

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“MEDICIÓN DE FLUJO DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO EN ALTA Y BAJA FRECUENCIA EN EL
ÁREA DE NEONATOLOGÍA DEL HOSPITAL ISIDRO AYORA DE LA CIUDAD DE LOJA - ECUADOR”

EXAMEN COMPLEXIVO - COMPONENTE PRÁCTICO

INFORME PROFESIONAL

Previo a la obtención del Título de:

MAGISTER EN INGENIERÍA BIOMÉDICA

EMILIO PAÚL VEINTIMILLA OCAMPO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2024

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento a Dios y a la Virgen del Cisne, a mis queridos padres, en especial a mi querida madrecita Lic.

Julia Ocampo. Su apoyo ha sido fundamental en mi formación durante toda mi vida. Quiero agradecer a todos los profesores de la maestría de ingeniería biomédica segunda cohorte por compartirme sus valiosos conocimientos.

Con mucho cariño y gratitud

Emilio Veintimilla

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a la Vigencita del Cisne y a toda mi familia

COMITÉ DE EVALUACIÓN

PhD. Carlos Salazar

PhD. Miguel Torres

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Informe Profesional, me corresponde exclusivamente; y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Ing. Emilio Paúl Veintimilla Ocampo

RESUMEN

El área de cuidados intensivos neonatales es una área vulnerable a factores externos que no se pueden visualizar con facilidad como lo son las radiaciones no ionizantes, y en este caso cada factor es crucial, ya que en esta sala se interna a recién nacidos de 1 día hasta 30 días de nacidos con diferentes patologías clínicas en estado crítico, y donde cualquier variable no controlada se puede convertir en un evento adverso en la recuperación de los neonatos.

El equipamiento médico hospitalario cuenta con algunas normativas de diseño y construcción en función a su complejidad y procedencia, FDA (Food and Drug Administration) y CE (De conformidad Europea) son dos de las más importantes Normas establecidas. En función a esto, los equipos biomédicos, son fabricados con materiales con blindaje y protección para interferencia electromagnética hasta cierto umbral, el mismo que lo define cada fabricante en función a su aplicación y norma. De esta manera se vuelve imperiosa la verificación de la normativa haciendo mediciones in situ y determinar si existe o no interferencia electromagnética entre el equipamiento instalado. Vale la pena mencionar que la emisión de estos campos magnéticos se produce en baja frecuencia es decir entre los 0 y 300 KHz. Mencionamos esto ya que en el hospital existe una fuente emisora de campos magnéticos en alta frecuencia (> 300 KHz), esto se produce por la instalación de una antena de telefonía celular en la terraza del edificio que se encuentra permanentemente emitiendo y recibiendo campos en alta frecuencia, convirtiéndose este en otro motivo para realizar las mediciones en las frecuencias señales con la finalidad de evaluar si existe o no interferencia al equipamiento médico o sobrexposición de radiación no ionizante hacia los pacientes y el personal del hospital.

Se obtuvo resultados sobre las mediciones realizadas, las mismas se evaluaron y compararon con los valores límites permisibles establecidos en normas y documentos científicos. De esta manera se pudo establecer con exactitud la exposición a los campos electromagnético a los que están sometidos los neonatos y el personal médico

ÍNDICE GENERAL

Introducción	4
1 CAPITULO 1	5
1 MEDICIÓN DE FLUJO DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	5
1.1 Conceptos.....	5
1.1.1 Campo eléctrico	5
1.1.2 Campo magnético.....	5
1.1.3 Campo electromagnético.....	6
1.2 Tipos de campos electromagnéticos. Clasificación	7
1.2.1 Campos de baja frecuencia.....	8
1.2.2 Campos de alta frecuencia	9
1.3 Protocolos de medición	11
1.3.1 Métodos para medir campos electromagnéticos en áreas específicas.....	11
1.3.1.1 Distancia a la línea	11
1.3.1.2 Códigos de cables	11
1.3.1.3 Campos históricos calculados	11
1.3.1.4 Campos medidos	12
1.3.1.5 Dosimetría personal	12
1.4 Protocolos para mediciones <i>indoor</i> y <i>outdoor</i>	12
1.5 Normas y recomendaciones. Efectos sobre la salud.....	12
1.5.1 Instituciones normalizadoras	12
1.5.2 Normativas para límites de exposición.....	13
1.5.3 Efectos sobre el cuerpo humano.....	15
1.5.1.1 Acción sobre la membrana celular.....	15
1.5.1.2 Acción sobre el ácido desoxirribonucleico	15
1.5.1.3 Equilibrio de los iones de calcio	16
1.5.1.4 Hormona melatonina.....	16
1.5.1.5 Sistema inmunológico.....	17
1.6 Equipamiento destinado a la medición del CEM	17
2 CAPITULO 2.....	20
2 RESULTADOS OBTENIDOS.....	20
2.1 Caracterización del Hospital Isidro Ayora de Loja.....	20
2.2 Caracterización de la Sala de Neonatología.....	20
2.3 Obtención de las mediciones.....	20
2.3.1 Condiciones del área de neonatología.....	20
2.3.2 Mediciones realizadas en el área.....	22

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	25
ANEXOS.....	26
Referencias.....	21

Índice de Figuras

Figura 1. Campo magnético generado por el sol durante un eclipse solar tomado por una cámara de móvil Galaxi A-20 con filtro semioscuro.....	6
Figura 2. Espectro electromagnético.....	6
Figura 3. Imagen que muestra la clasificación de la exposición de las viviendas según la distancia a la red eléctrica aérea.....	11
Figura 4. Ejemplo de recorrido seguido para realizar este tipo de medición... ..	12
Figura 5. Gaussímetro para medición de baja y altas frecuencias.....	19
Figura 6. Gaussímetro para medición de bajas frecuencias.....	20
Figura 7. Plano del área que ocupa la planta de UCIN. Las zonas sombreadas con color tienen más influencia de equipamiento biomédico.....	22
Figura 8. Recorrido seguido para realizar las mediciones en UCIN AISLADOS.....	22
Figura 9. Puntos donde se realizarán las mediciones.....	24
Figura 10. Histograma de los valores promedios en cada punto durante los 5 días de la medición.....	24
Figura 11. Distribución de equipos biomédicos en área de medición.....	25
Figura 12. Gráfica que muestra la comparación entre valores obtenidos mediante la medición y los límites recomendados pos la ICNIRP 2010.....	25

Índice de Tablas

Tabla 1. Tabla de clasificación de las bandas de frecuencia en el espectro electromagnético.....	8
Tabla 2. Normativas acerca de los límites de exposición a campos electromagnéticos en países de América Latina.....	14
Tabla 3. Equipos por cada cubículo y en funcionamiento, en el momento de la medición.....	23
Tabla 4. Mediciones promedio flujo campo magnético.....	24

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la humanidad conocemos que el desarrollo industrial se produjo gracias al descubrimiento de la corriente eléctrica. Con la implementación de la industria, se pudo desarrollar las ramas de la tecnología en función a las necesidades de la humanidad, en este caso, lo que conllevó en la aparición de equipos eléctricos y electrónicos cada vez más sofisticados.

La industria de la medicina no ha estado aislada de la dependencia del uso de la tecnología eléctrica, para la implementación de equipos médicos que permitan diagnosticar y tratar enfermedades. Es por esta interacción entre el equipamiento biomédico, los usuarios y finalmente los pacientes, que la comunidad científica se ha dedicado a estudiar la influencia y comportamientos de la energía eléctrica, y su interacción con el equipamiento biomédico, con la finalidad de garantizar la seguridad de los usuarios y los pacientes.

