



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES

“ESTUDIO DE LOS NIVELES DE RADIACIONES NO IONIZANTES
EN UNA CASA RESIDENCIAL, UTILIZANDO LOS MODELOS
VIRTUALES V2.0 PARA ADULTOS”

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y
REDES

AUTORES: HERICK ORLANDO PACA LLOAY
MAURICIO FERNANDO TOBAR ROGEL
TUTOR: ING. PEDRO SEVERO INFANTE MOREIRA

Riobamba-Ecuador

2018

©2018, Herick Orlando Paca Lloay, Mauricio Fernando Tobar Rogel

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y REDES

El Tribunal del Proyecto de Titulación certifica que: El trabajo de investigación “**ESTUDIO DE LOS NIVELES DE RADIACIONES NO IONIZANTES EN UNA CASA RESIDENCIAL, UTILIZANDO LOS MODELOS VIRTUALES V2.0 PARA ADULTOS**”, de responsabilidad de los señores Herick Orlando Paca Lloay y Mauricio Fernando Tobar Rogel, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Proyecto de Titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Dr. Julio Santillán

VICEDECANO FIE

Ing. Patricio Romero

DIRECTOR DE EIETR

Ing. Pedro Severo Infante Moreira

**DIRECTOR DE TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ing. Hugo Oswaldo Moreno Avilés

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo, Herick Orlando Paca Lloay soy responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Herick Orlando Paca Lloay

Yo, Mauricio Fernando Rogel Tobar soy responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Mauricio Fernando Tobar Rogel

DEDICATORIA

Quiero dedicar mi trabajo de titulación en principio a Dios por estar a mi lado desde el primer día en que nací, que constantemente me ha regalado sus bendiciones y fuerza durante toda mi vida estudiantil y me ha dado los regalos más grandes de este mundo que son la vida y una hermosa familia. Dedicar también a mi madre Gloria que ha sido un ejemplo de lucha constante, que ha trabajado y velado por el bienestar de todos sus hijos, que siempre me está brindándome sus consejos y regalándome su apoyo. También dedicar mi tesis a mis hermanos en especial a mi hermana Paulina, que ha sido como una segunda madre y un ejemplo para mí de lucha y dedicación, por último, dedicar a todas esas personas que han sido parte de mi vida universitaria que han hecho que esas largas jornadas de estudio sean más amenas.

Herick Paca

El presente trabajo se lo dedico en primer lugar a Dios todo poderoso por no desampararme y derramar sus bendiciones durante toda mi vida estudiantil, iluminándome en cada paso para tomar las mejores decisiones que me permitieron llegar a cumplir con uno de mis principales objetivos, también dedicarlo con mucho amor y cariño a mis padres Marcelo y Piedad quienes son el motor de mi vida y pilar fundamental para el cumplimiento de esta meta, ya que ellos me han dado su apoyo incondicional y la fuerza necesaria para afrontar los obstáculos que se presentaron durante toda mi carrera además que me han sabido aconsejar y guiar siempre pensando en mi bienestar, a mi hermana Verónica y mi tío Leo quienes me han ayudado de una u otra manera para que yo logre culminar esta meta, a mi sobrino Andrés con quien compartí parte de mi vida, además que me supo brindar su mano en los momentos más difíciles de mi vida y que junto a mis sobrinas Nicol y Emily espero verlos florecer y cumplir sus objetivos en un futuro, a mis demás familiares que siempre han estado en los buenos y malos momentos dándome aliento para seguir adelante, y a mis amigos con quienes he compartido dentro y fuera de mi vida estudiantil.

Mauricio Tobar

AGRADECIMIENTO

Agradecer en primera instancia a Dios por brindarme el don de la vida, ser mi guía durante toda mi vida y darme su bendición para poder realizar todas las actividades en especial terminar este trabajo de titulación. Agradecer a mi madre y a mis hermanos, pilares fundamentales de mi vida por su apoyo infinito a lo largo de mi vida, por brindarme sus consejos, valores, por apoyar mis sueños y estar a mi lado constantemente en el camino de la vida. Finalmente agradecer a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme las puertas a nuevos conocimientos, que conjuntamente con todos los docentes de la Facultad de Informática y Electrónica han ayudado a encaminarme en un rumbo de experiencias y aprendizaje constante y en especial agradecer al Ing. Pedro Infante por apoyar y guiar este trabajo de titulación demostrando ser una persona responsable, preocupada así como agradecer a todas las personas que de una u otra forma han aportado para culminar de forma exitosa este trabajo.

Herick Paca

Agradezco a Dios por protegerme y guiarme a lo largo de mi carrera profesional, a mi familia en especial a mis padres por brindarme su apoyo incondicional y brindarme la confianza durante el tiempo que estuve lejos de ellos. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitirme la oportunidad de formarme en sus aulas como un profesional, también a todos mis docentes que me impartido desinteresadamente sus conocimientos durante la carrera en especial al Ingeniero Pedro Infante que me ha brindado su tiempo para orientarme y asesorarme con sus conocimientos en el desarrollo de este trabajo de titulación. A todos mis amigos y personas que me han ayudado directa e indirectamente para que yo haya llegado hasta estas instancias y pueda haber hecho realidad este sueño.

Mauricio Tobar

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xviii
ÍNDICE DE ANEXOS	xix
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xx
RESUMEN	xxii
SUMMARY	xxiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Campo Electromagnético.....	5
1.1.1. <i>Campo Eléctrico</i>	5
1.1.2. <i>Campo Magnético</i>.....	5
1.1.3. <i>Campos Electromagnéticos</i>	6
1.1.4. <i>Clasificación de los CEM</i>	6
1.1.5. <i>Campos electromagnéticos producidos por equipos dentro de la casa de estudio</i>	7
1.2. Radiaciones Electromagnéticas	10
1.2.1. <i>Radiación Ionizante</i>.....	11
1.2.2. <i>Radiación no Ionizante</i>	12
1.2.3. <i>Zonas de radiación de una antena</i>	13
1.2.3.1. <i>Campo Cercano Reactivo</i>	14
1.2.3.2. <i>Campo Cercano de Radiación</i>.....	14
1.2.3.3. <i>Campo Lejano</i>	14
1.3. Espectro Radioeléctrico	14
1.3.1. <i>Definición</i>	14

1.3.2.	<i>Distribución de frecuencias del espectro radioeléctrico</i>	15
1.3.3.	<i>División del espectro radioeléctrico</i>	15
1.4.	Fuentes generadoras de radiación	17
1.4.1.	<i>Fuentes naturales generadoras de radiación</i>	17
1.4.2.	<i>Fuentes antropogénicas generadoras de radiación</i>	18
1.5.	Servicios de telecomunicaciones en el Ecuador	18
1.5.1.	<i>Radio FM</i>	18
1.5.2.	<i>Televisión</i>	19
1.5.3.	<i>Telefonía móvil celular</i>	19
1.5.4.	<i>Wireless LANs</i>	21
1.5.5.	<i>Bluetooth</i>	21
1.5.6.	<i>Telefonía fija inalámbrica</i>	21
1.6.	Parámetros de medición de las RNI	22
1.6.1.	<i>Intensidad de campo eléctrico</i>	22
1.6.2.	<i>Densidad de potencia</i>	23
1.6.3.	<i>Densidad de corriente</i>	23
1.6.4.	<i>Tasa de absorción específica (SAR, specific absorption rate)</i>	23
1.7.	Niveles de exposición a las radiaciones no ionizantes	24
1.7.1.	<i>Zona de rebasamiento</i>	25
1.7.2.	<i>Zona de exposición ocupacional</i>	26
1.7.3.	<i>Zona de exposición poblacional</i>	26
1.7.4.	<i>Señalización de las diferentes zonas de exposición</i>	26
1.8.	Límites de exposición a radiaciones electromagnéticas	28
1.8.1.	<i>Normativas ICNIRP (Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones No Ionizantes)</i>	28
1.8.1.1.	<i>Niveles máximos de exposición a RNI</i>	28
1.8.2.	<i>Normativas UIT</i>	30

1.8.2.1.	<i>UIT-T K.52</i>	31
1.8.2.2.	<i>UIT-T K. 61</i>	31
1.8.3.	<i>Normativa ARCOTEL</i>	32
CAPITULO II		
2.	MARCO METODOLÓGICO	34
2.1.	Metodología	34
2.2.	Equipo LATNEX HF-B3G	35
2.2.1.	<i>Configuración</i>	36
2.3.	Soporte de madera	37
2.4.	Software utilizado	37
2.4.1.	<i>Open Street Maps</i>	37
2.4.2.	<i>Microsoft Excel</i>	38
2.4.3.	<i>Matlab</i>	39
2.4.4.	<i>Lucidchard</i>	39
2.4.5.	<i>Virtual Family V2.0</i>	40
2.5.	Procedimiento para la medición de las RNI	43
2.5.1.	<i>Procedimiento de medición y análisis RNI espacial</i>	43
2.5.2.	<i>Procedimiento de medición y análisis RNI temporal</i>	44
CAPITULO III		
3.	MARCO DE RESULTADOS	46
3.1.	Medición y procesamiento de RNI espaciales	46
3.1.1.	<i>Ubicación de los nodos para las mediciones RNI espaciales</i>	46
3.1.2.	<i>Medición de la intensidad de campo eléctrico</i>	48
3.1.3.	<i>Procesamiento de los datos obtenidos en las mediciones de RNI espaciales</i>	49
3.1.3.1.	<i>Tabulación de los datos obtenidos en las mediciones RNI espaciales para los modelos de Duke y Ella</i>	49
3.1.3.2.	<i>Procesamiento de los datos de las RNI espaciales en la mañana, medio día y noche</i>	63
3.1.3.3.	<i>Procesamiento de los datos de las RNI espaciales por nodos.</i>	71

3.1.3.4.	<i>Procesamiento de los datos de las RNI espaciales por puntos.</i>	73
3.2.	Medición y procesamiento de RNI temporales	79
3.2.1.	<i>Ubicación de los nodos para las mediciones RNI temporales</i>	79
3.2.2.	<i>Medición de la intensidad de campo eléctrico</i>	80
3.2.3.	<i>Procesamiento de los datos obtenidos en las mediciones de RNI espaciales</i>	80
3.3.	Desarrollo del software en Matlab para visualizar los resultados de las mediciones temporales y espaciales	86
3.3.1.	<i>Algoritmo del programa para la visualización de los resultados.</i>	86
3.3.2.	<i>Desarrollo del programa utilizando Matlab</i>	88
3.3.3.	<i>Funcionamiento del programa utilizando Matlab</i>	89
3.4.	Análisis de los resultados obtenidos en las mediciones RNI espaciales	92
3.4.1.	<i>Comparación entre los nodos espaciales</i>	92
3.4.1.1.	<i>Análisis de los promedios de campos eléctricos</i>	92
3.4.1.2.	<i>Análisis de los valores promedios de los campos eléctricos máximos.</i>	93
3.4.1.3.	<i>Análisis de los valores promedios de los campos eléctricos mínimos.</i>	94
3.4.2.	<i>Comparación en la mañana, medio día y noche para Duke y Ella</i>	95
3.4.2.1.	<i>Análisis de los promedios de campo eléctrico</i>	95
3.4.2.2.	<i>Análisis del promedio de campos eléctricos máximos.</i>	96
3.4.2.3.	<i>Análisis del promedio de campos eléctricos mínimos.</i>	97
3.4.3.	<i>Comparación de los 14 puntos distribuidos en Duke y Ella</i>	97
3.4.3.1.	<i>Análisis de los promedios de campo eléctrico</i>	97
3.4.3.2.	<i>Análisis del promedio de los campos eléctricos máximos.</i>	98
3.4.3.3.	<i>Análisis del promedio de los campos eléctricos mínimos.</i>	99
3.4.4.	<i>Comparación del campo eléctrico en el interior y exterior de la casa residencial.</i>	100
3.4.4.1.	<i>Comparación con el modelo de Duke</i>	100
3.4.4.2.	<i>Comparación con el modelo de Ella.</i>	101
3.4.5.	<i>Análisis de la desviación estándar y aplicación de los percentiles para eliminar los valores atípicos tanto en los modelos Duke y Ella</i>	102

3.4.6.	<i>Análisis comparativo de las mediciones espaciales con las normativas ICNIRP y ARCOTEL (UIT-T K.52)</i>	105
3.4.5.1.	<i>Comparación por nodo para el modelo de Duke</i>	106
3.4.5.2.	<i>Comparación a distintos períodos del día para el modelo de Duke</i>	106
3.4.5.3.	<i>Comparación por los 14 puntos del modelo de Duke</i>	107
3.4.5.4.	<i>Comparación por nodo para el modelo de Ella</i>	108
3.4.5.5.	<i>Comparación a distintos períodos del día para el modelo de Ella</i>	108
3.4.5.6.	<i>Comparación por los 14 puntos del modelo de Ella</i>	109
3.5.	Análisis de los resultados obtenidos en las mediciones RNI temporales	110
3.5.1.	<i>Análisis por cada nodo de las mediciones temporales</i>	110
3.5.1.1.	<i>Análisis de los campos eléctricos promedios</i>	110
3.5.1.2.	<i>Análisis de los valores promedios de los campos eléctricos máximos</i>	111
3.5.1.3.	<i>Análisis de los valores promedios de los campos eléctricos mínimos</i>	112
3.5.2.	<i>Análisis de la desviación estándar y aplicación de los percentiles para eliminar los valores atípicos para los nodos temporales</i>	112
3.5.3.	<i>Análisis comparativo de las mediciones temporales con las normativas ICNIRP y ARCOTEL (UIT-T K.52)</i>	117
	CONCLUSIONES	120
	RECOMENDACIONES	121
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Campo eléctrico creado en el punto P por una carga de fuente q_1 positiva (a) y por otra carga negativa q_1 (b).....	5
Figura 2-1:	Modem CNT	8
Figura 3-1:	Teléfono Inalámbrico	8
Figura 4-1:	Computadora laptop	9
Figura 5-1:	Television Smart TV	9
Figura 6-1:	Microondas.....	10
Figura 7-1:	Radiación electromagética	11
Figura 8-1:	Espectro de la radiación no ionizante	12
Figura 9-1:	Regiones de campo de una antena	13
Figura 10-1:	Distribución de frecuencias de espectro radioeléctrico	15
Figura 11-1:	Campo magnético terrestre	17
Figura 12-1:	Fuentes de CEM generadas por el hombre	18
Figura 13-1:	Intensidad de campo eléctrico resultante	23
Figura 14-1:	Ilustración de las zonas de exposición	25
Figura 15-1:	Señalización de advertencia	27
Figura 16-1:	Señalización de la zona ocupacional	28
Figura 1-2:	Señalización de la zona ocupacional	35
Figura 2-2:	LATNEX HF-B3G.....	36
Figura 3-2:	Soporte de madera y piezas	37
Figura 4-2:	Ubicación de la casa residencial para el estudio	38
Figura 5-2:	Planta baja de la casa residencial.....	39
Figura 6-2:	(a) Primer piso de la casa, (b) Terraza de la casa.....	40
Figura 7-2:	Duke, Ella, Thelonious, modelos de Virtual Family V2.0.....	41
Figura 8-2:	Puntos para las mediciones en la Virtual Family V2.0	42

Figura 1-3:	Nodos en la planta baja de la casa residencial	46
Figura 2-3:	Nodos en el primer piso de la casa residencial	47
Figura 3-3:	Nodos en la terraza de la casa residencial.....	47
Figura 4-3:	Fotografía de la medición tomada en el nodo 1 en el local comercial	49
Figura 5-3:	Fotografía de la medición tomada en el nodo 2 ubicado en el taller	52
Figura 6-3:	Fotografía de la medición tomada en el nodo 3 ubicado en la sala.....	53
Figura 7-3:	Fotografía de la medición tomada en el nodo 4 ubicado en la cocina.....	55
Figura 8-3:	Fotografía de la medición tomada en el nodo 5 ubicado en la vereda.....	57
Figura 9-3:	Fotografía de la medición tomada en el nodo 6 ubicado en la terraza	59
Figura 10-3:	Fotografía de la medición tomada en el nodo 7 ubicado en la terraza (lavandería) .	61
Figura 11-3:	Nodos temporales de la casa residencial	79
Figura 12-3:	Medición realizada en el nodo 8.....	81
Figura 13-3:	Medición realizada en el nodo 9.....	82
Figura 14-3:	Medición realizada en el nodo 10.....	83
Figura 15-3:	Algoritmo del programa	87
Figura 16-3:	Ejemplo de un script creado en Matlab	88
Figura 17-3:	Ejemplo de la creación de una GUIDE en Matlab	88
Figura 18-3:	Interfaz principal del programa	89
Figura 19-3:	Interfaz mediciones espaciales	89
Figura 20-3:	Interfaz mediciones espaciales	90
Figura 21-3:	Interfaz mediciones espaciales de comparación entre nodos	91
Figura 22-3:	Interfaz mediciones temporales por cada nodo.....	91
Figura 23-3:	Gráfico de barras de los promedios por nodo para los modelos de Duke y Ella	92
Figura 24-3:	Gráfico de barras de los promedios totales de los valores máximos por nodos para los modelos de Duke y Ella.....	93
Figura 25-3:	Gráfico de barras de los promedios totales de los valores mínimos por nodo para los modelos Duke y Ella	94

Figura 26-3: Gráfico de barras de los valores promedios de Duke y Ella en la mañana, medio día y noche.....	95
Figura 27-3: Gráfico de barras de los promedios totales de los valores máximos de Duke y Ella en la mañana, medio día y noche.....	96
Figura 28-3: Gráfico de barras de los promedios totales de los valores mínimos de Duke y Ella en la mañana, medio día y noche	97
Figura 29-3: Gráfico de barras de los promedios totales de los 14 puntos distribuidos en los modelos de Duke y Ella	98
Figura 30-3: Gráfico de barras del promedio total de los valores máximo de los 14 puntos distribuidos en los modelos de Duke y Ella.....	99
Figura 31-3: Gráfico de barras del promedio total de los valores mínimos de los 14 puntos distribuidos en los modelos de Duke y Ella.....	100
Figura 32-3: Gráfico de barras de los valores promedios internos y externos para Duke	100
Figura 33-3: Gráfico de barras de los valores promedios internos y externos para Ella.....	101
Figura 34-3: Desviación estándar de los 7 días para Ella	103
Figura 35-3: Desviación estándar de los 7 días para Ella aplicando el percentil 80	103
Figura 36-3: Desviación estándar de los 7 días para Duke	104
Figura 37-3: Desviación estándar de los 7 días para Duke aplicando el percentil 83	105
Figura 38-3: Tabla y gráfico de barras para la comparación por nodos de las mediciones del modelo Duke con las normativas	106
Figura 39-3: Tabla y gráfico de barras para la comparación a distintos períodos del día de las mediciones del modelo Duke con las normativas.....	107
Figura 40-3: Tabla y gráfico de barras para la comparación por punto de las mediciones del modelo Duke con las normativas	107
Figura 41-3: Tabla y gráfico de barras para la comparación por punto de las mediciones del modelo Ella con las normativas.....	108
Figura 42-3: Tabla y gráfico de barras para la comparación a distintos períodos del día de las mediciones del modelo Ella con las normativas	109
Figura 43-3: Tabla y gráfico de barras para la comparación por punto de las mediciones del modelo Ella con las normativas	109

Figura 44-3: Gráfico de barras de los promedios totales de los campos eléctricos para los nodos temporales	110
Figura 45-3: Gráfico de barras de los promedios totales de los campos eléctricos máximos para los nodos temporales	111
Figura 46-3: Gráfico de barras de los promedios totales de los campos eléctricos mínimos en los nodos temporales.....	112
Figura 47-3: Desviación estándar del Nodo 8	113
Figura 48-3: Desviación estándar aplicando los percentiles 8 y 76 del Nodo 8.....	114
Figura 49-3: Desviación estándar del Nodo 9	115
Figura 50-3: Desviación estándar aplicando los percentiles 2 y 77 de Nodo 9.....	115
Figura 51-3: Desviación estándar del Nodo 10	116
Figura 52-3: Desviación estándar aplicando los percentiles 6 y 76 del Nodo 10.....	117
Figura 53-3: Tabla comparativa y gráfico de barras para la comparación del nodo D1 con las normativas.....	118
Figura 54-3: Tabla comparativa y gráfico de barras para la comparación del nodo D2 con las normativas.....	118
Figura 55-3: Tabla comparativa y gráfico de barras para la comparación del nodo D3 con las normativas	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	División del espectro radioeléctrico	16
Tabla 2-1:	Canalización de las bandas de frecuencia de la televisión	19
Tabla 3-1:	Frecuencias asignadas a las operadoras móviles del Ecuador	20
Tabla 4-1:	Asignación de frecuencias para telefonía móvil en la banda de 850 MHz	20
Tabla 5-1:	Asignación de frecuencias para telefonía móvil en la banda de 1900 MHz	21
Tabla 6-1:	Normativa ICNIRP para exposición a RNI en zona ocupacional	29
Tabla 7-1:	Normativa ICNIRP para exposición a RNI en zona poblacional.....	29
Tabla 1-2:	Características de los modelos CAD de Virtual Family V2.0	41
Tabla 1-3:	Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 28/05/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Duke en el nodo 1	50
Tabla 2-3:	Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 04/06/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Ella en el nodo 1	51
Tabla 3-3:	Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 29/05/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Duke en el nodo 2	52
Tabla 4-3:	Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 05/06/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Ella en el nodo 2.....	53
Tabla 5-3:	Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 30/05/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Duke en el nodo 3	54
Tabla 6-3:	Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 06/06/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Ella en el nodo 3.....	55
Tabla 7-3:	Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 31/05/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Duke en el nodo 4	56
Tabla 8-3:	Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 07/06/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Ella en el nodo 4.....	57
Tabla 9-3:	Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 01/06/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Duke en el nodo 5	58

Tabla 10-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 08/06/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Ella en el nodo 5.....	59
Tabla 11-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 02/06/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Duke en el nodo 6	60
Tabla 12-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 09/06/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Ella en el nodo 6.....	61
Tabla 13-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 03/06/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Duke en el nodo 7	62
Tabla 14-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 10/06/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Ella en el nodo 7.....	63
Tabla 15-3: Valores máximos, mínimos, promedio, media cuadrática y desviación estándar calculados para el modelo de Duke en la mañana	64
Tabla 16-3: Valores máximos, mínimos, promedio, media cuadrática y desviación estándar calculados par el modelo de Duke al medio día	64
Tabla 17-3: Valores máximos, mínimos, promedio, media cuadrática y desviación estándar calculados par el modelo de Duke en la noche	65
Tabla 18-3: Valores máximos, mínimos, promedio, media cuadrática y desviación estándar calculados par el modelo de Ella en la mañana	66
Tabla 19-3: Valores máximos, mínimos, promedio, media cuadrática y desviación estándar calculados par el modelo de Ella en el medio día.....	66
Tabla 20-3: Valores máximos, mínimos, promedio, media cuadrática y desviación estándar calculados par el modelo de Ella en la noche	67
Tabla 21-3: Valores de intensidad de campo magnético y densidad de potencia máximos para el modelo Duke.....	68
Tabla 22-3: Valores de intensidad de campo magnético y densidad de potencia mínimos para el modelo Duke.....	68
Tabla 23-3: Valores de intensidad de campo magnético y densidad de potencia promedios para el modelo Duke.....	69
Tabla 24-3: Valores de intensidad de campo magnético y densidad de potencia mínimos para el modelo Ella.....	69

Tabla 25-3: Valores de intensidad de campo magnético y densidad de potencia mínimos para el modelo Ella.....	70
Tabla 26-3: Valores de intensidad de campo magnético y densidad de potencia promedios para el modelo Ella.....	70
Tabla 27-3: Valores de intensidad de campo eléctrico máximo, mínimo, promedio, desviación estándar y media cuadrática para el modelo Duke.....	71
Tabla 28-3: Valores de intensidad de campo eléctrico máximo, mínimo, promedio, desviación estándar y media cuadrática para el modelo Ella.....	72
Tabla 29-3: Intensidad de campo magnético y densidad de potencia para Duke.....	72
Tabla 30-3: Intensidad de campo magnético y densidad de potencia para Ella.....	73
Tabla 31-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio por cada punto de medición del modelo Duke.....	74
Tabla 32-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio por cada punto de medición del modelo Ella.....	74
Tabla 33-3: Cálculos en el modelo Duke para los 14 puntos.....	75
Tabla 34-3: Cálculos en el modelo Ella para los 14 puntos.....	76
Tabla 35-3: Intensidad de campo magnético y densidad de potencia en el modelo Duke para los 14 puntos.....	77
Tabla 36-3: Intensidad de campo magnético y densidad de potencia en el modelo Ella para los 14 puntos.....	78
Tabla 37-3: Resultados de las RNI temporales del nodo 8.....	81
Tabla 38-3: Resultados de las RNI temporales del nodo 9.....	82
Tabla 39-3: Resultados de las RNI temporales del nodo 10.....	83
Tabla 40-3: Intensidad de campo magnético y densidad de potencia con los valores máximos de campo eléctrico.....	84
Tabla 41-3: Intensidad de campo magnético y densidad de potencia con los valores mínimos de campo eléctrico.....	85
Tabla 42-3: Intensidad de campo magnético y densidad de potencia con los valores promedios de campo eléctrico.....	86

