

Metodología, Prototipo de sensor y red de sensores para registro de frecuencias extremadamente bajas

Methodology, sensor prototype and sensor network for extremely low frequency recording

Parrado P. Carlos A., Lizarazo Carlos J., Múnebar Libardo., Sabogal G. Ernesto.

Resumen



El presente trabajo se enfoca en la investigación de los campos electromagnéticos de frecuencias extremadamente bajas (FEB), provenientes del uso de la energía eléctrica en equipos y dispositivos que se encuentran en ambientes laborales.

Se realizó búsqueda de información en documentos y artículos, con miras a fundamentar la elaboración de un prototipo de equipo para la medición de densidad de flujo magnético. Aquí se presentan los resultados de las pruebas de mediciones realizadas en un ambiente controlado. Los registros se comparan con los niveles recomendados por la Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones no Ionizantes (ICNIRP), donde se indican los límites de exposición a campos electromagnéticos generados por fuentes de radiación comunes en un ambiente ocupacional o comunal.

El objetivo de esta fase del proyecto es conformar una metodología de medición en ambiente controlado y realizar un prototipo de sensor y una red de sensores para registrar valores de densidad de flujo magnético en frecuencias extremadamente bajas.

Palabras Clave: Campos electromagnéticos de frecuencias extremadamente bajas, densidad de flujo magnético, ICNIRP, Prototipo de red de medición de FEB.

Abstract



This project focuses on the investigation of electromagnetic fields at extremely low frequencies, which are derived from the use of electrical energy in different elements that can be found in work environments.

Therefore, the search for information from different documents and articles was carried out as a basis for the development of a magnetic flux density measurement prototype. Therefore, the results obtained from the measurement of said variable in a controlled environment and its subsequent registration are presented. The records comply with the recommendations of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), where the limits of exposure to electromagnetic fields generated by common radiation sources in an occupational or communal environment are determined.

The result of the project is to perform a measurement methodology in controlled environment, sensor prototype and sensor network to record magnetic flux density values at extremely low frequencies.

Keywords: Electromagnetic fields, magnetic flux density, ICNIRP, prototype

Recibido / Received: 12 de Febrero de 2018 Aprobado / Aproved: 13 de Marzo de 2018

Tipo de artículo / Type of paper: Investigación Científica y Tecnológica terminada

Afiliación Institucional de los autores / Institutional Affiliation of authors: Universidad El Bosque

Autor para comunicaciones / Author communications: cparrado@unbosque.edu.co

El autor declara que no tiene conflicto de interés.

Introducción

El grupo de investigación Electromagnetismo, Salud y Calidad de Vida en su línea de investigación efectos de los campos electromagnéticos en la salud y calidad de vida de los seres humanos, se ha propuesto desarrollar prototipo de un sensor y una red de sensores, para el registro del campo electromagnético emitido por diferentes elementos radiadores de frecuencias extremadamente bajas, iniciando con la elaboración de una metodología que determine la conceptualización, diseño, implementación y pruebas de un prototipo de sensor y red de sensores, con los que se registren las magnitudes del campo electromagnético de frecuencias extremadamente bajas producto del uso de diferentes elementos radiadores.

Esta información será la base de un estudio posterior, FASE II, dónde se realizarán pruebas de campo con el fin de realizar un mapa de radiación. En una tercera fase, FASE III, se podrá evaluar en la salud humana los posibles efectos por exposición a estas frecuencias [1].

La evidencia que existe para descifrar si la exposición a campos electromagnéticos tiene factores adversos en contra de la salud, quedo demostrada de manera científica por la Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones no Ionizantes (ICNIRP). Por lo tanto, se llegó a la determinación que se deben cumplir las normativas que protegen a las poblaciones expuestas y generar límites de exposición en diferentes ambientes laborales. De esta forma, se busca proteger a poblaciones reclutadas en ambientes laborales y público en general expuesto a este tipo de radiaciones [1].

En consecuencia, a estos factores de riesgo los gobiernos e industrias están atentos a los diferentes aspectos que influyen con esta temática y realizan investigaciones en este campo para fortalecer los diferentes aspectos asociados a las Frecuencias Extremadamente Bajas (FEB). Por lo anterior, es posible que se deban realizar nuevas instalaciones y dispositivos que puedan reducir los riesgos de los niveles de exposición sugeridos por la ICNIRP [2].

Por esta razón, en este documento se presentan los resultados de diferentes pruebas piloto en ambientes controlados, con el fin de obtener valores de referencia que permitan determinar posibles niveles de riesgo.

Estado del arte

A. Definición de Campo Electromagnético

Según la Organización Mundial de Salud (OMS), un campo electromagnético se puede definir como aquel “campo de fuerza creado en torno a una corriente eléctrica; está compuesto por un campo eléctrico y un campo magnético” [1]. La corriente eléctrica es la fuente de los campos magnéticos, la intensidad de éste se mide en amperios por metro (A/m), éstos son originados cuando se enciende un aparato eléctrico y fluye la corriente, así mismo, la intensidad del campo suele ser disminuida de acuerdo a la distancia desde la fuente [3], [4].

