Para todos los estándares EMI comerciales como CISPR, EN, ETS, FCC y ANSI C63.4, VCCI así como VDE
- Detección automática de sobrecarga
- Suministro de energía desde una batería interna o externa
- Fácil de usar gracias a funciones macro integradas
- Software de prueba EMI con Windows™ suministrado como estándar

ANEXO II. DG2000 Función de la serie / Generador de forma de onda arbitraria DG2041A/DG2021A

Este manual cubre los siguientes cuatro tipos de generadores de formas de onda arbitrarias de la serie DG2000: DG2041A, DG2021A. La serie RIGOL DG2000 / generador arbitrario de la forma de onda adopta la tecnología directa del sintetizador digital (DDS), que puede proporcionar la señal de seno estable, de alta precisión, pura y baja de la distorsión, también puede proporcionar una forma de onda cuadrada de 40MHz con bordes de subida y bajada rápida. Su combinación con excelentes características del sistema, facilidad de uso y funciones versátiles hacen de este generador una solución perfecta para su trabajo ahora y en el futuro.

DG2000 Series Función / Generador de formas de onda arbitrarias tienen un panel frontal claro y simple. El diseño e instrucciones de panel fáciles de usar, terminales versátiles, interfaz gráfica directa, instrucciones integradas y sistema de ayuda han simplificado enormemente el proceso de operación. Por lo tanto, los usuarios no tienen que pasar mucho tiempo aprendiendo el funcionamiento del generador antes de que puedan utilizarlo con competencia.

Las funciones de modulación incorporadas AM, FM, PM, PWM y FSK generan una forma de onda modulada a gusto, sin la ayuda de una fuente de modulación separada. Las E / S USB, LAN y GPIB son la configuración estándar. Las instrucciones remotas cumplen con los requisitos de la especificación SCPI. A partir de las características y especificaciones dadas a continuación, usted entenderá cómo DG2000 puede satisfacer sus requisitos de medición.

El módulo de salida digital 16 + 2 canales (opcional) junto con el canal analógico puede reconstruir la señal mixta más comúnmente utilizada en la práctica diaria.

- La tecnología DDS proporciona señal de salida precisa, estable y de baja distorsión.
- 10 formas de onda estándar: Seno, Cuadrado, Rampa, Pulso, Ruido, Sinc, Aumento Exponencial, Caída Exponencial, Cardíaca y DC.
- Frecuencia de muestreo de 100MSa / s, permite editar forma de onda arbitraria con 14 bits, 512K puntos.
- Características de frecuencia: Sinusoidal / cuadrado: 1μHz a 40 MHz
Rampa: 1μHz a 400KHz
- Pulso: 500μHz a 16MHz Ruido blanco: Ancho de banda de 20MHz (-3dB)
Forma de onda arbitraria: 1μHz a 12MHz z Rango de amplitud: 2mVpp a 10Vpp (50 Ω) 40mVpp a 20Vpp (High Z)
- Función de modulación abundante, varias formas de onda moduladas: AM, FM, PM, PWM y FSK.
- Lineal, barrido logarítmico y modo Burst.
- Abundante E / S: fuente de modulación externa, entrada de referencia externa de 10 MHz, fuente de disparo externo, salida de forma de onda, salida de señal digital síncrona, salida de referencia interna de 10 MHz.
- Dispositivo de almacenamiento USB de apoyo; almacenar y leer parámetros de configuración de onda o la forma de onda arbitraria editada con dispositivos USB. La actualización del sistema también se puede realizar utilizando dispositivos USB.
- El control remoto se realiza utilizando la LAN. Z Interfaz estándar: USB Host & Device, RS-232, GPIB.
- Interfaz gráfica que muestra el ajuste de la señal directamente.
- Interfaz de usuario chino / inglés.
- Sistema de ayuda incorporado chino / inglés.
- Soporte chino / inglés de entrada.

ANEXO III CONCEPTOS BASICOS

Para poder entender mejor algunos términos en el trabajo se presentan los siguientes conceptos:

1.-Constante Dieléctrica ϵ , (permitividad), es la capacidad de un medio para almacenar energía electrostática. La constante dieléctrica puede estar definida por la característica del material (ϵ_r) y por el espacio libre, es decir, para el vacío $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ Farad/metro.

2.-Permeabilidad μ , es la medida de la superioridad de un material comparado con el vacío, para servir como trayectoria para líneas de fuerza magnética. Los materiales ferromagnéticos como el hierro, el acero, níquel y cobalto poseen altas permeabilidades μ_r , mientras que algunas sustancias diamagnéticas como el cobre o latón tienen permeabilidades comparables con las del vacío, en este caso $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Henry/metro.

3.-Conductividad σ , es la medida de habilidad de un medio para conducir corriente eléctrica. Todos los metales puros son conductores, teniendo algunos mejor conductividad que otros. La conductividad es el recíproco de la resistividad y su unidad de medida son los siemens (ohms).