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1:	1
Ecuación 2:	14
Ecuación 3:	22
Ecuación 4:	22
Ecuación 5:	23
Ecuación 6:	24
Ecuación 7:	24
Ecuación 8:	24
Ecuación 9:	48
Ecuación 10:	101

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO LATNEX HF- B3G

Anexo B: TABLA DE PERCENTILES PARA DUKE

Anexo C: TABLA DE PERCENTILES PARA ELLA

Anexo D: TABLA DE PERCENTILES PARA EL NODO 8

Anexo E: TABLA DE PERCENTILES PARA EL NODO 9

Anexo F: TABLA DE PERCENTILES PARA EL NODO 10

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ARCOTEL:	Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones
CEM:	Campos electromagnéticos
ICNIRP:	Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes
UIT:	Unión Internacional de las Telecomunicaciones
ELF:	Extremely low frequency
FI:	Frecuencia Intermedia
RF:	Radiofrecuencia
DECT:	Digital Enhanced Cordless Telecommunication
OMS:	Organización Mundial de la Salud
CCIR:	Consejo Consultivo Internacional de Telecomunicaciones
UIT-R:	Sector Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones
VLF:	Very Low Frequency
LF:	Low Frequency
MF:	Medium Frequency
HF:	High Frequency
VHF:	Very High Frequency
UHF:	Ultra High Frequency
SHF:	Super High Frequency
EHF:	Extremely High Frequency
FM:	Frecuencia Modulada
CONECCEL:	Consortio Ecuatoriano de Telecomunicaciones
OTECCEL:	Operadora de Telefonía Celular
CNT:	Corporación Nacional de Telecomunicaciones

IMT:	Telecomunicaciones Móviles Internacionales
WLAN:	Wireless Local Área Network
DECT:	Digital European Cordless Telephony
E:	Intensidad de Campo eléctrico
H:	Intensidad de Campo magnético
S:	Densidad de Potencia
SAR:	Tasa de Absorción Especifica
XDSL:	x Digital Subscriber Line
LAN:	Local Area Network

RESUMEN

El estudio de las radiaciones no ionizante se lo hizo en la casa residencial ubicada en las calles Juan Montalvo y Argentinos de la ciudad de Riobamba, en la misma se seleccionó 10 nodos indoor y outdoor en los cuales posteriormente se procedió a efectuar las mediciones de campo eléctrico promedio espacial y temporal utilizando el equipo LATNEX HF-B3G y un soporte de madera que simula a Duke y Ella de la familia virtual V2.0. Para las mediciones espaciales de Duke y Ella se utilizó la distribución de 14 puntos establecidos en la tesis doctoral del Ing. Pedro Infante, estas mediciones se efectuaron durante una semana por cada modelo específicamente en los horarios de la mañana, medio día y noche; las mediciones temporales se las realizó por una semana en cada dormitorio exclusivamente por las noches utilizando un punto sobre la cama. Concluidas las mediciones se tabularon los valores promedios de campo eléctrico máximo, mínimo y promedio, a partir de los cuales se calculó la media cuadrática, la intensidad de campo magnético y densidad de potencia. Además, se realizó el cálculo de la desviación estándar y percentiles con la totalidad de los datos de las mediciones, con lo cual se efectuó la eliminación de los valores atípicos para determinar la incidencia que tienen dichos valores con relación a la desviación estándar y tener una mejor percepción de los datos. Posteriormente se realizó la programación en Matlab con la finalidad de visualizar gráficos comparativos con los cuales se realizó un análisis entre los niveles de radiación interior y exterior de la casa residencial, entre modelos y por puntos para las mediciones espaciales y un análisis entre nodos para las mediciones temporales; por último se mostró que los resultados de las mediciones espaciales y temporales de los valores promedios y máximos estén por debajo de los límites establecidos por las normativas internacionales y nacionales.

Palabras Claves: <CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS (CEM)> <RADIACIÓN NO IONIZANTE (RNI)> <NIVELES DE RADIACIÓN> <FAMILIA VIRTUAL V2.0 (SOFTWARE)> <COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN CONTRA LA RADIACIÓN NO IONIZANTE (ICNIRP)> <AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES (ARCOTEL)> <LATNEX HF-B3G> <CASA RESIDENCIAL>

SUMMARY

The study of non-ionizing radiation was done in the residential house located in Juan Montalvo and Argentinos streets in Riobamba city, in that house 10 indoor and outdoor nodes were selected. Subsequently, the nodes were proceeded to carry out the measurements of spatial and temporal average electrical field using the LATNEX HF-B3G equipment and a wooden bracket that simulates Duke and Ella of the virtual Family V2.0. For the space-based measurements of Duke and Ella were used the distribution of 14 points established in the doctoral thesis of the Engineer Pedro Infante, these measurements were made during a week. Specifically, in the morning, noon and night schedules by each model; the time measurements were made during a week in each bedroom exclusively at nights using a point on the bed. Concluded the measurements in the average values of maximum, minimal and average electrical field, from which the quadratic average, the intensity of magnetic field and the power density was calculated. In addition, the standard deviation and percentiles were calculated with all the measurements data; with this information the elimination of the atypical values was carried out to determine the incidence that these values have in relation to the standard deviation in order to have a better perception of the data. Subsequently, the programming in MATLAB was carried out to visualize comparative graphs with which an analysis was made between the lower and outer radiation levels of the residential house, between the models and the points for the spatial mediations and an analysis between the nodes for temporary measurements. Finally, the results of the spatial and temporal measurements of the average and maximum values have seen below the limits of international and national standards.

Key words: <ELECTROMAGNETIC FIELDS (EMF)> <NON-IONIZING RADIATION (NIR)>
<RADIATION LEVELS>< VIRTUAL FAMILY V2.0 (SOFTWARE) ><THE INTERNATIONAL
COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION (ICNIRP)> < THE
TELECOMMUNICATIONS REGULATORY AND CONTROL AGENCY (ARCOTEL) >
< RESIDENTIAL HOUSE.>

INTRODUCCIÓN

Con el transcurso del tiempo ha aumentado de manera notable el desarrollo de los servicios de comunicaciones en nuestra sociedad, por lo que ha incrementado de gran manera el uso de dispositivos inalámbricos dentro de casa, así como de estaciones repetidoras, antenas de servicio celular, etc., siendo estas últimas las que más se han multiplicado en nuestro medio, pues las podemos encontrar instaladas en terrazas de casas, edificios en diferentes zonas de la ciudad.

Consecuencia de esto se ha incrementado la exposición del ser humano a campos electromagnéticos no solo fuera de su casa sino también dentro ya que como se menciona los equipos eléctricos y electrónicos que se usan constantemente por distintas índoles producen estos campos; por consecuencia de ellos la exposición a radiación no ionizante está creciendo cada vez convirtiéndose así en un potencial problema de contaminación electromagnética creándose así incertidumbre en la persona sobre posibles riesgos a esta exposición constante en su diario vivir.

En el presente trabajo de titulación se muestra un estudio de la exposición a radiación no ionizante en la casa residencial ubicada en las calles Juan Montalvo y Argentinos ya que se encuentra cercana de una antena celular, en dicha casa se realizan mediciones de campos electromagnéticos que se originan por antenas de televisión, radio, celular, así como el uso de equipos que están dentro del domicilio como el modem de Wi-Fi, microondas, teléfonos inalámbricos, teléfonos celulares que emitan CEM.

Se considera mediciones de intensidad de campo eléctrico de forma temporal y espacial sobre la persona; teniendo en cuenta mediciones espaciales tanto dentro como fuera de la casa residencial y las mediciones temporales tomadas en todos los dormitorios de la misma, todo esto se realiza con ayuda del equipo LATNEX HF-B3G con el que se mide intensidad de campo eléctrico promedio en un rango de frecuencias de 50 MHz – 3,5 GHz y en el caso de las espaciales se utiliza además un soporte de madera que simule a los modelos adultos (Duke y Ella) de la familia virtual V2.0.

Los resultados obtenidos para el posterior análisis de los datos en las mediciones espaciales para cada modelo durante los 7 días respectivamente, así como los datos de las mediciones temporales tomadas en 7 días por cada dormitorio se presentan mediante un programa en Matlab que permita visualizar los resultados del comportamiento que tiene el campo eléctrico y mostrar que las mediciones realizadas estén dentro de las normativas vigentes internacionales como nacionales de la exposición a campos electromagnéticos.

ANTECEDENTES

En la actualidad los habitantes de ciudades están expuestos todos los días a campos electromagnéticos indetectables a la percepción natural por efecto de las radiaciones que generan las antenas celulares establecidas en la zona urbana, así también como de los diferentes equipos eléctricos y electrónicos que emanan de este tipo de campos, forjando incertidumbre en las personas a causa del desconocimiento que existe sobre el tema y la falta de estudios sobre las radiaciones no ionizantes que se producen tanto dentro como fuera del hogar tengan algún efecto negativo para quienes la habitan.

Si bien entidades como la Organización Mundial de la Salud, la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante han realizado evaluaciones en su mayoría son en exposiciones poblacionales para exteriores y si bien se tiene algunas mediciones dentro de viviendas los valores encontrados enfatizan que cambian radicalmente estos cuando se desplaza o se mueven alrededor de la antena de medición, por lo que no se descarta que exista la posibilidad de que afecte o cause daño ante una exposición prolongada como lo señala un estudio realizado por el Ing. Víctor Cruz en el país de Perú donde se evalúa los posibles efectos de las redes de telecomunicaciones a la salud.

Para el estudio de las radiaciones no ionizantes dentro de la vivienda residencial ubicada en las calles Juan Montalvo y Argentinos de la ciudad de Riobamba, se refirió a documentos de trabajos previos que guardan relación con el objetivo de este estudio, en los cuales se determinó los niveles de radiación de intensidad de campo magnético, eléctrico y densidad de potencia en la ciudad de Riobamba de acuerdo a las normas internacionales emitidas por la ICNIRP (Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No Ionizantes) y sobre la distribución de la SAR (Tasa de Absorción Específica) en el cuerpo humano generada por radiaciones electromagnéticas de las antenas de radio, televisión y celular en la ciudad; por lo que no se encontró ningún trabajo que enfatice en el estudio del comportamiento de las radiaciones electromagnéticas no ionizantes en la banda de 50 MHz a 3.5 GHz emitidas por los servicios de telecomunicaciones en diferentes sitios del hogar y a niveles que simulen la estatura de los residentes dentro y fuera del domicilio y además el comportamiento de la radiación electromagnética que existe durante la noche cuando la persona este recostada sobre su cama, para determinar si los niveles de radiación que se reciben están dentro de las normas ICNIRP, UIT-T y ARCOTEL, por lo que se plantea el desarrollo del siguiente tema de tesis.

JUSTIFICACIÓN

En el presente proyecto de titulación se realizan mediciones espaciales de los campos eléctricos generados por los servicios de radiodifusión sonora, televisión abierta, sistemas celulares, redes Wi-Fi, equipos dentro del hogar que producen radiación no ionizante en la planta baja, primer piso y terraza de la casa residencial ubicada en las calles Argentinos y Juan Montalvo de la ciudad de Riobamba, utilizando el equipo LATNEX HF-B3G y el soporte de madera que simule a Duke y Ella de la familia virtual V2.0, los cuales están distribuidos en catorce puntos espaciales desarrollados por la investigación de Doctorado en Ciencias Técnicas de la Universidad de Oriente de Santiago de Cuba por el Ingeniero Pedro Infante; cabe mencionar que también se realizaran mediciones temporales del campo eléctrico en cada uno de los dormitorios durante toda la noche; todas estas mediciones se desarrollaran en lapsos de 7 días en las espaciales por cada modelo y 7 noches por dormitorio en el caso de las temporales.

Con los datos obtenidos en las mediciones correspondientes se realiza el estudio de los niveles de exposición a radiaciones no ionizantes en los ocupantes de la casa en los puntos antes mencionados, utilizando la media, desviación estándar y percentiles, también se calcula el promedio de los valores máximos, mínimos y promedios, para proceder a realizar cuadros comparativos entre los valores medidos en los diferentes sitios de la casa y se verifica si estos valores están dentro de los límites establecidos por las normas nacionales (ARCOTEL) e internacionales (ICNIRP, UIT-T).

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo realizar el estudio de los niveles de radiaciones no ionizantes en una casa residencial, utilizando los modelos virtuales v2.0 para adultos?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo medir la intensidad de campo eléctrico promedio espacial en el interior y exterior de la casa residencial utilizando el equipo LATNEX HF-B3G de 50 MHz a 3,5 GHz y el soporte de madera que simule a Duke y Ella de la familia virtual v2.0, los cuales están distribuidos en catorce puntos espaciales?

¿Cómo medir la intensidad de campo eléctrico promedio temporal durante la noche en los dormitorios de la casa residencial?

¿Por qué determinar los valores máximos, mínimos, promedio, media, desviación estándar y percentiles de las mediciones espaciales y temporales?

¿Para qué realizar cuadros comparativos entre los niveles de radiación de la casa residencial interior y exterior, y compararlos con las normas vigentes de la ICNIRP, UIT y ARCOTEL?

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio de los niveles de radiaciones no ionizantes en una casa residencial, utilizando los modelos virtuales v2.0 para adultos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Medir la intensidad de campo eléctrico promedio espacial en el interior y exterior de la casa residencial utilizando el equipo LATNEX HF-B3G de 50 MHz a 3.5 GHz y el soporte de madera que simule a Duke y Ella de la familia virtual v2.0, los cuales están distribuidos en catorce puntos espaciales.
- Medir la intensidad de campo eléctrico promedio temporal durante la noche en los dormitorios de la casa residencial.
- Determinar los valores máximos, mínimos, promedio, media, desviación estándar y percentiles de las mediciones espaciales y temporales.
- Realizar cuadros comparativos entre los niveles de radiación de la casa residencial interior y exterior, y compararlos con las normas vigentes de la ICNIRP, UIT y ARCOTEL. Además, para visualizar estos resultados se utilizará un lenguaje de programación.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Campo Electromagnético

1.1.1. Campo Eléctrico

El campo eléctrico se origina en el entorno de una partícula cargada y se define como la fuerza eléctrica que sufre una carga de prueba que está ubicada en un punto determinado del campo generado por una carga fuente (q_1), lo que provoca la atracción entre ellas si son de signo contrario y la repulsión si son del mismo signo. (Sadiku 2011, pp. 114-117)

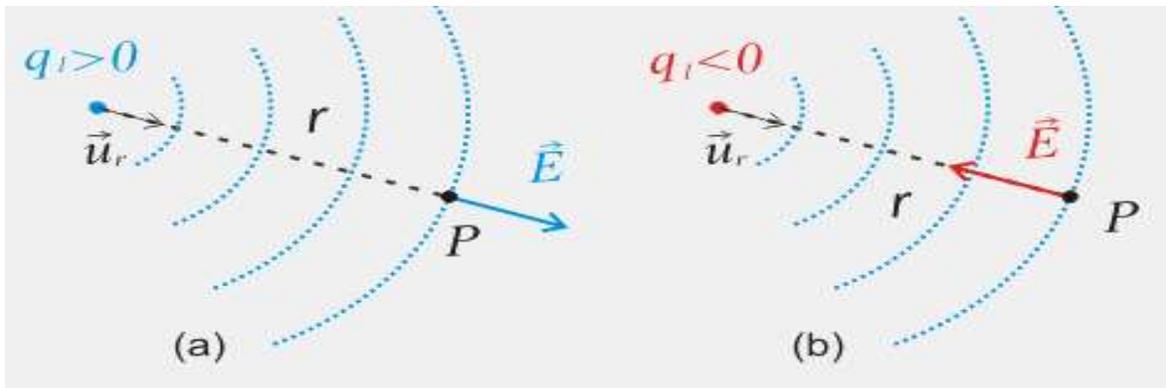


Figura 1-1: Campo eléctrico creado en el punto P por una carga de fuente q_1 positiva (a) y por otra carga negativa q_1 (b)

Fuente: http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/electro/campo_electr_files/campoE2.gif.

Como se puede observar en la figura 1-1, el vector del campo eléctrico posee la misma dirección y sentido que tiene la fuerza que experimenta una carga positiva ubicada en el punto P del campo, donde el vector del campo eléctrico se dirigirá hacia el interior si la carga fuente (q_1) es negativa y si es positiva el campo se dirigirá hacia afuera. (Sadiku 2002, p. 105-107)

1.1.2. Campo Magnético

El campo magnético (B) es una noción introducida en teoría electromagnética que explica las fuerzas magnéticas que surgen sobre los materiales; estos campos magnéticos se crean cuando las cargas eléctricas se encuentran en movimiento y con forme se aumente más cargas que estén en movimiento el campo magnético irá creciendo. (Goita, 2001, pp.14-15)

El campo magnético como se menciona es influenciado por corrientes eléctricas, que se lo puede calcular con la “Ley de Ampere” o la “Ley de Biot-Savart” cuya unidad de medida es el Tesla; pero

cuando los campos magnéticos pasan o están en presencia de materiales recibe el nombre de intensidad de campo magnético que se lo representa con la letra H y se expresa en A/m (Amperios/metro). (Popovic y Popovic, 2006, p.201)

1.1.3. Campos Electromagnéticos

El medio en donde viven las personas está sumido en campos electromagnéticos (CEM) los mismos que son imperceptibles a la simple mirada del ser humano, estos están originados en la naturaleza y en los dispositivos que se han desarrollado con el pasar del tiempo. En los dispositivos se puede encontrar dos tipos de CEM los que se originan por radiofrecuencia como por ejemplo la radio, televisión, teléfono móvil, etc., y los otros campos que se originan son de baja frecuencia que se encuentran en las líneas de energía eléctrica y otros. (Pacohuanca, 2017, p. 4)

1.1.4. Clasificación de los CEM

Los campos electromagnéticos se clasifican en dos grupos que se describen a continuación:

Campos no variantes en el tiempo o campos estáticos: Son aquellos que no varían en el tiempo y se originan a partir de la corriente eléctrica continua, es decir, se encuentran en el nivel más bajo (0 Hertz) del rango de frecuencias que abarcan los campos electromagnéticos. Estos campos están presentes en los trenes de levitación magnética, resonancia magnética, etc. (Fustel et al., 2011, p. 13) (Andrade y Contreras, 2014, p. 54)

Campos variantes en el tiempo: Son aquellos que varían en el tiempo y se originan a partir de la corriente eléctrica alterna. Están inmersos dentro una gama de frecuencia que va desde 1 Hz hasta 300 GHz. La Organización Mundial de la Salud los clasifica en tres grupos en función de la frecuencia:

- **Campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF en Ingles):** Compuestos por una gama de frecuencias que van hasta los 300 Hz aproximadamente, que corresponde a la parte del espectro electromagnético no ionizante. Estos campos son muy comunes y se encuentran presentes en los equipos relacionados con la generación, traslado y consumo de la energía eléctrica. (Fustel et al., 2011, p. 13) (Andrade y Contreras, 2014, p. 54)
- **Campos de frecuencia intermedia (FI):** Comprenden el rango de frecuencias de 300 Hz hasta 10 MHz, que corresponde a la región del espectro electromagnético no ionizante. Estos

campos se encuentran en los equipos antirrobo, pantallas del ordenador y los sistemas de seguridad. (Fustel et al., 2011, p. 13)(Andrade y Contreras, 2014, p. 54)

- **Campos de Radiofrecuencia (RF):** Están dentro del rango de frecuencia de 10 MHz hasta 300 GHz, es decir, está compuesto por una parte del espectro electromagnético ionizante y no ionizante. Están presentes en los equipos que están relacionados con los servicios de telecomunicaciones, rayos X y los rayos gamma. (Fustel et al., 2011, p. 13)(Andrade y Contreras, 2014, p. 54)

1.1.5. Campos electromagnéticos producidos por equipos dentro de la casa de estudio

Hoy en día la exposición a campos electromagnéticos (CEM) no solo está presente fuera de la vivienda que son producidos por antenas de telefonía móvil, líneas de alta tensión, radios comunicadores, antenas de televisión y radio por lo contrario los CEM también están presentes dentro del hogar con todos los aparatos eléctricos y electrónicos de uso diario y por ende se está expuesto a estos campos por un tiempo más prolongado que en exteriores.

Según estudios recientes se ha determinado que existe más campos electromagnéticos dentro de una vivienda u oficina que en el exterior en la calle, debido a la alta demanda y uso de aparatos inalámbricos o tecnología sin el uso de cables, por lo que no solo se debe tener cuidado de las antenas telefónicas exteriores, sino que también de todos los equipos que se tiene alrededor de cuartos, camas, oficinas, etc.

Por consiguiente, se da una breve descripción de los equipos que producen radiaciones electromagnéticas y que están presentes dentro de casa, motivo de realización de la tesis en la vivienda ubicada en las calles Argentinos y Juan Montalvo de la ciudad de Riobamba.

Modem XDSL Wi-Fi: En la casa donde se realiza el estudio existe un equipo que pertenece a la empresa CNT E.P., está ubicado en la sala en una parte alta y que brinda cobertura de internet tanto por cable como de forma inalámbrica.

Ya que este equipo es útil para enviar y recibir información por la red inalámbrica, el modem constantemente crea campos electromagnéticos y por tanto radiación; este equipo opera a una frecuencia de 2,4 GHz como están en las especificaciones propias del equipo, en la figura 2-1 se muestra el equipo que está instalado en la casa donde se realiza el estudio.



Figura 2-1: Modem CNT

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Teléfonos inalámbricos: Varios estudios sugieren que los teléfonos inalámbricos DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunication) emiten radiación siempre que la estación base está conectada a la electricidad y aun sin que estén en uso. En la vivienda existen 3 teléfonos inalámbricos los cuales se distribuyen de la siguiente forma: uno para la sala, uno para el dormitorio y otro en el local comercial. La frecuencia de operación es de 1,9 GHz según las especificaciones del equipo. En la figura 3-1 se muestra a el equipo descrito.



Figura 3-1: Teléfono Inalámbrico

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Computadores portátiles: Estos equipos emanan campos magnéticos producidos por el motor de la computadora, así también las pantallas producen radiaciones pequeñas y campos electromagnéticos provenientes de la red inalámbrica. En la vivienda existen 2 computadores portátiles y una de escritorio, en la figura 4-1 se muestra la fotografía de una computadora laptop que poseen bluetooth que opera en la frecuencia de 2,4 GHz – 2,485 GHz y Wi-Fi como ya se mencionó está en la frecuencia de 2,4 GHz.

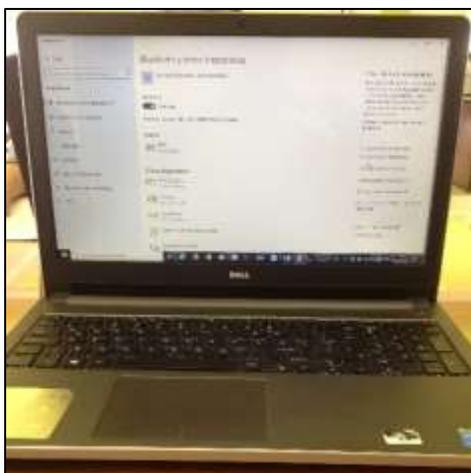


Figura 4-1: Computadora laptop

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Smart TV: Al igual que los computadores sus pantallas pueden emanar campos que de acuerdo a la distancia varían entre menos de 1 a 10 V/m, pero las nuevas pantallas LCD y LED han reducido estas emanaciones significativamente. En la vivienda existe una televisión LED que posee conexión a internet inalámbrico y se encuentra en un dormitorio de la casa como se ve en la figura 5-1 y otras televisiones distribuidas en la sala y dormitorios.



Figura 5-1: Televisión Smart TV

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Teléfonos móviles: Estos equipos de uso común también emiten campos electromagnéticos significativos ya que tiene incorporado un microcontrolador dentro del teléfono y estos campos se generan cuando se utiliza tanto bluetooth, Wi-Fi o al realizar una llamada creando ondas de radiofrecuencia.

Microondas: Es un aparato eléctrico que se utiliza en la cocina para calentar alimentos; según muchos estudios estos electrodomésticos emiten campos magnéticos como eléctricos como lo hacen

la televisión y la radio, pero a una frecuencia superior. En la figura 6-1 se presenta el microondas ubicado en la cocina el cual opera a una frecuencia de 2450 MHz según las especificaciones del fabricante.



Figura 6-1: Microondas

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

1.2. Radiaciones Electromagnéticas

La radiación electromagnética se refiere a la transmisión de ondas por medio del espacio o de un material; para que se realice la propagación no es indispensable que exista un medio material, pero la presencia de este puede modificar la velocidad, dirección del flujo de energía que transporta, así como la intensidad.

