



# **Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

## **Diseño e implementación de un sistema prototipo de bajo costo para el monitoreo continuo de los niveles de campo eléctrico generado por las estaciones base de telefonía móvil en las bandas de 850 y 1900 mhz**

### **TESIS**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

### **AUTOR**

Marco Antonio QUISPE CHOQUEHUANCA

### **ASESOR**

Milton RÍOS JULCAPOMA

Lima, Perú

2015

## RESUMEN

Existe preocupación en la población por los efectos negativos que puedan ocasionar las emisiones de radiofrecuencias de las estaciones base de telefonía móvil en la salud de las personas. Esto genera movimientos de protesta que se oponen a la instalación de dicho tipo de infraestructura. Todo ello a pesar de que se ha demostrado a través de diversas campañas de medición que los niveles alcanzados por estas emisiones son muy bajos cuando se les compara con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por la Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones No Ionizantes (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* – ICNIRP), los cuales han sido adoptados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) del Perú. Esto se contrapone con la necesidad por parte de las operadoras de telefonía móvil de instalar una mayor cantidad de infraestructura que le permita ampliar la cobertura de la red y mejorar su capacidad de tal manera que pueda brindar mejores servicios a sus clientes (población en general). En ese sentido, de acuerdo al MTC, hay un déficit de cerca de 14000 estaciones base de telefonía móvil que debe ser cubierto para el año 2016 con el objetivo de satisfacer la demanda creciente por el uso del servicio de telefonía móvil y de aplicaciones de banda ancha.

Esta situación no sólo se da en el Perú, sino también en otros países como Brasil, Argentina, España, Grecia e Italia, sólo por mencionar algunos casos. Debido a ello, en dichos países, entre otras medidas, se ha realizado el despliegue de sistemas de monitoreo continuo de los niveles de intensidad de campo eléctrico generados por las estaciones base de telefonía móvil con el fin de verificar que no se sobrepasen los niveles LMP de radiaciones no ionizantes (RNI), buscando de esta manera disminuir la percepción de riesgo de las personas y su resistencia a la instalación de infraestructura de telecomunicaciones.

Los sistemas de monitoreo continuo disponibles en el mercado son muy confiables y presentan una gran cantidad de funcionalidades (amplio rango de frecuencias de operación, función de medición selectiva, sistema de energía alternativa con elementos de alto rendimiento, arreglo de antenas para conseguir mediciones isotrópicas, software de configuración con muchas opciones, etc.), sin embargo, son relativamente caros por lo que no es posible realizar el despliegue de una gran cantidad de ellos. Ello impide que se puedan lograr coberturas significativas. Esta situación se repetirá en el Perú dado que recientemente el MTC ha dado a

conocer la intención de adquirir varios medidores de RNI para implementar un sistema de monitoreo continuo.

A pesar de que es bien conocido que no son los mayores contribuyentes de radiación no ionizante artificial, las personas se preocupan fundamentalmente por la presencia de estaciones base de telefonía móvil.

Así, en el presente documento se describe el desarrollo de un sistema prototipo de bajo costo para el monitoreo de la intensidad de campo eléctrico generada por las estaciones base de telefonía móvil en las bandas de 850 y 1900 MHz. Este sistema puede servir para implementar redes de monitoreo en zonas desatendidas por el sistema de monitoreo que el MTC desplegará en el país, ampliando así el alcance de su beneficio.

El sistema desarrollado es básicamente una red inalámbrica compuesta por nodos sensores de intensidad de campo eléctrico y nodos repetidores, todos con interface de radio ZigBee y perfectamente sincronizados, una topología mallada con mecanismo de encaminamiento dinámico, un nodo interface ZigBee/IP o Gateway así como una plataforma web para la gestión, el almacenamiento y la difusión de los datos adquiridos por el sistema. Los nodos sensores y repetidores pueden obtener su energía por medio de un sistema fotovoltaico por lo que son autónomos. Se propone el despliegue de una red propia para evitar los costos de operación asociados a sistemas de monitoreo comerciales (uso del servicio de telefonía móvil para el envío de los valores medidos a un servidor).

Luego de realizadas pruebas en el laboratorio y en el campo se obtuvieron resultados satisfactorios en cuanto a la exactitud en la medición de la intensidad de campo eléctrico, al rendimiento del sistema fotovoltaico diseñado así como del rendimiento de la red de comunicación desplegada.

En el primer capítulo de este documento se presenta la situación problemática, se plantea la hipótesis del trabajo de investigación así como los objetivos que se buscan alcanzar. Asimismo se limita el alcance del trabajo y se listan los recursos materiales y los servicios utilizados. Finalmente se presenta una descripción general del sistema propuesto.

En el segundo capítulo se presenta el marco teórico considerado para el desarrollo del trabajo por lo que se brindan aspectos técnicos relacionados con las RNI y la metodología para su evaluación, se realiza un estudio de dispositivos y circuitos detectores de potencia de radiofrecuencia (RF) existentes, se detallan aspectos relacionados con la tecnología de comunicación ZigBee así como de sistemas de generación fotovoltaicos aislados y su dimensionamiento.

En el tercer capítulo se presenta en detalle el diseño y el desarrollo de todos los elementos del sistema (hardware y software) así como el procedimiento establecido para obtener el factor de conversión de potencia a intensidad de campo eléctrico que permita que los nodos sensores puedan realizar mediciones de RNI.

En el cuarto capítulo se presentan los resultados obtenidos luego de pruebas realizadas al nodo sensor de intensidad de campo eléctrico, a una red ZigBee establecida y al sistema de energía fotovoltaica de los nodos de la red. Luego se presentan conclusiones y recomendaciones de mejoras que se pueden realizar al sistema propuesto.

Finalmente, este documento contiene anexos en los que se presenta la lista de componentes utilizados para implementar los nodos de la red así como sus costos, la lista de los elementos necesarios para implementar desde cero el sistema de monitoreo (los que son distribuidos en una memoria USB al usuario final) y un procedimiento para recuperar memorias SD luego de que sean utilizadas en el sistema de monitoreo.