La importancia de la medición de los campos electromagnéticos de alta o baja frecuencia se ha convertido en una prioridad en la época moderna [5]. Debido al nivel de tecnología que ha alcanzado el mundo, el medioambiente se contamina más cada día y esta radiación invisible cobra fuerza camuflándose con enfermedades y padecimientos congénitos sin asumir el rol maligno que ocupa en el desarrollo de cada una de las lesiones que causa.

Basados en este contexto, cuando las entidades dedicadas al cuidado de la salud se unen en busca de diferentes medidas para detener este avance realizando normas, protocolos de medición y tomando cartas en el problema con soluciones radicales.

En este proyecto práctico se realiza una revisión y recopilación de los diferentes protocolos de medición del campo magnético, enfocado en mediciones para alta frecuencia y mediciones de baja frecuencia, las cuales han sido desarrolladas a través del tiempo a nivel global en la comunidad científica.

CAPÍTULO 1

1. MEDICIÓN DE FLUJO DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

1.1 Conceptos.

1.1.1 Campo eléctrico

Los campos eléctricos se producen por la presencia de cargas eléctricas. Tienen su origen en la diferencia de tensión, cuanto más elevada sea la misma, más fuerte será el campo que resulta [1].

La intensidad del campo eléctrico (E) se mide en Voltio/metro y su existencia no solo se debe al paso de la corriente. Cuando un equipo está conectado a la red de energía genera un campo eléctrico, aunque no se encuentre encendido. Este campo eléctrico es generado en el ambiente alrededor del mismo y es proporcional a la tensión de la fuente a la que está conectado.

Existen ciertos materiales como la madera o el metal, que son considerados como blindaje para campos eléctricos, el campo se debilita ante el apantallamiento que estos materiales logran hacer y atenúan sus efectos por muy fuerte que sean. Las construcciones son un buen ejemplo de apantallamiento de los campos eléctricos, ya sean de concreto madera o metal. Cuando las líneas de conducción eléctrica están soterradas, los campos eléctricos que generan casi no pueden detectarse en la superficie. [2]

1.1.2 Campo magnético

Conocidos los fundamentos de la teoría electromagnética conocemos que los campos magnéticos que también tienen su origen en las corrientes eléctricas, se producen cuando las cargas eléctricas están en movimiento [2]. Los campos magnéticos no son solo producto de las corrientes eléctricas producidas por el hombre. Existen los campos magnéticos generados por sustancias magnéticas naturales que se encuentran en el ámbito de la vida desde la formación de la tierra, las galaxias y los planetas. De hecho, el mayor emanador de campos electromagnéticos en la galaxia donde vivimos es el sol. Este irradia campos electromagnéticos visibles como un espectro, aun siendo eclipsado como se muestra en la imagen (fig.1).

La unidad de medidas, en el sistema internacional de unidades, en que se mide la intensidad es en amperios por metro (A/m), aunque en las investigaciones sobre campos electromagnéticos, se suele utilizar una magnitud relacionada; la denominada inducción

magnética, densidad de flujo magnético o campo B que se mide en Teslas (T) y en el Sistema Cexagesimal en Gauss (G)[1].



Fig. 1. Campo magnético generado por el sol durante un eclipse solar tomado por una cámara de móvil Galaxi A-20 con filtro semioscuro.

Al contrario que los campos eléctricos, los campos magnéticos solo aparecen cuando se pone en marcha un aparato eléctrico y fluye la corriente, generando, un campo proporcional a la intensidad de la corriente de la fuente que lo alimenta. Este campo es más fuerte mientras más cerca se encuentre del punto de origen. No existe un material común que pueda anular o apantallar un campo magnético, como lo hace con el campo eléctrico.

1.1.3 Campo electromagnético

Los Campos Electromagnéticos CEM son áreas de energía que rodean a los dispositivos eléctricos y se originan por el movimiento de cargas eléctricas. [2] Son una combinación de ondas eléctricas y magnéticas que se desplazan simultáneamente y se propagan a la velocidad de la luz (c). Estas solo disminuyen su intensidad a medida que se alejan de la fuente que las originó.

El espectro electromagnético abarca una gama muy amplia de frecuencias, de más de 15 órdenes de magnitud. Este puede ser representado a través de colores como se muestra en la fig. 2. Nos permite observar la gama de colores del espectro visible que abarca desde el ultravioleta hasta el infrarrojo, donde:

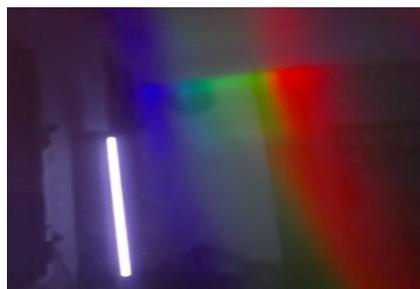


Fig. 2 Espectro electromagnético.

- El Infrarrojo cubre la parte del espectro desde, aproximadamente, 300GHz a 385 THz.
- La Luz Visible, se extiende en el espectro EM, desde los 780 nm de longitud de onda (frontera entre el rojo y el infrarrojo), hasta los 400 nm (extremo superior del violeta).
- Ultravioleta. Zona del espectro por encima de 300GHz, y que llega hasta la zona de las radiaciones ionizantes

1.2 Tipos de campos electromagnéticos. Clasificación

Existen diferentes clasificaciones para los distintos campos que se generan. Esto puede deberse al comportamiento de las cargas, como, por ejemplo:

- **Campos eléctricos estáticos:** se generan debido a la presencia de cargas eléctricas sin que haya una corriente. No varían en el tiempo.
- **Campos magnéticos estáticos:** se producen por cargas en movimiento como corrientes eléctricas o imanes permanentes.
- **Campos electromagnéticos variables:** cuando decimos que son variables, hacemos referencia al tiempo y la radiación. Se crean mediante cargas que se mueven de manera no uniforme, con corriente alterna.

Dentro de los campos electromagnéticos podemos utilizar la frecuencia para clasificar cada tipo y así delimitar los efectos que causan sobre el organismo humano. Generalmente esta diferenciación se realiza sobre los campos electromagnéticos variables, por ejemplo [1]:

- **Campos electromagnéticos de frecuencias bajas (ELF):** se sitúan en el rango de frecuencia de 3 HZ a 300 kHz y se producen normalmente por las redes de distribución eléctrica o los aparatos eléctricos que funcionan a 50 Hz.
- **Campos electromagnéticos de frecuencias intermedias (EMF):** su intervalo de frecuencias oscila entre los 0.3 MHz y los 3 MHz. Los generan fuentes como las cocinas de inducción o las antenas de radiodifusión modulada, por ejemplo.
- **Campos electromagnéticos de frecuencia alta (EHF):** también conocidos como microondas, su rango de frecuencias va de los 3 MHz a los 300 GHz. Los hornos microondas o los radares de tráfico son algunos ejemplos de fuentes de este tipo de campos electromagnéticos.

Tabla 1. Tabla de clasificación de las bandas de frecuencia en el espectro electromagnético [5].