La radiación electromagnética al ser un fenómeno ondulatorio se caracteriza por su longitud de onda (λ) y frecuencia (f); la longitud de onda se define como la distancia que hay entre los puntos que corresponden a un ciclo completo que realice la onda electromagnética, mientras que la frecuencia está conceptualizado como el número de oscilaciones en un instante determinado de tiempo y su unidad de medición está en hertzios. Estas dos características de las ondas electromagnéticas se relacionan a través de la ecuación (1):

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

Donde c tiene un valor de 3×10^8 m/s que representa la velocidad de la luz en el espacio libre medida en metros por segundo (m/s), la longitud de onda medida en λ y la frecuencia en Hertzios (Hz). Cabe resaltar que las señales de baja frecuencia tienen una longitud de onda larga, mientras que las de frecuencia alta poseen una longitud de onda corta en relación a la ecuación (1). (IESS, 2013, p.10).

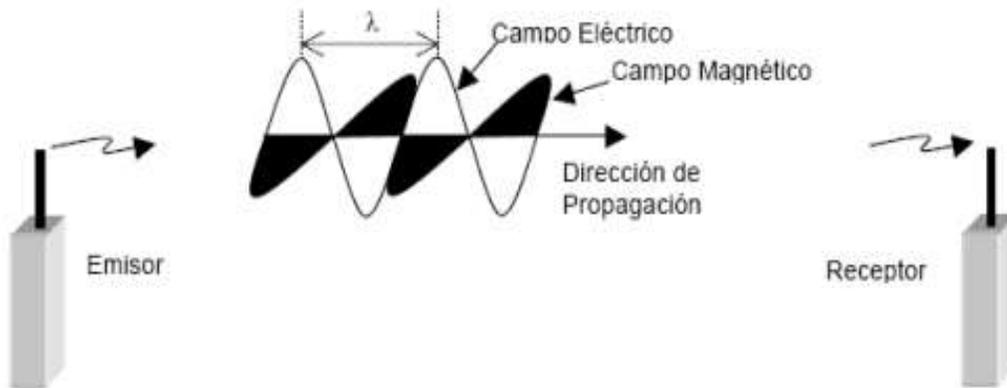


Figura 7-1: Radiación electromagnética

Fuente: Alonso Fustel., Campos Electromagnéticos, 2011.

Como se observa en la figura 7-1 se muestra una ejemplificación de las comunicaciones inalámbricas que se han convertido en una forma de intercambiar información más usadas en los últimos tiempos. Esta comunicación se crea cuando el emisor crea ondas de campo eléctrico y campo magnético, las cuales se propagan por el espacio libre hasta llegar al receptor.

Cuando se está realizando la comunicación inalámbrica como se representa en la figura 7-1 la región del espacio libre donde hay presencia de energía electromagnética pasa a ser un campo electromagnético donde se introducen términos como lo es campo eléctrico (E), campo magnético (B) además de la longitud de onda y frecuencia.

A la radiación electromagnética se la puede clasificar según la energía que está transportando y los efectos que causan en la salud de las personas ante su exposición, en radiación ionizante y no ionizante.

1.2.1. Radiación Ionizante

La radiación ionizante se la considera un tipo de energía la cual se crea cuando se liberan átomos en ondas electromagnéticas (rayos x, rayos gama) o también se liberan en forma de partículas (alfa, beta o neutrones). Este proceso de desintegración por medio de átomos se la conoce como radioactividad y a la energía que se genera en este proceso se la da el nombre de radiación ionizante. (OMS, 2016)

Este tipo de radiación posee ondas electromagnéticas de una alta frecuencia la cual es capaz de romper los enlaces atómicos que unen a las células del cuerpo, a todo este proceso se lo conoce como ionización y las personas que están expuestas a este tipo de radiación pueden desarrollar alteraciones graves e irreparables en su cuerpo tanto internas como externas. (OMS, 2016)

Las personas están constantemente expuestas a radiación ionizante y recibir pequeñas dosis, las cuales a simple vista no causan ningún efecto en su estructura biológica, pero si la exposición es prolongada los efectos que se puede contraer son peligrosas e irreparables como es la alteración en la piel como en tejidos, caída de pelo, efectos dañinos sobre el ADN y genes. (Stellman, 2001)

1.2.2. Radiación no Ionizante

La radiación no ionizante es aquella que se conforma por campos del espectro radioeléctrico cuya característica que la diferencia de la radiación ionizante es que no generan la energía indispensable para generar la ionización; las divisiones entre estos dos tipos de radiación se dan a una longitud de 100 nanos metros (nm) aproximadamente.

La energía de la radiación no ionizante al ser otro tipo de energía tiene la capacidad para interactuar con el sistema biológico cuyos efectos pueden ser irrelevantes, beneficiosas o perjudiciales según el grado de exposición; es así que en el caso de la radiación de microondas y la radiofrecuencia (RF) estas interactúan por medio del calentamiento y en bajas frecuencias los campos de alta intensidad inducen corrientes al cuerpo que resulta peligroso para la salud. (Stellman, 2001)

Con la alta demanda de electricidad y de los avances tecnológicos para mejorar la comodidad de la sociedad, el número de dispositivos que se han creado se están convertido en nuevas fuentes artificiales de radiación, con esto dando lugar a la presencia de radiaciones no ionizantes en el medio ambiente con la que el ser humano habita constantemente.



Figura 8-1: Espectro de la radiación no ionizante

Fuente: Alonso Fuste., Campos Electromagnéticos, 2011.

Los nuevos estudios se están inclinando a buscar los efectos que causan las radiaciones no ionizantes cuando la exposición es a largo plazo, ya que la persona recibe pequeñas corrientes inducidas cuando se está expuesta a la energía eléctrica y cuando se está cerca de equipos, dispositivos de telecomunicaciones el cuerpo está expuesto al calor que producen estos aparatos cada día.

Como se aprecia en la figura 8-1 en la parte alta del espectro de radiación no ionizante se encuentra la luz visible y por encima de esta se encuentra la luz ultravioleta, rayos x y rayos gamma; por debajo de la luz visible esta la luz infrarroja, la radiofrecuencia, en esta última opera la televisión, radio FM, teléfonos móviles, el horno microondas, por citar algunos ejemplos.

Por debajo de la radiofrecuencia como se aprecia en la figura 8-1 se encuentran las frecuencias intermedias, extremadamente bajas y estáticas que están en un rango de 0 Hz a los 300 Hz donde se encuentran operando equipos de soldaduras, líneas eléctricas, también sirven para comunicaciones gubernamentales, militares, navegación aeronáutica, etc.

1.2.3. Zonas de radiación de una antena

El espacio por el cual se propagan las ondas electromagnéticas radiadas por una antena, usualmente se subdivide en tres regiones: campo cercano reactivo, campo cercano radiante y campo lejano. Estas regiones están designadas para identificar y limitar los cambios que sufre la estructura del campo a medida que la onda se aleja de la antena.

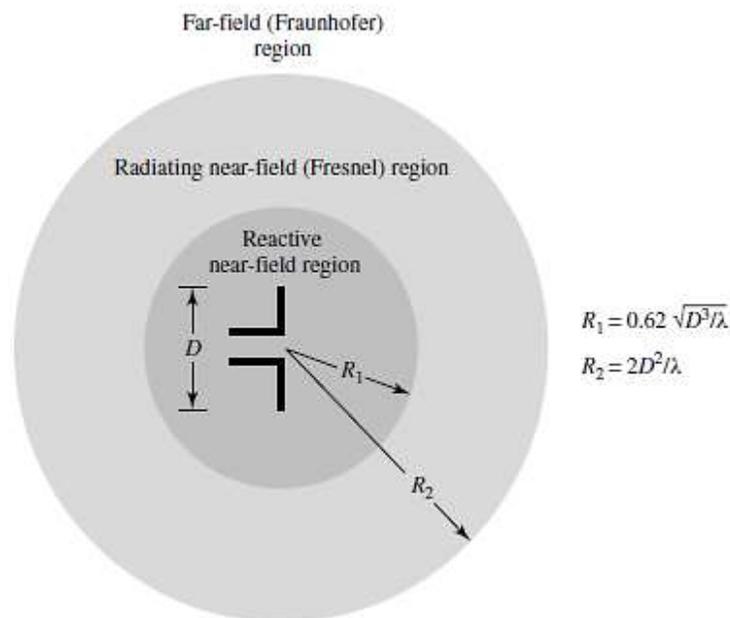


Figura 9-1: Regiones de campo de una antena

Fuente: Balanis A. Constantine, Antenna Theory: Analysis and Design, 2005, p.34.

1.2.3.1. Campo Cercano Reactivo

Es la región del espacio libre que se encuentra en las inmediaciones de la antena en la cual prevalece el campo el campo reactivo y, el campo eléctrico y campo magnético no están relacionados mediante la impedancia del vacío. Como se puede observar en la figura 9-1, es la región más próxima a la antena, para la mayoría de las antenas está delimitada comúnmente por una distancia $R_1 < 0,62\sqrt{D^3/\lambda}$ desde la superficie de la antena, donde λ es la longitud de onda y D es la dimensión más grande de la antena. (Balanis, 2005, pp. 34-35)

1.2.3.2. Campo Cercano de Radiación

También conocido como zona de Fresnel, en la cual prevalecen los campos de radiación y la distribución del campo angular que depende de la distancia existente entre la antena y la región. Como se puede observar en la figura 9-1, la región se encuentra entre la región de campo lejano y la región de cercano reactivo, y se determina restando la distancia R_1 de la R_2 . (Balanis, 2005, pp. 34-35)

1.2.3.3. Campo Lejano

También conocido como zona de Fraunhofer, es la región más distante a la antena, en la cual las componentes E y H son perpendiculares y están relacionadas a través de la impedancia del vacío que es de 377Ω tal como se muestra en la ecuación (2); tal como se puede observar en la figura 9-1, el campo lejano se encuentra a una distancia $R_2 < 2D^2/\lambda$ desde la superficie del elemento radiante. (Balanis, 2005, pp. 34-35)

$$\frac{E}{H} = 377 \Omega \quad (2)$$

1.3. Espectro Radioeléctrico

1.3.1. Definición

El espectro radioeléctrico está definido como el conjunto de ondas electromagnéticas convencionalmente fijada por debajo de los 300 GHz las cuales se propagan por el espacio sin tener la necesidad de una guía artificial; su utilización es para prestar varios servicios de telecomunicaciones, investigación, medicina así también como aplicaciones de índole industrial científica y militar. (CONATEL, 2013, p. 17)

En el Ecuador la constitución considera al espectro radioeléctrico como un sector estratégico y por parte de la legislación de las telecomunicaciones es considerado como un recurso natural limitado perteneciente al Estado que es inalienable, así como imprescriptible. (CONATEL, 2013, p. 17)

1.3.2. Distribución de frecuencias del espectro radioeléctrico

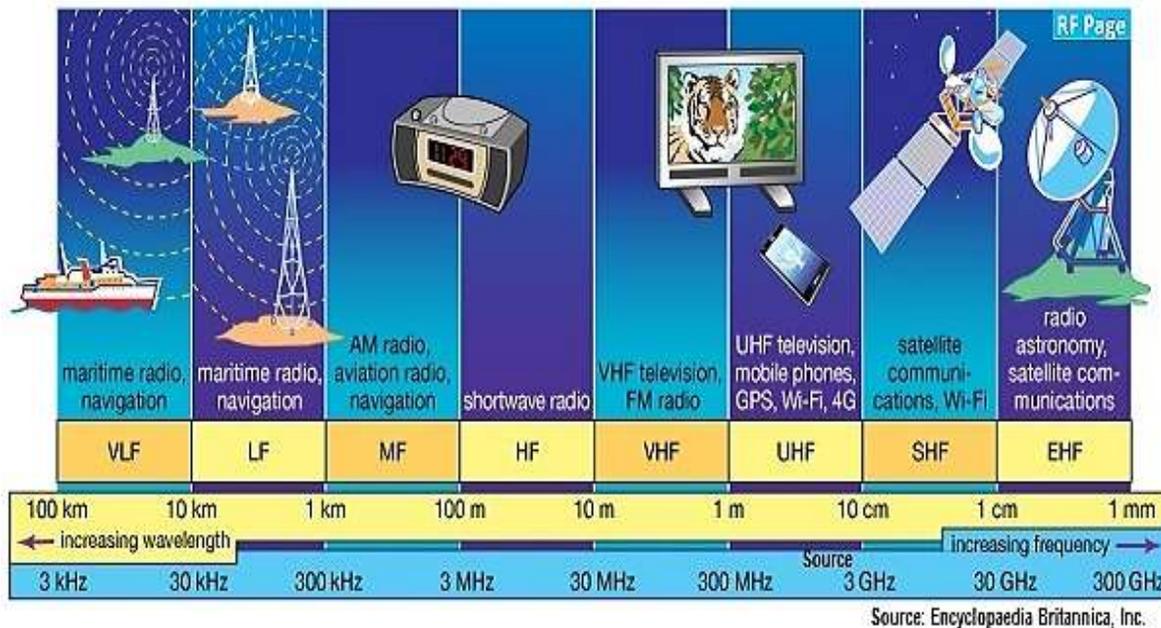


Figura 10-1: Distribución de frecuencias de espectro radioeléctrico

Fuente: RF Page ,2016, <https://www.rfpage.com/wp-content/uploads/2016/07/RF-spectrum.jpg>.

El espectro radioeléctrico se encuentra dividido en bandas destinadas a prestar varios servicios como lo es de difusión (radio y televisión), los servicios para la comunicación (móviles, satélite, telefonía inalámbrica, comunicación aeronáutica), posicionamiento, por ejemplo: el GPS y radar etc. Además de que otras bandas de frecuencia se utiliza en el ámbito militar, operaciones especiales, radionavegación aérea y radioaficionado. (CONATEL, 2013, pp. 17-28)

En la figura 10-1 se muestra un ejemplo de cómo están distribuidas las frecuencias del espectro radioeléctrico, mostrando a la vez los servicios de comunicación que operan en dichas bandas como se ha nombrado con antelación.

1.3.3. División del espectro radioeléctrico

La división del espectro de frecuencias fue acordada en 1953 por el CCIR (Consejo Consultivo Internacional de las Comunicaciones de Radio) actualmente conocida como UIT-R (Sector de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones) encargada de emitir normas

técnicas de índole internacional referente a todo lo que involucre el sector de las radiocomunicaciones como lo son los servicios inalámbricos y las nuevas tecnologías de comunicación móvil. (Kustra Ruben, 2008)

Tabla 1-1: División del espectro radioeléctrico

Número de banda	símbolos (en inglés)	Descripción	Gama de frecuencias	Subdivisión métrica correspondiente	Abreviaturas métricas para las bandas
4	VLF	Very Low Frequency (Frecuencias muy bajas)	3 a 30 kHz	Ondas miriamétricas	B.Man
5	LF	Low Frequency (Frecuencia baja)	30 a 300 kHz	Ondas kilométricas	B.Km
6	MF	Medium Frequency (Frecuencia media)	300 a 3000 kHz	Ondas hectométricas	B.hm
7	HF	High Frequency (Frecuencia alta)	3 a 30 MHz	Ondas decamétricas	B.dam
8	VHF	Very High Frequency (Frecuencias muy altas)	30 a 300 MHz	Ondas métricas	B.m
9	UHF	Ultra High Frequency (Frecuencias ultra altas)	300 a 3000 MHz	Ondas decimétricas	B.dm
10	SHF	Super High Frequency (Frecuencias super altas)	3 a 30 GHz	Ondas centimétricas	B.cm
11	EHF	Extremely High Frequency (Frecuencias extremadamente altas)	30 a 300 GHz	Ondas milimétricas	B.mm
12			300 a 3000 kHz	Ondas decimilimétricas	

Fuente: ARCOTEL, 2017, Plan Nacional de Frecuencias.

En la tabla 1-1 se muestra como el espectro radioeléctrico está dividido en bandas de frecuencias, así como sus siglas en inglés, la gama de frecuencias en las que trabajan dichas bandas y la subdivisión métrica correspondiente.

1.4. Fuentes generadoras de radiación

1.4.1. Fuentes naturales generadoras de radiación

la radiación natural se considera a toda radiactividad que se genera en el ambiente a causa de los campos electromagnéticos que se presentan de forma natural e imperceptibles a la vista de las personas, lo que les hace ineludible de la vida cotidiana en entornos públicos y de trabajo que provienen de la composición de campos eléctricos y magnéticos.

Los campos eléctricos se originan a partir de la concentración de cargas que surgen de determinadas regiones de la atmosfera a consecuencia de las tormentas eléctricas. El campo magnético formado por la tierra, al que estamos constantemente expuestos, se puede encontrar en la orientación de las manecillas de la brújula en dirección Norte-Sur como se puede observar en la figura 11-1. El rango de frecuencias en las que oscila el campo electromagnético terrestre está comprendido entre 0 a 30 Hz con un campo eléctrico máximo de 150 V/m. (OMS, 2016)

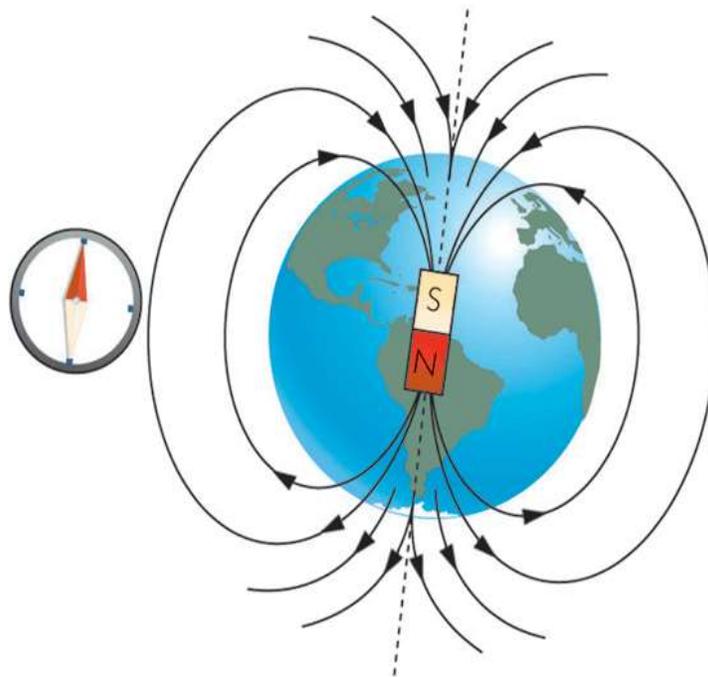


Figura 11-1: Campo magnético terrestre

Fuente: https://www.ecured.cu/images/8/8c/Campo_magnetico_terrestre.png.

1.4.2. Fuentes antropogénicas generadoras de radiación

Además de la radiación que proviene de fuentes naturales, dentro del espectro electromagnético también existen CEM (campos electromagnéticos) que son generados por la mano del hombre, que en su mayoría están ligados dispositivos que se encargan de la emisión y recepción de los servicios de telecomunicaciones, los cuales están asociados a campos de radio frecuencia con prologadas longitudes de ondas y por tanto no poseen suficiente energía para ionizar la materia.

Los CEM provenientes de los equipos encargados de la distribución, traslado y consumo de energía eléctrica, también están asociados a este tipo de fuentes, cuyos campos trabajan sobre frecuencias extremadamente bajas, correspondiente a la porción del espectro electromagnético no ionizante, como ejemplos tenemos los equipos utilizados para la transmisión de señales de radio, televisión, radar, el uso del microondas para calentar y cocinar alimentos entre otros. (OMS, 2016)



Figura 12-1: Fuentes de CEM generadas por el hombre

Fuente: <https://cdn.educ.ar/dinamico/UnidadHtml/rni.educ.ar/img/cem.jpg>.

1.5. Servicios de telecomunicaciones en el Ecuador

1.5.1. Radio FM

Es un sistema de telecomunicación que se lo realiza por medio del espectro radioeléctrico con propiedades dependientes de su banda de frecuencia.

En la normativa ecuatoriana del servicio de radiodifusión sonora FM se establecen 100 frecuencias enumeradas del 1 al 100 con una separación de 200 KHz y para la asignación de canales adyacentes con una separación mínima de 400 KHz en un rango de 88.1 MHz a 108 MHz. (ARCOTEL, 2015, p. 3)

1.5.2. Televisión

Se define a este servicio como la forma de telecomunicación capaz de transmitir imágenes no permanentes ya sean estas fijas o móviles. (CONATEL, 2013, p. 24)

En el Ecuador la transición de televisión en la actualidad es en su mayoría es analógica pero poco a poco la televisión digital terrestre se está implementando en el país, según la Norma Técnica para el Servicio de Televisión Analógica y Plan de Distribución de Canales se contempla varios aspectos técnicos para la asignación de canales de televisión abierta que consta de 42 canales con un ancho de banda de 6MHz en las bandas de VHF y UHF. (ARCOTEL, 2015, pp. 3–4)

La distribución de los canales, bandas y el rango de frecuencias que ocupan se muestra la siguiente tabla 2-1:

Tabla 2-1: Canalización de las bandas de frecuencia de la televisión analógica en el Ecuador

RANGO DE FRECUENCIAS	BANDA	CANAL
VHF (54-72)	I	2-4
VHF (76-88)	I	5-6
VHF (174-216)	III	7-13
UHF (500-608)	IV	13-36
UHF (614-644)	IV	38-42
UHF (644-686)	V	43-49

Fuente: ARCOTEL, 2015, Norma Técnica para el Servicio de Televisión Analógica y Plan de Distribución de Canales (Resolución No. 1779-CONARTEL-01).

1.5.3. Telefonía móvil celular

La telefonía móvil en el Ecuador se inauguró en 1994 desde ese entonces ha sido el medio de comunicación con mayor crecimiento hasta la actualidad, ya no solo limitándose para el uso de

llamadas o mensajes de texto, por lo contrario, con la inclusión de acceder a internet su utilidad se ha ampliado más convirtiéndose en una herramienta indispensable de comunicación como de trabajo.

ARCOTEL como el organismo encargado de regular la asignación de frecuencias, estas se han distribuido para la telefonía móvil que operan en su mayoría con tecnología 2G, 3G y en los últimos años la incursión a 4G en tres empresas las cuales son: CONECEL S.A, OTECEL S.A y CNT E.P como se muestra en la tabla 3-1.

Tabla 3-1: Frecuencias asignadas a las operadoras móviles del Ecuador

OPERADORA	CONECEL S.A		OTECCEL S.A		CNT E.P.		
BANDA	1900 MHz	850 MHz	1900 MHz	850 MHz	1900 MHz	1700 MHz	700 MHz
ANCHO DE BANDA	10 MHz	25 MHz	10 MHz	25 MHz	40 MHz	40 MHz	30 MHz

Fuente: ARCOTEL, 2015, Plan Nacional de Frecuencias.

En las siguientes tablas se muestra como está asignado el espectro de frecuencias para cada empresa que presta el servicio móvil en las bandas de 850 MHz y 1900 MHz.

a) Banda de 850 MHz

Esta banda utiliza en total 50 MHz (25 MHz para transmisión y 25 MHz para recepción) para los Sistemas de Telecomunicaciones Móviles internacionales (IMT). (Nolivos, 2014, p. 25)

Tabla 4-1: Asignación de frecuencias para telefonía móvil en la banda de 850 MHz

OPERADORA	OTECCEL S.A	CONECEL S.A
RANGO DE FRECUENCIAS	835-845 MHz	824-835 MHz
	846.5-849 MHz	845-846,5 MHz
	880-890 MHz	869-880 MHz
	891,5-894 MHz	890-891,5 MHz

Fuente: ARCOTEL, 2015, Plan Nacional de Frecuencias.

b) Banda de 1900 MHz

Para esta banda se asigna 120 MHz (60 MHz para transmisión y 60 MHz para recepción) para sistemas IMT (Telecomunicaciones Móviles Internacionales). (Nolivos, 2014, p. 26)

Tabla 5-1: Asignación de frecuencias para telefonía móvil en la banda de 1900 MHz

OPERADORA	OTECEL S.A	CONECCEL S.A	CNT E.P
RANGO DE FRECUENCIAS	1865-1870 MHz	1885-1890 MHz	1895-1910 MHz
			1975-1990 MHz
	1945-1950 MHz	1965-1970 MHz	1890-1895 MHz
			1970-1975 MHz

Fuente: ARCOTEL, 2015, Plan Nacional de Frecuencias.

1.5.4. Wireless LANs

También son conocidas como WLAN o Wi-Fi (nombre comercial) son redes que comunican dos o más dispositivos de manera inalámbrica dentro de una determinada área, por su facilidad y accesibilidad son las redes más utilizadas en casas, edificios, escuelas, oficinas, etc. En Ecuador como en la mayoría de países para este tipo de redes se ocupa la porción de espectro de 2,4 GHz. (ARCOTEL, 2013, p. 150)

1.5.5. Bluetooth

Es una forma de transmisión de datos y voz económica entre dispositivos finales de corto alcance, su enlace de radiofrecuencia opera en los 2.4 GHz, están presentes en dispositivos móviles y computadores.