La radiación electromagnética de las frecuencias extremadamente bajas (REM-FEB) proviene principalmente de las instalaciones eléctricas, de las cuales la radiación asociada a ésta tiene efectos adversos en la salud humana [5].

B. Campos electromagnéticos naturales

Los campos electromagnéticos naturales proceden del campo magnético estático de la tierra, es decir al que estamos expuestos diariamente, en otras palabras, estos campos son aquellos causados por cargas eléctricas presentes en las nubes, la electricidad estática que suele producirse cuando dos objetos se frotan entre sí o así mismo los campos eléctricos y magnéticos súbitos resultantes de los rayos [6].

C. Campos electromagnéticos de origen humano

Son aquellos emitidos por fuentes caracterizadas por frecuencia extremadamente baja (FEB), tales como las líneas eléctricas, el cableado y los electrodomésticos, y también aquellas generadas por fuentes de frecuencia más elevada, como lo son las ondas de radio, televisión o de teléfonos móviles [6].

D. Campo Eléctrico

El campo eléctrico es un campo físico el cual está representado por un modelo que describe la interacción entre

cuerpos y sistemas de naturaleza eléctrica, este se puede definir y estudiar mediante la ley de Coulomb, la cual permite expresar el campo entre distribuciones de carga en reposo relativo. Por ende, el campo eléctrico está relacionado con la tensión o voltaje y se mide en unidades de voltios por metro (V/m) o kilovoltios por metro (kV/m) [7].

E. Frecuencias extremadamente Bajas (ELF)

Son aquellas señales en intervalo de 30 a 300 Hz y comprenden las señales de distribución eléctrica (60Hz) [8].

Durante mucho tiempo atrás el ser humano estuvo expuesto a los distintos campos electromagnéticos existentes en el planeta tierra, no obstante desde la creación de la electricidad como fuente de energía transformadora dentro de la sociedad, se implementó una dependencia mayor ya que para la realización de actividades diarias se necesitaba cada vez más de misma, por otra parte en los últimos años se ha evidenciado que estas fuentes de energía suelen tener consecuencias con la salud, teniendo así desde impactos biológicos hasta llegar a afectar el entorno del diario vivir, es decir, efectos laborales y ocupacionales.

F. Efectos Biológicos

Los efectos biológicos detectados por la exposición a los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente bajas tienen implicaciones directas a nivel orgánico celular, Skvarca J, Aguirre plantea que cuando el ser humano se encuentra expuesto a estas frecuencias, se producen alteraciones en algún sistema biológico, es por esto que se presentan cambios en la concentración o el transporte de alguna sustancia producida por el cuerpo la cual es incapaz de compensar y por ende causar afectaciones a la salud; así mismo Blackman plantea que estos cambios no solo son a nivel biológico sino fisiológico lo cual puede que no solo cause una afectación a la salud sino por el contrario el daño al ser humano pueda llegar a ser permanente [9].

- **Frecuencia Cardíaca:** la respuesta biológica causada por los campos electromagnéticos es pequeña según estudios se puede decir que se observa un descenso de aproximadamente cinco latidos por minuto, esto

se presenta principalmente cuando los niveles de exposición son relativamente altos ($30 \mu\text{T}$) [9].

- **Cáncer:** No existen estudios confiables que comprueben que una de las causas de cáncer sea por la exposición a los campos ELF y que estos causen directamente daños en las moléculas de los seres vivos, y en particular en su ADN. “Sin embargo, se están realizando estudios para determinar si la exposición a esos campos puede influir en la estimulación o estimulación del cáncer. Recientes estudios realizados en animales no han demostrado que la exposición a campos ELF influya en la incidencia de cáncer” [9].

G. Exposición laboral

En el ámbito laboral se puede observar que los trabajadores tienden a tener mayor exposición de estas frecuencias que en el hogar, ya que se ha demostrado que en los lugares de trabajo los campos tienden a elevarse debido a que hay un mayor número de elementos eléctricos. Por ejemplo, el valor medio del campo magnético encontrado en trabajadores de oficina es de $0.18 \mu\text{T}$ según EMF en el Reino Unido [10].

De acuerdo a la guía elaborada por la Comisión Internacional de Protección contra Radiaciones No Ionizantes, se presenta que en el entorno laboral las industrias tienen equipos que demandan mayor corriente y por lo cual se produce mayores niveles de campos electromagnéticos, teniendo en cuenta la dotación con la que trabajan cada uno de los empleados se conocerá el riesgo del mismo es decir por ejemplo en las diferentes industrias eléctricas, se puede causar por la implementación de las barras de alta tensión en las instalaciones de energía, y algunos equipos de compensación de la potencia reactiva, entre otros [10].