Bandas de frecuencia en el espectro electromagnético

NÚMERO DE BANDA	RANGO DE FRECUENCIA	ACRONISMO	DESCRIPCIÓN	REGIÓN DEL ESPECTRO
1	> 1 a 30 Hz	SELF	Sub-extremely low frequency	CEMTPE
2	> 30 a 300 Hz	ELF	Extremely low frequency	
3	3a >0,3 a 0,82 kHz	SLF	Vf Super-low frequency Voice frequency	CEMSRF
	3b > 0,82 a 3 KHz	ULF		
4	> 3 a 30 kHz	VLF	Very-low frequency	CEMRF
5	> 30 a 300 KHz	LF	Low frequency	
6	> 0,3 a 3 MHz	MF	Medium frequency	
7	> 3 a 30 MHz	HF	High frequency	
8	> 30 a 300 MHz	VHF	Very-high frequency	
9	> 0,3 a 3 GHz	UHF	Ultra-high frequency	
10	> 3 a 30 GHz	SHF	Super-high frequency	
11	> 30 A 300 ghZ	EHF	Extremely high frequency	

1.2.1 Campos de baja frecuencia

Los campos de ELF básicamente no propagan energía electromagnética por el aire, sino que existen en las zonas próximas a donde discurre la corriente eléctrica (por ejemplo, las líneas de alta tensión o un equipo eléctrico o electrodoméstico) y se atenúan muy rápidamente con la distancia.

Los campos electromagnéticos de ELF son de una naturaleza tal que el campo eléctrico y el magnético pueden existir por separado, pudiendo en una cierta zona del espacio existir campo eléctrico y no magnético o al revés. Los campos de ELF, de frecuencias de 50 o 60 Hz, tienen una energía muy pequeña, no produce efectos ionizantes y normalmente, no tiene ningún efecto térmico.

El uso de la energía que produce campos electromagnéticos, puede a su vez provocar la aparición de otros niveles de energías generando otros campos dentro del espectro electromagnético, como por ejemplo la soldadura que mediante esta operación se puede producir energía electromagnética en zonas de frecuencia correspondiente al ultravioleta, visible, infrarrojo y radio-frecuencia, además de los campos de baja frecuencia ELF. Los hornos de microondas producen campos de 50 Hz de varios cientos de miligauss, pero también crean campos en su interior a una frecuencia mucho más alta (2,45 GHz).

Las distintas formas de energía electromagnética pueden tener muy diferentes efectos biológicos sobre nuestro organismo, de la misma forma que diferentes compuestos químicos pudieran afectarnos.

1.2.2 Campos de alta frecuencia

Las radiofrecuencias son el mayor componente contaminante de la era actual. Toda la población está sometida a campos de altas frecuencias tales como: antenas de televisión, radio, antenas de telefonía, wifi, teléfonos móviles e inalámbricos, radares, etc. El poder de las radiaciones que emite este tipo de campo electromagnético es tan excepcional que la industria militar ha desarrollado armas que utilizan las microondas para la anulación o la eliminación de personas [3], así como inhibidores de campos electromagnéticos para uso contra la población hostil.

Las radiofrecuencias se ubican dentro del espectro electromagnético en la banda de las frecuencias no ionizantes, entre los 100 kilohercios (KHz) y los 300 gigahercios (GHz). Las microondas están dentro del rango de las radiofrecuencias, desde 300 MHz hasta los 300 GHz, en la banda de frecuencia ultra alta (0,3-3 GHz), frecuencia súper alta (3-30 GHz) y frecuencia extremadamente alta (30-300 GHz). La transmisión a distancia de las señales de televisión, puede realizarse a través de cables coaxiales o mediante ondas electromagnéticas. El más difundido es el segundo sistema, que se basa en enviar ondas electromagnéticas a una antena transmisora.

El radar es un sistema para descubrir la presencia y situación de objetos a distancia, empleando ondas electromagnéticas. Mediante impulsos radioeléctricos de frecuencia muy elevada, el radar permite establecer la posición, la velocidad e incluso las características de un objeto. Emite haces de microondas en una determinada dirección por medio de una antena, y recibe el eco que generan al reflejarse en un objeto. Calculando el tiempo que tarda la señal en regresar a la antena, se puede establecer su posición. Estas se trasladan a grandes distancias por lo que utilizan potencias muy elevadas. Hoy día es frecuente encontrar radares en zonas residenciales debido al uso extendido del mismo, por lo que es necesario se tenga en cuenta que mientras más cerca o más alineado se encuentre el radar de la vivienda más altos serán los niveles de radiación que lleguen a esta.

De igual manera el horno microondas que emplea la frecuencia de 2.450 MHz, fue sometido a estudios años antes de la aparición de la telefonía móvil debido a los efectos dañinos que causaban sus radiaciones. A los fabricantes de estos equipos electrodomésticos se les obligó a incorporar en el cristal un apantallamiento que frenara el flujo de las radiaciones hacia el exterior. Irónicamente este tipo de medida quedó silenciada con la aparición de la telefonía móvil y el flujo monetario que esta conlleva.

Las antenas de telefonía móvil utilizan distintas frecuencias. Estas oscilan entre los 800 MHz y los 3.000 MHz (3 GHz). Los diferentes tipos de antenas que se pueden encontrar son: GSM (900 y 1.800 MHz) y UMTS (800, 1.900 y 2.100 MHz).

El sistema de telefonía móvil digitalizado opera entre las bandas de los 900-1.800 MHz, con picos de intensidad muy alta. La estación base y el teléfono emiten constantemente pulsos. Estos son interferentes sobre cualquier frecuencia de corriente alterna, cuyos valores van desde 150 a 300 hercios. Al ser transmisión digital, se hacen cortes de la onda portadora casi instantáneos por lo que la emisión de radiaciones en el entorno de las antenas es constante y emplea mayor o menor potencia dependiendo del número de móviles conectados. Es decir, a mayor consumo, mayor potencia. Es por este motivo que la contaminación que genera hacia la atmosfera es mayor llevando a consideración que el daño causado a las personas se considera alto. Para disminuir este se debe tener en cuenta aspectos tales como que [3]:

- Mientras más alta se encuentre situada la antena sobre el nivel de un edificio, menor radiación se encontrarán en el interior de este.
- Mientras mayor capacidad de absorción de los materiales interferentes, menor energía irradiada
- Las radiofrecuencias traspasan en mayor o menor medida las estructuras de los edificios y viajan libres en el aire.
- Las estructuras metálicas reflejan parcialmente las radiofrecuencias dependiendo de sus características, aunque también los objetos y las estructuras armadas pueden hacer el efecto antena y aumentar el problema en el interior.

Es por todo lo anteriormente planteado que se debe tener en cuenta que el grado de contaminación ambiental varía en función de la dosis de radiación emitida, el tiempo al que se emite y de la capacidad de respuesta, ante un agente externo, del medio circundante.

En el plano personal la radiación electromagnética supone para la salud daños demostrados por investigaciones científicas y en concreto el alto riesgo de contraer enfermedades incurables como por ejemplo distintos tipos de cáncer.

1.3 Protocolos de medición

1.3.1 Métodos para medir campos electromagnéticos en áreas específicas.

1.3.1.1 Distancia a la línea

Es una medida rápida, pero directa del nivel de campo magnético al que puede estar expuesta una persona por residir cerca de una línea eléctrica, es la distancia que separa la vivienda de la línea. No es un método cuyos valores son exactos pues el campo que genera la línea depende fundamentalmente de la intensidad de la corriente transportada en cada momento y es bastante habitual que líneas de menor tensión estén más cargadas que las de alta tensión.