1.5.6. Telefonía fija inalámbrica

Estos equipos son de uso muy común en hogares, empresas, instituciones, etc. funcionan bajo el estándar DECT (Digital European Cordless Telephony) el cual da acceso radio para el servicio de telefonía fija inalámbrica (FWA, CDMA 450 + WIMAX). (ARCOTEL, 2015, p. 2)

En Ecuador según la resolución de la norma para la utilización del espectro libre de ARCOTEL la telefonía fija inalámbrica debe ser de baja potencia y corto alcance; su funcionamiento y ocupación

deben estar limitados para interiores con antenas integradas y está prohibido el uso de conectores de antenas para exteriores, su frecuencia de operación es 1,88 – 1,9 GHz. (ARCOTEL, 2015, p. 15,19)

1.6. Parámetros de medición de las RNI

1.6.1. Intensidad de campo eléctrico

La intensidad de campo eléctrico es la magnitud vectorial que resulta de la fuerza eléctrica que experimenta una partícula cargada (q) sobre un punto determinado del campo, como se expresa en la ecuación (3) (Tipler & Mosca, 2010, p.705).

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = K \frac{q}{r^2} \hat{\mu}_r \quad (3)$$

Donde:

\vec{E} = Es la Intensidad del campo eléctrico en un punto.

K = Es la constante de proporcionalidad.

q = Es la carga que genera el campo.

r = Es el módulo del vector \vec{r} que representa la distancia que existe entre la carga y el punto donde se mide la intensidad.

$\hat{\mu}_r$ = Es un vector unitario del vector \vec{r} .

La unidad en la que se mide la intensidad de campo eléctrico es V/m, lo que quiere decir que la intensidad de campo eléctrico disminuye a medida que incrementa la distancia que existe entre la carga puntual y la carga de prueba.

Cuando tenemos un conjunto de cargas eléctricas actuando sobre un punto determinado como se puede observar en la figura 13-1, se utiliza el principio de superposición para determinar la intensidad de campo eléctrico total, mediante la suma vectorial de todos los campos eléctricos independientes generados por cada carga (Tipler & Mosca, 2010, p.706).

Por tanto, para encontrar el campo eléctrico total producido por las cargas q_1 , q_2 y q_3 en el punto P de la figura 13-1 se presenta la ecuación (4):

$$\vec{E}_P = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i \quad (4)$$

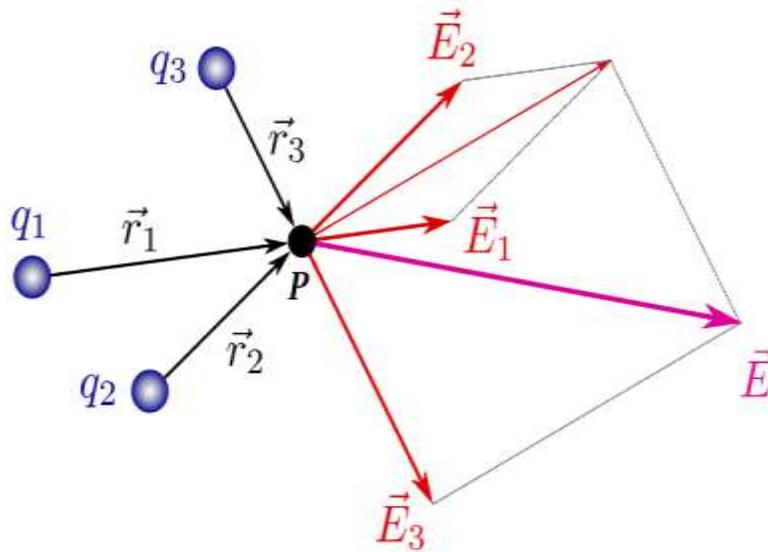


Figura 13-1: Intensidad de campo eléctrico resultante

Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b0/Campo_electrico_cargas_puntuales.

1.6.2. Densidad de potencia

Es el flujo de potencia que se propaga en la dirección de las ondas electromagnéticas y atraviesa una unidad de superficie normal; sus unidades se suelen expresar en vatios por metro cuadrado. (W/m²). (UIT-T, 2018, p. 3)

$$S = \frac{E^2}{\eta_0} = \eta_0 H^2 = EH \quad (5)$$

La densidad de potencia está representada por S y se determina a partir de la ecuación (5) en la cual E y H representan la intensidad de campo eléctrico y campo magnético expresadas en V/m y A/m, respectivamente. (UIT-T, 2018, p. 3)

1.6.3. Densidad de corriente

Es una magnitud vectorial que describe el flujo de corriente eléctrica que atraviesa una unidad de superficie seccionada transversalmente de un conductor lineal y está expresado en amperios por metro cuadrado (A/m²). (ICNIRP, 1998, p.521)

1.6.4. Tasa de absorción específica (SAR, specific absorption rate)

Es el valor que indica la cantidad de energía electromagnética que absorbe el cuerpo por unidad de masa. Las unidades en la que se expresa la SAR es vatios por kilogramo (W/kg) y haciendo referencia a la ecuación (6), la SAR está definida como la derivada en el tiempo de un incremento de energía

electromagnética (dW) disipada en un incremento de masa (dm) que está contenida en un diferencial de volumen (dV) de una densidad de masa determinada (p). (Solano, 2013, p. 7)

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dU}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dU}{\rho dV} \right) \quad (6)$$

O también se puede calcular mediante la ecuación (7).

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad (7)$$

Donde:

σ = Conductividad del material. (S/m)

E = Media cuadrática de campo eléctrico. (V/m)

ρ = Densidad de masa del material. (kg/m³)

La SAR está definida en el rango de frecuencias comprendido entre 100KHz y 10GHz, es decir ocupa la zona del espectro de radiación no ionizante, por tal motivo la energía electromagnética emitida por cualquier dispositivo no produce alteraciones en la composición molecular del cuerpo que está recibiendo dicha radiación, sino que la energía que absorben los tejidos se convierte en energía térmica mediante la ecuación (8), por esta razón la SAR también se puede definir por el aumento de temperatura en el tiempo. (Solano, 2013, p. 9)

$$SAR = C_i \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (8)$$

Donde:

C_i = Capacidad de calentamiento del tejido del cuerpo en ($\frac{J}{Kg} \text{ } ^\circ K$)

ΔT = Incremento de temperatura ($^\circ K$)

Δt = Incremento de tiempo (s)

1.7. Niveles de exposición a las radiaciones no ionizantes

Cada país del mundo establece sus límites para la exposición de la radiación no ionizante, pero todas esas normas se basan o acogen las recomendaciones publicadas por la ICNIRP (“Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante”), que es una organización no gubernamental reconocida por la OMS (Organización Mundial de la Salud), la cual propone pautas

para delimitar la exposición de personas a campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo hasta frecuencias de los 300 GHz.

Con dichos estudios por parte de esta entidad se elabora directrices que se revisan periódicamente con el fin de actualizar la información y salvaguardar el bienestar de las personas ante la exposición a la radiación no ionizante. (OMS, 2016)

El nivel de exposición está dado por la distancia que existe entre el observador a la estación de radiofrecuencia, por lo que tomando en cuenta esta distancia se han definido la zona poblacional, ocupacional y de rebasamiento como se muestra en la figura 14-1; cada una de estas zonas están delimitadas por un rango de frecuencias y cabe señalar que estos límites están dirigidos para la población en general. (ITU-T k.52, 2018, p. 8)

1.7.1. Zona de rebasamiento

En esta zona la exposición a los campos electromagnéticos es muy alta, por ende, es peligrosa para la salud del ser humano pues estos límites sobrepasan las recomendaciones para las zonas ocupacional y poblacional por lo cual es necesario su restricción para su ingreso a personal autorizado con las debidas protecciones que garanticen que su exposición no afecte su salud. (CONATEL, 2005, pp. 4–7)

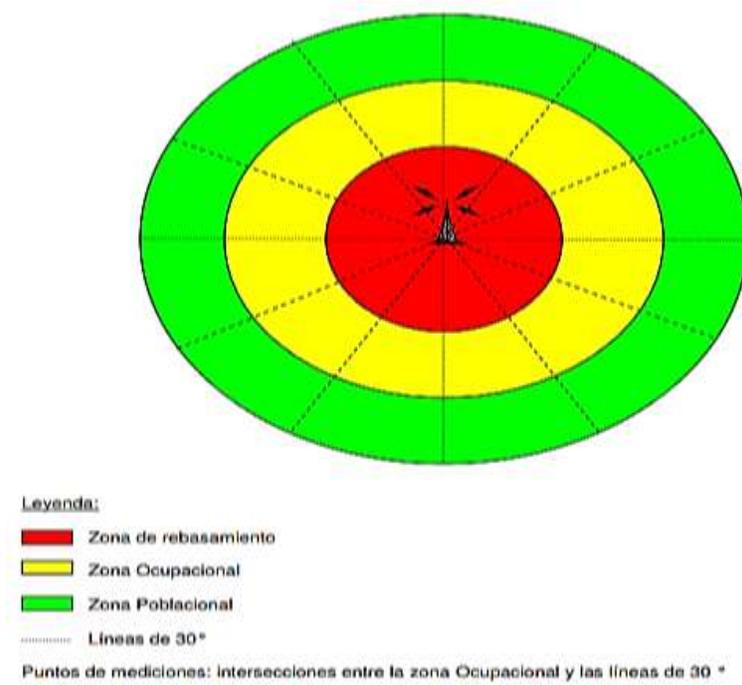


Figura 14-1: Ilustración de las zonas de exposición

Fuente: CONATEL, Reglamento de protección de emisiones de RNI, 2005.

1.7.2. Zona de exposición ocupacional

Los campos electromagnéticos en esta zona son inferiores a los límites aplicados a la exposición ocupacional controlada, pero están por encima de los límites definidos para la exposición poblacional. Se la conoce también como controlada porque las personas conocen y están advertidas de estar expuesto a estas radiaciones así que pueden tomar las debidas precauciones.

Esta exposición también se la conoce como de naturaleza transitoria pues es consecuencia del paso fortuito por este lugar que supera las recomendaciones de los límites establecidos a la población en general, de esta forma las personas quedan advertidas y se trata de controlar con medidas de seguridad su paso por esta zona. (CONATEL, 2005, p. 5)

1.7.3. Zona de exposición poblacional

Esta zona está definida en los niveles de exposición existentes por las radiaciones no ionizantes (RNI) que están presentes y afectan a la población o personas en general; la mayor parte de esta radiación a la que está expuesta el ser humano son frecuencias de microonda y radio (telefonía celular, televisión, radio FM, etc.). cabe señalar que las personas no pueden ejercer control a esta exposición por falta de importancia o conocimiento a esta exposición. (CONATEL, 2005, p. 5)

1.7.4. Señalización de las diferentes zonas de exposición

Una de las medidas más importantes para que la gente en general pueda estar protegida a la exposición innecesaria de radiación no ionizante es la señalización de las zonas de peligro o donde las ondas electromagnéticas sean más peligrosas para la salud ya que estas exposiciones pueden causar daños irreversibles. Si no se cuenta con la correcta señalización de las RNI (radiación no ionizante) pueden pasar imperceptibles pues no son visibles al ojo humano a valores bajos de intensidad. (Aguirre & Skvarca, 2012)

Por ende, las personas que no tengan nada relacionado con el trabajo de las RNI no conocen de las posibles consecuencias de interactuar con estas y podrían estar expuestas sin saberlo, entonces se hace necesario tomar en cuenta de la señalización como asunto de vital importancia y es por esto que las normativas proponen un tipo de señalización para las radiofrecuencias y microondas.

La resolución 01-01-CONATEL-2005 en el Reglamento de protección de emisiones de RNI del Ecuador se detalla en los anexos 7 y 8 la señalización de advertencia para las zonas de exposición poblacional y ocupacional. (Aguirre & Skvarca, 2012; CONATEL, 2005, p. 5)

a) Zona de exposición ocupacional

La señalización de esta zona debe ser visible tanto para el público en general como para la persona que trabaja en las estaciones radioeléctricas, además se indica que la zona debe estar delimitada físicamente y la señalética debe colocarse en la entrada de la misma. (CONATEL, 2005, p. 26)

b) Zona de rebasamiento

Para esta zona la señalización debe ser visible a todo el público y debe colocarse los letreros en los límites de la zona de rebasamiento tomando en cuenta cada uno de los accesos para la persona encargada de operar la estación radioeléctrica. (CONATEL, 2005, p. 26)

En las figuras 15-1 y 16-1 se muestra el color de la señalética (anexos 6 y 7 del reglamento proporcionado por la CONATEL 2005) de acuerdo a la zona de exposición, así como el texto, el símbolo y las dimensiones de cada una de ellas. En estas figuras se observa que el color amarillo es una advertencia para la zona de rebasamiento, mientras que la señalética de color rojo es para la zona de exposición ocupacional.



Figura 15-1: Señalización de advertencia

Fuente: CONATEL, Reglamento de protección de emisiones de RNI, 2005.



Figura 16-1: Señalización de la zona ocupacional

Fuente: CONATEL, Reglamento de protección de emisiones de RNI, 2005.

1.8. Límites de exposición a radiaciones electromagnéticas

1.8.1. Normativas ICNIRP (*Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones No Ionizantes*)

La ICNIRP es la organización sucesora de la IRPA/INIRC (Comité Internacional para las Radiaciones de No Ionizantes de la Asociación Internacional para la Protección contra la Radiación) y tiene por objetivo investigar los peligros que pueden ser asociados con las diferentes formas de radiación no ionizante, además de desarrollar recomendaciones internacionales sobre límites de exposición a RNI, y tratar todos los aspectos sobre protección contra las radiaciones no ionizantes. (Ahlbom, et al., 1998, p. 494)

1.8.1.1. Niveles máximos de exposición a RNI

En 1984 y 1987 los efectos biológicos reportados como resultado de la exposición a campos eléctricos y magnéticos estáticos y de frecuencia extremadamente baja fueron revisados por la UNEP/ OMS/ IRPA; aquellas publicaciones y las basadas en efectos inmediatos a la salud proveniente de exposiciones a corto plazo, proveyeron la base científica para el desarrollo de las recomendaciones

sobre los límites máximos de exposición a CEM establecidas por la ICNIRP. (Ahlbom et al., 1998, pp. 504–505)

Tabla 6-1: Normativa ICNIRP para exposición a RNI en zona ocupacional

Rango de Frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (A/m)	Densidad de Potencia (W/m ²)
0 – 1 Hz	–	1.63×10^5	–
1 – 8 Hz	20000	$1.63 \times 10^5 / f^2$	–
8 – 25 Hz	20000	$2 \times 10^4 / f$	–
0.025 – 0.82 kHz	$500/f$	$20/f$	–
0.82 – 65 kHz	610	24.4	–
0.065 – 1 MHz	610	$1.6/f$	–
1 – 10 MHz	$610/f$	$1.6/f$	–
10 – 400 MHz	61	0.16	10
400 – 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$f/40$
2 – 300 GHz	137	0.36	50

Fuente: ICNIRP, 1998, Normativa de exposición a RNI.

Tabla 7-1: Normativa ICNIRP para exposición a RNI en zona poblacional

Rango de Frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (A/m)	Densidad de Potencia (W/m ²)
0 – 1 Hz	–	3.2×10^4	–
1 – 8 Hz	10000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	–
8 – 25 Hz	10000	$4000/f$	–
0.025 – 0.8 kHz	$250/f$	$4/f$	–
0.8 – 3 kHz	$250/f$	5	–
3 – 150 kHz	87	5	–
0.15 – 1 MHz	87	$0.73/f$	–
1 – 10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$	–
10 – 400 MHz	28	0.073	2
400 – 2000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$f/200$
2 – 300 GHz	61	0.16	10

Fuente: ICNIRP, 1998, Normativa de exposición a RNI.

Los valores de referencia de campo eléctrico fueron establecidos a partir de modelos matemáticos y la extrapolación de los resultados obtenidos en las investigaciones de laboratorio realizadas a frecuencias específicas, considerando las restricciones básicas para la exposición ocupacional y poblacional. Para los campos de frecuencia baja, se realizaron modelos de medición y de cálculo para determinar los niveles de referencia, considerando también las restricciones básicas. (Ahlbom et al., 1998, p. 510)

En las tablas 6-1 y 7-1 se muestran los niveles máximos de exposición a radiación no ionizante (RNI) establecidos por la ICNIRP que se deben cumplir en la zona ocupacional y poblacional respectivamente tanto para intensidad de campo eléctrico, campo magnético y densidad de potencia.

1.8.2. Normativas UIT

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es un órgano especializado de las Naciones Unidas en todo lo que respecta al campo de las telecomunicaciones. La UIT-T es un sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT, donde su trabajo se basa en el estudio técnico, de exploración y dar recomendaciones sobre las telecomunicaciones de tal forma de dar una normalización de las mismas a nivel mundial. (UIT,2018)

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT) se realiza cada 4 años con el objetivo de establecer los temas de próximos estudios que pueda desarrollar las Comisiones de Estudio del UIT-T que a su vez producen las recomendaciones de los temas propuestos. (ITU-T k.52, 2018, p. 2)

Entre las normas publicadas por la UIT en el ámbito de las radiaciones generadas por los campos electromagnéticos tenemos las siguientes:

- Resolución. 72
- Resolución 62 (CMDT, Hyderabad, 2010)
- Resolución UIT-R 62
- Resolución UIT-T K.62
- Recomendación UIT-T K.83
- Erratum 1 (09/2012) a la Recomendación UIT-T K.83
- Resolución 176 (Guadalajara – 2010) (“Exposición de las personas a los campos electromagnéticos y medición de los mismos”)
- Cuestión 23/1 (“Estrategias y Políticas relativas a la exposición de las personas a los campos electromagnéticos.”)

1.8.2.1. UIT-T K.52

Esta resolución describe diferentes recomendaciones para la instalación de equipos de telecomunicaciones y para que estas se encuentren en los límites que garanticen la seguridad ante la exposición de los campos electromagnéticos producidos por los equipos de telecomunicaciones en un rango de 8.3 KHz a 300 GHz abarcando también los equipos inalámbricos de mano y que se utilizan en la oreja en un rango de frecuencia de 300 MHz a 6 GHz. (ITU-T k.52, 2018, p. 1)

Además, brinda técnicas y procedimientos para evaluar la exposición a radiofrecuencia para público en general y trabajadores en el ámbito de las telecomunicaciones; cabe señalar que las tablas de límites de exposición tanto ocupacional y poblacional de esta resolución están establecidas en base a la normativa ICNIRP. (ITU-T k.52, 2018, p. 2)

La resolución también brinda directrices para la medición de campos electromagnéticos dependiendo del estudio que se quiera realizar. El procedimiento de evaluación consiste en identificar el tipo de instalación de telecomunicaciones, así como sus posibles peligros de exposición y las respectivas técnicas para disminuir dicha exposición; las instalaciones de telecomunicaciones dicho lo anterior pueden pertenecer a los siguientes grupos. (ITU-T k.52, 2018, p. 7,9)

- **Inherentemente conformes:** las fuentes de radiación producen campos electromagnéticos que están dentro de los límites de la exposición a estos campos, así que no es necesario tomar medidas de protección demasiado importantes. (ITU-T k.52, 2018, p. 9)
- **Normalmente conformes:** las fuentes producen campos electromagnéticos que pueden sobrepasar los límites de exposición, pero como estas instalaciones son muy comunes en su instalación para la comunicación la zona de rebasamiento está prohibida para el público en general y el personal de mantenimiento debe tomar las debidas precauciones al acercarse a estas instalaciones. (ITU-T k.52, 2018, p. 9)
- **Provisionalmente conformes:** estas fuentes necesitan de medidas especiales para que puedan conseguir la conformidad según sea el caso para lo que se debe determinar la zona de exposición mediante cálculos y mediciones que se recomienda en esta normativa. (ITU-T k.52, 2018, p. 9)

1.8.2.2. UIT-T K. 61

Esta recomendación brinda las pautas para que las instalaciones de telecomunicaciones en el rango de frecuencias de 9 KHz a 300 GHz estén dentro de los límites de exposición promulgados por

entidades nacionales e internacionales, a la vez se dan las pautas para los métodos numéricos para el cálculo predictivo de exposición en diferentes escenarios y como medir la exposición de manera correcta y confiable con instrumentos calibrados que den confianza al trabajo. (ITU-T K.61, 2018, p.1)

Mediciones de los campos electromagnéticos: Para las mediciones hay que tomar en cuenta que se puede medir el campo eléctrico, campo magnético o la densidad de potencia, que arroja valores para determinar la SAR (Tasa de Absorción Específica) para saber cómo los campos electromagnéticos están afectando al cuerpo humano. Entre las diferentes cantidades que se pueden medir son el valor medio temporal, promedio espacial, etc. dependiendo de la proximidad a las radiaciones. (ITU-T K.61, 2018, pp. 5–6)

Dispositivos: Existen dos tipos de dispositivos que son los de banda ancha y banda corta dependiendo de cómo se quiera medir los campos; es decir si se escoge un espectro limitado para mediciones de frecuencia selectiva o tener una gama de frecuencias que no proporcionan información de la fuente, a menos que se utilicen equipos sofisticados y costos se escoge uno u otro dispositivo. (ITU-T K.61, 2018, p. 8)

La selección del equipo también depende de que cumpla las normas vigentes, las características de las fuentes de campo electromagnético y que debe estar muy relacionado con el procedimiento de la medición ya que los resultados dependerán del procedimiento y el nivel de incertidumbre de medición sea confiable. (ITU-T K.61, 2018, pp. 10-11)

Variabilidad temporal y espacial: Para las mediciones espaciales hay que tomar en cuenta que van a existir múltiples trayectorias por lo que el equipo debe ser ubicado en un lugar estratégico donde se visualice que la persona pase más tiempo y es de esperar que exista grandes variaciones de campo dependiendo de los factores del lugar por lo que estas deben efectuarse en las horas picos del día. (ITU-T K.61, 2018, p. 12)

En el caso de las mediciones en que se espera la variabilidad en el tiempo, las mediciones deben realizarse durante un periodo amplio para poder procesar resultados confiables para este tipo de medición. (ITU-T K.61, 2018, p. 13)

1.8.3. Normativa ARCOTEL

En el Ecuador la entidad que está a cargo de la administración, regulación y control de las telecomunicaciones, así también está a cargo del espectro radioeléctrico, su gestión y de la regulación

de la exposición a campos electromagnéticos es la ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones). (ARCOTEL, 2015)

En el 2005 se emite el documento Reglamento de Protección de Emisiones de Radiación No Ionizante Generadas por uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico, donde la resolución 01-01-CONATEL-2005 se establecen los límites de protección de emisiones de radiación no ionizante generadas por los equipos de telecomunicaciones; también señala que los límites establecidos a la exposición de las emisiones de RNI están de acuerdo a las recomendaciones promulgadas por la UIT-T K.52 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. (CONATEL, 2005, p. 1,3-4)

La normativa de la ARCOTEL también hace referencia al procedimiento de medición de campo electromagnético, el cálculo del nivel de exposición, así como la señalización de las zonas y el tipo de equipos para las mediciones, que toman como base o acogen lo establecido en la resolución de la UIT-T K.52 que ya se describió anteriormente en el presente trabajo de titulación. Es necesario mencionar que los límites máximos de exposición por estación radioeléctrica fija (3 KHz -300 GHz) que se muestran en la normativa ARCOTEL tanto para exposición ocupacional y poblacional acoge lo establecido por la normativa de la ICNIRP (0 -300 GHz) antes mencionada.

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Metodología

Para este trabajo de titulación se aplica la investigación de campo ya que los datos que se miden están realizados en la vivienda donde residen personas expuestas a radiaciones no ionizantes y también se utiliza la investigación bibliográfica ya que se averigua lo que las diferentes entidades encargadas de la regulación a la exposición de las personas a campos electromagnéticos promulgan sobre dicho tema. A continuación, se muestra la metodología ocupada para el desarrollo del trabajo de titulación, donde se ocuparon los siguientes pasos:

PLANIFICAR

- Realizar una búsqueda de información acerca de temas relacionados con el trabajo de titulación, de tal manera poder seleccionar el contenido más relevante para el desarrollo del estudio.
- Determinar el equipo de medición apropiado que se ajusta a la gama de frecuencias en las que operan los equipos dentro y fuera de la vivienda.
- Construir un soporte de madera que simule los 14 puntos distribuidos en los modelos de Duke y Ella de la familia virtual V2.0.
- Identificar los nodos donde se va a realizar las mediciones espaciales y temporales de intensidad de campo eléctrico considerando las zonas de mayor afluencia de los habitantes.

HACER

- Realizar las mediciones espaciales y temporales de la intensidad de campo eléctrico promedio en los nodos seleccionados.
- Recolectar las mediciones tomadas en libros de Excel.
- Calcular los valores máximos, mínimos, promedios, media cuadrática, desviación estándar y percentiles con los datos medidos.
- Diseñar un programa en Matlab para mostrar los resultados.

VERIFICAR

- Realizar un análisis comparativo entre los modelos de Duke y Ella en las mediciones espaciales y entre nodos para las mediciones temporales.
- Realizar un análisis comparativo entre las mediciones espaciales y temporales con las normativas ICNIRP y ARCOTEL (UIT-T k.52).

En la figura 1-2 se explica gráficamente el escenario donde se realizan las mediciones de campo eléctrico promedio, que como se observa en la figura inciden varios equipos ya descritos con anterioridad que producen radiación no ionizante en mayor o menor escala dentro de la vivienda, así como la antena celular próxima a la misma.