Por esta razón se hace referencia a las industrias eléctricas, ya que, al tener mayor exposición profesional de CEM en el proceso de generación, producción, distribución y reparación, se ha evidenciado mayor daño a nivel de salud, pues, en la mayoría de estas “se reporta la incidencia de leucemia y tumores cerebrales, se sospecha como causales los campos magnéticos de muy baja frecuencia, pero la valoración del riesgo cancerígeno no es concluyente” [9].

Por otra parte, a nivel laboral se reportan diferentes síntomas a nivel de salud en cada uno de los trabajadores expuestos a los campos, entre los cuales se presentan síntomas y alteraciones a nivel cardiovascular, digestivo, hematológico y neurasténico. Del mismo modo se presentan estudios en los cuales se evidencian pruebas de carcinogénesis relacionadas con exposición a radiación de muy baja frecuencia (menos de 200 Hz) [11].

El valor guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para exposición permanente es de $8 \text{ mG}=0,8 \mu\text{T}$." No existe ninguna solución práctica y económica para protegerse de los campos magnéticos ELF. Cuando éstos son muy intensos, el único método de protección viable consiste en limitar la presencia del personal" [12].

H. Redes de sensores inalámbricas WSN

Se basa específicamente en una gran cantidad de dispositivos llamados sensores, instalados a través de un sistema de monitoreo, con la capacidad de almacenar y comunicar datos en la red en forma inalámbrica, estas redes tienen la capacidad de formar una comunicación entre el mundo real y la virtualidad.

Metodología

A. Implementación de subsistemas

Para la metodología de medición piloto se hizo un análisis del estado del arte y teniendo en cuenta las

investigaciones anteriores se elaboraron el siguiente diagrama de bloques de la metodología de medición. Ver Ilustración I.

- **Establecer el sensor a usar:** Para establecer que sensor se usara se necesita hacer un análisis de diseño que se mostrara posteriormente
- **Determinar el dispositivo de radiación:** Se utiliza como referencia la tabla descriptiva a continuación de la organización mundial de la salud con distintos aparatos eléctricos, que nos indica un rango de valores en μT de cada uno, la cual usaremos como referencia.
- **Posicionamiento del equipo de medición y dispositivo de radiación:** Ubicar cada uno de estos en cada extremo de la jaula de Faraday con una separación de aproximadamente 3cm entre ellos.
- **Tiempo de medición:** Establecer el tiempo de medición según su uso para nuestro caso tomamos muestras cada segundo.
- **Registro de datos:** Establecer el software a conveniencia para el almacenamiento de los datos medidos.
- **Registro gráfico:** Realizar una gráfica de los valores obtenidos en la medición
- **Guardar los datos en Excel:** Para tener una mayor comodidad en su visualización y por lo tanto realizar el análisis de resultados.
- **Aplicar FFT:** Se realiza la transformada rápida de Fourier para visualizar el comportamiento de los armónicos de la señal capturada por el equipo de medición.

Ilustración 1. Diagrama de bloques Metodología Ambiente controlado



Tabla 1 Valores de referencia Organización mundial de la salud (OMS)

Aparato Eléctrico	A una distancia de 3 cm (μT)	A una distancia de 30 cm (μT)	A una distancia de 1 m (μT)
Secador de pelo	6 - 2000	0,01 - 7	0,01 - 0,03
Máquina de afeitar eléctrica	15 - 1500	0,08 - 9	0,01 - 0,03
Aspiradora	200 - 800	2 - 20	0,13 - 2
Luz fluorescente	40 - 400	0,5 - 2	0,02 - 0,25
Horno de microondas	73 - 200	4 - 8	0,25 - 0,6
Radio portátil	16 - 56	1	<0,01
Horno eléctrico	1 - 50	0,15 - 0,5	0,25 - 0,6
Lavadora	0,8 - 50	0,15 - 3	0,01 - 0,15
Hierro	8 - 30	0,12 - 0,3	0,01 - 0,03
Lavavajillas	3,5 - 20	0,6 - 3	0,07 - 0,3
Computadora	0,5 - 30	< 0,01	
Frigorífico	0,5 - 1,7	0,01 - 0,25	<0,01

B. Sensor

Se realiza la implementación. Se debe primero adquirir el sensor LSM303C, el sensor nos permitirá determinar los valores en micro Teslas de los equipos a medir.

Para medir se requiere el uso del software de programación de Arduino, en el cual se configuran los parámetros iniciales, como lo son las librerías a utilizar. En este caso, SparkFunLSM303C.h y la velocidad en la cual se leerán los datos por el puerto serial del equipo de procesamiento de datos.