1.3.1.2 Códigos de cables

Este método fue desarrollado en Estados Unidos para evaluar el nivel de campo magnético al que está expuesta la gente que tienen en cuenta el tipo de línea eléctrica y su distancia hacia las viviendas como se observa en la imagen de la figura 3. Con este método se clasifican a las viviendas de muy alta, alta, baja o muy baja intensidad de exposición. Este es un método estimativo utilizado en los estudios epidemiológicos en zonas donde la distribución eléctrica es aérea y no subterránea.

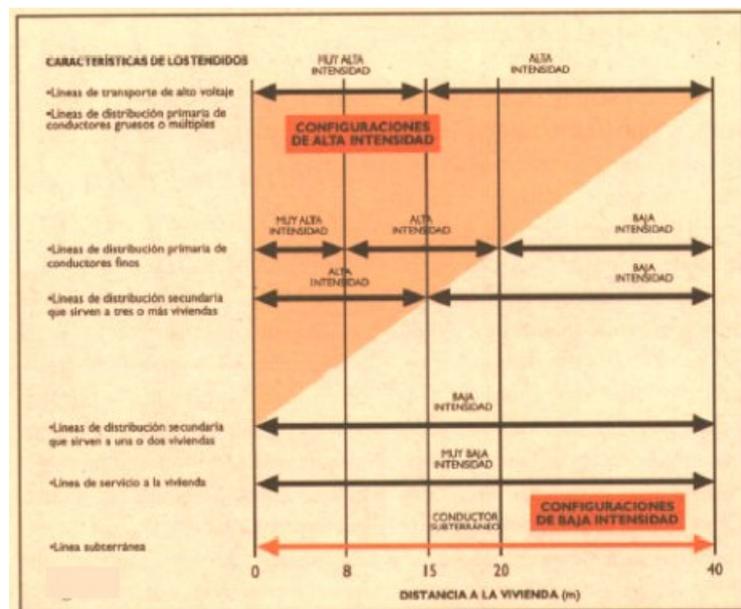


Fig. 3. Imagen que muestra la clasificación de la exposición de las viviendas según la distancia a la red eléctrica aérea [7].

1.3.1.3 Campos históricos calculados

Se los realiza mediante un programa de cálculo, utilizando los registros de las empresas eléctricas sobre la carga de las líneas de distribución, pudiéndose estimar el nivel de campo al que ha estado expuesta una vivienda por largo tiempo.

cuales se tiene en cuenta la protección de los trabajadores, y el público en general con un principio básico de prevención o precaución[4]

Varios organismos nacionales e internacionales han formulado directrices que establecen límites para la exposición a campos electromagnéticos de tipo ocupacional y poblacional.

Las normas y recomendaciones más ampliamente aceptadas en este campo son las desarrolladas por:

- ICNIRP: Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes.
- NRBP: National Radiological Protection Board (Reino Unido), inicialmente fue creada para radiaciones ionizantes, pero desde 1974 sus funciones incluyen las radiaciones no ionizantes.
- CENELEC: European Committee for Electrotechnical Standardization (UE).
- ANSI: American National Standard Institute (USA).
- IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineering (USA).
- FCC: Federal Communications Commission (USA).
- Comisión Europea divulgó la Recomendación del Consejo de Ministros de la Unión Europea (1999/519/CE) relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos de 0Hz a 300 GHz, la cual ha sido revisada según se renueva la ICNIRP.

1.5.2 Normativas para límites de exposición.

Regularmente, las normas vigentes en los países se encuentran basadas en los estándares de las instituciones anteriormente mencionadas, expresamente sobre la base del principio de precaución, haciendo que países como Suiza, Italia, Australia y Nueva Zelanda hayan adoptado valores inferiores a los de la ICNIRP[5].

En América Latina solo diez países tienen normas que regulan las dosis de exposición permitida a las radiaciones no ionizantes. Algunos establecieron los valores límite según las recomendaciones del Instituto Nacional de Normas de los Estados Unidos de América (ANSI) aprobadas en 1974 por su Comité C-95, mientras que otros países establecieron normas basadas en las recomendaciones del ICNIRP de 1998 como por ejemplo Chile[6].

Tabla 2. Normativas acerca de los límites de exposición a campos electromagnéticos en países de América Latina.

País	Norma
Argentina	Resoluciones del Ministerio de Salud, MS 202/1995, y de la Secretaría de Comercio, SeCom 530/2000. Los límites ocupacionales y públicos son similares a los de las normas de la ICNIRP.
Bolivia	Estándar Técnico de la Superintendencia de Telecomunicaciones, SITTEL 2002/0313.
Brasil	Resolución 303 del 2 de julio de 2002 de la Agencia Nacional de Telecomunicaciones (ANATEL) que regula los límites de exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos en el espectro de radio frecuencias entre 9 kHz y 300 GHz Se basa en los límites recomendados por la ICNIRP
Chile	Decreto 594/00 Salud, Título 4, sobre la contaminación ambiental y Resolución 505/00 de la Subsecretaría de Telecomunicaciones, SUBTEL.
Colombia	Decreto 195 de 2005, por el cual se adopta límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos, se adecuan procedimientos para la instalación de estaciones radioeléctricas y se dictan otras disposiciones, firmada en conjunto por los Ministerios de Comunicaciones, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Ministerio de Protección Social
Costa Rica	Resolución No 2896-98 de la Sala Constitucional que establece protocolos de medición para las líneas de alta tensión.
Ecuador	Norma Técnica que establece los límites de máxima exposición permitida, aprobada en 2004. Se basa en los límites recomendados por la ICNIRP
México	La Comisión Federal de Telecomunicaciones de México, COFETEL, reitera en su Programa Nacional de Normalización 2005 (PNN-2005) la necesidad de aprobar una norma oficial mexicana (NOM) que regule las radiaciones no ionizantes en todo el espectro radioeléctrico. Este reclamo, planteado hace varios años en la NOM-126, refleja la preocupación social expresada por sectores cada vez más amplios de la población.
Perú	Decreto Supremo del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, MTC 038-2003, sobre la adopción de límites de exposición en el espectro de radiofrecuencias de 9 kHz a 300 GHz Se basa en los límites recomendados por la CIPRNI.
Venezuela	Norma del Comité Venezolano para Normas Industriales, COVENIN: Norma Venezolana Covenin, NVC 2238-00. Es una norma nacional que fija los límites de máxima exposición permitida.[7]

Fuente: Normas y estándares aplicables a los campos electromagnéticos de radiofrecuencias en América Latina: guía para los límites de exposición y los protocolos de medición por Jorge Skvarca y Aníbal Aguirre, 2006.[6]

1.5.3 Efectos sobre el cuerpo humano

1.5.3.1 Acción sobre la membrana celular

Entre las posibles áreas de interacción biológica de los CEM ELF, que presentan numerosas implicaciones para la salud están los cambios que originan en la membrana celular, la que juega un importante rol en la detección, transformación y transmisión de señales de la superficie celular al interior. Las moléculas de péptido, que están en ella son claves para las señales de acoples intracelulares. Los CEM actúan sobre las membranas distorsionando las señales del exterior, que se dirigen a los orgánulos del interior de la célula, incluido el núcleo, además, pueden modificar el equilibrio electroquímico de ellas, afectando la síntesis de proteína, lo que puede provocar alteraciones en el sistema inmunológico, distorsión de las funciones bioeléctricas del organismo y cambios en la transmisión genética; lo que sugiere su posible relación con el desarrollo del cáncer.