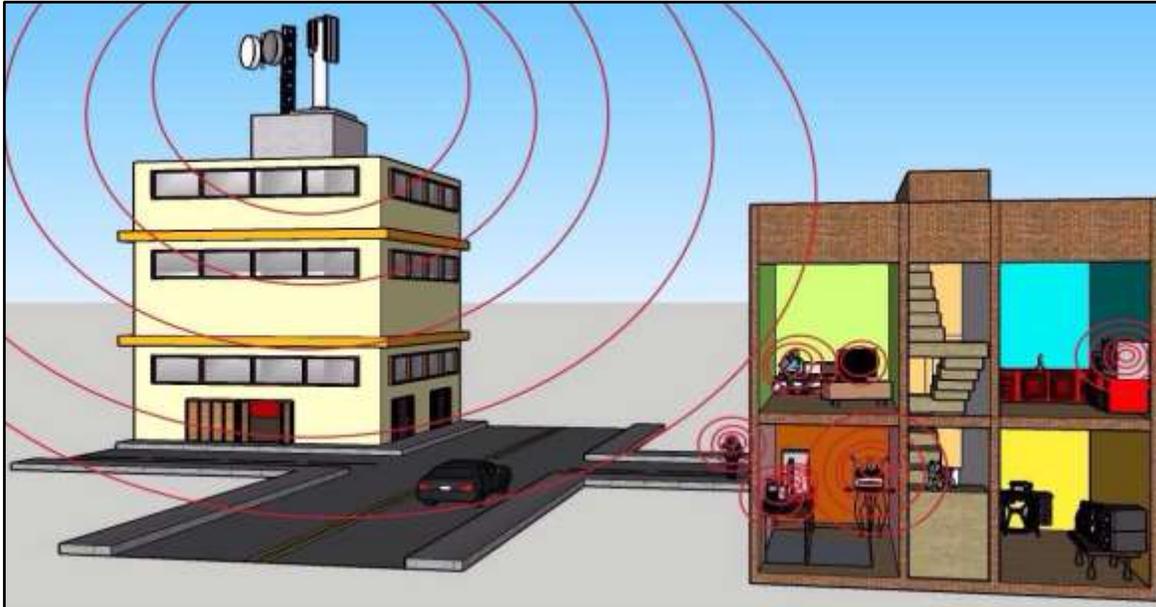


Figura 1-2: Escenario de las RNI que inciden en la casa residencial

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

A continuación, se procede a detallar los equipos y programas que se utilizaron en el desarrollo de la metodología para realizar la medición tanto espacial como temporal de intensidad de campo eléctrico en el domicilio.

2.2. Equipo LATNEX HF-B3G

Este equipo es de banda ancha diseñado de acuerdo con las normas vigentes de EMC (compatibilidad electromagnética por sus siglas en inglés) y ha sido probado de acuerdo con EN61326-1 (2006); sirve para medir y monitorear la intensidad de campo eléctrico y magnético tanto para ambientes indoor y outdoor. (LATNEX, 2018, pp.1-2)

Opera el equipo en un rango de frecuencias de 50 MHz a 3,5 GHz, en dicho rango trabajan los dispositivos que están presentes o se usan comúnmente en un hogar como son: teléfonos celulares, teléfonos inalámbricos, microondas, televisión, radio y módems Wi-Fi y también en ambientes externos como las antenas de celular; por lo que este equipo es de mucha utilidad para este tipo de trabajos especializados. (LATNEX, 2018, pp.3-5)

Como se puede observar en la figura 2-2 el equipo LATNEX HF-B3G es un dispositivo portátil que incluye una antena isotrópica triaxial (x, y, z), de un diseño cómodo y de fácil operación que dispone de una batería de 9 V que trabaja por 15 horas consecutivas y con un almacenamiento de 200 datos en diferentes resoluciones y valores de visualización.

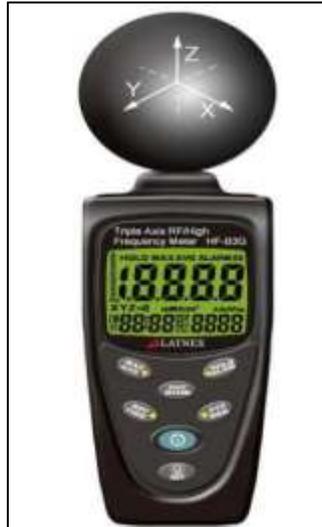


Figura 2-2: Equipo LATNEX HF-B3G

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

A continuación, se detallan las especificaciones del equipo:

- Certificado de calibración ISO 9001:2015(CNS 12681:2016) (Anexo A)
- El método de medición es digital, triaxial.
- La visualización de los datos puede ser en: $0,1\text{mV/m}$, $0,1\mu\text{A/m}$, $0,001\mu\text{W/m}^2$ y $0,001\mu\text{W/cm}^2$
- La frecuencia de muestreo es de 3 veces por segundo.
- El tiempo de configuración del equipo es de 1.5 segundos.
- Las unidades para mediar datos son: mV/m , V/m , $\mu\text{A/m}$, mA/m , $\mu\text{W/m}^2$, mW/m^2 , $\mu\text{W/cm}^2$
- El equipo puede mostrar el valor máximo, el valor máximo promedio, el valor instantáneo o el valor promedio.
- El funcionamiento del equipo es con una batería de 9 V.

2.2.1. Configuración

El equipo LATNEX HF-B3G permite medir campo eléctrico, campo magnético y densidad de potencia gracias a los sensores de triple eje según sea el caso del estudio, con lo que el usuario tiene la facilidad de operar y tener una comprensible lectura de los datos. La configuración que se realiza es:

- Configuración de la hora y fecha.
- Configuración de la barra analógica de sensibilidad de ser necesario.
- Borrar la memoria antes de comenzar un nuevo lapso de medidas.
- Escoger las unidades de medición en este caso V/m.
- Para guardar un dato se oprime el botón REC.

2.3. Soporte de madera

Para poder realizar el presente trabajo es indispensable la construcción de un soporte de madera de tal manera que en este se pueda colocar el equipo y se pueda mover tanto a diferentes alturas, así como también de izquierda a derecha para poder medir y simular los 14 puntos de los dos modelos de la familia virtual V2.0.



Figura 3-2: Soporte de madera y piezas

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Como se ve en la figura 3-2 el soporte de madera consta de 7 pares de piezas de diferentes alturas de tal modo que al colocarlas simule la altura de los puntos de interés de los modelos de Duke y Ella siendo una altura máxima de 1,70 y 1,55 respectivamente desde el nivel del suelo.

2.4. Software utilizado

2.4.1. *Open Street Maps*

Open Street Maps (OSM) es una herramienta gratuita de software libre con la cual se puede diseñar mapas editables por medio de mapas en línea creados por información geográfica y gracias a

dispositivos GPS (global positioning system), imágenes satelitales y otras fuentes libres que son aportadas por personas voluntarias que recopilan esta información.

Para poder crear un mapa o editar uno es necesario crear una cuenta de usuario con la cual se tiene acceso a varias herramientas para corregir y crear casas, vías, estaciones, senderos entre otros. Todos los datos vectoriales e imágenes que posee este software son almacenados en su base de datos propia, así como los cambios que realicen los usuarios luego de cierto tiempo; en la figura 4-2 se muestra lo realizado en este software de cartografía.



Figura 4-2: Ubicación de la casa residencial para el estudio

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Como se aprecia en la figura 4-2 se ha utilizado Open Street Map para mostrar la ubicación de la casa residencial en la ciudad de Riobamba que está ubicada en las calles Argentinos y Juan Montalvo, así como a la vez se muestra la antena de telefonía celular cuya radiación no ionizante está influenciando en la casa, una de las principales razones por la cual se realiza el presente estudio en dicha vivienda.

2.4.2. Microsoft Excel

Es un software parte de Microsoft Corp. Permite realizar trabajos con datos de índole numérico que permite realizar varias actividades en campos contables, financieros, matemática y varias aplicaciones más gracias al uso de hojas de cálculo en las cuales se pueden crear gráficas, tablas, base de datos, análisis de datos mediante estadística descriptiva, pruebas de hipótesis, muestras y nuevas herramientas avanzadas como lo es trabajar con tablas dinámicas.

2.4.3. Matlab

Es un lenguaje de programación de alto desempeño usado en universidades y centros de investigación a nivel mundial para el cálculo, análisis y visualización de datos y funciones, además de que ofrece dos herramientas muy útiles como lo es Simulink y GUIDE (editor de interfaces de usuario). Esto hace de este software una herramienta ideal para ser utilizado en comunicaciones inalámbricas, finanzas, robótica, sistemas de control y análisis de datos. (Gilat y Macías Iglesias 2006, pp. 1–2)

Con la utilización de este software se realiza los cálculos matemáticos de las bases de datos creadas en Excel de para los nodos de las mediciones espaciales y temporales, de manera que se crea un GUIDE en el cual un usuario pueda visualizar los resultados mediante gráficas y tablas de las mediciones de radiación no ionizante que en este caso es con valores de campo eléctrico promedio.

2.4.4. Lucidchart

Es una herramienta en línea capaz de ser utilizada en diversos índoles y campos de estudio como es en informática, ingeniería, administración, diseño de productos, arquitectura; con una amplia lista de herramientas para realizar diagramas, crear base de datos, organigramas, diagramas de flujo, conceptuales, de procesos, mentales, así también prototipos de software para celulares y varias herramientas para la creación de planos arquitectónicos.

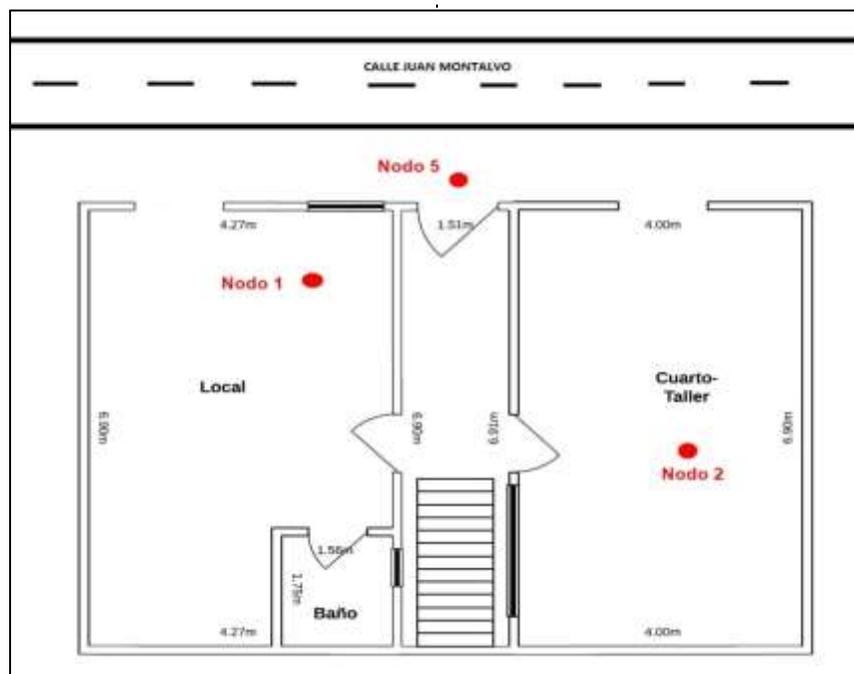


Figura 5-2: Planta baja de la casa residencial

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

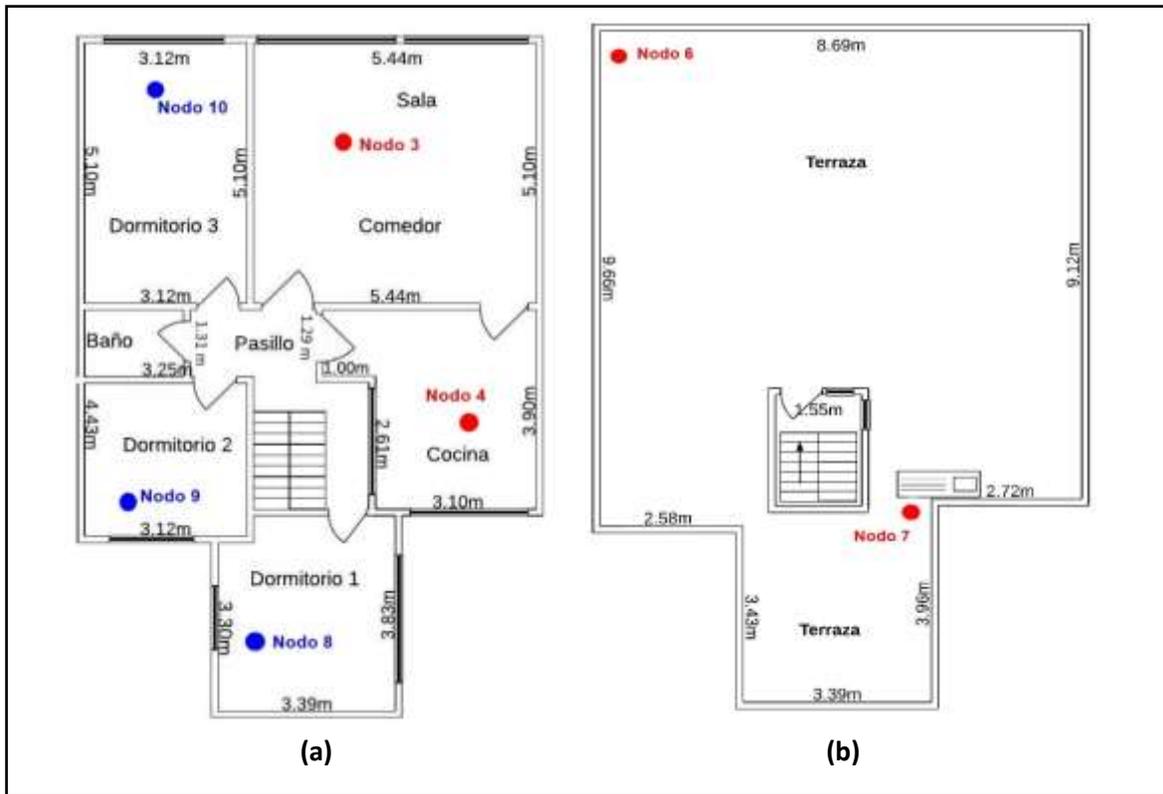


Figura 6-2: (a) Primer piso de la casa, (b) Terraza de la casa

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Con la versión gratuita de este software se realizan los planos arquitectónicos de la vivienda residencial como se ve en las figuras 5-2 y 6-2, misma en la que se efectúa el estudio y donde se realizarán las respectivas mediciones de campo eléctrico promedio.

En las figuras 5-2 y 6-2 a demás se señalizan la ubicación de cada uno de los nodos en los cuales se ubica el soporte de madera y el equipo de medición; cabe resaltar que los nodos de color rojo son donde se realizan las mediciones espaciales y los nodos de color azul son para las mediciones temporales.

2.4.5. Virtual Family V2.0

La familia virtual V2.0 consiste en modelos de archivos CAD de alta resolución desarrollados por la Fundación para la Investigación en Tecnologías de la Información en la Sociedad (ITIS), la cual se encarga de realizar estudios que ayuden a la población a mejorar el nivel de vida garantizando la seguridad y calidad ante el uso de los equipos electromagnéticos a través de estudios e investigaciones realizados con ayuda de estos modelos virtuales. (ITIS Foundation, 2015)

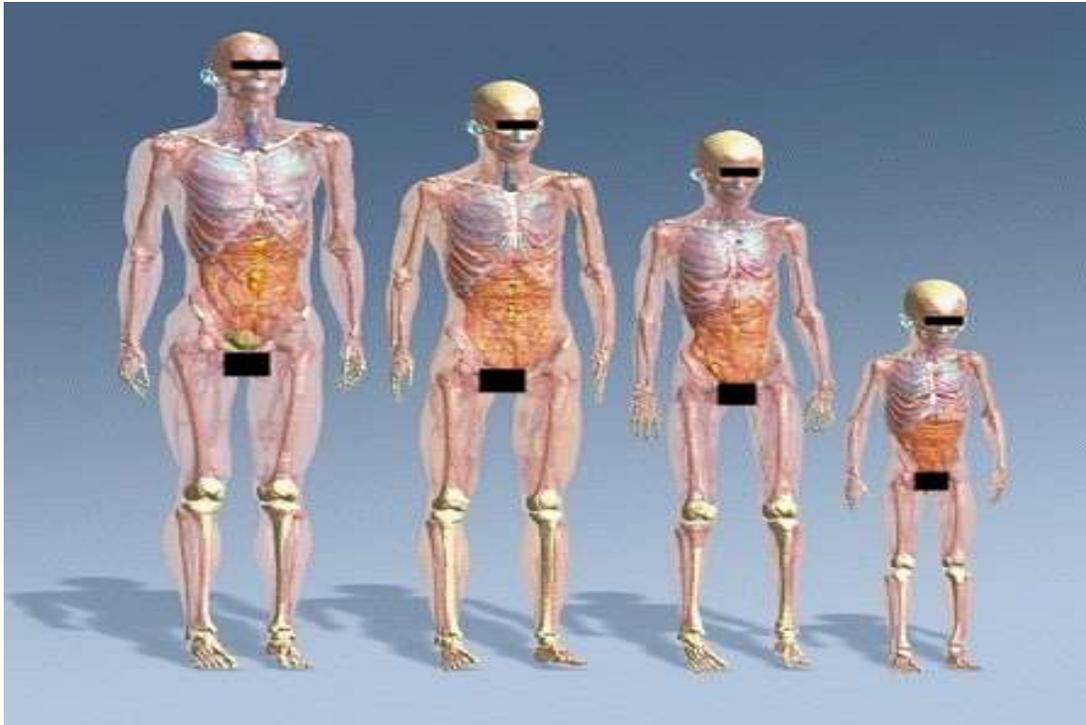


Figura 7-2: Duke, Ella, Billie, Thelonious, modelos de Virtual Family V2.0

Fuente: ITIS Foundation, 2015, <https://www.itis.ethz.ch/virtual-population/virtual-population/vip2/>.

La Virtual Family V2.0 (figura 7-2) se creó por la creciente preocupación de las personas hacia la exposición a los campos electromagnéticos, esta familia virtual está integrada por 4 modelos CAD generados a través de imágenes de resonancia magnética de dos adultos de sexo masculino y femenino, así como de un niño y una niña, donde se puede distinguir aproximadamente 300 órganos y tejidos que se combinan en 22 grupos de tejidos con una alta definición en cada modelo. (ITIS Foundation, 2015)

Cada uno de estos 4 modelos CAD poseen los mismos tejidos y órganos, pero poseen características propias en permitividad y conductividad eléctrica además de otras diferencias que se especifican en la tabla 1-2. (ITIS Foundation, 2015)

Tabla 1-2. Características de los modelos CAD de Virtual Family V2.0

Nombre	Sexo	Edad (años)	Altura (m)	Peso (Kg)	IMC (Kg/m ²)
Duke	Masculino	34	1,77	70,3	22,4
Ella	Femenino	26	1,63	57,3	21,5
Billie	Femenino	11	1,49	34,0	15,4
Thelonious	Masculino	6	1,15	18,6	14,1

Fuente: ITIS Foundation, 2015, <https://www.itis.ethz.ch/virtual-population/virtual-population/vip2/>.

Con el uso de estos modelos computacionales se pueden realizar mediciones de campo eléctrico tomando en cuenta los factores espaciales o temporales según sea el caso, de esta forma se puede medir la intensidad de campo eléctrico que está absorbiendo el cuerpo para cada uno de los modelos por medio del equipo de medición. (ITIS Foundation, 2015)

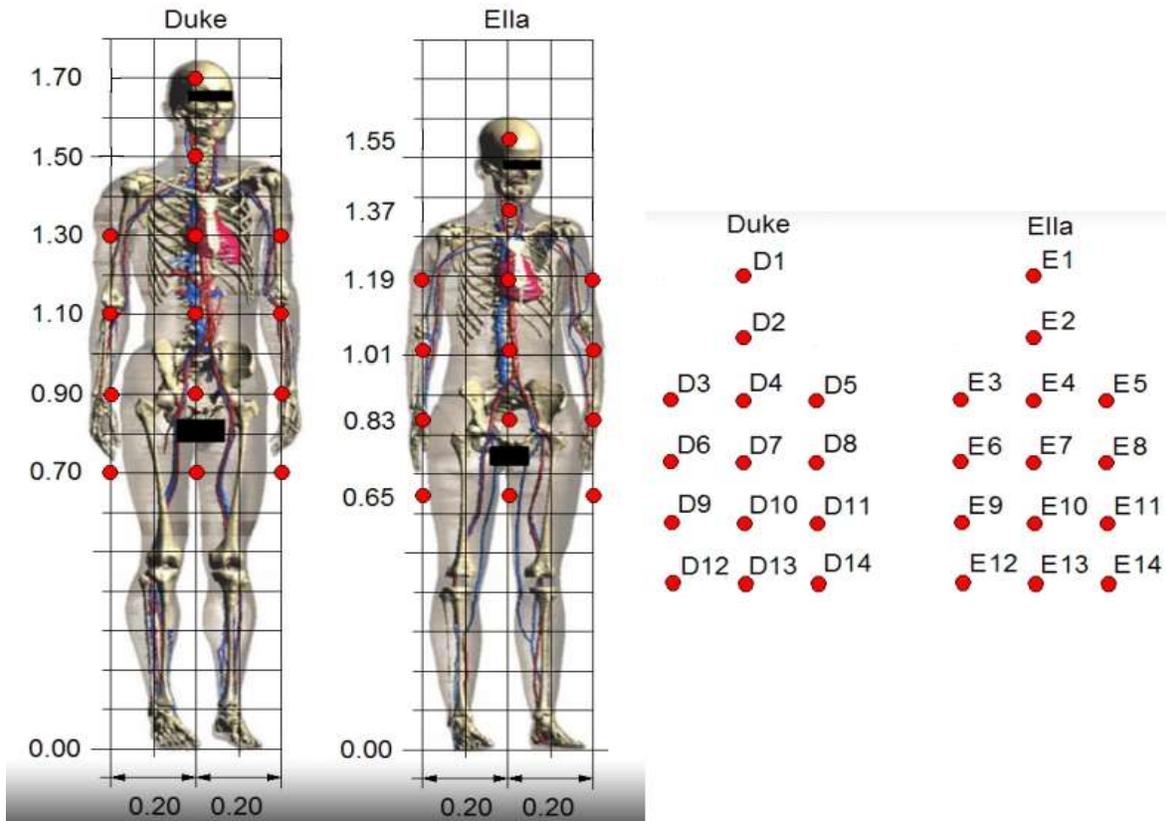


Figura 8-2: Puntos para la medición espacial en la Virtual Family V2.0

Fuente: ITIS Foundation, 2015, <http://www.itis.ethz.ch/virtual-population/virtual-population-cvip-vip/vip2/>, tesis doctoral Ing. Pedro Infante.

Para lo cual se ha considerado puntos de interés a diferentes distancias y alturas medidas desde el nivel del suelo como se presenta en la Figura 8-2 donde están los modelos de Duke y Ella de la familia virtual V2.0 distribuidos en 14 puntos a lo largo del cuerpo humano cuyas distancias se especifican en la tabla 1-2 y que han sido presentados en la tesis de doctorado desarrollada por el Ingeniero Pedro Infante.

En el presente trabajo de titulación se busca comprobar que los niveles de campo eléctrico provenientes desde el interior de la vivienda cumplan con las normativas nacionales e internacionales de exposición de las personas a campos electromagnéticos, para lo cual se realizó las mediciones en los 14 puntos distribuidos en los modelos de Duke y Ella simulando a las personas que habitan en la vivienda.

Como se presenta en la figura 8-2 se ha escogido solo los dos modelos para adultos de la familia virtual V2.0 de los 4 modelos CAD existentes ya que en la casa donde se realiza el estudio no existe la presencia de niños, y por ende solo la habitan personas adultas para las cuales se ajustan las características de Duke y Ella presentadas en la tabla 1-2.

2.5. Procedimiento para la medición de las RNI

En el presente trabajo de titulación se realizarán mediciones de los campos electromagnéticos tanto en condiciones temporales como espaciales, de esta forma se analiza los niveles de radiación que recibe el cuerpo humano en diferentes instancias de la vivienda, lo cual se conseguirá mediante la utilización de los dos modelos de la familia virtual V2.0 (Duke y Ella) y el equipo de medición; como las mediciones se las tomarán en condiciones diferentes como ya se expuso antes es necesario que se defina procedimientos diferentes para cada una de ellas.