Luego se procede a la obtención y lectura del dato la cual se adquiere por el puerto serial del equipo de procesamiento de datos, para su posterior visualización. Se identifican los valores en cada eje X, Y, Z. También se muestra el diagrama de flujo que describe el funcionamiento general del programa implementado para el funcionamiento del sensor. Ilustración II.

El sensor LSM303C se comunica a través de I2C, por esta razón, utiliza los pines SDA y SCL del Arduino, los cuales vienen predefinidas en el dispositivo de adquisición. Sus conexiones se presentan en la Tabla 2.

Ilustración 2. Diagrama de flujo programación del sensor LSM303C

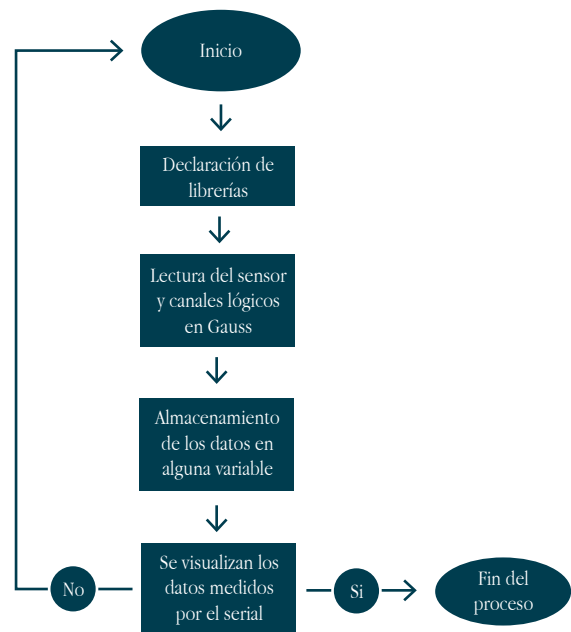


Tabla 2 Conexiones pines a utilizar

Arduino uno	LSM303C	Observación
VCC	VDD	+3.3V
GND	GND	+0V
SDA	SDA/SDI/SDO	Serial data +3.3V CMOS lógico
SCL	SCL/SCLK	Serial clock +3.3V CMOS lógico

C. Red de sensores

Para poder recibir y enviar datos por la red, es necesario que un módulo de comunicación inalámbrica trabaje con la configuración maestro – esclavo y sea escalable, por lo tanto, se deberá adquirir dos módulos nRF24L01.

Para realizar el envío del dato por el sensor, se tiene que configurar y para ello, debemos usar de igual forma el software de Arduino y establecer el módulo receptor y el módulo emisor.

El módulo emisor tiene que establecer comunicación con el módulo receptor, por medio de una dirección única igual para cada uno, luego se procede a crear una matriz para almacenar los datos medidos y por último, se inicia

la configuración del puerto serial por el cual se envían los datos por la red punto a punto.

Configurado ya el módulo emisor, se procede a la obtención del dato mediante el módulo receptor, especificando que se realiza una lectura y que valores se visualizarán por medio del puerto serial.

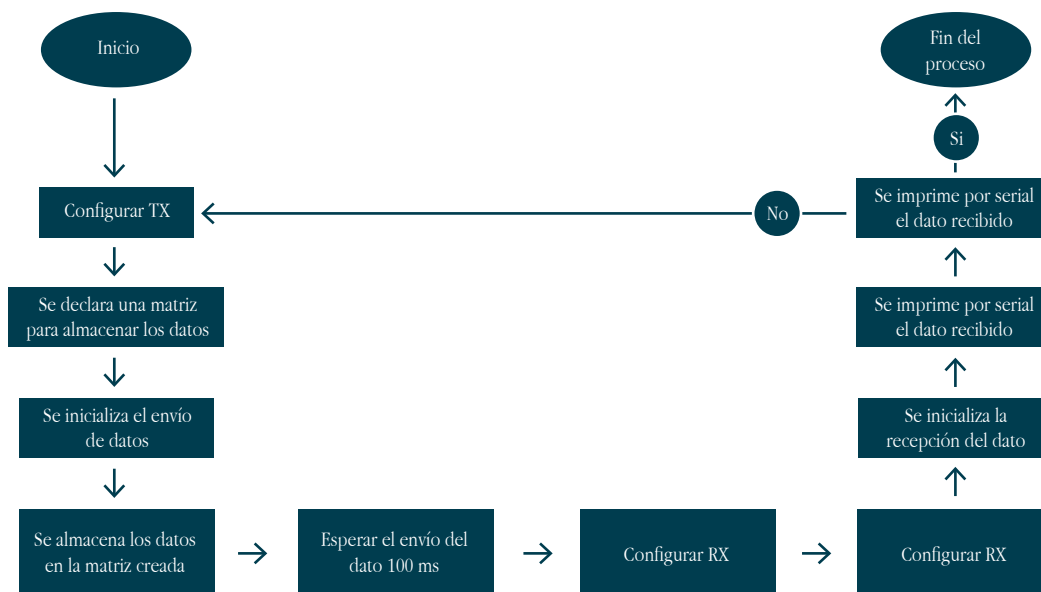
A continuación, Ilustración III, se muestra el diagrama de flujo que describe la configuración inicial de la red de sensores.