Martin Blank desde sus estudios con células, ha mostrado que, "campos de una frecuencia de 60 Hz inducen stress en los genes y una respuesta de stress proteínico en las células." (<http://www.physiology.columbia.edu/MartinBlank.html>). Otros científicos exponen que la membrana celular juega un papel esencial en los mecanismos de interacción entre el campo electromagnético y los tejidos biológicos, concluyendo que las células son estructuras bio-electroquímicas que interactúan con su entorno de varias formas, entre las que se incluyen interacciones mecánicas, térmicas, químicas, bioquímicas y eléctricas. El Dr. William Ross (Universidad de California) asegura que los iones, especialmente los iones de calcio, podrían jugar un papel similar al de un enlace químico entre el campo electromagnético y los procesos de la vida. Esto ha sido corroborado más recientemente por Saiz Ipiña y Solano Vérez [8,9]

1.5.3.2 Acción sobre el ácido desoxirribonucleico

Los CEM producen alteraciones en la transcripción y traducción en el ADN, las síntesis de ácido ribonucleico (ARN) y proteínas, por otra parte, influyen en la producción de hormonas, la respuesta inmune y el grado de crecimiento y diferenciación celular.

Algunos investigadores tienen la hipótesis, no confirmada, de que la radiación electromagnética puede afectar la capacidad y eficacia del proceso de reparación del ADN, bajo el criterio del incremento de células modificadas. Se considera que el efecto genotóxico, obedece a una combinación de los CEM FEB con otros agentes y con los efectos nocivos de los radicales libres. Se sugiere que la exposición a campos magnéticos incrementa la producción, la prolongación de la vida media y la toxicidad de los radicales libres que dañan el ADN[9].

1.5.3.3 Equilibrio de los iones de calcio

Los iones de calcio son esenciales en los primeros pasos del acoplamiento transductor de las señales físicas alrededor de la membrana celular, por consiguiente los pasos de la señalización de los sistemas enzimáticos intracelulares son a su vez, calcio dependiente. Se sugiere que la modulación temprana de esta señalización por los CEM, sea responsable de la activación de una serie de reacciones bioquímicas como la transmisión de señales de las proteínas de la membrana hacia al interior celular y el acople de los CEM con el citoesqueleto y otros constituyentes intracelulares.

Para Martin Pall la activación de los canales de calcio se puede atribuir a campos electromagnéticos de baja frecuencia, que actúan activando los canales de calcio dependientes de voltaje (VGCCs). La mayor parte de los efectos biológicos se deben a la modificación del calcio intracelular, elevándose los niveles de óxido nítrico y formándose peroxinitrito: el desequilibrio de lo que se denomina Ciclo NO/ONOO, cuyo centro es el óxido nítrico y su derivado el peligroso peroxinitrito. El peroxinitrito es un agente oxidante y nitrante. Debido a sus propiedades oxidantes, el peroxinitrito puede dañar una gran variedad de moléculas en las células, incluyendo el ADN y las proteínas, produciendo desequilibrio en los iones de calcio de las células, los que originan alteraciones biológicas que pueden tener implicaciones a nivel enzimático y facilitan la activación de los procesos de oncogénesis y el incremento del estrés oxidativo. En particular se afecta la proteína C quinasa que es importante para la activación y proliferación linfocitaria.

Existe evidencia de que, como respuesta a CEM muy débiles se produce alteración de la movilidad de los iones de calcio en el tejido cerebral, cambios en los patrones de activación neuronal y alteraciones del comportamiento[9]

1.5.3.4 Hormona melatonina

La melatonina, hormona producida en la glándula pineal, es un eliminador muy potente de radicales libres y por tanto, inhibe considerablemente el daño que ellos pueden causar al ADN, se cree que actúa como un poderoso antioxidante, con propiedades anticancerígenas y antifatiga. Su producción es normalmente controlada por la luz, alta en la noche y baja en el día.[10]

Se considera que los CEM artificiales producen el mismo efecto sobre la glándula pineal que la luz, por lo que inhiben la secreción nocturna de melatonina, la disminución de sus niveles explica los cambios en la capacidad del sistema inmunológico e introduce alteraciones en la función de los órganos endocrinos que ella modula [9]. Lo anterior pudiera ser una de las claves para comprender el aumento del riesgo de contraer cáncer

en las personas expuestas a estos campos. Su disminución incrementa el riesgo de los cánceres hormonodependientes y de cerebro.

La melatonina reducida provoca muchos efectos biológicos graves en los seres humanos y otros mamíferos, incluidos los trastornos del sueño, fatiga crónica, daños en el ADN que conduce al cáncer, problemas cardíacos, reproductivos, enfermedades neurológicas y mortalidad. La melatonina reducida también está asociada con la artritis, la depresión y el suicidio, trastorno afectivo estacional, aborto involuntario, el síndrome de muerte súbita del lactante, esquizofrenia, enfermedad de Alzheimer y la enfermedad de Parkinson[11].

1.5.3.5 Sistema inmunológico

Los CEM FEB pueden causar cambios en las funciones inmunes normales. El Dr. Roger Santini plantea que ante la exposición a CEM se observa una perturbación del sistema inmunológico con pérdida del 25 % de capacidad de destrucción de las células cancerígenas, así como efectos promotores y copromotores de carcinogénesis[9]. Esto Según Neil Cherry[10] está relacionado con la pérdida de producción de la neurohormona de la melatonina encargada de regular la asistencia del sistema inmunológico para mantener su inmunocompetencia, regulando la actividad de deslizamiento del sueño REM y la eficiencia del sueño.

1.6 Equipamiento destinado a la medición del CEM

El equipo que se utiliza para medir los campos electromagnéticos es denominado gaussímetro pues expresa sus valores en gauss, la unidad de medida del flujo magnético (β).

Cuando se miden los campos electromagnéticos con un medidor de campos electromagnéticos EMF, es importante distinguir si los campos son estáticos o si se está midiendo en el rango cercano o lejano de los campos de baja o alta frecuencia. Si la distancia de medición a la fuente de radiación es de hasta tres longitudes de onda se le denomina campo cercano. Aquí la relación entre la fuerza del campo magnético y el eléctrico no es constante. Por lo tanto, en el campo cercano, la intensidad del campo eléctrico y magnético se determinan por separado con un medidor de campos electromagnéticos EMF. Ahora bien, en el campo lejano, que tiene más de tres longitudes de onda de distancia de la fuente del campo, basta con sólo medir la intensidad del campo eléctrico o campo magnético. La segunda magnitud puede calcularse a partir de la primera en condiciones de campo lejano. Con frecuencia, el algoritmo de cálculo se almacena en el medidor de campos electromagnéticos EMF y a través del panel de control puede seleccionar la indicación deseada.

El medidor de campos electromagnéticos EMF muestra la fuerza de campo eléctrico E en voltios por metro (V/m). La intensidad del campo magnético H se mide en amperios por metro (A/m). Ahora bien, un medidor de campos electromagnéticos suele indicar la inducción magnética o la densidad de flujo magnético B en Tesla (T) o Gauss (G). Si es necesario, este valor puede ser convertido en la intensidad del campo magnético a través de la permeabilidad magnética constante. El medidor de campos electromagnéticos EMF puede mostrar la fuerza de los campos electromagnéticos de alta frecuencia como V/m, A/m o en W/m² o W/cm². A la hora de decidir qué medidor de campos electromagnéticos escoger es importante asegurarse de que el medidor puede cubrir los rangos de frecuencia que se producen en el área a inspeccionar. Si es necesario, se debe utilizar un medidor de campos electromagnéticos EMF adicional para el rango de frecuencia que de otra manera sería indetectable.

