

# Mediciones Espaciales en la Banda de Frecuencia de 944 MHz a 951 MHz en la ciudad de Riobamba

## Spatial Measurements in the Frequency Band from 944 MHz to 951 MHz in the city of Riobamba

Pedro Severo Infante Moreira\*, Jordan Sebastián Huilca Logroño†, Alexandra Macarena Flores Arroba‡, Daniela Rocío Carrasco Cayambe§ Fidel Gilart González¶,

Facultad de Informática y Electrónica, Departamento di Ingegneria Informatica, Modellistica, Elettronica e Sistemistica, Dipartimento di Ingegneria Informatica, Modellistica, Elettronica e Sistemistica, Inforc, Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado  
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH),

Universita della Calabria, Universita della Calabria, Inforc, Universidad de Oriente  
Riobamba, Ecuador. Rende, Italia. Rende, Italia. Quito, Ecuador. Santiago de Cuba, Cuba

Email: \*pinfante@esepoch.edu.ec, †hlcjdn94a08z605e@studenti.unical.it, ‡alexandra.flores@unical.it §d\_carrasco@outlook.com ¶fgg@uo.edu.cu

**Resumen—** Se realizó mediciones espaciales en un sector de la ciudad de Riobamba dividido en 46 nodos de medición, utilizando el equipo NARDA SRM-3000 y un soporte de madera que simula el modelo de la Familia Virtual de Duke. Con los datos obtenidos se procedió a determinar los valores de intensidad de campo eléctrico máximos, mínimos, promedios y desviación estándar para cada nodo de medición. Posteriormente, mediante el uso de la teoría de ondas planas se obtuvo los valores de intensidad de campo magnético y densidad de potencia con el fin de poder comparar dichos valores con las normativas internacionales vigentes de la UIT, específicamente en sus recomendaciones K.52 y K.61, que se basan en las normativas de la ICNIRP, y las vigentes en Ecuador reguladas por la ARCOTEL. Luego de recolectar, procesar y analizar los datos, éstos fueron tabulados en tres tablas, una por cada valor obtenido considerando Campo eléctrico, Campo Magnético y Densidad de Potencia; posteriormente se escogió el máximo valor numérico de cada una de las tres tablas para compararlo con las normativas UIT, ICNIRP y ARCOTEL. Se determinó que los valores tanto para intensidad de campo eléctrico, intensidad de campo magnético y densidad de potencia obtenidos de los 46 nodos de medición no sobrepasan los límites establecidos de las normativas antes mencionadas. Se recomienda que las mediciones espaciales se realicen de acuerdo con los parámetros que establecen las entidades reguladoras y que se realice el mismo procedimiento aplicado a distintas zonas de la ciudad de Riobamba. Los datos obtenidos en este artículo servirán para realizar otros estudios enfocados en determinar la SAR para cuerpo entero y a 10 gramos, y realizar un mapeo electromagnético del sector de medición de la ciudad de Riobamba.

**Palabras Clave—** Telecomunicaciones, Electromagnetismo, Mapeo, Ondas Electromagnéticas.

**Abstract—** Spatial measurements were made in a sector of the city of Riobamba divided into 46 measurement nodes, using the NARDA SRM-3000 equipment and a wooden support that simulates the Duke Virtual Family model. With the data obtained, the maximum, minimum, average and standard deviation electric

field intensity values were determined for each measurement node. Subsequently, by using the plane wave theory, the values of magnetic field intensity and power density were obtained in order to be able to compare these values with the current international regulations of the ITU, specifically in its recommendations K.52 and K.61, which are based on ICNIRP regulations, and those in force in Ecuador regulated by ARCOTEL. After collecting, processing and analyzing the data, these were tabulated in three tables, one for each value obtained considering Electric Field, Magnetic Field and Power Density; subsequently, the maximum numerical value of each of the three tables was chosen to compare it with the ITU, ICNIRP and ARCOTEL regulations. It was determined that the values for both electric field intensity, magnetic field intensity and power density obtained from the 46 measurement nodes do not exceed the limits established by the aforementioned regulations. It is recommended that the spatial measurements be carried out in accordance with the parameters established by the regulatory entities and that the same procedure applied to different areas of the city of Riobamba be carried out. The data obtained in this article will serve to carry out other studies focused on determining the SAR for the whole body and at 10 grams, and to carry out an electromagnetic mapping of the measurement sector of the city of Riobamba.

**Keywords—** Telecommunications, Electromagnetism, Mapping, Electromagnetic Waves.

### I. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de telecomunicaciones, hoy por hoy se han convertido en una necesidad palpable en la vida de toda la humanidad, tanto es así que se puede ver avances tecnológicos en este ámbito, prácticamente todos los días, como es el caso de comunicaciones inalámbricas, específicamente de las comunicaciones móviles, que día a día siguen sorprendiendo con sus adelantos tecnológicos [1-3].



Figura 1. Ubicación de la zona céntrica de Riobamba con los 46 nodos de medicinas.

Ya no genera asombro ver como las compañías que prestan servicios de telecomunicaciones o similares, poco a poco van poblando ciudades enteras con antenas, estaciones móviles, radio bases, etc., en todas las ciudades del Ecuador, e inclusive intentan resolver la problemática de la comunicación en sectores rurales, y como consecuencia, el aumento masivo de estos diversos aparatos tecnológicos que se está experimentando actualmente [4-6].

Debido a que todas estas tecnologías van en aumento, varios organismos internacionales establezcan normativas y límites para la exposición a las radiaciones electromagnéticas producidas por estas tecnologías. Organismos como la Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones No Ionizantes ICNIRP o la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, y localmente hablando, la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones ARCOTEL, han presentado reglamentaciones fijas sobre los niveles de radiación máximos a los que se debería trabajar, y más importante que eso, son los niveles a los que una persona promedio puede vivir sin ningún riesgo [7-8].