Las conexiones para su óptimo funcionamiento se encuentran especificadas en la Tabla 3.

Tabla 3 Conexiones NRF24L01

NRF24L01	Arduino nano
1: GND	pin GND
2: VCC	pin 3V3
3: CE	pin 9
4: CSN	pin 10
5: SCK	pin 13
6: MOSI	pin 11
7: MISO	pin 12

Ilustración 3. Diagrama de flujo. Programación red de sensores inalámbricos



D. Equipo Patrón Aaronia NF 5030

Se realiza lectura exhaustiva del manual de usuario del equipo patrón, con el fin de efectuar la óptima configuración necesaria para nuestro proyecto.

Para realizar las diferentes mediciones a una frecuencia específica de 60 Hz, se realizaron las siguientes configuraciones de sus parámetros.

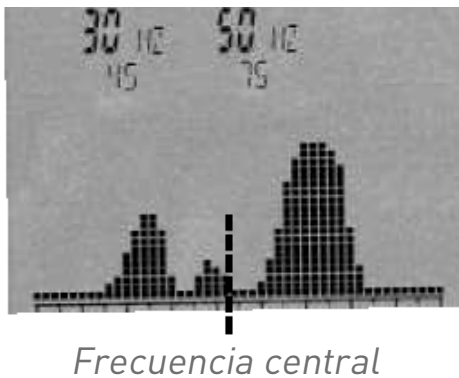
1. Sensor:

Elegir el tipo de medición que se requiere, en nuestro caso campo magnético por lo que se tiene que seleccionar MAG.

2. Center (Frecuencia central):

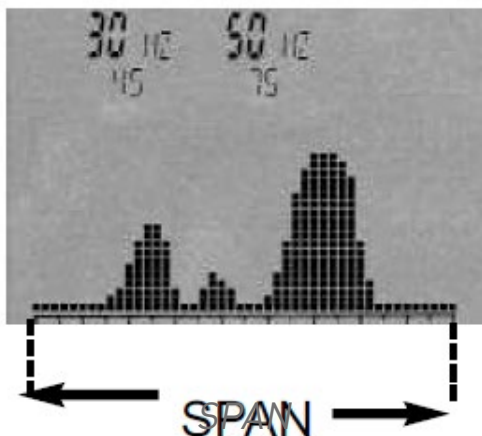
Tomada por defecto según los valores que se introduzcan frecuencia alta y baja. Ilustración 4.

Ilustración 4. Manual de usuario Aaronia Frecuencia central.



3. Span: El ancho de rango de frecuencias

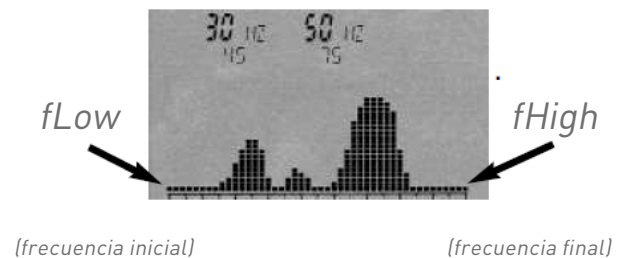
Ilustración 5. Manual de usuario Aaronia Span



4. fLow y fHigh:

Con fLow (frecuencia inicial) se determina donde inicia la medición, para el caso 55Hz. Con fHigh (frecuencia final), se determina termina la medición, 65Hz. Por lo anterior se obtiene el rango de frecuencias completo donde se realiza la medición.

Ilustración 6. Manual de usuario Aaronia FLOW y FHIGH



5. RBW (Ancho de banda de resolución)

El ancho de banda de resolución se determina al mismo tiempo que el nivel de detalle y la sensibilidad. Si se selecciona un valor alto para el ancho de banda o si se selecciona el máximo ancho de banda con "FULL", el resultado de la medición viene muy rápidamente, pero con un gráfico que no es muy exacto y una sensibilidad relativamente baja.

6. Dim (Medición 1D, 2D o 3D)

Se escogió para realizar una medición isotrópica y así, no depender de la ubicación del sensor.

7. VBW (Ancho de banda de video)

El llamado filtro de video sirve para alisar ópticamente una señal. Cuanto menor sea el filtro de vídeo seleccionado, más amplia y "limpia" es la representación de la señal en el gráfico.

8. SpTime (Tiempo de muestreo)

Elegir 1 segundo. Entre más largo el tiempo, más exacta la medición.

9. Range

Se escoge lineal para que señales débiles y señales fuertes se muestren sin distorsión.

10. Unit (Determinar la unidad)

Se determina la unidad de campo magnético la cual se requiera para nuestro caso Teslas.