Generalmente el principio de funcionamiento de un gaussímetro es a través del uso de sensores. Estos no evalúan directamente el campo resultante en una dirección específica en el espacio, sino generalmente en una de las componentes. Por lo que si el medidor tiene tres sensores ortogonales entre sí (pensemos en un sistema de coordenadas cartesiano de 3 ejes, donde cada sensor seguiría un eje), el campo resultante puede obtenerse de las medidas de los tres ejes a partir de la siguiente ecuación[2]:

$$Campo = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (1)$$

El valor de la ecuación anterior es independiente de la orientación del medidor, simplificando así el uso del mismo.

- Parámetros usados para la medida del campo: Existen varios parámetros de medida, como el valor de pico, media rectificadora, valor cuadrático medio o eficaz, la base científica no es suficiente para poder concluir qué parámetro es el más importante. Algunos medidores registran la forma de onda completa, para futuras investigaciones, pudiéndose calcular a partir de la misma varios tipos de parámetros.
- Respuesta en frecuencia: los medidores de campos pueden ser sensibles a sólo ciertas frecuencias, como por ejemplo las frecuencias de transporte de energía (50-60 Hz), o a un rango de frecuencias concreto.
- Tamaño de los sensores: los sensores pueden ser pequeños, pero capaces de analizar las variaciones de los campos en distancias relativamente pequeñas.
- Lectura y registro: los medidores pueden tener visualizadores digitales o analógicos. Puede que sólo puedan mostrar un valor en tiempo real, o tengan

la capacidad de almacenar los valores con una precisión determinada, además de calcular varios parámetros.

Una vez dadas las características generales de un medidor, podemos decir que el más adecuado, dependerá del tipo de aplicación. La mayoría de los instrumentos para la medida de campos en frecuencias de transporte de energía utilizan bobinas como sensor, bien una, o tres distribuidas de forma ortogonal. En el estándar *IEEE Std 1460-1996TM* [94] se comentan las características que deben poseer los equipos de medición en general.

Existen diferentes fabricantes de gaussímetro de diferentes modelos, entre ellos están, *PCE- Instruments, Enertech Consultant y otros.*

Se fabrican equipos de medición personal, medición de alta frecuencia, baja frecuencia, radiofrecuencia, etc. Portátiles, anclados, en formas de dispositivos de algún equipamiento industrial, etc. Pero todos tienen como finalidad mantener al tanto del comportamiento de los campos electromagnéticos circundantes.

Algunos de los equipos que más se usan son los que se muestran y mencionan a continuación.

De la empresa AARONIA AG Instruments: SPECTRAN NF 5030, SPECTRAN V4.



De la empresa PCE Instruments: PCE-G28, PCE-MFM 3500



Fig. 5. Gaussímetro para medición de baja y altas frecuencias.

De la empresa Enertech Consultan: Emdex II



Fig. 6. Gaussímetro para medición de bajas frecuencias.

Sus características le permiten realizar mediciones de altas y bajas frecuencias.

CAPITULO 2

2 RESULTADOS OBTENIDOS

Contar con una evaluación y medición de los valores de campo magnético se convierte en una fortaleza para las instituciones hospitalarias, ya que se ha evidenciado que la exposición a valores por fuera del umbral límite establecido afecta la salud de las personas. Estas mediciones se constituyen como los primeros pasos eficaces hacia la búsqueda de la protección de trabajadores de la salud y pacientes que se encuentran en la edificación hospitalaria. Se indagó y encontró los planos de la infraestructura del área de Neonatología, en el plano arquitectónico se delimito los puntos de medición de inducción magnética como lo establece la normativa. Para mencionadas mediciones se realizó un análisis comparativo para mostrar sus resultados.

2.1 Caracterización del Hospital Isidro Ayora de Loja

El Hospital Isidro Ayora de la ciudad de Loja se encuentra ubicado en la calle Juan José Samaniego y Av. Manuel Agustín Aguirre en el cantón Loja. Está catalogado como un hospital de segundo nivel de complejidad que atiende a la población de la parte sur del Ecuador y el Norte del Perú. Su estructura constructiva es de tipo vertical, consta con diferentes áreas hospitalarias como: consulta externa, laboratorio clínico, farmacia, emergencia, ginecología, centro obstétrico, neonatología, cirugía general, centro quirúrgico, central de esterilización, medicina interna y pediatría.

2.2 Caracterización de la Sala de Neonatología

El área de Neonatología del Hospital Isidro Ayora cuenta con una moderna área de neonatología con una capacidad total de 30 cubículos, los mismos que están equipados con cunas de calor radiante, ventilador mecánico, monitor de signos vitales, lámparas de fototerapia y bombas de infusión. El área se encuentra dividida en tres sub áreas según el tipo de cuidados que requiere el neonato. Las áreas son: cuidados intensivos normales, cuidados intensivos aislados y cuidados normales. El estudio lo realizamos en el área de cuidados intensivos aislados con la finalidad de no convertirnos en una condición insegura para los pacientes en estado crítico.

2.3 Obtención de las mediciones

2.3.1 Condiciones del área de neonatología

En la figura 7 se muestra toda el área de cuidados intensivos neonatales, las áreas que han sido sombreadas son las que cuentan con todo el equipamiento biomédico instalado, que por lo tanto son los generadores de mayor flujo de campo

electromagnético. Las mediciones se realizarán en el área de cuidados intensivos aislados.

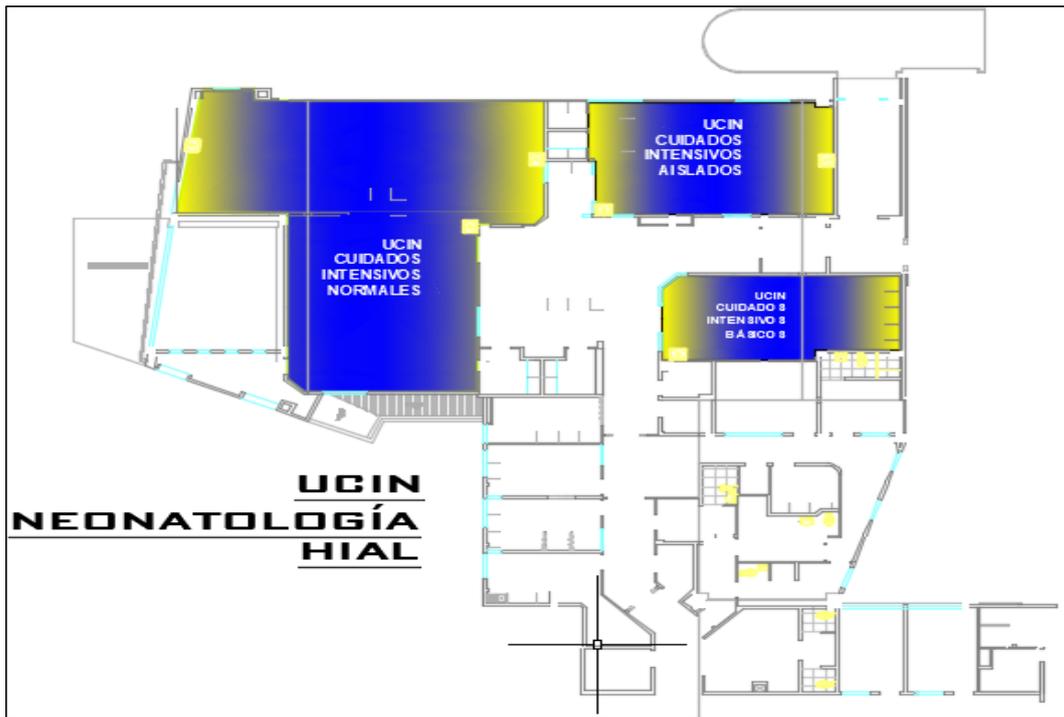


Fig. 7. Plano del área que ocupa la planta de UCIN. Las zonas sombreadas con color tienen más influencia de equipamiento biomédico.