Por esta razón, en el presente trabajo de investigación se realizan mediciones espaciales sobre el modelo de Duke de la Familia Virtual correspondiente a la Fundación IT'IS de Suiza, que simula a una persona adulta, para realizar mediciones espaciales de la intensidad de campo eléctrico en la zona céntrica de la ciudad de Riobamba, tal como se muestra en la Fig. 1, producidos por las antenas transmisoras de estaciones base de celulares en la banda de frecuencias de 944 a 951 MHz, para comparar con los estándares de la ICNIRP, UIT y ARCOTEL.

## II. METODOLOGÍA

La metodología para seguir, para realizar las mediciones espaciales de las radiaciones electromagnéticas no ionizantes (RNI), se ha procedido con los pasos siguientes:

- 1) El equipo NARDA SRM-3000 fue colocado en un soporte de madera que simula el cuerpo de Duke de la

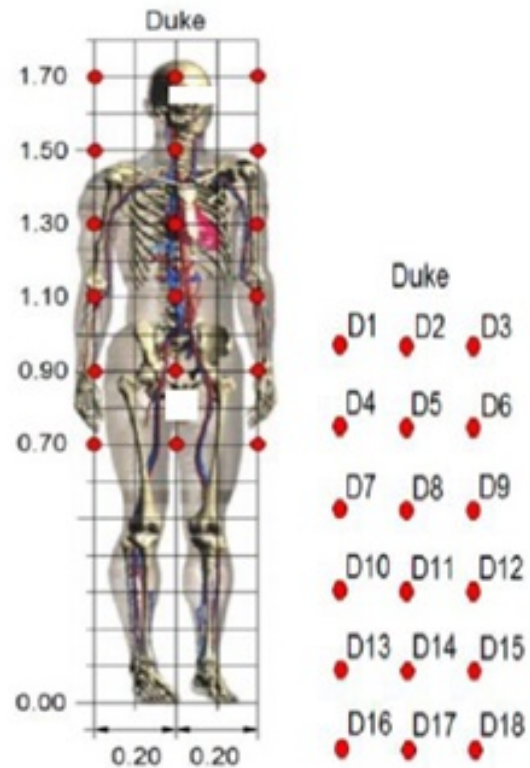


Figura 2. Ubicación de la zona céntrica de Riobamba con los 46 nodos de medicinas.

Familia Virtual, el cual emula al cuerpo de una persona promedio de 1,70m de altura.

- 2) Para evitar acoplamiento capacitivos en el equipo de medición, los nodos se tuvieron que ubicar a una distancia mínima de 20 cm de cualquier objeto.
- 3) Al encender el equipo NARDA SRM-3000 se establecieron todos sus valores en “cero”, para que no existan errores con alguna medición realizada anteriormente.
- 4) Cada punto de medición del modelo Duke (para una distribución de 18 o 14 puntos en total), fue medido cada 6 minutos y se obtuvieron los valores máximos, mínimos y promedio de la intensidad de campo eléctrico E.
- 5) Al finalizar las mediciones en los 18 puntos, se utilizó el equipo Garmin GPS para obtener las coordenadas del punto exacto en donde se realizaron dichas mediciones.
- 6) Una vez obtenido todos los valores deseados de los 46 nodos, se procedió a descargar la información que se encuentra en el equipo NARDA SRM-3000 en la hoja de cálculo Microsoft Excel, utilizando el software propio del equipo.



Figura 3. Equipo Narda SRM-3000 en el soporte de madera que simula a Duke, ubicado en el nodo 15, en las calles Primera Constituyente y Espejo.

- 7) Con los datos de Excel se procedió a obtener los valores: máximo, mínimo, media y desviación estándar, para cada punto de medición, utilizando este mismo software.
- 8) Con los valores de intensidad de campo eléctrico E, se obtuvieron los valores de intensidad de campo magnético H y densidad de potencia S para cada nodo de medición.
- 9) Se realizaron las gráficas del campo eléctrico, campo magnético y densidad de potencia con los valores máximos y promedios.
- 10) Los valores máximos tanto de intensidad de campo eléctrico E, intensidad de campo magnético H y densidad de potencia S, se compararon con las normativas vigentes de la UIT, ICNIRP y ARCOTEL.

Las mediciones se las realizó a la intensidad de campo eléctrico E, para lo cual se contó con el equipo Narda SRM-3000 y se ubicaron los puntos de medición geográficamente en el mapa a los cuales se les denominó nodos de medición que van desde el número 1 al número 46, tal y como se muestra en la Fig. 1.

Con el fin de evitar acoplamiento capacitivos, cada nodo se ubicó a una distancia mínima de 20 cm de algún objeto, principalmente metálico. El equipo NARDA SRM-3000 fue colocado en un soporte de madera como se muestra en la Fig. 3, que simula el cuerpo de Duke de la Familia Virtual de una persona promedio de 1,70 m de altura. Las mediciones espaciales del modelo Duke, se tomaron como referencia 18 puntos de medición [9].

Cada uno de los 18 puntos del modelo Duke, se midió cada 6 minutos de acuerdo con las normativas internacionales vigentes de la ICNIRP, obteniéndose los valores máximos y promedio de la intensidad de campo eléctrico E, en la banda de frecuencias de 945 a 951 MHz.

Tabla I  
VALORES DE E MÁXIMO, MÍNIMO, MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL PUNTO 1, CORRESPONDIENTE AL NODO 1

	Máximo [V/m]	Promedio [V/m]
E Máximo	0,007842	0,0061399
E Mínimo	0,0057299	0,0048778
E Media	0,006516144	0,005341522
E Des. Est.	0,000646922	0,000378499