11. UScale

Se determina el prefijo de la unidad, para nuestro caso μ .

E. Integración del sistema

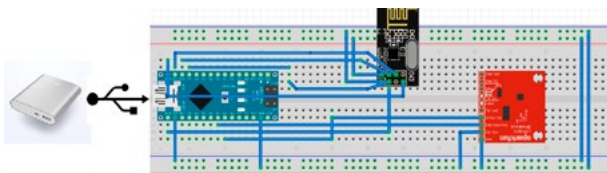
La integración del sistema consta de la unión de todos los subsistemas entre sí, de tal forma que se pueda identificar la implementación de todo el sistema. Para realizar la integración del sistema, se recurrió al uso de un PCB, el cual está diseñado y organizado estratégicamente para que cada componente pueda realizar su tarea fundamental. Por esta razón, se eligió el Arduino nano que, gracias a sus características, entorno de programación y librerías, se pudo acoplar el sensor y al módulo inalámbrico de la mejor forma. Los componentes que se utilizaron para realizar dicha integración de tecnología fueron los siguientes:

- Sensor LSM303C
- Módulo inalámbrico NRF24L01

Los anteriores componentes se ubicaron de tal forma, que cada componente tecnológico cumpliera con su función. Por esta razón, el sensor será externo, tipo sonda, lo que permite una mejor medición de los equipos que irradian frecuencias extremadamente bajas. También se ubicó la antena de tal forma que sobresaliera de la carcasa y se obtuviera una mayor cobertura para el envío de los datos. Cada elemento se conectó para trabajar en paralelo.

A continuación, se muestra la conexión de cada uno de estos elementos.

Ilustración 7. Esquemático de la integración Del sistema



En cuanto al diseño industrial que lo protege, está diseñado para resistencia a golpes. Cubrir los componentes electrónicos frente a factores externos, que pueden llegar a afectar, por esta razón, se diseñó una tapa en la parte de abajo para sujetarlo firmemente con y en cada lado, se podrá incluir un imán de neodimio, el cual brinda rigidez y seguridad a la hora de cerrar la carcasa.

Por último, la visualización de los datos medidos por el sistema, se muestran en una gráfica en tiempo real. Con el uso de entorno gráfico LabVIEW, los datos se almacenan y se visualizan con una interfaz amigable para el usuario.

Ilustración 8. Integración del sistema Prototipo de medición



Ilustración 9. Entorno de visualización de los datos LabVIEW



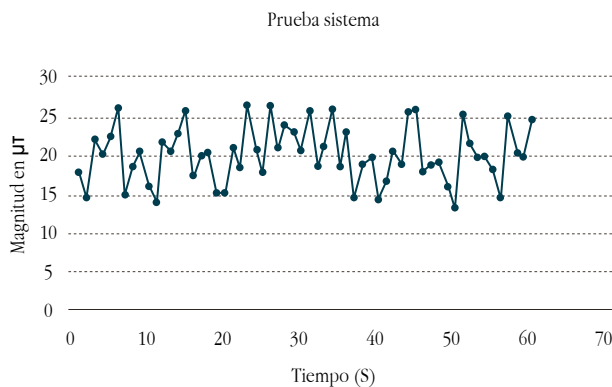
Resultados

El prototipo sensor terminado se muestra en la Ilustración 10. A lo largo del proyecto se realizan diferentes mediciones según la metodología planteada, donde se logra evidenciar el comportamiento del prototipo del sensor frente al del equipo patrón, lo que posibilita como hacer seguimiento al comportamiento del prototipo en un ambiente controlado. El prototipo permite buscar la medición adecuada filtrando el ruido del exterior sin afectar la medición.

Ilustración 10. Prototipo Final funcional del sistema



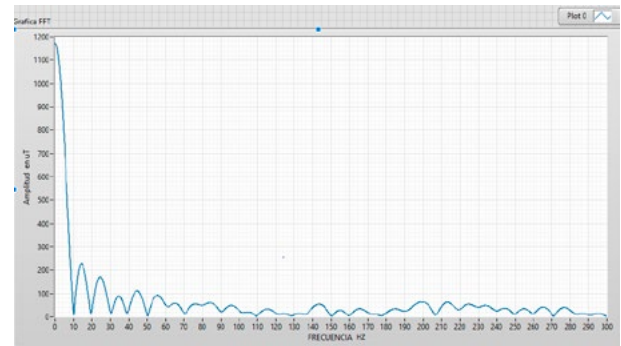
Ilustración 11. Densidad de flujo magnético en XYZ valor isotrópico



Al realizar las pruebas en el ambiente controlado con el prototipo, se obtuvo el resultado mostrado en la Ilustración 11. Se aprecia la magnitud en μT durante 70 segundos.