2.5.1. Procedimiento de medición y análisis RNI espacial

Las mediciones de los CEM en condiciones espaciales se las realizan en 7 nodos diferentes de toda la vivienda tanto en el interior como en el exterior y además se utilizará los 14 puntos distribuidos en cada uno de los dos modelos de la familia virtual V2.0 para adultos, por lo cual se ha definido el siguiente procedimiento:

1. Identificar 7 nodos en la vivienda residencial que sean donde más tiempo pasen las personas, tanto en la parte interna como externa para mostrar la incidencia de CEM.
2. Los siete nodos se distribuyen: cuatro en la parte interna de la casa y tres en la parte externa (1 en la calle y 2 en la terraza).
3. Utilizar la ubicación de los 7 nodos de medición tanto para Duke como para Ella.
4. Las mediciones en cada nodo se realizan tres veces al día: en la mañana (06h00 a 07h30), medio día (12h00 a 13h30) y noche (18h00 a 19h30) para cada uno de los modelos de la familia virtual V2.0 (Duke y Ella). Cuyos horarios son donde el uso de dispositivos y equipos emisores de RNI se usan en mayor medida por parte de las personas.
5. En cada uno de los siete nodos se utiliza el soporte de madera con el equipo LATNEX HF-B3G para medir la intensidad de campo eléctrico promedio en cada uno de los 14 puntos que están distribuidos en los modelos de la familia virtual V2.0 a diferentes alturas con referencia al suelo.
6. Encender el equipo LATNEX HF-B3G y configurar para que pueda medir el campo eléctrico promedio.

7. Realizar la toma de mediciones en un intervalo de seis minutos, moviendo el equipo de un lugar a otro según la distribución de los 14 puntos por cada uno de los modelos.
8. Al finalizar la medición de los 14 puntos se procede a borrar la memoria del equipo de medición para las siguientes mediciones.
9. Realizar un registro fotográfico del lugar de medición, así como de los valores obtenidos por el equipo.
10. Documentar cada dato de la medición de la intensidad de campo eléctrico promedio almacenándolos en un documento en Excel para su posterior uso y análisis.
11. Realizar tres tipos de análisis para las mediciones espaciales: por nodos, distintos períodos del día y por los 14 puntos distribuidos en cada uno de los dos modelos.
12. Tabular los datos obtenidos en las mediciones para crear tablas a partir del cálculo del promedio, valores máximos, valores mínimos y desviación estándar para los tres tipos de análisis.
13. Crear tablas comparativas y gráficos de barras mediante Matlab con las tablas expuestas en el numeral 12.
14. Realizar los cálculos para obtener la intensidad de campo magnético, densidad de potencia, media cuadrática y los 99 percentiles en Excel para los 294 valores de intensidad de campo eléctrico medidos para cada uno de los dos modelos.
15. Crear tablas con los cálculos del punto 14 para los tres tipos de análisis.
16. Realizar el cálculo y gráfico de la desviación estándar en Matlab con todos los datos obtenidos por modelo y se realiza el mismo proceso excluyendo los valores atípicos con la ayuda de los percentiles calculados en el punto 14.
17. Mostrar tablas y gráficos de barras que comparen los datos de las mediciones tomadas con las normas vigentes de la ARCOTEL e ICNIRP para los tres tipos de análisis.

2.5.2. Procedimiento de medición y análisis RNI temporal

El procedimiento para la realización de la medición de campo eléctrico promedio considerando la exposición de 7 noches de la persona acostada sobre la cama en cada uno de los tres dormitorios de la casa residencial se describe a continuación:

1. Identificar el lugar donde se va a ubicar el equipo de medición sobre la cama.
2. El equipo se coloca a 0,85 metros a nivel del suelo de tal manera simule la cabeza de la persona dormida en la cama.
3. Encender el equipo LATNEX HF-B3G y configurar para que pueda medir el campo eléctrico promedio.

4. Tomar las mediciones en un intervalo de 6 minutos de forma ininterrumpida en un horario de 20h00 a 05h30. Se escoge este horario puesto que es donde las personas pasan el mayor tiempo cuando están en sus dormitorios.
5. Verificar el buen funcionamiento normal del equipo en el transcurso del periodo de medición.
6. Documentar cada medición realizada guardando los datos del campo eléctrico promedio en un documento Excel por dormitorio.
7. Realizar un registro fotográfico del lugar de medición, así como de los valores medidos.
8. Tabular los datos obtenidos en las mediciones para crear tablas a partir del cálculo del promedio, valores máximos, valores mínimos.
9. Crear tablas comparativas y gráficos de barras mediante matlab con las tablas expuestas en el numeral 8.
10. Calcular la intensidad de campo magnético, densidad de potencia, media cuadrática y el valor de los 99 percentiles en Excel para los 665 valores de intensidad de campo eléctrico medidos para cada uno de los nodos temporales.
11. Realizar el cálculo y gráfico de la desviación estándar en Matlab con todos los datos obtenidos por nodo y se realiza el mismo proceso excluyendo los valores atípicos con la ayuda de los percentiles calculados en el punto 10.
12. Con el uso del software se crean tablas y graficas que comparan los datos de las mediciones tomadas con las normas vigentes de la ARCOTEL e ICNIRP.

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS

3.1. Medición y procesamiento de RNI espaciales

3.1.1. Ubicación de los nodos para las mediciones RNI espaciales

Las mediciones espaciales se realizaron en siete nodos diferentes situados en la parte interna y externa del domicilio ubicado en la ciudad de Riobamba entre las calles Juan Montalvo y Argentinos para lo cual se consideró las zonas de mayor afluencia de las personas que habitan la vivienda, los nodos de medición en la parte interna están distribuidos dos en la planta baja (figura 1-3), dos en el primer piso (figura 2-3), mientras que en la parte externa se sitúa uno en la vereda de la calle (figura 1-3) y dos en la terraza (figura 3-3).

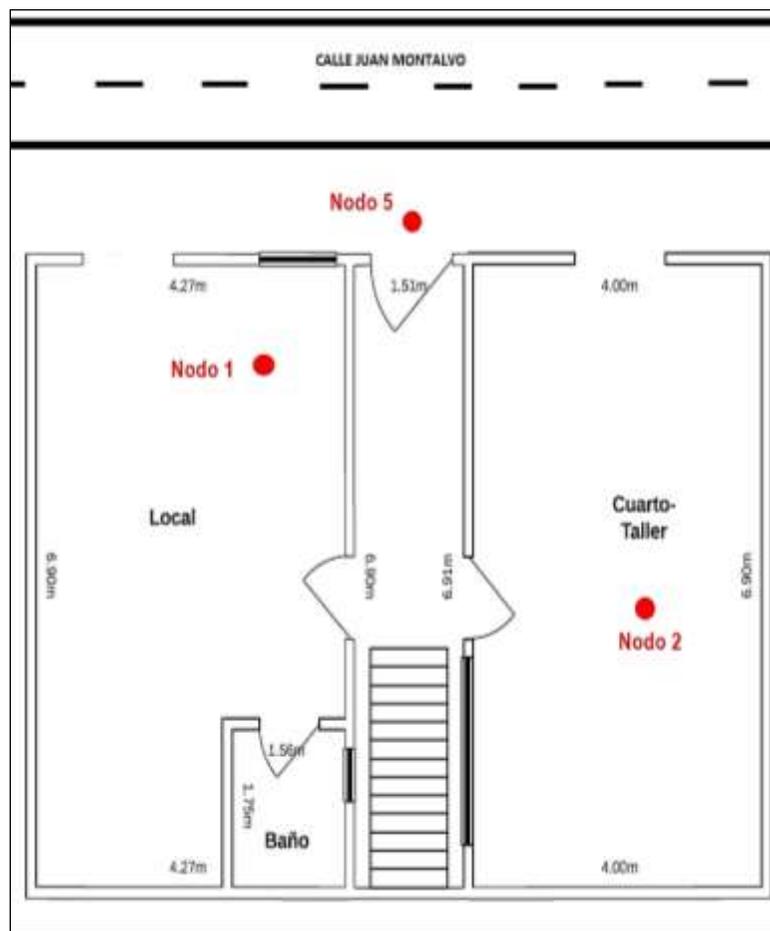


Figura 1-3: Nodos en la planta baja de la casa residencial

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M; 2018.

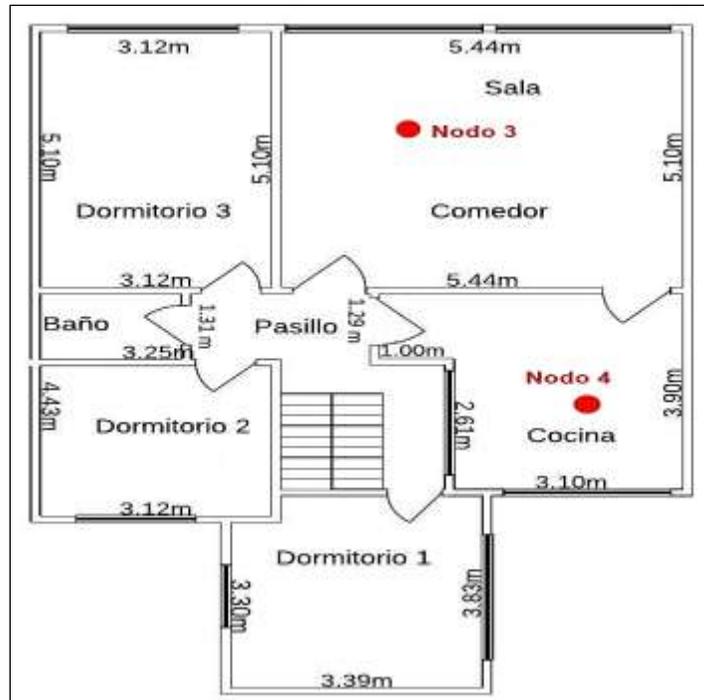


Figura 2-3: Nodos en el primer piso de la casa residencial

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

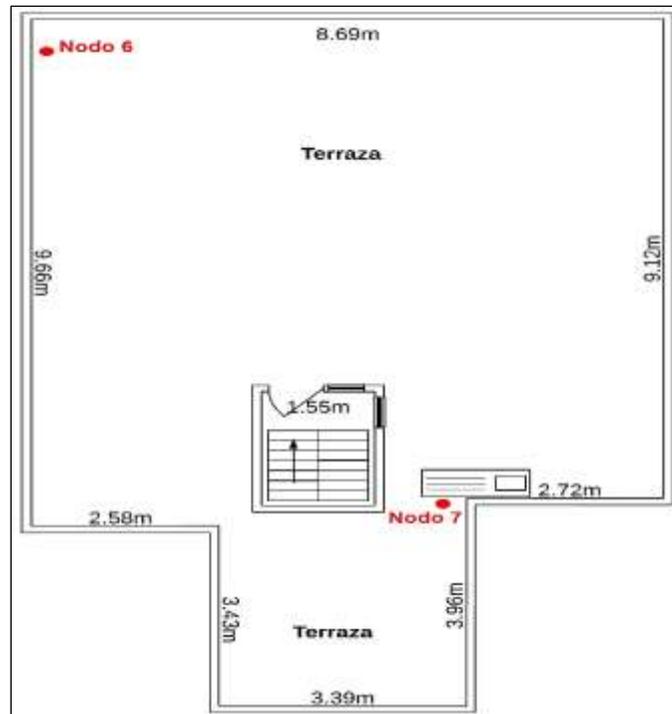


Figura 3-3: Nodos en la terraza de la casa residencial

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En este trabajo los sitios donde se realizaron las mediciones espaciales se representan con la siguiente nomenclatura:

Nodo 1: Local Comercial

Nodo 2: Taller

Nodo 3: Sala

Nodo 4: Cocina

Nodo 5: Vereda de la calle

Nodo 6: Terraza (lugar más cercano a la antena)

Nodo 7: Terraza (lavandería)

Los nodos 3 y 4 se escogieron porque son zonas donde tienen mayor influencia las radiaciones no ionizantes que provienen de los equipos eléctricos y electrónicos existentes dentro de la casa, mientras que el nodo 6 es por la cercanía que se tiene a la antena celular desde la terraza.

3.1.2. Medición de la intensidad de campo eléctrico

Las mediciones fueron realizadas en base a los 14 puntos distribuidos en los modelos de Duke y Ella que se muestran en la figura 8-2; estas mediciones se realizaron en los 7 nodos (Nodo 1, Nodo 2, ..., Nodo 7) distribuidos en la vivienda durante la mañana en el horario de 6:00 am a 7:30 am, en el medio día de 12:00 am a 13:30 pm y en la noche de 18:00 pm a 19:30 pm para cada uno de los modelos; estas mediciones se tomaron en un intervalo de 6 minutos por cada punto como se recomienda en la normativa UIT-T K.52.

Los 7 nodos de las mediciones espaciales descritos, están ubicados en la zona de campo lejano y que debido a las condiciones de radiación de esta zona se optó por medir la intensidad de campo eléctrico total promedio, a partir del cual se puede obtener la intensidad de campo magnético (H) y la densidad de potencia (S) por medio de las ecuaciones (2) y (5) respectivamente.

Para calcular la media cuadrática de los datos de campo eléctrico, útil para la obtención de la Tasa de Absorción Específica (SAR) cuyos valores servirán para otros estudios donde se enfoquen en obtener este parámetro, se hizo uso de la ecuación (9):

$$Media\ Cuadrática = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (9)$$

Donde:

x = Valor de campo eléctrico medido.

n = número de datos de campo eléctrico.

La obtención de la intensidad de campo eléctrico promedio se realizó con el uso del equipo LATNEX HF-B3G, el cual trabaja en el rango de frecuencias comprendido entre 50 MHz a 3,5 GHz, rango en el cual trabajan los equipos eléctricos y electrónicos emisores de RNI, además se hizo uso de un soporte de madera sobre el cual se ubica el equipo para representar a los modelos adultos de la familia virtual V2.0 (Duke y Ella) que simulan a los ocupantes de la vivienda.

3.1.3. Procesamiento de los datos obtenidos en las mediciones de RNI espaciales

3.1.3.1. Tabulación de los datos obtenidos en las mediciones RNI espaciales para los modelos de Duke y Ella

Los datos obtenidos en las mediciones de intensidad de campo eléctrico promedio se almacenaron en un libro de Microsoft Excel diferente para cada modelo de Duke y Ella, luego se procedió a tabular los valores medidos en la mañana, medio día y noche en tablas que se distinguen por los nodos (Nodo1, Nodo 2, Nodo3, ..., Nodo7) y modelos, estas tablas se muestran a continuación, así como también una fotografía que evidencia la ubicación de los nodos en los cuales se tomaron las mediciones.

NODO 1



Figura 4-3: Fotografía de la medición tomada en el nodo 1 ubicado en el local comercial

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En la figura 4-3 se aprecia la fotografía que se capturó en el instante que se realizó las mediciones de RNI espaciales en el nodo 1 ubicado en el local comercial utilizando el equipo LATNEX B3G-HF y el soporte de madera en el lugar donde más tiempo pasa la persona que está trabajando en dicho local.

También se muestra a continuación las tablas 1-3 y 2-3 que describen los valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos en las mediciones de la mañana, medio día y noche en que se realizó en el nodo 1 el día 28/05/2018 para el modelo de Duke y de igual manera el 04/06/2018 para el modelo Ella.

Tabla 1-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 28/05/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Duke en el nodo 1

PUNTOS DE DUKE	Lunes 28/05/2018		
	Intensidad de campo eléctrico promedio (V/m)		
	Mañana	Medio Día	Noche
D1	0,5443	0,9028	0,8216
D2	0,5998	0,8488	0,5048
D3	0,3429	0,7677	0,5291
D4	0,3207	0,9375	0,6116
D5	0,3518	1,1861	0,6354
D6	0,4266	0,631	0,819
D7	0,544	1,2256	0,4146
D8	0,3053	0,8084	0,7355
D9	0,5535	1,0481	0,6225
D10	0,689	1,4808	0,5865
D11	0,4761	1,0066	1,2316
D12	0,4331	0,7392	0,97
D13	0,5038	0,7048	0,5898
D14	0,5773	0,7486	0,5518

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Tabla 2-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 04/06/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Ella en el nodo 1

PUNTOS DE ELLA	Lunes 04/06/2018		
	Intensidad de campo eléctrico promedio (V/m)		
	Mañana	Medio Día	Noche
E1	0,2891	0,8283	0,9231
E2	0,5407	0,5739	0,9653
E3	0,5176	0,9265	0,5361
E4	0,3225	0,5862	0,6094
E5	0,3802	0,8946	1,1831
E6	0,3771	0,549	0,539
E7	0,3049	0,8243	0,7354
E8	0,4536	1,1765	1,1053
E9	0,3908	0,8263	0,7903
E10	0,6656	0,6366	0,4482
E11	0,5923	0,6129	0,8748
E12	0,2313	0,5225	0,585
E13	0,2742	0,5937	1,0721
E14	0,2852	0,9648	0,7156

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

NODO 2

En la figura 5-3 se aprecia la fotografía que se capturó en el instante que se realizó las mediciones de intensidad de campo eléctrico espacial en el nodo 2 que representa la ubicación del taller en la casa de estudio.

También se muestran las tablas 3-3 y 4-3 que describen los valores de intensidad de campo eléctrico promedio tanto para la mañana, media y noche realizadas en el día martes 29/05/2018 para el modelo de Duke y el martes 05/06/2018 para Ella.



Figura 5-3: Fotografía de la medición tomada en el nodo 2 ubicado en el taller

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Tabla 3-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 29/05/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Duke en el nodo 2

PUNTOS DE DUKE	Martes 29/05/2018		
	Intensidad de campo eléctrico promedio (V/m)		
	Mañana	Medio Día	Noche
D1	0,7294	0,6845	0,2158
D2	0,1758	0,53	0,3522
D3	0,1807	0,3002	0,292
D4	0,2074	0,8565	0,248
D5	0,5438	0,3718	0,2494
D6	0,4937	0,3095	0,2333
D7	0,3217	1,028	0,1958
D8	0,3804	1,9331	0,2338
D9	1,5999	0,3544	0,2825
D10	0,3941	0,8755	0,5939
D11	0,2111	0,6571	0,3548
D12	0,6752	0,6868	0,3726
D13	0,7633	0,2676	0,5199
D14	0,8995	1,2726	0,3602

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Tabla 4-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 05/06/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Ella en el nodo 2

PUNTOS DE ELLA	Martes 05/06/2018		
	Intensidad de campo eléctrico promedio (V/m)		
	Mañana	Medio Día	Noche
E1	0,5809	0,6318	0,3335
E2	0,3404	0,3717	0,3396
E3	0,855	0,3761	0,2906
E4	0,746	0,4507	0,3387
E5	0,5362	0,1958	0,5403
E6	0,5967	0,6868	0,483
E7	0,3001	0,191	0,4872
E8	1,0671	0,3346	0,2765
E9	0,7872	0,2108	8,926
E10	0,5979	0,6157	1,1102
E11	0,2842	0,2987	0,4247
E12	0,1602	0,1707	0,3559
E13	0,4979	0,8943	0,2282
E14	0,5329	0,5984	0,247

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

NODO 3



Figura 6-3: Fotografía de la medición tomada en el nodo 3 ubicado en la sala

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Tabla 5-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 30/05/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Duke en el nodo 3

PUNTOS DE DUKE	Miércoles 30/05/2018		
	Intensidad de campo eléctrico promedio (V/m)		
	Mañana	Medio Día	Noche
D1	0,9149	1,0258	0,8472
D2	0,9327	0,8687	1,3493
D3	0,9576	1,1147	0,9955
D4	0,8738	1,0206	1,0465
D5	1,1132	0,8494	0,7213
D6	0,8468	0,8103	0,9749
D7	0,6266	0,7852	1,0519
D8	0,8748	1,0879	0,8515
D9	0,7724	0,7249	0,6826
D10	0,6273	0,9818	1,027
D11	0,9062	0,697	0,8833
D12	0,7543	0,7247	0,8256
D13	0,7181	0,9204	0,722
D14	0,6222	0,9428	0,9579

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En la figura 6-3 se muestra la fotografía que se capturó en el instante que se realizó las mediciones de RNI (radiación no ionizante) espaciales en el nodo 3 que representa a la sala de la vivienda utilizando el equipo LATNEX B3G-HF y el soporte de madera, se ubicó de tal manera que este represente el lugar donde un habitante de la casa permanezca en esta instancia de la casa.

También se muestra a continuación las tablas 5-3 y 6-3 que describen los valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos en las mediciones que se realizó en la mañana, medio día y noche en este nodo el día 30/05/2018 para el modelo de Duke y las mediciones realizadas el 06/06/2018 para Ella.

Tabla 6-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 06/06/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Ella en el nodo 3

PUNTOS DE ELLA	Miércoles 06/06/2018		
	Intensidad de campo eléctrico promedio (V/m)		
	Mañana	Medio Día	Noche
E1	0,9977	1,0445	0,996
E2	0,9275	0,7496	1,0347
E3	0,9254	0,7268	1,1104
E4	0,8526	0,815	0,8967
E5	0,7464	0,613	0,734
E6	0,718	1,1855	0,8163
E7	0,7009	0,7859	0,8764
E8	0,8924	0,6924	0,7633
E9	0,7359	1,0486	0,8291
E10	0,8008	0,9269	0,73
E11	0,7013	0,8786	0,8106
E12	1,0584	1,0807	0,6388
E13	0,6686	0,9766	0,7511
E14	0,7807	0,9299	0,8418

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

NODO 4



Figura 7-3: Fotografía de la medición tomada en el nodo 4 ubicado en la cocina

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En la figura 7-3 se aprecia la fotografía que se capturó en el instante que se realizó las mediciones de radiación no ionizante espaciales en el nodo 4 que representa la ubicación de la cocina de la casa utilizando el equipo LATNEX B3G-HF y el soporte de madera. Se muestra las tablas 7-3 y 8-3 que describen los valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos en las mediciones que se realizó en el nodo 4 el día 31/05/2018 para el modelo de Duke y el día 07/06/2018 para Ella.

Como se observa en la fotografía de la figura 7-3 el soporte de madera se colocó cerca del microondas ya que para realizar estas mediciones se encendió este electrodoméstico de tal manera que se observe la influencia que tiene durante de medición de campo eléctrico promedio.

Tabla 7-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 31/05/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Duke en el nodo 4

PUNTOS DE DUKE	Jueves 31/05/2018		
	Intensidad de campo eléctrico promedio (V/m)		
	Mañana	Medio Día	Noche
D1	0,329	0,783	0,368
D2	0,6608	0,7799	0,36
D3	0,4751	0,668	0,3809
D4	0,495	0,8745	0,4418
D5	1,0049	0,443	0,5697
D6	0,7614	0,427	0,2539
D7	0,4098	0,6034	0,4879
D8	0,4555	0,571	0,5567
D9	0,2737	0,4569	0,2257
D10	0,2182	0,479	0,3514
D11	0,3814	0,3808	0,4311
D12	0,327	0,4351	0,3099
D13	3,27	4,82	3,54
D14	0,2093	0,4206	0,6533

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Tabla 8-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 07/06/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Ella en el nodo 4

PUNTOS DE ELLA	Jueves 07/06/2018		
	Intensidad de campo eléctrico promedio (V/m)		
	Mañana	Medio Día	Noche
E1	7,664	6,218	6,467
E2	8,22	8,273	7,318
E3	0,2366	0,4929	0,5578
E4	0,6072	0,5344	0,9941
E5	0,9471	0,6023	0,7533
E6	0,5609	0,6954	0,5691
E7	0,7036	0,7294	0,4553
E8	0,7681	0,6441	0,3623
E9	0,9244	0,3669	0,6613
E10	0,6246	1,3458	0,8941
E11	0,4449	0,7034	0,3086
E12	0,5281	0,5735	0,3127
E13	0,6542	0,3237	0,7596
E14	0,8744	0,3081	0,3499

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

NODO 5



Figura 8-3: Fotografía de la medición tomada en el nodo 5 ubicado en la vereda

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En la figura 8-3 se aprecia la fotografía que se capturó en el instante que se realizó las mediciones de RNI espaciales en el nodo 5 que indica la ubicación en la vereda de la calle de la casa utilizando el equipo LATNEX B3G-HF y el soporte de madera.

Las tablas 9-3 y 10-3 presentadas describen los valores de intensidad de campo eléctrico promedio medidas el día 01/06/2018 para el modelo de Duke y el día 08/06/2018 para el modelo de Ella.

Tabla 9-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 01/06/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Duke en el nodo 5

PUNTOS DE DUKE	Viernes 01/06/2018		
	Intensidad de campo eléctrico promedio (V/m)		
	Mañana	Medio Día	Noche
D1	1,2014	1,4677	1,2927
D2	1,1679	1,235	1,1242
D3	1,4239	1,2934	1,2723
D4	1,2924	1,2639	1,4493
D5	1,2201	1,1651	1,2702
D6	1,0323	1,2388	0,9475
D7	1,0839	1,2124	1,0366
D8	1,1653	1,0938	0,9717
D9	1,1881	1,229	1,3262
D10	1,4645	1,2177	1,1749
D11	1,2955	1,2216	1,4085
D12	1,2596	1,2042	1,1148
D13	1,1374	1,2864	1,205
D14	1,2378	1,2421	1,2578

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Tabla 10-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 08/06/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Ella en el nodo 5

PUNTOS DE ELLA	Viernes 08/06/2018		
	Intensidad de campo eléctrico promedio (V/m)		
	Mañana	Medio Día	Noche
E1	1,2897	1,2121	1,2508
E2	1,2621	1,4061	1,323
E3	1,1575	1,3311	1,5614
E4	1,3273	1,1276	1,2169
E5	1,064	1,0267	1,1337
E6	1,2365	1,2235	1,5113
E7	1,1982	1,0072	1,3876
E8	1,1694	1,2293	1,2689
E9	1,2477	1,4694	1,6444
E10	1,4365	1,2796	1,2658
E11	1,301	1	1,4698
E12	1,2227	1,3066	1,3488
E13	1,0884	1,2812	1,7749
E14	1,1468	1,2086	1,5606

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

NODO 6



Figura 9-3: Fotografía de la medición tomada en el nodo 6 ubicado en la terraza

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En la figura 9-3 se aprecia la fotografía que se capturó en el instante que se realizó las mediciones de RNI (radiación no ionizante) espaciales en el nodo 6 ubicado en la terraza cuyo nodo como ya se dijo se ubicó porque es el lugar más cercano a la antena celular desde este lugar de la casa, cuyas mediciones se realizaron con ayuda del equipo LATNEX B3G-HF y el soporte de madera.