Tabla II  
VALORES DE E MÁXIMO Y E PROMEDIO EN LOS 46 NODOS

Nodo	E max Máximo [V/m]	E max Promedio [V/m]	Nodo	E max Máximo [V/m]	E max Promedio [V/m]
1	6,55E-03	1,74E-05	24	5,90E-03	1,56E-05
2	6,93E-03	1,84E-05	25	5,89E-03	1,56E-05
3	1,14E-02	3,03E-05	26	6,10E-03	1,62E-05
4	6,92E-02	1,84E-04	27	7,69E-03	2,04E-05
5	2,04E-02	5,41E-05	28	9,11E-03	2,42E-05
6	7,78E-03	2,06E-05	29	1,07E-01	2,83E-04
7	6,24E-03	1,65E-05	30	2,25E-02	5,98E-05
8	5,68E-03	1,51E-05	31	6,20E-03	1,65E-05
9	5,97E-03	1,58E-05	32	6,13E-03	1,63E-05
10	5,90E-03	1,56E-05	33	5,89E-03	1,56E-05
11	5,29E-03	1,40E-05	34	6,78E-03	1,80E-05
12	5,42E-03	1,44E-05	35	1,07E-02	2,83E-05
13	6,01E-03	1,59E-05	36	9,37E-03	2,49E-05
14	5,95E-03	1,58E-05	37	5,53E-03	1,47E-05
15	6,27E-03	1,66E-05	38	5,69E-03	1,51E-05
16	6,36E-03	1,69E-05	39	5,49E-03	1,46E-05
17	6,66E-03	1,77E-05	40	6,53E-03	1,73E-05
18	7,80E-03	2,07E-05	41	6,81E-03	1,81E-05
19	5,86E-03	1,56E-05	42	5,79E-03	1,53E-05
20	6,03E-03	1,60E-05	43	5,71E-03	1,51E-05
21	5,61E-03	1,49E-05	44	5,67E-03	1,50E-05
22	5,83E-03	1,55E-05	45	5,55E-03	1,47E-05
23	1,02E-02	2,71E-05	46	1,35E-02	3,58E-05

Las mediciones se procuraron realizar en las esquinas de las cuadras de la zona céntrica de la ciudad de Riobamba con el fin de mantener un orden, como se puede ver en la Fig. 3.

En el momento de finalizar las mediciones, se utilizó el equipo Garmin GPS para obtener el nodo exacto georreferenciado en donde se realizaron las mediciones. Una vez obtenidas todas las mediciones en los 46 nodos, se descargó la información del equipo NARDA SRM-3000 en un documento de Microsoft Excel, utilizando el software propio del equipo.

Posteriormente con los datos extraídos y teniendo en cuenta el concepto de ondas planas, se procedió a determinar los valores de la intensidad de campo magnético H y densidad de potencia S. A partir de estos 3 resultados se obtuvo también los valores: máximos, mínimos, media y desviación estándar para cada nodo de medición, utilizando Microsoft Excel y sus

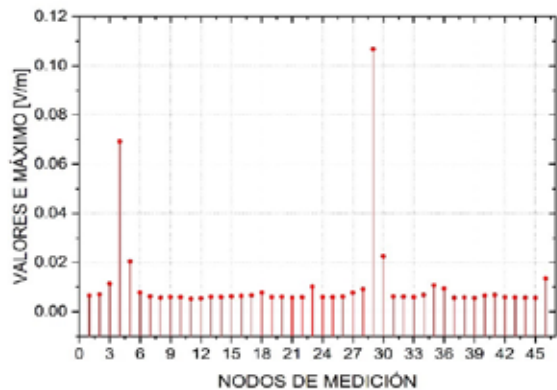


Figura 4. Valores de Campo Eléctrico Máximo en cada nodo de medición

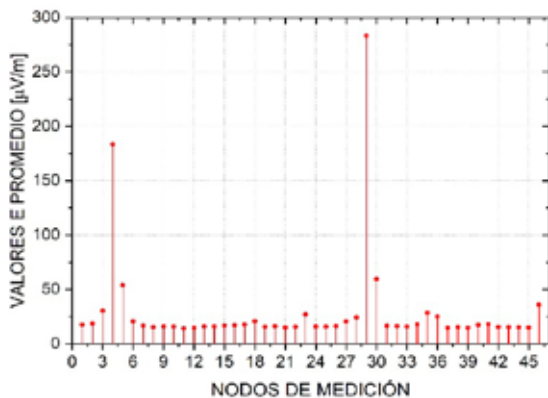


Figura 5. Valores de Campo Electrico Promedio en cada nodo de medición

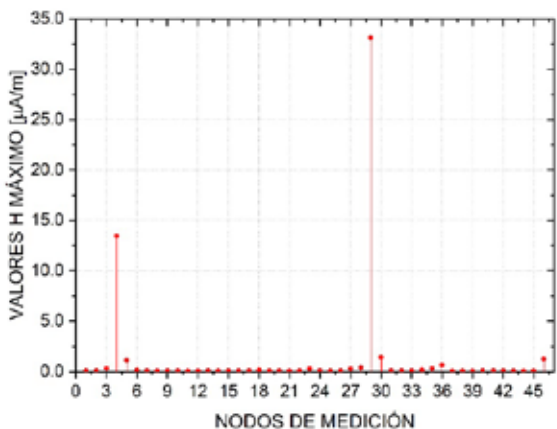


Figura 6. Valores de Campo Magnético Máximo en cada nodo calculado

fórmulas. La Tabla I muestra como ejemplo, los resultados del punto 1 para el primer nodo de medición, y se aplicó el mismo método para los 45 nodos restantes.