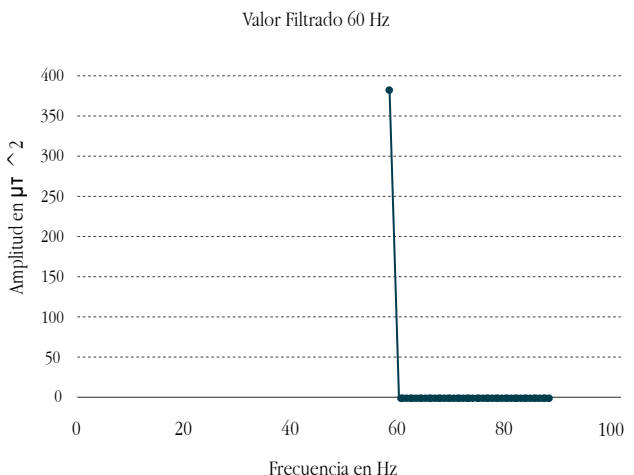
Se realiza la comparación del sensor con el equipo patrón, por lo tanto, se realiza la FFT de la señal a visualizar. La Ilustración 12 muestra los datos en el espectro de frecuencia. Este formato brinda una mejor visualización de los datos. Así se logra comparar los resultados obtenidos por el Prototipo y el equipo Patrón.

Ilustración 12. Frecuencias extremadamente bajas prototipo



Con lo anterior, se obtienen mediciones comparables con el equipo patrón Aaronia NF 5030, dado que los datos se obtienen con la misma metodología de medición. En la Ilustración 13 se determina el valor de densidad de flujo magnético en 60 Hz.

Ilustración 13. Valor de densidad de flujo Magnético a 60Hz



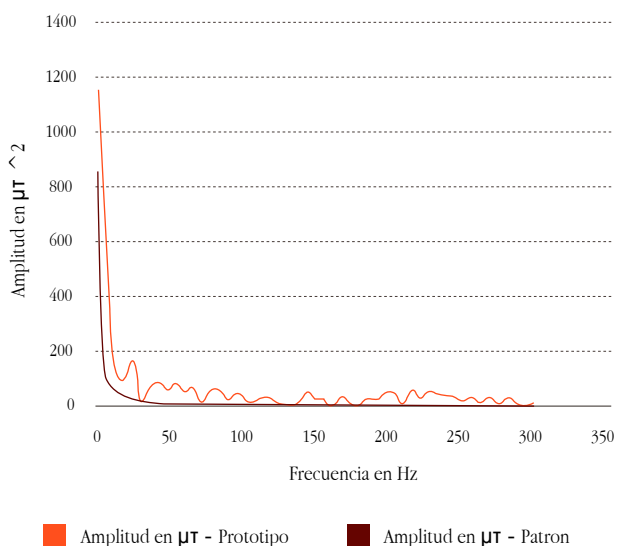
Ahora bien, la siguiente gráfica fue generada por el equipo patrón Aaronita NF 5030 usando la metodología de medición mostrada anteriormente.

Ilustración 14. Frecuencias extremadamente bajas Aaronita NF 5030



Con los anteriores procedimientos, se procede a realizar mediciones con nuestro sensor y con el equipo patrón. El resultado de las mediciones se evidencia en la Ilustración 15. Se puede ver como las gráficas longitudinales en la frecuencia muestran la misma tendencia. La FASE II de este proyecto, permitirá validar la inferencia estadística que determina si las diferencias entre los resultados obtenidos son estadísticamente significativas.

Ilustración 15. Comparación Prototipo Vs Equipo Patrón



Discusión

Dado que el objetivo de este estudio es proponer una metodología para realizar mediciones de radiación electromagnética de frecuencias extremadamente bajas, se realiza una prueba piloto con el fin de implementar la metodología propuesta. Como resultado de esta prueba piloto se obtiene la Ilustración 15. Se puede observar la similitud de las mediciones realizadas con el equipo patrón frente a las mediciones realizadas con el prototipo diseñado. Esta gráfica deja ver que es muy probable que la metodología planteada, permita realizar mediciones de radiaciones electromagnéticas en frecuencias extremadamente bajas.

Estudios posteriores permitirán validar los diseños propuestos y confirmar la validez de la metodología propuesta.

Conclusiones

Como consecuencia de lo expuesto, se logró realizar una comparación entre el prototipo de medición y el equipo patrón NF-5030. Se logró visualizar los datos obtenidos por el prototipo de tal manera, que se lograron las mismas unidades para poder graficarlos en el mismo eje de coordenadas, lo que permite tener una comparación cualitativa de los resultados.

De igual forma, se logró diseñar un prototipo de medición que nos permite verificar los niveles de radiación de densidad de flujo magnético en las frecuencias extremadamente bajas, en el rango de 1 Hz a 300 Hz en un ambiente controlado.

En relación a lo antes expuesto, se diseñó y probó la metodología de medición que nos permitió realizar medidas de densidad de flujo magnético, de tal manera, que se pudiera establecer un procedimiento para la obtención de un óptimo resultado.