También se muestra a continuación las tablas 11-3 y 12-3 que describen los valores de intensidad de campo eléctrico promedio medidos el nodo 6 el día 02/06/2018 para el modelo de Duke y el día 09/06/2018 para el modelo Ella.

Tabla 11-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 02/06/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Duke en el nodo 6

PUNTOS DE DUKE	Sábado 02/06/2018		
	Intensidad de campo eléctrico promedio (V/m)		
	Mañana	Medio Día	Noche
D1	2,152	6,719	5,1874
D2	2,265	5,334	4,26
D3	1,7604	2,21	1,9519
D4	2,106	1,9914	2,924
D5	1,5904	1,4934	1,7838
D6	1,4917	2,133	1,4489
D7	1,409	1,5769	2,587
D8	1,3044	1,2502	1,2404
D9	1,0345	1,3964	1,3432
D10	1,1929	1,0656	1,4004
D11	1,2129	1,1023	1,4431
D12	1,2181	1,1995	1,436
D13	0,8391	1,2801	0,938
D14	1,1182	0,9077	1,1684

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Tabla 12-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 09/06/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Ella en el nodo 6

PUNTOS DE ELLA	Sábado 09/06/2018		
	Intensidad de campo eléctrico promedio (V/m)		
	Mañana	Medio Día	Noche
E1	3,43	4	5,377
E2	2,322	2,661	2,708
E3	2,2	1,8154	2,449
E4	1,6059	1,8154	1,4451
E5	1,1565	1,4694	1,2225
E6	1,5031	1,8384	1,9204
E7	1,5394	1,4044	1,2705
E8	1,3638	1,3068	1,5513
E9	1,2897	2,417	1,6446
E10	1,2069	1,2454	1,2629
E11	1,2358	1,2265	1,3926
E12	1,556	1,4532	1,4394
E13	1,1276	1,2484	1,1325
E14	1,1281	1,3179	1,2188

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

NODO 7



Figura 10-3: Fotografía de la medición tomada en el nodo 7 ubicado en la terraza (lavandería)

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En la figura 10-3 se aprecia la fotografía que se capturó en el instante que se realizó las mediciones de radiación no ionizante espaciales en el nodo 7 ubicado en la terraza en la parte de la lavandería, en este nodo se representa donde las personas que habitan la casa pasan con más frecuencia que en otras partes de la terraza.

A continuación, se presentan las tablas 13-3 y 14-3 que describen los valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos en las mediciones con ayuda del equipo LATNEX B3G-HF y el soporte de madera para el nodo 7 el día 03/06/2018 para el modelo de Duke y el día 10/06/2018 para el modelo de Ella.

Tabla 13-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 03/06/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Duke en el nodo 7

PUNTOS DE DUKE	Domingo 03/06/2018		
	Intensidad de campo eléctrico promedio (V/m)		
	Mañana	Medio Día	Noche
D1	4,913	7,112	6,911
D2	3,499	5,721	2,84
D3	1,3328	1,488	1,5266
D4	1,2295	2,433	3,169
D5	1,997	3,719	3,7132
D6	3,457	2,379	4,669
D7	1,4855	1,7631	1,6628
D8	2,43	1,3226	4,384
D9	2,239	4,541	1,4054
D10	2,507	4,227	1,4377
D11	1,0776	1,4722	1,4351
D12	1,3909	1,587	2,493
D13	1,794	1,5683	1,0499
D14	1,1717	1,313	1,1454

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Tabla 14-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos el 10/06/2018 durante la mañana, medio día y noche para el modelo de Ella en el nodo 7

PUNTOS DE ELLA	Domingo 10/06/2018		
	Intensidad de campo eléctrico promedio (V/m)		
	Mañana	Medio Día	Noche
E1	3,205	6,699	3,341
E2	2,099	3,412	2,021
E3	1,5177	2,734	1,7788
E4	3,07	2,378	6,069
E5	1,4174	3,882	4,709
E6	1,2714	1,3264	1,4542
E7	5,395	2,33	5,276
E8	1,0691	3,093	1,378
E9	1,3136	1,9068	1,527
E10	3,382	3,425	3,701
E11	1,2265	1,5345	1,3846
E12	1,9359	1,424	1,8579
E13	1,3646	1,3217	3,521
E14	1,2909	1,4466	1,3264

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

3.1.3.2. Procesamiento de los datos de las RNI espaciales en la mañana, medio día y noche

Las tablas 1-3 hasta la 14-3 muestran los valores de intensidad de campo eléctrico promedio obtenidos en los modelos Duke y Ella tomados en la mañana, medio día y noche para los 7 nodos (Nodo 1, Nodo 2, ..., Nodo 7), con estos datos posteriormente se crearon tablas en Excel a partir del cálculo de los valores promedios, máximos, mínimos, media (media cuadrática) y desviación estándar por cada uno de los nodos, cuyos datos serán utilizados para el posterior análisis de los resultados.

Los valores que se presenta a continuación fueron obtenidos para cada uno de los tres periodos de tiempo en el que se realizaron las mediciones por cada uno de los modelos. Con respecto a la media cuadrática utilizada para el cálculo del SAR (Tasa de Absorción Especifica) se deja expresada su valor en cada uno de los nodos medidos para posteriores estudios donde se necesite hacer uso de este parámetro.

Tabla 15-3: Valores máximos, mínimos, promedio, media cuadrática y desviación estándar calculados para el modelo de Duke en la mañana de intensidad de campo eléctrico

DUKE	E máx. (V/m)	E min. (V/m)	E promedio (V/m)	Desviación Estándar (V/m)	Media cuadrática (V/m)
Nodo 1	0,689	0,3053	0,4763	0,1169	0,4894
Nodo 2	1,5999	0,1758	0,5411	0,3857	0,6565
Nodo 3	1,1132	0,6222	0,8244	0,1444	0,836
Nodo 4	3,27	0,2093	0,6622	0,7821	1,0033
Nodo 5	1,4645	1,0839	1,2301	0,1122	1,2349
Nodo 6	2,265	0,8391	1,4782	0,4428	1,5385
Nodo 7	4,913	1,0776	2,1803	1,1147	2,4305

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018

En la tabla 15-3 se aprecia los valores de campo eléctrico máximo en las mañanas para el modelo de Duke en el cual se observa que todos estos valores están por debajo de los 5 V/m, en el caso de los valores de campo eléctrico mínimo se evidencia que solo en los nodos 5 y 7 sobrepasan de 1 V/m, como promedios se puede observar que el campo eléctrico de los nodos 5, 6 y 7 están por encima de 1 V/m siendo los promedios más altos en comparación con el resto de nodos.

La desviación estándar mostrada evidencia que los datos medidos en los nodos en las mañanas no están muy alejados de su media pues todas las desviaciones estándar son menores a 0,5 V/m excepto el del nodo 7 donde existe una dispersión alta de más de 1 V/m.

Tabla 16-3: Valores máximos, mínimos, promedio, media cuadrática y desviación estándar calculados par el modelo de Duke al medio día de intensidad de campo eléctrico

DUKE	E máx. (V/m)	E min. (V/m)	E promedio (V/m)	Desviación Estándar (V/m)	Media cuadrática (V/m)
Nodo 1	1,4808	0,631	0,9311	0,2376	0,9589
Nodo 2	1,9331	0,2676	0,7234	0,4609	0,8488
Nodo 3	1,1147	0,697	0,8967	0,1381	0,9065
Nodo 4	4,82	0,3808	0,8673	1,1486	1,4062
Nodo 5	1,4677	1,0938	1,2408	0,082	1,2433
Nodo 6	6,719	0,9077	2,1185	1,7241	2,6923
Nodo 7	7,112	1,313	2,9033	1,8635	3,4137

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En el caso de los valores encontrados al medio día (tabla 16-3) se observa que comparando los valores máximos de campo eléctrico el nodo 6 y 7 tienen valores mayores a el resto ya que están por encima de los 5 V/m y en estos mismos nodos los promedios de campo eléctrico también son los más altos; en el caso de los campos eléctricos mínimos se observa que todos están por debajo de 2 V/m.

La desviación estándar como se puede apreciar es alta en los nodos 6 y 7 ya que al existir valores altos o mayores a el resto de medidas estos se alejan más de la media por ende el valor de desviación estándar es más alto que en el resto de los nodos.

Tabla 17-3: Valores máximos, mínimos, promedio, media cuadrática y desviación estándar calculados par el modelo de Duke en la noche de intensidad de campo eléctrico

DUKE	E máx. (V/m)	E min. (V/m)	E promedio (V/m)	Desviación Estándar (V/m)	Media cuadrática (V/m)
Nodo 1	1,2316	0,4146	0,6874	0,2143	0,7178
Nodo 2	0,5939	0,1958	0,3217	0,1161	0,3406
Nodo 3	1,3493	0,6826	0,924	0,1742	0,9392
Nodo 4	3,54	0,2257	0,6379	0,844	1,0336
Nodo 5	1,4493	0,9475	1,2037	0,1518	1,2126
Nodo 6	5,1874	0,938	2,0795	1,2571	2,4066
Nodo 7	6,911	1,0499	2,703	1,7145	3,168

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En el caso de la noche como se observa en la tabla 17-3 el campo eléctrico máximo es como en los casos anteriores en los nodos 6 y 7 están los valores más altos, el campo eléctrico mínimo en este caso está por debajo de 1 V/m en los nodos del 1 al 6 ya que el nodo 7 tiene un valor mínimo de campo eléctrico de 1,0499 V/m; en el caso de los campos eléctricos promedios de la noche solo los nodos 5, 6 y 7 sobrepasan de 1 V/m.

Como se observa en la tabla 18-3 los valores máximos en las mañanas del modelo Ella están sobre 1 V/m exceptuando el nodo 1 y en el nodo 4 donde se tiene un valor máximo de 8,22 V/m siendo el valor mayor a los demás nodos; los valores de campo eléctrico promedios también se relacionan con los valores máximos es decir que el valor promedio más alto está también en el nodo 4.

En los campos eléctricos mínimos estos están en un rango de 0,1602 a 1,1276 V/m, la desviación estándar por su parte se observa que la mayor dispersión existe en los nodos 4 y 7 de las mañanas ya que sobrepasan el valor de 1 V/m.

Tabla 18-3: Valores máximos, mínimos, promedio, media cuadrática y desviación estándar calculados par el modelo de Ella en la mañana de intensidad de campo eléctrico

ELLA	E máx. (V/m)	E min. (V/m)	E Promedio (V/m)	Desviación Estándar (V/m)	Media cuadrática (V/m)
Nodo 1	0,6656	0,2313	0,4018	0,133	0,4217
Nodo 2	1,0671	0,1602	0,5631	0,2466	0,6111
Nodo 3	1,0584	0,6686	0,8219	0,122	0,8303
Nodo 4	8,22	0,2366	1,697	2,6548	3,0699
Nodo 5	1,4365	1,064	1,2248	0,0985	1,2285
Nodo 6	3,43	1,1276	1,6189	0,6398	1,7323
Nodo 7	5,395	1,0691	2,1113	1,2347	2,4235

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Tabla 19-3: Valores máximos, mínimos, promedio, media cuadrática y desviación estándar calculados par el modelo de Ella en el medio día de intensidad de campo eléctrico

ELLA	E máx. (V/m)	E min. (V/m)	E promedio (V/m)	Desviación Estándar (V/m)	Media cuadrática (V/m)
Nodo 1	1,1765	0,5225	0,7512	0,1968	0,7747
Nodo 2	0,8943	0,1707	0,4305	0,2228	0,4811
Nodo 3	1,1855	0,613	0,8896	0,1668	0,904
Nodo 4	8,273	0,3081	1,5579	2,456	2,8334
Nodo 5	1,4694	1	1,2221	0,1424	1,2298
Nodo 6	4	1,2265	1,8014	0,7729	1,9493
Nodo 7	6,699	1,3217	2,6366	1,4606	2,9888

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En el caso de las medidas al medio día de Ella (tabla 19-3) se tiene que los valores de campo eléctrico máximos en los nodos 4, 6 y 8 los valores son mayores a 3 V/m, en los valores mínimos de campo eléctrico se observa que todos son menores a 2 V/m.

Los valores promedios están en un rango de 0,4305 a 2,6366 V/m; las desviaciones estándar se observan que son altas donde los valores máximos son más altos, como ya se dijo que son los nodos 4, 6 y 8 pues estos valores de campo eléctrico están más alejados de la media.

Tabla 20-3: Valores máximos, mínimos, promedio, media cuadrática y desviación estándar calculados por el modelo de Ella en la noche de intensidad de campo eléctrico

ELLA	E máx. (V/m)	E min. (V/m)	E promedio (V/m)	Desviación Estándar (V/m)	Media cuadrática (V/m)
Nodo 1	1,1831	0,4482	0,7916	0,2348	0,8233
Nodo 2	8,926	0,2282	1,0272	2,284	2,4289
Nodo 3	1,1104	0,6388	0,8449	0,1297	0,8541
Nodo 4	7,318	0,3086	1,4831	2,3079	2,6731
Nodo 5	1,7749	1,1337	1,4084	0,1838	1,4195
Nodo 6	5,377	1,1325	1,8596	1,1163	2,1483
Nodo 7	6,069	1,3264	2,8104	1,6231	3,2163

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

La tabla 20-3 perteneciente a los valores de campo eléctrico de la noche, los valores máximos están sobre 1 V/m hasta aproximadamente 9 V/m; en el caso de los valores mínimos desde el nodo 1 hasta el 4 son menores a 1 V/m y desde el nodo 5 al 6 son mayores a 1V/m. El campo eléctrico promedio se observa que el valor más alto en comparación con los demás nodos está en el nodo 7, cuyo valor se relaciona con los valores máximos y mínimos.

La desviación estándar en los nodos 2, 4, 6 y 7 son mayores a 1 V/m ya que por dichos valores máximos que se alejan más de la media el valor de la desviación estándar en los nodos va a ser mayor como se observa en la tabla 20-3.

Con los datos de las tablas anteriores se ocupó el campo eléctrico promedio, máximo y mínimo para calcular los valores máximos, mínimos y promedios de la intensidad de campo magnético (H) y densidad de potencia (S) para cada modelo con el uso de las ecuaciones (2) y (5), los cuales servirán para posteriores estudios en los cuales se requiera obtener la tasa de absorción específica (SAR) de los modelos Duke y Ella de la familia virtual V2.0 y cuyos resultados se pueden apreciar en las tablas que se presentan a continuación.

Como se observa en la tabla 21-3 para el modelo de Duke la intensidad de campo magnético mayor con respecto a los demás valores máximos está presente en el nodo 7 tanto en la mañana, tarde y noche, por ende, la densidad de potencia es también alta en este nodo con respecto a las demás.

Tabla 21-3: Valores de intensidad de campo magnético y densidad de potencia máximos para el modelo Duke

DUKE	Mañana		Medio día		Noche	
	H máx. (mA/m)	S máx. (mW/m ²)	H máx. (mW/m)	S máx. (mW/m ²)	H máx. (mA/m)	S máx. (mW/m ²)
Nodo 1	1,8276	1,2592	3,9279	5,8164	3,2668	4,0234
Nodo 2	4,2438	6,7897	5,1276	9,9122	1,5753	0,9356
Nodo 3	2,9528	3,2871	2,9568	3,2959	3,579	4,8291
Nodo 4	8,6737	28,363	12,7851	61,6242	9,3899	33,2402
Nodo 5	3,8846	5,689	3,8931	5,7139	3,8443	5,5715
Nodo 6	6,008	13,6081	17,8223	119,748	13,7597	71,3771
Nodo 7	13,0318	64,0252	18,8647	134,1657	18,3316	126,6897

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En la tabla 22-3 se presentan los valores mínimos para la mañana, medio día y noche del modelo Duke en cuya tabla se observa que las intensidades de campo magnético se encuentran en un rango de 0,4663 a 3,4828 mA/m y los valores de densidad de potencia se encuentran en un rango de 0,1017 a 4,5729 mW/m².

Tabla 22-3: Valores de intensidad de campo magnético y densidad de potencia mínimos para el modelo Duke

DUKE	Mañana		Medio día		Noche	
	H min. (mA/m)	S min. (mW/m ²)	H min. (mW/m)	S min. (mW/ m ²)	H min. (mA/m)	S min. (mW/m ²)
Nodo 1	0,8098	0,2472	1,6737	1,0561	1,0997	0,4559
Nodo 2	0,4663	0,082	0,7098	0,1899	0,5194	0,1017
Nodo 3	1,6504	1,0269	1,8488	1,2886	1,8106	1,2359
Nodo 4	0,5552	0,1162	1,0101	0,3846	0,5987	0,1351
Nodo 5	2,7382	2,8266	2,9013	3,1734	2,5133	2,3814
Nodo 6	2,2257	1,8676	2,4077	2,1855	2,4881	2,3338
Nodo 7	2,8584	3,0802	3,4828	4,5729	2,7849	2,9239

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Tabla 23-3: Valores de intensidad de campo magnético y densidad de potencia promedios para el modelo Duke

DUKE	Mañana		Medio día		Noche	
	H promedio (mA/m)	S promedio (mW/m ²)	H promedio (mW/m)	S promedio (mW/m ²)	H promedio (mA/m)	S promedio (mW/m ²)
Nodo 1	1,2634	0,6018	2,4699	2,2997	1,8234	1,2534
Nodo 2	1,4353	0,7766	1,9188	1,3881	0,8534	0,2745
Nodo 3	2,1867	1,8027	2,3786	2,1329	2,451	2,2647
Nodo 4	1,7565	1,1632	2,3005	1,9952	1,692	1,0793
Nodo 5	3,2531	3,9896	3,2912	4,0837	3,1928	3,8432
Nodo 6	3,921	5,796	5,6195	11,9049	5,5158	11,4701
Nodo 7	5,7833	12,6093	7,7011	22,3586	7,1698	19,38

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

La tabla 23-3 muestra que los valores promedios de intensidad de campo magnético son mayores a 0,8534 mA/m en cambio los valores promedios de densidad de potencia son mayores a 0,2745 mW/m². Además, se muestra que los valores calculados en la tarde en los nodos 6 y 7 tanto para H y S son los valores mayores de todos los mostrados en la tabla.

En la tabla 24-3 los valores máximos de Ella para la intensidad de campo magnético superan el 1 mA/m al igual que la densidad de potencia que superan del 1 mW/m y en el Nodo 7 del medio día se obtuvieron los valores más altos en comparación con los demás como se puede ver en la tabla 24-3.

Tabla 24-3: Valores de intensidad de campo magnético y densidad de potencia máximos para el modelo Ella

ELLA	Mañana		Medio Día		Noche	
	H máx. (mA/m)	S máx. (mW/m ²)	H máx. (mA/m)	S máx. (mW/m ²)	H máx. (mA/m)	S máx. (mW/m ²)
Nodo 1	1,7655	1,1751	3,1207	3,6715	3,1382	3,7128
Nodo 2	2,8305	3,0204	2,3721	2,1214	23,6764	211,3355
Nodo 3	2,8074	2,9714	3,1446	3,7279	2,9454	3,2705
Nodo 4	21,8037	179,2265	21,9443	181,5452	19,4111	142,0507
Nodo 5	3,8103	5,4736	3,8976	5,7272	4,708	8,3562
Nodo 6	9,0981	31,2066	10,6101	42,4403	14,2626	76,69
Nodo 7	14,3103	77,2043	17,7692	119,0361	16,0981	97,6996

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Tabla 25-3: Valores de intensidad de campo magnético y densidad de potencia mínimos para el modelo Ella

ELLA	Mañana		Medio Día		Noche	
	H min. (mA/m)	S min. (mW/m ²)	H min. (mA/m)	S min. (mW/m ²)	H min. (mA/m)	S min. (mW/m ²)
Nodo 1	0,6135	0,1419	1,3859	0,7242	1,1889	0,5328
Nodo 2	0,4249	0,0681	0,4528	0,0773	0,6053	0,1381
Nodo 3	1,7735	1,1857	1,626	0,9967	1,6944	1,0824
Nodo 4	0,6276	0,1485	0,8172	0,2518	0,8186	0,2526
Nodo 5	2,8223	3,0029	2,6525	2,6525	3,0072	3,4092
Nodo 6	2,991	3,3726	3,2533	3,9902	3,004	3,402
Nodo 7	2,8358	3,0318	3,5058	4,6337	3,5183	4,6667

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En la tabla 25-3 los valores mínimos calculados para la intensidad de campo magnético no superan los 4 mA/m y para la densidad de potencia los valores mostrados están por debajo de los 5 mW/m² tanto en la mañana, medio día y noche.

Tabla 26-3: Valores de intensidad campo magnético y densidad de potencia promedios para el modelo Ella

ELLA	Mañana		Medio Día		Noche	
	H promedio (mA/m)	S promedio (mW/m ²)	H promedio (mA/m)	S promedio (mW/m ²)	H promedio (mA/m)	S promedio (mW/m ²)
Nodo 1	1,0658	0,4718	1,9924	1,592	2,0998	1,798
Nodo 2	1,4935	0,9907	1,1419	0,6139	2,7248	15,6481
Nodo 3	2,1801	1,8285	2,3596	2,1676	2,2412	1,9351
Nodo 4	4,5013	24,9982	4,1324	21,2954	3,9339	18,9529
Nodo 5	3,2489	4,0033	3,2416	4,0114	3,7359	5,3448
Nodo 6	4,2942	7,9603	4,7782	10,0787	4,9327	12,242
Nodo 7	5,6002	15,5788	6,9937	23,6948	7,4545	27,439

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Los valores promediados calculados como se observa en la tabla 26-3 en el periodo de la noche el campo magnético promedio en el nodo 7 es de 7,4545 mA/m y por consiguiente la densidad de potencia es de 27,439 mW/m² que son los valores promedios más altos en relación a los de la mañana y tarde de los demás nodos.

Además, se puede observar en estas tablas de intensidad de campo magnético y densidad de potencia (tablas 21-3, 22-3, 23-3,24-3, 25-3 y 26-3) los valores están dentro de los límites referenciales de exposición poblacional establecidos por la normativa ICNIRP y UIT-T K.52 (ARCOTEL) que son de 0,16 A/m para la intensidad de campo magnético y de 10 W/m² para la densidad de potencia.

3.1.3.3. Procesamiento de los datos de las RNI espaciales por nodos.

Para obtener los valores del comportamiento del campo eléctrico promedio medido en los 7 nodos (Nodo1, Nodo2, ..., Nodo7) se encontraron los valores máximos, mínimos y promedios de cada nodo en la mañana, medio día y noche, estos valores fueron promediados para obtener un valor final con el cual se realizó el análisis tanto para Duke y Ella.

La desviación estándar y la media cuadrática se calcularon con todos los valores medidos por cada uno de los nodos espaciales, de tal manera que se pueda observar como varia la intensidad de campo eléctrico en los 7 nodos espaciales.

Como se observa en la tabla 27-3 los valores máximos están entre 1,1338 a 6,312 V/m, los valores mínimos de campo eléctrico están por debajo de 1,1468 V/m y las desviaciones estándar desde el nodo 1 al nodo 5 indica que los valores en cada uno de estos nodos están dispersos a la media en menos de 1 V/m; por contrario están los nodos 6 y 7 cuya desviación estándar es mayor 1 V/m, es decir que existen valores más alejados de la media en estos dos casos.