Se aplicó la media cuadrática con los 18 puntos medidos

Tabla III  
VALORES DE H MÁXIMO Y H PROMEDIO EN LOS 46 NODOS

Nodo	E max Máximo [V/m]	E max Promedio [V/m]	Nodo	E max Máximo [V/m]	E max Promedio [V/m]
1	1,16E-07	5,35E-03	24	1,18E-07	4,44E-03
2	1,28E-07	5,60E-03	25	9,51E-08	4,92E-03
3	3,48E-07	8,49E-03	26	1,11E-07	4,95E-03
4	1,35E-05	5,41E-02	27	2,97E-07	4,98E-03
5	1,14E-06	1,57E-02	28	4,31E-07	5,59E-03
6	1,67E-07	6,41E-03	29	3,32E-05	6,59E-02
7	1,07E-07	4,98E-03	30	1,44E-06	1,46E-02
8	8,58E-08	4,87E-03	31	1,14E-07	4,86E-03
9	9,65E-08	6,04E-03	32	1,16E-07	4,95E-03
10	9,32E-08	6,61E-03	33	9,72E-08	4,88E-03
11	7,47E-08	5,83E-03	34	1,57E-07	5,02E-03
12	7,80E-08	5,04E-03	35	3,55E-07	6,94E-03
13	1,08E-07	4,85E-03	36	6,55E-07	4,89E-03
14	9,43E-08	5,10E-03	37	8,14E-08	4,75E-03
15	1,13E-07	4,95E-03	38	8,66E-08	4,89E-03
16	1,08E-07	5,20E-03	39	8,01E-08	4,66E-03
17	1,23E-07	5,25E-03	40	1,34E-07	4,88E-03
18	1,65E-07	5,97E-03	41	1,25E-07	5,58E-03
19	9,15E-08	5,02E-03	42	8,99E-08	4,82E-03
20	9,66E-08	5,11E-03	43	8,87E-08	4,84E-03
21	8,39E-08	4,90E-03	44	8,55E-08	4,93E-03
22	9,03E-08	4,99E-03	45	8,19E-08	4,83E-03
23	2,92E-07	7,10E-03	46	1,24E-06	4,95E-03

para cada nodo, obteniendo un único valor en cada nodo. Todos los valores de intensidad de campo eléctrico máximo (Emax maximo) y promedio (Emax promedio) de los 46 nodos se pueden visualizar en la Tabla II.

Utilizando los valores de la Tabla II, se grafica la intensidad de campo eléctrico E máximo y promedio en cada uno de los 46 nodos, como se muestra en las Fig. 4 y Fig. 5, respectivamente.

De igual manera, se aplicó la media cuadrática con los 18 puntos calculados para cada nodo, obteniéndose un único valor de campo magnético en cada nodo. Todos los valores de intensidad de campo magnético máximo (Hmax maximo) y promedio (Hmax promedio) de los 46 nodos se pueden visualizar en la Tabla III.

Utilizando los valores de la Tabla III, se grafica la intensidad de campo magnético H máximo y promedio en cada uno de los 46 nodos, como se muestra en la Fig. 6 y Fig. 7, respectivamente.

Utilizando los valores de la Tabla IV, se grafica la densidad de potencia S máximo y promedio en cada uno de los 46 nodos, como se muestra en la Fig.8 y Fig. 9, respectivamente.

De igual manera, se aplicó la media cuadrática con los 18 puntos calculados para cada nodo, obteniéndose un único valor de densidad de potencia en cada nodo. Todos los



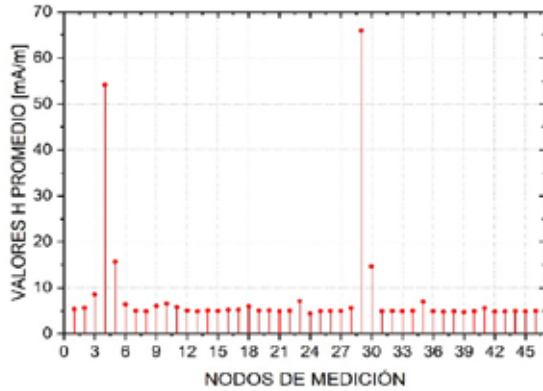


Figura 7. Valores de Campo Magnético Promedio en cada nodo calculado

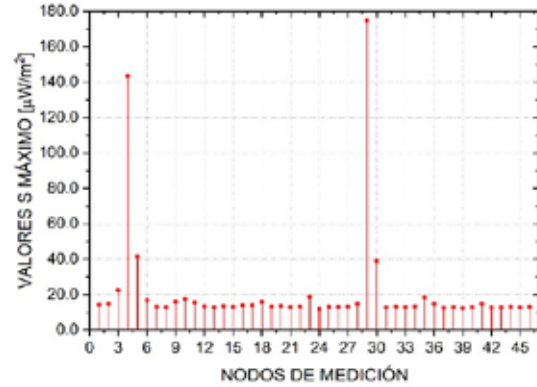


Figura 8. Valores de Densidad de Potencia Máxima en cada nodo calculado

Tabla IV  
VALORES DE S MÁXIMA Y S PROMEDIO EN LOS 46 NODOS

Nodo	S max Máximo [A/m]	S max Promedio [A/m]	Nodo	S max Máximo [A/m]	S max Promedio [A/m]
1	1,42E-05	7,68E-08	24	1,18E-05	5,61E-08
2	1,49E-05	8,37E-08	25	1,30E-05	6,43E-08
3	2,25E-05	2,00E-07	26	1,31E-05	6,50E-08
4	1,44E-04	8,97E-06	27	1,32E-05	6,58E-08
5	4,16E-05	6,91E-07	28	1,48E-05	8,40E-08
6	1,70E-05	1,11E-07	29	1,75E-04	1,34E-05
7	1,32E-05	6,60E-08	30	3,89E-05	6,04E-07
8	1,29E-05	6,30E-08	31	1,29E-05	6,27E-08
9	1,60E-05	1,27E-07	32	1,31E-05	6,52E-08
10	1,75E-05	1,60E-07	33	1,29E-05	6,33E-08
11	1,55E-05	9,05E-08	34	1,33E-05	6,68E-08
12	1,34E-05	6,75E-08	35	1,84E-05	1,42E-07
13	1,29E-05	6,24E-08	36	1,49E-05	1,17E-07
14	1,35E-05	6,91E-08	37	1,26E-05	5,99E-08
15	1,31E-05	6,49E-08	38	1,30E-05	6,36E-08
16	1,38E-05	7,21E-08	39	1,23E-05	5,90E-08
17	1,39E-05	7,34E-08	40	1,30E-05	6,33E-08
18	1,58E-05	9,62E-08	41	1,48E-05	8,36E-08
19	1,33E-05	6,71E-08	42	1,28E-05	6,16E-08
20	1,36E-05	6,95E-08	43	1,28E-05	6,23E-08
21	1,30E-05	6,37E-08	44	1,31E-05	6,47E-08
22	1,32E-05	6,61E-08	45	1,28E-05	6,23E-08
23	1,88E-05	1,40E-07	46	1,31E-05	6,53E-08

valores de la densidad de potencia máximo (Smax maximo) y promedio (Smax promedio) de los 46 nodos se pueden visualizar en la Tabla IV.