Como siguiente paso en el área seleccionada de medición se requiere establecer el croquis y recorrido de medición donde se va a establecer los puntos de medición, como se muestra en la figura 8.



Fig. 8. Recorrido seguido para realizar las mediciones en UCIN AISLADOS

El área de UCIN AISLADOS cuenta con una capacidad de ocho cubículos para neonatos, los mismos cuentan con todo el equipamiento biomédico para la terapia intensiva de los neonatos. Los equipos utilizados para cada paciente neonatal son mostrados en la tabla 2. La temperatura del área oscila entre los 21 y 24 °C.

A continuación se ha elaborado la tabla 2. La disposición de los equipos médicos por cada cubículo. Los equipos en funcionamiento en el momento de las mediciones han sido marcados con x, así como su cantidad por cada cubículo.

ÁREA	CUBICULO	EQUIPOS MÉDICOS POR CUBICULO											
		CUNA CALOR RADIANTE		VENTILADOR PULMONAR		MONITOR SIGNOS VITALES		BOMBA DE INFUSIÓN				FOTOTERAPIA	
UCIN AISLADOS	1	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
UCIN AISLADOS	2	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
UCIN AISLADOS	3	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
UCIN AISLADOS	4	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
UCIN AISLADOS	5	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
UCIN AISLADOS	6	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
UCIN AISLADOS	7	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
UCIN AISLADOS	8	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla 3. Equipos por cada cubículo y en funcionamiento, en el momento de la medición.

2.3.2 Mediciones realizadas en el área

Mediante el uso del gaussímetro AARONIA AG SPECTRAN NF 5030, SPECTRAN V4 y siguiendo la metodología descrita se obtuvieron los resultados para cada uno de los cubículos en el área de UCIN AISLADOS. Estos los agruparemos según las condiciones

Como se puede observar, existen unos puntos de medición donde se obtuvieron valores más elevados de flujo de campo magnético. Esto se debe a que, en la sala se encuentra zonificado la ubicación del cubículo que consta con todo el equipamiento biomédico instalado. Los puntos con mayor intensidad de campo magnético son los puntos que se coinciden con la ubicación de los equipos biomédicos.

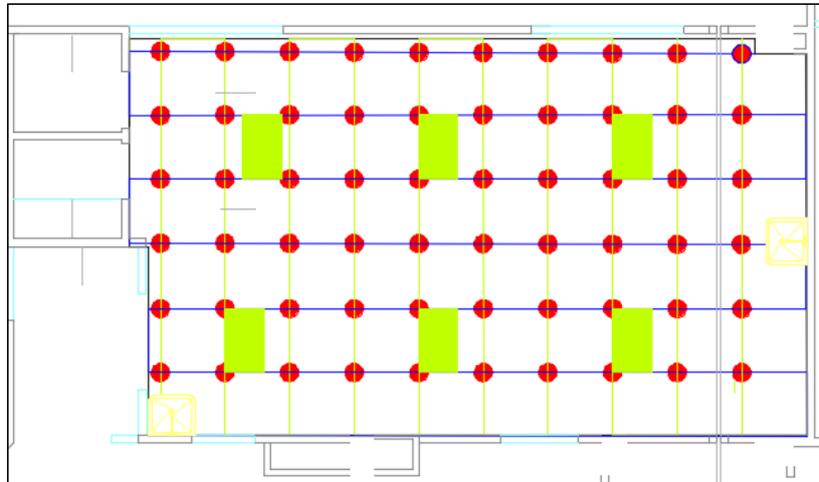


Fig.11 Distribución de equipos biomédicos en área de medición

Tomando los valores promedios obtenidos a través de nuestro análisis y comparándolos con las recomendaciones de la ICNIRP, estos valores son, 2×10^{-4} T para el límite ocupacional y 1×10^{-3} T para la población en general, obtenemos la siguiente figura 12.

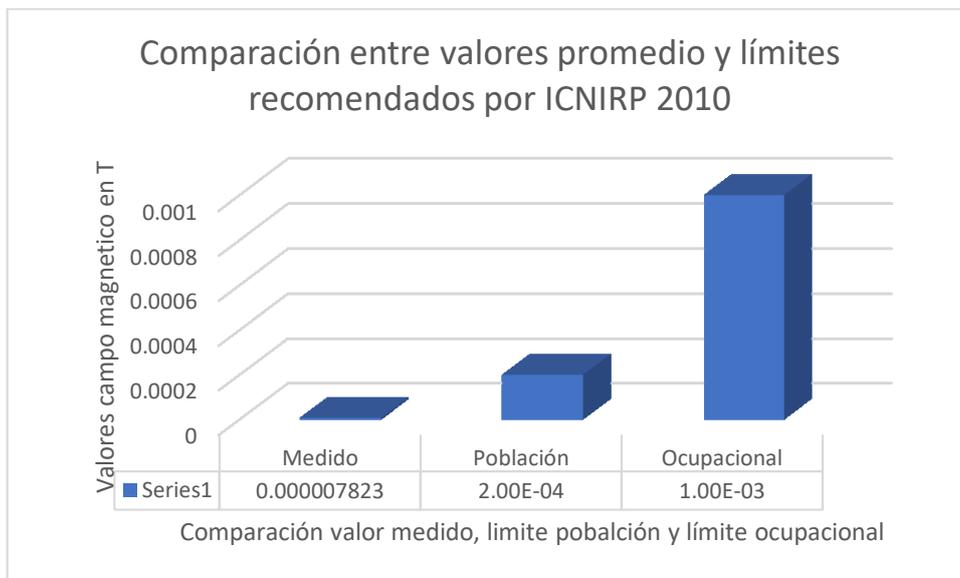


Fig. 12 Gráfica que muestra la comparación entre valores obtenidos mediante la medición y los límites recomendados pos la ICNIRP 2010.

Se puede observar los valores promedio obtenidos de las mediciones, y que no sobrepasan los umbrales límites recomendados por la ICNIRP, incluso con todo el

equipamiento biomédico encendido. Este valor medido se encuentra en el ambiente y llega al personal que circula por el área de neonatología, mientras que para los pacientes, reciben un campo más elevado al estar cerca del equipamiento biomédico. Con respecto a los valores que pueden causar interferencia electromagnética con los equipos médicos y su funcionamiento, manifiesto que los valores medidos, no se acercan al valor de 37,7mG que establece la norma IEC60601-1-2 (2004), Con lo que no se incumpliría la norma.

CONCLUSIONES

Podemos concluir, que una vez obtenidos los resultados, es evidente la presencia de flujos de campos magnéticos en el ambiente de neonatología.

Los valores de flujos de campos magnéticos presentes en neonatología, se encuentran por debajo del umbral recomendado por la ICNIRP 2010.