De otro lado, se realizó una red de sensores punto a punto escalable, la cual hace que el prototipo sea portable y que genere una mayor facilidad en la toma de datos de un dispositivo de radiación, ya que en pruebas de campo difícil acceso, es de gran ayuda poder obtener una medida precisa y así efectuar el monitoreo de diferentes equipos de radiación en un menor tiempo.

En base a los límites de exposición ocupacional expuestos por la norma ICNIRP, se logró evidenciar que en un ambiente controlado los equipos no generan un riesgo, ya que no sobrepasan los límites expuesto en la normatividad.

Bibliografía

- [1] o. m. d. l. salud, “¿Qué son los campos electromagnéticos?” who, [Online]. Available: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/es/>. [Accessed 18 octubre 2018].
- [2] I. C. O. N.-I. R. PROTECTION, “RECOMENDACIONES PARA LIMITAR LA EXPOSICION A CAMPOS ELÉCTRICOS, MAGNETICOS Y,” ICNIRP, Alemania, 2017.
- [3] O. m. d. l. salud, “Campos electromagnéticos y salud pública,” junio 2007. [Online]. Available: <http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs322/es/>. [Accessed 22 octubre 2018].
- [4] o. m. d. salud, “Campos electromagnéticos (CEM),” [Online]. Available: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/es/>. [Accessed 7 noviembre 2017].
- [5] J. O. Ferrís i Tortajada, “Efectos en la salud pediátrica de la radiación,” *Revista española de pediatría*, vol. 1, p. 11, 2010.
- [6] f. o. environment, “Glosario: Campo Electromagnético (CEM),” *Facts on Health and the*, [Online]. Available: <https://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/campo-electromagnetico.htm>. [Accessed 23 nov 2017].
- [7] J. C. Mungía, “Academia de fisica,” *CONCEPTO DE CAMPO ELÉCTRICO - FISICA*, 2010. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/fisicacbtis162/services/2-2-1-concepto-de-campo-electrico>. [Accessed 12 noviembre 2017].
- [8] T. Wayne, “Sistemas de comunicaciones electrónicas,” *mexico*, prentice hall, 2003, p. 190.
- [9] R. Consuelo, “Los campos electromagnéticos de,” *Rev cubana de epidemiología*, vol. 52, no. 2, p. 4, 2014.
- [10] G. d. Córdoba, “efectos sobre la salud humana de los campos magnéticos y,” *junta de andalucia*, 2010.3.
- [11] A. N. NATUREZA, “Los campos electromagnéticos y la salud pública: las frecuencias,” *ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DA*, 2017. [Online]. Available: <http://www.quercus.pt/estudosradiacoes/2931-los-campos-electromagneticos-y-la-salud-publica-las-frecuenciasextremadamente-bajas-elf/>. [Accessed 2 noviembre 2017].
- [12] o. m. d. l. salud, “Campos electromagnéticos y salud pública,” [Online]. Available: <http://www.who.int/pehemf/publications/facts/fs322/es/>. [Accessed 12 noviembre 2017]

Los Autores



Libardo José Munévar Munévar

Estudios de Maestría en Ingeniería Electrónica en Pontificia Universidad Javeriana, Especialista en Pedagogía y Docencia Universitaria de la Universidad San Buenaventura, Ingeniero Electrónico universidad Distrital Francisco José de Caldas, Ingeniero Electricista. Universidad Nacional de Colombia. Experiencia como Docente universitario en Universidad El Bosque y otras instituciones de Bogotá. Participación en grupos de investigación y dirección de proyectos de grado. Desempeño profesional en proyectos de la industria de petróleo y gas y de acueductos como especialista de Instrumentación y Control, diseñador de soluciones energéticas utilizando energías alternativas fotovoltaicas y eólicas, asesor en proyectos de eficiencia energética, diseñador de sistemas de comunicaciones para proyectos de construcción de obras. interés en temas de Automatización basadas en industria 4.0, IoT, vehículos autónomos, procesamiento de Automatización basadas en industria 4.0, IoT, vehículos autónomos, procesamiento de imágenes, efectos de las bajas frecuencias.



Carlos Andres Parrado Paiba

Ingeniero Electrónico Universidad el Bosque
cparrado@unbosque.edu.co



Juan Carlos Lizarazo

Ingeniero Electrónico Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Magíster en Fisiología Universidad Nacional de Colombia, Especialista en docencia Universitaria. Docente investigador Universidad El Bosque, Ingeniero Eléctrico Universidad de los Andes Magíster en Ingeniería Eléctrica Universidad de los Andes, Docente Investigador Universidad El Bosque.



Sabogal G., Ernesto

Ingeniero Eléctrico con Maestría Ingeniería Eléctrica , experiencia en investigación de frecuencias y campos electromagnéticos.