Posteriormente, se realizó el mismo procedimiento con el modelo de Duke con una distribución de 14 puntos, tal como se muestra en la Fig. 10.

De igual manera que con el modelo de 18 puntos, se aplicó la media cuadrática con los 14 puntos medidos para cada nodo, obteniéndose un único valor en cada nodo. Todos los valores de intensidad de campo eléctrico máximo (Emax

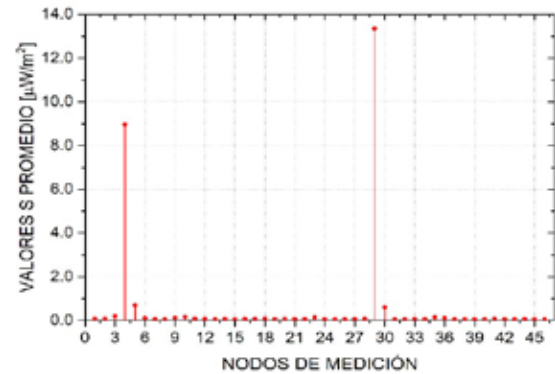


Figura 9. Valores de Densidad de Potencia Máxima en cada nodo calculado

maximo) y promedio (Emax promedio) de los 46 nodos se pueden visualizar en la Tabla V. Las Fig. 11 y Fig. 12 muestran el comportamiento de estos datos.

Así mismo, para los valores de intensidad de campo magnético H máximo y promedio de los 46 nodos se pueden visualizar en la Tabla VI, utilizando estos valores, se grafica la intensidad de campo magnético H máximo y promedio en cada uno de los 46 nodos, como se muestra en las Fig. 13 y Fig. 14, respectivamente.

Los valores de densidad de potencia S máximo y promedio de los 46 nodos se pueden visualizar en la Tabla VII, utilizando estos valores, se grafica la densidad de potencia S máximo y promedio en cada uno de los 46 nodos, como se muestra en las Fig. 15 y Fig. 16, respectivamente.

### III. RESULTADOS

Una vez realizado todo el proceso de obtención de datos máximos y promedios para el modelo de Duke con una distribución de 18 puntos, se realizó un promedio de todos los valores obtenidos tanto para campo eléctrico, campo magnético y densidad de potencia máximo y