Los resultados obtenidos han sido favorables y se ha establecido la influencia del equipamiento biomédico con un aporte significativo en la contaminación electromagnética en el área de neonatología.

RECOMENDACIONES

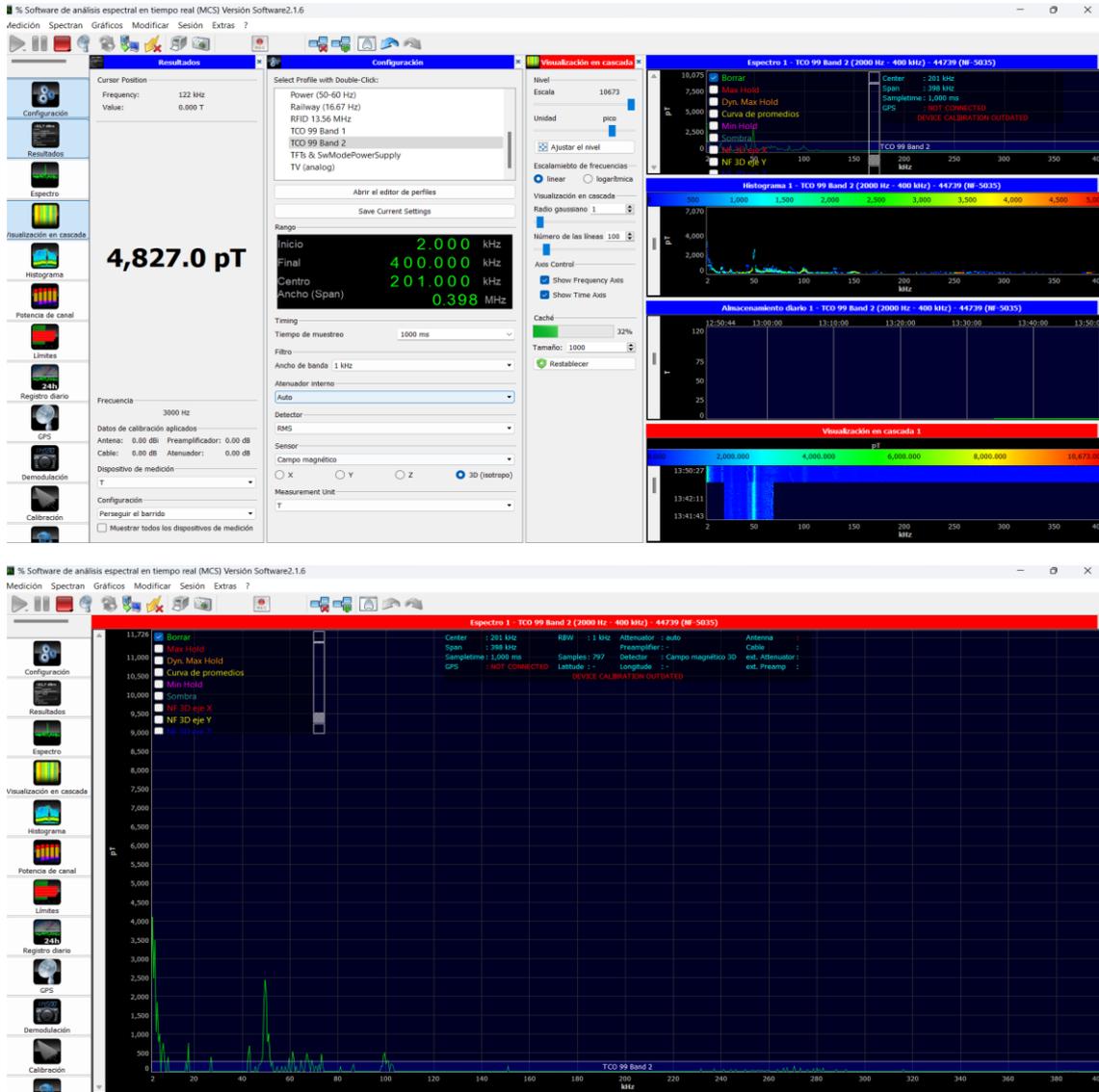
Se recomienda realizar mediciones de flujo de campo magnético y eléctrico periódicas, con el fin de garantizar la seguridad electromagnética de las áreas críticas del hospital.

Recomendamos realizar mediciones de flujo de campo magnético y eléctrico, en otras áreas del hospital ya que cada servicio cuenta con equipamiento biomédico diferente.

Continuar estudiando el flujo de campos magnéticos con proyectos de mayor rigurosidad para ambientes hospitalarios.

ANEXOS

Anexo 1 Software de equipo de medición de flujo de campo electromagnético



Anexo 2. Mediciones de flujo de campo magnético en neonatología





Referencias

- [1] Paz Parra, Alejandro Electromagnetismo para ingeniería electrónica: campos y ondas / Alejandro Paz Parra - - Santiago de Cali: Pontificia Universidad Javeriana, Sello Editorial Javeriano, 2013. 401 p. ISBN 978-958-8347-79-0
- [2] M. Ruz Ruiz, F. Vázquez Serrano, A. J. Cubero Atienza, L. Salas Morera, J. E. Jiménez Hornero, A. Arauzo Azofra, et al., Efectos sobre la salud humana de los campos magnéticos y eléctricos de muy baja frecuencia (ELF), Junta de Andalucía. Consejería de Empleo. ed. vol. 1. España: Junta de Andalucía, 2010. ISBN: 978-84-692-4787-7
- [3] AIS- Asociación internacional de sinérgica. Cromoterapia y altas frecuencias en la terapéutica. Riesgos en el entorno: Altas frecuencias.
- [4] F. Téllez, E. Sabogal, and J. Lizarazo, "Reducción de los límites de radiación debida a las radiofrecuencias en algunos países -," Rev. Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación vol. 3, pp. 41-51, 2016.
- [5] ICNIRP, "GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME VARYING ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS (1 HZ – 100 KHZ),," *HEALTH PHYSICS*, vol. 99, pp. 818-836, 2010.
- [6] J. Skvarca and A. Aguirre, " Normas y estándares aplicables a los campos electromagnéticos de radiofrecuencias en América Latina: guía para los límites de exposición y los protocolos de medición.,".*Rev Panam Salud Publica/Pan Am J Public Health*, vol. 20, 2006.
- [7] COVENIN, "Norma venezolana radiaciones no ionizantes," in *Límites de exposición. Medidas de protección y control(2da revisión)* vol. 2238:2000, ed. Venezuela 2000.
- [8] J. L. Pérez Alejo and R. Miranda Leyva, "Radiaciones electromagnéticas y salud en la investigación médica" *Revista Cubana de Medicina Militar*, vol. 39, pp. 35-43, 2010.
- [9] M. Revueltas Agüero, I. Avila Roque, R. Baqués Merino, and R. C. Beltrán Reguera, "Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja y su impacto sobre la salud de los seres humanos," *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, vol. 52, pp. 210- 227, 2014.
- [10] N. J. Cherry, "EMF/EMR reduces melatonin in animals and people," *Research Archive* 2002.
- [11] Michael H Repacholi and Bengt Knave "Radiaciones no ionizantes. Campos eléctricos y magnéticos de VLF y ELF," in *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. vol. II, S. G. d. P. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, Ed., 3era ed. Madrid España 2001, pp. 23-26.
- [12] IEEE, "Guide for the measurement of Quasi-Static Magnetic and Electric Fields," in *Std 1460-1996TM*, ed: IEEE, 1996.