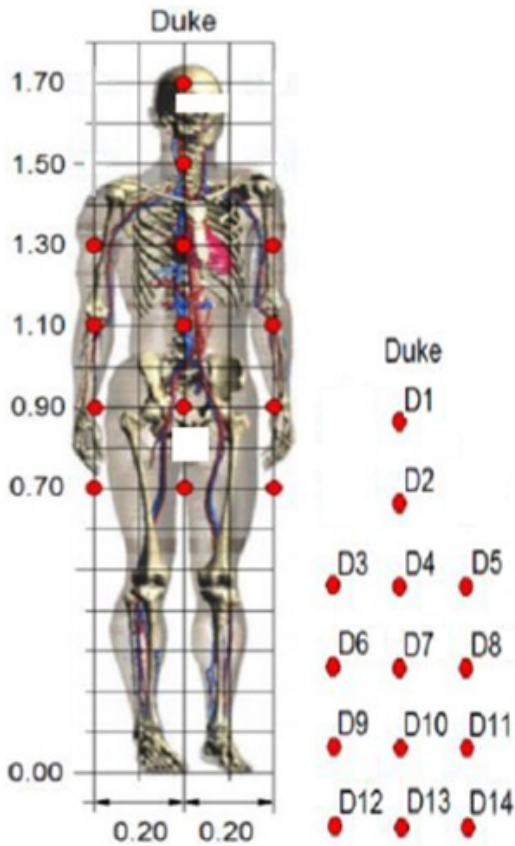


Figura 10. Modelo Duke de la Fundación IT'IS de suiza con 14 puntos de medición

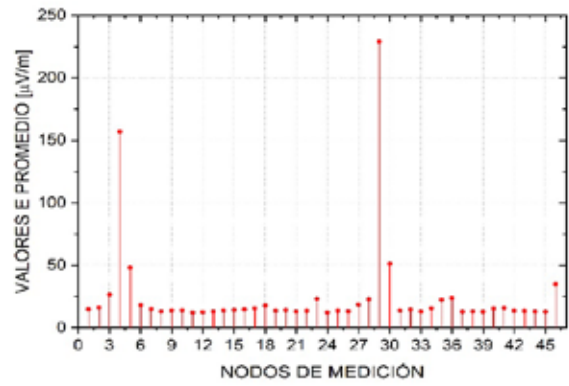


Figura 12. Valores de Campo Electrico Promedio en cada nodo calculado

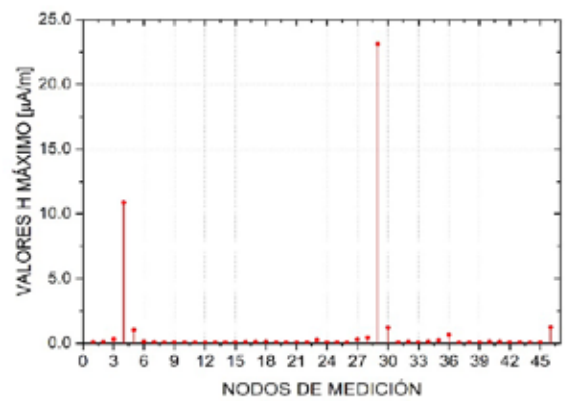


Figura 13. Valores de Campo Magnético Máximo en cada nodo calculado

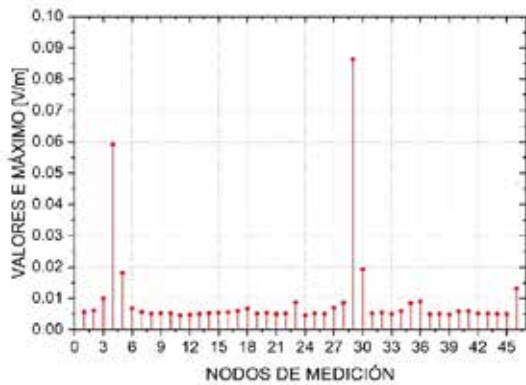


Figura 11. Valores de Campo Electrico Máximo en cada nodo calculado

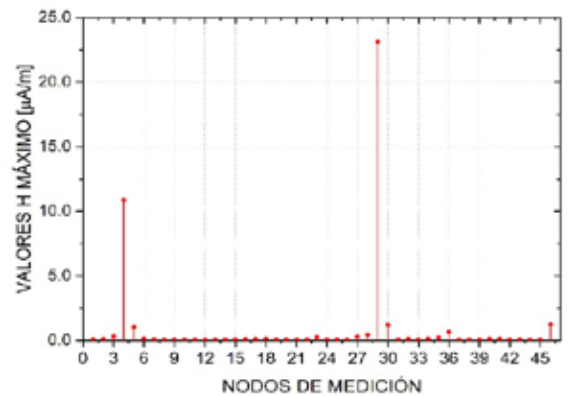


Figura 14. Valores de Campo Magnético Máximo en cada nodo calculado

promedio,mostrándose los resultados en la Tabla VIII.

De la misma manera se realizó el procedimiento con el modelo de Duke con una distribución de 14 puntos, como se muestra en la Tabla IX.

Posteriormente, se procedió a realizar la respectiva comparación de los datos obtenidos con el modelo de Duke de 18 puntos, junto con los límites que la ICNIRP dispone,

límites que también acoge la UIT y de la misma manera la ARCOTEL, encontrando estas diferencias bien delimitadas tal y como se observan en las Tablas X, XI y XII.

Al realizar la comparación de los datos obtenidos con el modelo de Duke de 14 puntos, junto con los límites que la ICNIRP dispone, límites que también acoge la UIT y de la misma manera la ARCOTEL, encontrando estas diferencias

Tabla V  
VALORES DE E MÁXIMA Y E PROMEDIO EN LOS 46 NODOS

Nodo	S max Máximo [A/m]	S max Promedio [A/m]	Nodo	S max Máximo [A/m]	S max Promedio [A/m]
1	5,65E-03	1,50E-05	24	4,60E-03	1,22E-05
2	6,15E-03	1,63E-05	25	5,16E-03	1,37E-05
3	9,99E-03	2,65E-05	26	5,04E-03	1,34E-05
4	5,92E-02	1,57E-04	27	7,03E-03	1,86E-05
5	1,81E-02	4,81E-05	28	8,61E-03	2,28E-05
6	6,88E-03	1,82E-05	29	8,64E-02	2,29E-04
7	5,61E-03	1,49E-05	30	1,93E-02	5,12E-05
8	5,03E-03	1,33E-05	31	5,22E-03	1,38E-05
9	5,23E-03	1,39E-05	32	5,53E-03	1,47E-05
10	5,25E-03	1,39E-05	33	4,98E-03	1,32E-05
11	4,60E-03	1,22E-05	34	5,95E-03	1,58E-05
12	4,78E-03	1,27E-05	35	8,46E-03	2,25E-05
13	4,96E-03	1,32E-05	36	8,99E-03	2,38E-05
14	5,21E-03	1,38E-05	37	4,92E-03	1,31E-05
15	5,35E-03	1,42E-05	38	5,03E-03	1,33E-05
16	5,59E-03	1,48E-05	39	4,87E-03	1,29E-05
17	5,96E-03	1,58E-05	40	5,87E-03	1,56E-05
18	6,75E-03	1,79E-05	41	6,01E-03	1,59E-05
19	5,14E-03	1,36E-05	42	5,13E-03	1,36E-05
20	5,33E-03	1,41E-05	43	5,12E-03	1,36E-05
21	4,96E-03	1,32E-05	44	4,99E-03	1,32E-05
22	5,13E-03	1,36E-05	45	4,91E-03	1,30E-05
23	8,71E-03	2,31E-05	46	1,32E-02	3,50E-05

Tabla VI  
VALORES DE E MÁXIMA Y E PROMEDIO EN LOS 46 NODOS

Nodo	S max Máximo [A/m]	S max Promedio [A/m]	Nodo	S max Máximo [A/m]	S max Promedio [A/m]
1	9,75E-08	4,62E-03	24	6,75E-08	3,74E-03
2	1,14E-07	4,96E-03	25	8,26E-08	4,32E-03
3	3,02E-07	7,16E-03	26	7,63E-08	4,39E-03
4	1,09E-05	4,44E-02	27	2,91E-07	4,38E-03
5	1,02E-06	1,37E-02	28	4,28E-07	5,00E-03
6	1,47E-07	5,63E-03	29	2,31E-05	5,50E-02
7	9,90E-08	4,42E-03	30	1,22E-06	1,26E-02
8	7,61E-08	4,31E-03	31	8,32E-08	4,29E-03
9	8,32E-08	5,47E-03	32	1,09E-07	4,34E-03
10	8,40E-08	5,50E-03	33	7,47E-08	4,31E-03
11	6,39E-08	5,10E-03	34	1,42E-07	4,44E-03
12	6,87E-08	4,45E-03	35	2,31E-07	5,62E-03
13	7,42E-08	4,29E-03	36	6,54E-07	4,33E-03
14	8,19E-08	4,43E-03	37	7,30E-08	4,19E-03
15	9,03E-08	4,33E-03	38	7,69E-08	4,33E-03
16	9,47E-08	4,57E-03	39	7,14E-08	4,07E-03
17	1,12E-07	4,63E-03	40	1,26E-07	4,31E-03
18	1,40E-07	5,23E-03	41	1,10E-07	4,89E-03
19	7,96E-08	4,43E-03	42	8,01E-08	4,26E-03
20	8,58E-08	4,50E-03	43	8,10E-08	4,28E-03
21	7,45E-08	4,36E-03	44	7,50E-08	4,35E-03
22	7,92E-08	4,42E-03	45	7,27E-08	4,31E-03
23	2,42E-07	6,01E-03	46	1,24E-06	4,38E-03

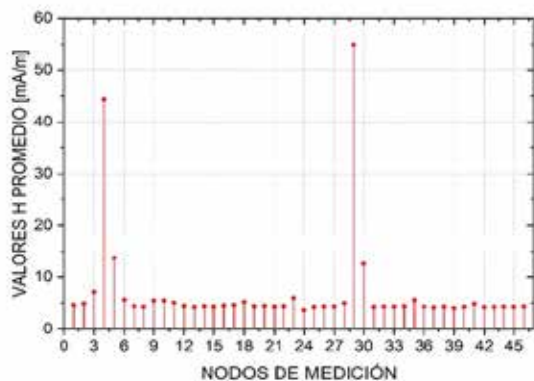


Figura 15. Valores de Campo Magnético Promedio en cada nodo calculado

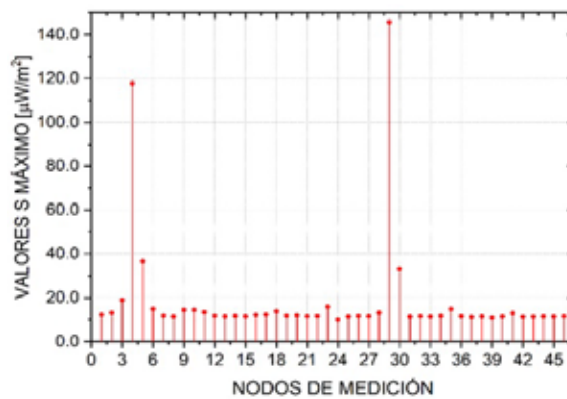


Figura 16. Valores de Densidad de Potencia Máxima en cada nodo calculado

bien delimitadas tal y como se observan en las Tablas XIII, XIV y XV.

En las tablas expuestas se determina claramente que ninguno de los valores obtenidos de la de intensidad de campo eléctrico E, intensidad de campo magnético H y densidad de potencia S, tanto para sus valores máximos como para promedios, y como se puede notar, no se llegan a sobrepasar los límites establecidos por la ICNIRP.

#### IV. CONCLUSIONES

1. Al analizar los valores de intensidad de campo eléctrico medidos con el equipo Narda SRM-3000 en los 46 nodos de medición, se identificó que el nodo 29 ubicado en las calles Juan Larrea y Guayaquil, es el de mayor valor de intensidad de campo eléctrico, intensidad de campo magnético y densidad de potencia en la zona céntrica de la ciudad de Riobamba. Una de las causas puede ser que en ese instante de tiempo la demanda de tráfico por los usuarios fue mayor.

2. Todos los valores de la intensidad de campo eléctrico E, intensidad de campo magnético H y densidad de potencia S, están por debajo de los límites de las normativas

Tabla VII  
VALORES DE S MÁXIMA Y S PROMEDIO EN LOS 46 NODOS

Nodo	S max	S max	Nodo	S max	S max
	Máximo	Promedio		Máximo	Promedio
	[A/m]	[A/m]		[A/m]	[A/m]
1	1,23E-05	6,46E-08	24	9,92E-06	4,58E-08
2	1,32E-05	7,47E-08	25	1,15E-05	5,62E-08
3	1,90E-05	1,60E-07	26	1,17E-05	5,81E-08
4	1,18E-04	6,24E-06	27	1,16E-05	5,78E-08
5	3,64E-05	5,94E-07	28	1,33E-05	7,63E-08
6	1,49E-05	9,73E-08	29	1,46E-04	1,01E-05
7	1,17E-05	5,88E-08	30	3,33E-05	5,12E-07
8	1,14E-05	5,58E-08	31	1,14E-05	5,54E-08
9	1,45E-05	1,21E-07	32	1,16E-05	5,71E-08
10	1,46E-05	1,21E-07	33	1,14E-05	5,58E-08
11	1,35E-05	7,88E-08	34	1,18E-05	5,92E-08
12	1,18E-05	5,96E-08	35	1,49E-05	9,89E-08
13	1,14E-05	5,54E-08	36	1,15E-05	5,63E-08
14	1,18E-05	5,91E-08	37	1,11E-05	5,29E-08
15	1,15E-05	5,64E-08	38	1,15E-05	5,66E-08
16	1,21E-05	6,30E-08	39	1,08E-05	5,16E-08
17	1,23E-05	6,48E-08	40	1,14E-05	5,60E-08
18	1,39E-05	8,36E-08	41	1,30E-05	7,27E-08
19	1,17E-05	5,90E-08	42	1,13E-05	5,47E-08
20	1,19E-05	6,13E-08	43	1,14E-05	5,52E-08
21	1,16E-05	5,72E-08	44	1,15E-05	5,70E-08
22	1,17E-05	5,87E-08	45	1,14E-05	5,61E-08
23	1,59E-05	1,12E-07	46	1,16E-05	5,80E-08

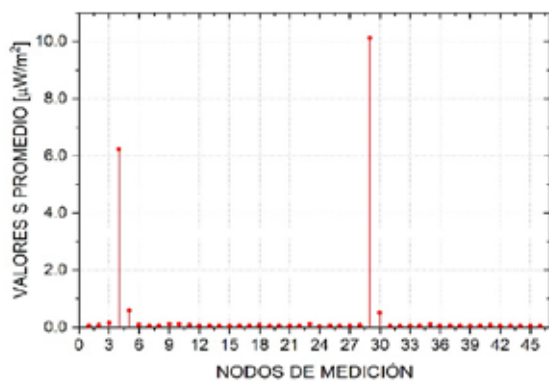


Figura 17. Valores de Densidad de Potencia Promedio en cada nodo calculado

Tabla VIII  
VALORES PROMEDIADOS DE E, H Y S CON 18 PUNTOS

Valor Medio			
Tipo de Dato	E [V/m]	H [A/m]	S [W/m²]
Máximo	1,10E-02	1,23E-06	2,16E-05
Promedio	2,91E-05	8,12E-03	5,87E-07

internacionales ICNIRP y UIT, y de las normativas nacionales (Ecuador) de la ARCOTEL.

Tabla IX  
VALORES PROMEDIADOS DE E, H Y S CON 14 PUNTOS

Valor Medio			
Tipo de Dato	E [V/m]	H [A/m]	S [W/m²]
Máximo	9,4532E-03	9,2970E-07	1,8511E-05
Promedio	2,5075E-05	6,9784E-03	4,4228E-07

Tabla X  
COMPARACIÓN DEL E (18 PUNTOS) CON LAS NORMATIVAS

Nodo	Valor	E max máximo [V/m]	E max Promedio [V/m]	Rango limite Normativas [V/m]
29	Máximo	1,07E-01	2,83E-04	42,24 - 42,4
11	mínimo	5,29E-03	1,40E-05	42,24 - 42,4

Tabla XI  
COMPARACIÓN DEL H (18 PUNTOS) CON LAS NORMATIVAS

Nodo	Valor	E max máximo [V/m]	E max Promedio [V/m]	Rango limite Normativas [V/m]
29	Máximo	3,32E-05	6,59E-02	0,113 - 0,114
11	mínimo	7,47E-08		0,113 - 0,114
24	mínimo		4,44E-03	0,113 - 0,114

Tabla XII  
COMPARACIÓN DEL S (18 PUNTOS) CON LAS NORMATIVAS

Nodo	Valor	S max máximo S [W/m²]	S max Promedio S [W/m²]	Rango limite Normativas S [W/m²]
29	Máximo	1,75E-04	1,34E-05	4,72 - 4,75
24	mínimo	1,18E-05	5,61E-08	4,72 - 4,75

Tabla XIII  
COMPARACIÓN DEL E (14 PUNTOS) CON LAS NORMATIVAS

Nodo	Valor	E max máximo [V/m]	E max Promedio [V/m]	Rango limite Normativas [V/m]
29	Máximo	8,64E-02	2,29E-04	42,24 - 42,4
11	mínimo	4,60E-03	1,22E-05	42,24 - 42,4

Tabla XIV  
COMPARACIÓN DEL H (14 PUNTOS) CON LAS NORMATIVAS

Nodo	Valor	H max máximo [A/m]	H max Promedio [A/m]	Rango limite Normativas [A/m]
29	Máximo	2,31E-05	5,50E-02	0,113 - 0,114
11	mínimo	6,39E-08		0,113 - 0,114
24	mínimo		3,74E-03	0,113 - 0,114



Tabla XV  
COMPARACIÓN DEL S (14 PUNTOS) CON LAS NORMATIVAS

Nodo	Valor	S max máximo $S[W/m^2]$	S max Promedio $S[W/m^2]$	Rango limite Normativas $S[W/m^2]$
29	Máximo	1,46E-04	1,01E-05	4,72 - 4,75
24	mínimo	9,92E-06	4,58E-08	4,72 - 4,75

3. Todos los valores medidos y calculados del campo eléctrico E, campo magnético H y densidad de potencia S, para una distribución de 18 puntos son superiores que en la distribución de 14 puntos en el modelo virtual de Duke, debido a que la distribución de 14 puntos mimetiza mejor que la de 18 puntos.

4. Con los valores de la intensidad de campo eléctrico E máximos y promedios obtenidos en los 46 nodos de la zona céntrica de la ciudad de Riobamba, servirán para determinar la tasa de absorción específica SAR, en futuras investigaciones.

ACKNOWLEDGMENT

A la Agencia de Regulación y Control (ARCOTEL) de la ciudad de Riobamba-Ecuador por facilitar el equipo NARDA SRM 3000 para las mediciones del campo eléctrico.

A la Fundación IT'IS de suiza por facilitar el modelo Duke de la Familia Virtual para las mediciones espaciales del campo eléctrico, sobre la cual se realizó la distribución de 14 y 18 puntos.

REFERENCIAS

[1] Harris B.E., The New Telecommunications Development: Bureau of the International Telecommunication Union, American University International Law Review Vol. 7 no. 1. (1991): 85.

[2] Lyall F., Posts and Telecommunications, in: Schachterjoyner (eds.), United Nations Legal Order, Vol. 2, Cambridge 1995, p. 805.

[3] Hinricher J., The Law-Making of the International Telecommunication Union (ITU) - Providing a New Source of International Law? Max-Planck-Institute, 2004, p. 495.

[4] V. Psyk, D. Risch, B.L. Kinsey, A.E. Tekkaya, M. Kleiner, Electromagnetic forming – a review, J. Mater. Process. Technol. 211 (2011) 787–829.

[5] M.A. Bahmani, K. Niayesh, A. Karimi, 3D simulation of magnetic field distribution in electromagnetic forming systems with field-shaper, J. Mater. Process. Technol. 209 (2009) 2295–2301.

[6] Buffat, R.. Feature-aware surface interpolation of rooftops using low-density Lidar data for photovoltaic applications. In: Sarjakoski, T., Santos, M.Y., Sarjakoski, L.T., editors. Geospatial Data in a Changing World. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography; Cham: Springer; 2016, p. 337–350.

[7] ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), Health Phys. 74 (4) (1998) 494–522.

[8] W. Joseph, L. Verloock, F. Goeminne, G. Vermeeren, L. Martens, Assessment of general public exposure to LTE and RF sources present in an urban environment, Bioelectromagnetics 31 (7) (2010) 576–579.

[9] Infante Pedro, Gilart Gonzalez. A 14-points array as a more realistic spatial averaging on the RF fields over the human body. RIELAC, Vol. XXXIX 3/2018 p. 16-30.