Tabla 27-3: Valores de intensidad campo eléctrico máximo, mínimo, promedio, desviación estándar y media cuadrática para el modelo Duke

Modelo Duke					
Nodos de medición	E máx. (V/m)	E min. (V/m)	E promedio (v/m)	Desviación Estándar (V/m)	Media cuadrática (V/m)
Nodo 1	1,1338	0,4503	0,6983	0,2687	0,747
Nodo 2	1,3756	0,2131	0,5287	0,3826	0,65
Nodo 3	1,1924	0,6673	0,8817	0,1552	0,8949
Nodo 4	3,8767	0,2719	0,7225	0,9214	1,1622
Nodo 5	1,4605	1,0245	1,2236	0,1187	1,2293
Nodo 6	4,7238	0,8949	1,8921	1,2625	2,2662
Nodo 7	6,312	1,1468	2,5955	1,5882	3,033

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Tabla 28-3: Valores de intensidad de campo eléctrico máximo, mínimo, promedio, desviación estándar y media cuadrática para el modelo Ella

Modelo Ella					
Nodos de medición	E máx. (V/m)	E mín. (V/m)	E promedio (v/m)	Desviación Estándar (V/m)	Media cuadrática (V/m)
Nodo 1	1,0084	0,4007	0,6482	0,2583	0,6966
Nodo 2	3,6291	0,1864	0,6736	1,3252	1,4724
Nodo 3	1,1181	0,6401	0,8521	0,1403	0,8633
Nodo 4	7,937	0,2844	1,5793	2,4175	2,8634
Nodo 5	1,5603	1,0659	1,2851	0,1674	1,2957
Nodo 6	4,269	1,1622	1,76	0,8515	1,9507
Nodo 7	6,0543	1,2391	2,5194	1,4442	2,8954

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En la tabla 28-3 el valor de campo eléctrico máximo no sobrepasa los 6 V/m, los valores de intensidad de campo eléctrico mínimos por su parte se encuentran entre los valores de 0,1864 a 1,2391 V/m; el campo eléctrico promedio calculado en cada uno de los nodos se observa que el mayor de ellos está el nodo 7, mientras que en el nodo 1 y 2 la intensidad de campo eléctrico promedio es muy aproximado entre sus valores.

La desviación estándar se observa que existe una dispersión más alta en el nodo 4 siendo el valor más alto de entre los demás nodos, es decir que existen valores en este nodo que se alejan mucho más de la media como se observa en la tabla.

Con los valores obtenidos en las tablas 27-3 y 28-3 se procedió al cálculo de la intensidad de campo magnético y densidad de potencia máximos, mínimos y promedios con las ecuaciones (2) y (5) respectivamente, con lo cual se procede a elaborar las tablas de a continuación tanto para Duke y Ella.

Tabla 29-3: Intensidad de campo magnético y densidad de potencia para Duke

Duke						
Nodos de medición	H promedio (mA/m)	S promedio (mW/m²)	H máx. (mA/m)	S máx. (mW/m²)	H mín. (mA/m)	S mín. (mW/m²)
Nodo 1	1,8523	1,2935	3,0074	3,4098	1,1944	0,5378
Nodo 2	1,4024	0,7414	3,6488	5,0193	0,5653	0,1205
Nodo 3	2,3387	2,062	3,1629	3,7714	1,77	1,1811
Nodo 4	1,9164	1,3846	10,283	39,8641	0,7212	0,1961
Nodo 5	3,2456	3,9713	3,874	5,658	2,7175	2,7841
Nodo 6	5,0188	9,4961	12,53	59,1892	2,3737	2,1242
Nodo 7	6,8846	17,869	16,7427	105,6799	3,0419	3,4885

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En la tabla 29-3 se presentan los valores de H (intensidad de campo magnético) y S (densidad de potencia) calculados a partir de los valores de campo eléctrico máximo, mínimo y promedio para cada uno de los nodos espaciales, en la tabla 29-3 vemos que en los 6 y 7 se encuentran los valores mayores en relación con los demás y cabe recalcar que todos están en el orden de mili amperios y mili vatios respectivamente.

Tabla 30-3: Intensidad de campo magnético y densidad de potencia para Ella

Ella						
Nodos de medición	H promedio (mA/m)	S promedio (mW/m ²)	H máx. (mA/m)	S máx. (mW/m ²)	H min. (mA/m)	S min. (mW/m ²)
Nodo 1	1,7194	1,1145	2,6748	2,6973	1,0629	0,4259
Nodo 2	1,7867	1,2035	9,6263	34,9348	0,4944	0,0922
Nodo 3	2,2602	1,9259	2,9658	3,3161	1,6979	1,0868
Nodo 4	4,1891	6,6158	21,0531	167,0985	0,7544	0,2146
Nodo 5	3,4088	4,3806	4,1387	6,4576	2,8273	3,0136
Nodo 6	4,6684	8,2164	11,3236	48,3404	3,0828	3,5828
Nodo 7	6,6828	16,8366	16,0592	97,2272	3,2867	4,0725

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En la tabla 30-3 se encuentran los cálculos realizados para el modelo Ella de la intensidad de campo magnético y densidad de potencia para cada uno de los 7 nodos espaciales y al igual que en el modelo de Duke los valores mayores están en los nodos 6 y 7 en el orden de los mA/m (mili amperio por metro) y mW/m² (mili vatio por metro cuadrado).

En relación con los límites referenciales de exposición poblacional establecidos por la normativa ICNIRP y ARCOTEL que son de 0,16 A/m para la intensidad de campo magnético y de 10 W/m² para la densidad de potencia los valores calculados en las tablas 29-3 30-3 están dentro de las normas.

3.1.3.4. Procesamiento de los datos de las RNI espaciales por puntos.

Para realizar este procesamiento para cada uno de los 14 puntos en cada modelo de la familia virtual V2.0 (Duke y Ella) se obtuvo como primera instancia el promedio de cada punto de medición (D1, ..., D14 y E1, ..., E14) en cada uno de los nodos espaciales (Nodo 1, ..., Nodo 7) tanto de la mañana, medio día y noche con lo cual se obtuvieron las siguientes tablas:

Tabla 31-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio por cada punto de medición del modelo Duke

Modelo Duke E (V/m)							
Puntos	Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	Nodo 6	Nodo 7
D1	0,7562	0,5432	0,9293	0,4933	1,3206	4,6861	6,312
D2	0,6511	0,3527	1,0502	0,6002	1,1757	3,953	4,02
D3	0,5466	0,2576	1,0226	0,508	1,3299	1,9741	1,4491
D4	0,6233	0,4373	0,9803	0,6038	1,3352	2,3405	2,2772
D5	0,7244	0,3883	0,8946	0,6725	1,2185	1,6225	3,1431
D6	0,6255	0,3455	0,8773	0,4808	1,0729	1,6912	3,5017
D7	0,7281	0,5152	0,8212	0,5004	1,111	1,8576	1,6371
D8	0,9232	0,8491	0,9381	0,5277	1,0926	1,3558	2,4899
D9	0,7414	0,7456	0,7266	0,3188	1,2478	1,258	2,7285
D10	0,9188	0,6212	0,8787	0,3495	1,2857	1,2196	2,7239
D11	0,9048	0,4077	0,8288	0,3978	1,3085	1,2528	1,3283
D12	0,7141	0,5782	0,7682	0,3573	1,1929	1,2845	1,8236
D13	0,5995	0,5169	0,7868	3,8767	1,2096	1,0191	1,4707
D14	0,6259	0,8441	0,841	0,4277	1,2459	1,0648	1,21

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Tabla 32-3: Valores de intensidad de campo eléctrico promedio por cada punto de medición del modelo Ella

Modelo Ella E (V/m)							
Puntos	Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	Nodo 6	Nodo 7
E1	0,6802	0,5154	1,0127	6,783	1,2509	4,269	4,415
E2	0,6933	0,3506	0,9039	7,937	1,3304	2,5637	2,5107
E3	0,6601	0,5072	0,9209	0,4291	1,35	2,1548	2,0102
E4	0,506	0,5118	0,8548	0,7119	1,2239	1,6221	3,839
E5	0,8193	0,4241	0,6978	0,7676	1,0748	1,2828	3,3361
E6	0,4884	0,5888	0,9066	0,6085	1,3238	1,754	1,3507
E7	0,6215	0,3261	0,7877	0,6294	1,1977	1,4048	4,3337
E8	0,9118	0,5594	0,7827	0,5915	1,2225	1,4073	1,8467
E9	0,6691	3,308	0,8712	1,662	1,4538	1,7838	1,5825
E10	0,5835	0,7746	0,8192	0,9548	1,3273	1,2384	3,5027
E11	0,6933	0,3359	0,7968	0,4856	1,301	1,285	1,3819
E12	0,4463	0,2289	0,926	0,4714	1,2927	1,4829	1,7393
E13	0,6467	0,5401	0,7988	0,5792	1,3815	1,1695	2,0691
E14	0,6552	0,4594	0,8508	0,5108	1,3053	1,2216	1,3546

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Como se observa en la tabla 31-3 el valor promedio de campo eléctrico es alto en su mayoría en los puntos D1 y D2 en los tres últimos nodos (nodo 5, nodo 6 y nodo 7), así también se aprecia que los valores de campo eléctrico son mayores a 1V/m en los nodos antes mencionados para cada uno de los 14 puntos.

La tabla 32-3 en los puntos E1 y E2 se obtuvieron los valores más altos de campo eléctrico, más precisamente en los nodos 5, 6 y 7 en los cuales sobrepasan el 1 V/m y en el nodo 7 como se observa que los puntos E1, E4, E5, E7, E10 el promedio calculado es mayor a 3 V/m.

Con estos promedios calculados se procedió a obtener un nuevo promedio que engloben a todos los 7 nodos espaciales; luego se calcularon los valores de campo eléctrico máximo, mínimo, desviación estándar y media cuadrática de todos los valores medidos en cada punto con lo cual se obtuvieron las tablas siguientes.

Tabla 33-3: Cálculos en el modelo Duke para los 14 puntos

Modelo Duke					
Puntos	E promedio (V/m)	E máx. (V/m)	E mín. (V/m)	Desviación Estándar (V/m)	Media Cuadrática (V/m)
D1	2,1487	2,6771	1,4575	2,3851	3,1678
D2	1,6861	2,2569	1,1626	1,6674	2,3433
D3	1,0126	1,1444	0,8897	0,5943	1,1669
D4	1,2282	1,6082	0,9041	0,8489	1,4815
D5	1,2377	1,5173	0,9173	0,956	1,55
D6	1,2278	1,5843	0,9285	1,1162	1,6414
D7	1,0244	1,6129	0,7968	0,5909	1,1755
D8	1,1408	1,6077	0,7687	0,9107	1,4461
D9	1,1095	1,5916	0,7675	0,9419	1,4408
D10	1,1425	1,5649	0,7863	0,8785	1,4284
D11	0,9184	1,0785	0,7381	0,4197	1,0056
D12	0,9598	1,158	0,7922	0,5241	1,0876
D13	1,3542	1,6527	1,1123	1,1458	1,7562
D14	0,8942	1,0531	0,7192	0,34	0,9538

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En la tabla 33-3 el promedio de intensidad de campo eléctrico más alto está en el punto D1, y por ende en ese mismo punto está el valor de campo eléctrico máximo mayor en relación a los demás puntos, los valores mínimos están en los 14 puntos en el rango de 0,7192 a 1,4575 V/m; la media cuadrática para los puntos sobrepasa el 1V/m exceptuando el punto D14.

En relación a la desviación estándar se observan que la dispersión es alta en el punto D1 que indica que los valores en el punto D1 de todos los nodos en todos los periodos de tiempo en que se realiza la medición hay la existencia de valores que se alejan de la media en 2,3851 V/m; caso contrario está en el punto D14 en que los valores medidos para ese punto están dispersos en 0,34 V/m a la media calculada, es decir su dispersión es baja ante los demás puntos.

Tabla 34-3: Cálculos en el modelo Ella para los 14 puntos

Modelo Ella					
Puntos	E promedio (V/m)	E máx. (V/m)	E min. (V/m)	Desviación Estándar (V/m)	Media Cuadrática (V/m)
E1	2,7037	3,3756	2,2405	2,4387	3,602
E2	2,3271	2,5958	2,079	2,5052	3,3752
E3	1,1475	1,4563	0,8946	0,7271	1,3491
E4	1,3242	1,7797	0,9945	1,2864	1,8247
E5	1,2004	1,5327	0,7703	1,089	1,6032
E6	1,003	1,1432	0,8767	0,4747	1,1048
E7	1,3287	1,6056	0,8943	1,4216	1,921
E8	1,046	1,4025	0,7614	0,6012	1,1993
E9	1,4742	2,5276	0,9556	1,7922	2,2874
E10	1,3144	1,4927	1,1793	0,963	1,6158
E11	0,8971	1,0398	0,7628	0,4176	0,9796
E12	0,9411	1,0623	0,7756	0,5704	1,0934
E13	1,0264	1,4638	0,7189	0,6973	1,2315
E14	0,9082	1,0989	0,741	0,4058	0,9908

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En la tabla 34-3 se muestran todos los valores calculados de intensidad de campo eléctrico para el modelo Ella en el cual se observa que el promedio para los puntos E1 y E2 sobrepasan los 2 V/m por tanto los valores máximos de intensidad de campo eléctrico se encuentran en los mismos puntos siendo mayores a 2 y 3 V/m respectivamente, el campo eléctrico mínimo en los 14 puntos (E1, ..., E14) están en rango de 0,7189 a 2,079 V/m y la media cuadrática calculada supera también el 1 V/m al igual que en el caso del modelo de Duke exceptuando en los puntos E11 y E14.

En el caso de la desviación estándar los valores más dispersos se encuentran en el punto E2 es decir que existen valores medidos en ese punto que se alejan de la media en 2,5052 V/m en relación con los demás puntos medidos; la dispersión más baja como se observa en la tabla 34-3 está E14 con un valor de 0,4058 V/m que al igual que en Duke es el último punto de medición donde los valores son menos dispersos.

Con estos valores de campo eléctrico promedio, máximo y mínimo se calculó la intensidad de campo magnético y densidad de potencia con el uso de las ecuaciones (2) y (5) como en casos anteriores y se elaboran las tablas 35-3 y 36-3.

Como se muestra en la tabla 35-3 los valores calculados para H (intensidad de campo magnético) están en el orden de los mili amperios por metro (mA/m) teniendo que en los puntos D1 y D2 como los promedios mayores en relación a los demás puntos, por consecuencia en D1 y D2 los valores de H máximos están ubicados ahí sobrepasando de 10 mA/m y en relación con los valores de H mínimos en los 14 puntos de Duke están por debajo de 4 mA/m.

En el caso de S (densidad de potencia) estos valores también están en el orden de los mili vatios por metro cuadrado (mW/m²) con valores promedios que pasan de 2 mW/m²; los valores de S máximos también se ubican en los puntos D1 y D2 como valores mayores comparados con los demás puntos y los valores de densidad de potencia mínimos no sobrepasan los 6 mW/m² como se puede ver en la tabla.

Tabla 35-3: Intensidad de campo magnético y densidad de potencia en el modelo Duke para los 14 puntos

Modelo Duke						
Puntos	H promedio (mA/m)	S promedio (mW/m²)	H máx. (mA/m)	S máx. (mW/m²)	H min. (mA/m)	S min. (mW/m²)
D1	5,6995	12,2465	7,1011	19,0104	3,866	5,6347
D2	4,4724	7,5409	5,9865	13,5109	3,0838	3,5852
D3	2,6859	2,7197	3,0355	3,4738	2,3599	2,0996
D4	3,2578	4,0012	4,2658	6,8603	2,3981	2,1681
D5	3,283	4,0634	4,0247	6,1067	2,4332	2,232
D6	3,2568	3,9987	4,2024	6,6579	2,4629	2,2868
D7	2,7172	2,7835	4,2782	6,9003	2,1135	1,684
D8	3,026	3,4521	4,2645	6,856	2,039	1,5674
D9	2,943	3,2653	4,2218	6,7194	2,0358	1,5625
D10	3,0305	3,4623	4,1509	6,4957	2,0857	1,64
D11	2,4361	2,2373	2,8607	3,0853	1,9578	1,4451
D12	2,5459	2,4436	3,0716	3,5569	2,1013	1,6646
D13	3,592	4,8643	4,3838	7,2451	2,9504	3,2817
D14	2,3719	2,121	2,7934	2,9417	1,9077	1,372

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Tabla 36-3: Intensidad de campo magnético y densidad de potencia en el modelo Ella para los 14 puntos

Modelo Ella						
Puntos	H promedio (mA/m)	S promedio (mW/m ²)	H máx. (mA/m)	S máx. (mW/m ²)	H min. (mA/m)	S min. (mW/m ²)
E1	7,1716	19,3899	8,9538	30,2244	5,943	13,3153
E2	6,1727	14,3645	6,8854	17,8731	5,5146	11,4649
E3	3,0438	3,4928	3,8629	5,6255	2,3729	2,1228
E4	3,5125	4,6513	4,7207	8,4014	2,6379	2,6234
E5	3,1841	3,8222	4,0655	6,2312	2,0432	1,5739
E6	2,6605	2,6685	3,0324	3,4666	2,3255	2,0388
E7	3,5244	4,6829	4,2589	6,8381	2,3721	2,1214
E8	2,7745	2,9021	3,7202	5,2176	2,0196	1,5377
E9	3,9103	5,7646	6,7045	16,9463	2,5347	2,4222
E10	3,4865	4,5827	3,9594	5,9102	3,1281	3,689
E11	2,3796	2,1347	2,7581	2,8679	2,0233	1,5434
E12	2,4963	2,3493	2,8178	2,9933	2,0573	1,5956
E13	2,7225	2,7944	3,8828	5,6836	1,9069	1,3709
E14	2,409	2,1879	2,9149	3,2032	1,9655	1,4564

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Para el modelo Ella sucede algo muy similar con los valores calculados es decir que los valores promedios de intensidad de campo magnético (H) son mayores en los puntos E1 y E2 y todos estos son mayores a 2 mA/m, Los valores máximos de H están ubicados en los puntos E1, E2 y E9 que sobrepasan los 6 mA/m y en el caso de los valores mínimos de H estos se encuentran entre 1,9069 a 5,943 mA/m.

En el caso de la densidad de potencia (S) los valores promediados en los 14 puntos (E1, ..., E14) estos están por encima de 1 mW/m², los valores mayores de S máximos se encuentran en los puntos E1, E2 y E9 ya que estos valores que se calcularon sobrepasan los 15 mW/m² y en el caso de los valores encontrados en la densidad de potencia mínima estos están entre 1,3709 y 13,3153 mW/m².

Como se observa en las tablas 35-3 y 36-3 los valores encontrados están en el orden de los mili amperios para la intensidad de campo magnético y mili vatios para la densidad de potencia; por lo que en relación con los límites establecidos por la normativa ICNIRP y ARCOTEL referentes a la exposición poblacional que son de 0,16 A/m para la intensidad de campo magnético y de 10 W/m²

para la densidad de potencia, los valores de los 14 puntos de Ella y Duke están dentro de los límites permisibles.

3.2. Medición y procesamiento de RNI temporales

3.2.1. Ubicación de los nodos para las mediciones RNI temporales

Para la realización de la medición de las RNI temporales se escogió realizar en los tres dormitorios de la casa residencial con ayuda del equipo LATNEX HF-B3G que fue ubicado en la cama de tal forma que el equipo simule un punto a la altura de la cabeza de la persona recostada sobre la cama toda la noche y madrugada. La altura medida desde el piso hasta la antena triaxial del equipo es de 0,85 m para los tres dormitorios.

En la figura 11-3 se presenta la ubicación de los nodos temporales que son representados con círculos de color azul en el mapa del primer piso de la casa residencial donde se está desarrollando el presente trabajo de titulación.

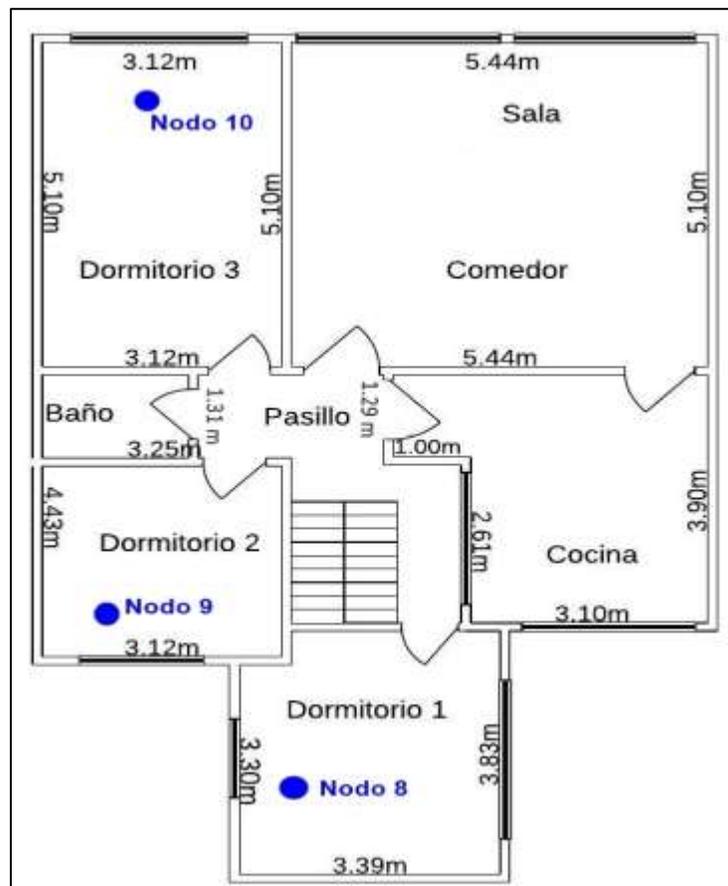


Figura 11-3: Nodos temporales de la casa residencial

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Los nodos temporales de la figura 11-3 se los han nombrado e indican su ubicación como se indica a continuación:

Nodo 8: Dormitorio 1

Nodo 9: Dormitorio 2

Nodo 10: Dormitorio 3

3.2.2. Medición de la intensidad de campo eléctrico

El periodo de medición fue de 7 días por dormitorio en un horario de 20:00 a 05:30 de continua medición en un intervalo de 6 minutos como está recomendado en las normativas UIT-T K.52 en cada uno de los tres nodos (Nodo 8, Nodo 9 y Nodo 10) en el orden como se ve en la figura 11-3.

Con las mediciones de intensidad de campo eléctrico promedio se procedió de la misma manera que las mediciones espaciales al cálculo de la intensidad de campo magnético (H) y densidad de potencia (S) y demás análisis como en el caso espacial.

3.2.3. Procesamiento de los datos obtenidos en las mediciones de RNI temporales

Con los datos que se obtuvieron de intensidad de campo eléctrico promedio se procedió a crear con estos valores en un libro de Microsoft Excel por dormitorio que posteriormente se usó estos datos para obtener los valores máximos, mínimos, el promedio, la media cuadrática del campo eléctrico promedio medido; así como la desviación estándar de los datos de cada día y una total de cada dormitorio, como se muestra en las tablas 37-3, 38-3 y 39-3.

En estas tablas se detallan por fecha los valores calculados ya que por cada uno de los nodos temporales se tomó una semana en la recolección de los datos de campo eléctrico promedio, de tal manera que se presentan los siguientes resultados.

NODO 8

La tabla 37-3 muestra la medición del campo eléctrico en el nodo 8 (dormitorio 1) en el cual se aprecia que de todos los valores máximos medidos en los días 29 al 30 de mayo del 2018 se obtuvo un valor 1,8325 V/m siendo el más alto de todos los demás días.

Los valores mínimos como se observan están por bajo de 0,6 V/m, la intensidad de campo eléctrico promedio en todos los días medidos en el nodo 8 están por debajo de 1 V/m, mientras que las desviaciones estándar se encuentran por debajo de 1 V/m es decir que los valores medidos en estos días no están muy alejados de la media.

En la figura 12-3 se muestra la ubicación del equipo LATNEX HF-B3G en la cama para el procedimiento de la medición de intensidad de campo eléctrico promedio.

Tabla 37-3: Resultados de las RNI temporales del nodo 8

RNI TEMPORAL	E máx. (V/m)	E mín. (V/m)	E Promedio (V/m)	Desviación Estándar (V/m)	Media Cuadrática (V/m)
20:00 28/05/2018 - 05:30 29/05/2018	1,7428	0,5672	0,8634	0,8807	0,8822
20:00 29/05/2018 - 05:30 30/05/2018	1,8325	0,3864	0,7416	0,1946	0,7664
20:00 30/05/2018 - 05:30 31/05/2018	0,9521	0,4831	0,6868	0,1124	0,6958
20:00 31/05/2018 - 05:30 01/06/2018	1,1578	0,4246	0,5938	0,1217	0,606
20:00 01/06/2018 - 05:30 02/06/2018	1,0118	0,44	0,629	0,1106	0,6385
20:00 02/06/2018 - 05:30 03/06/2018	1,0766	0,4589	0,7305	0,1398	0,7436
20:00 03/06/2018 - 05:30 04/06/2018	0,9446	0,1871	0,6258	0,1932	0,6547

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.



Figura 12-3: medición realizada en el nodo 8

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

NODO 9

En la tabla 38-3 se muestran los valores que se obtuvieron de campo eléctrico en el nodo 9, los valores de campo eléctrico máximo están por debajo de 1,3 V/m ya que de los días 04 al 05 de junio del 2018 se encuentra el valor mayor a todos los demás días, los valores de campo eléctrico mínimo están por debajo de 0,6 V/m y los valores promedios están entre 0,6358 y 0,7655 V/m.

La desviación estándar en todos los días medidos como se observa en la tabla 38-3 están por debajo de 0,2 V/m, es decir que los 95 datos medidos en el horario establecido no están muy alejados o dispersos de la media.

Tabla 38-3: Resultados de las RNI temporales del nodo 9

RNI TEMPORAL	E máx. (V/m)	E min. (V/m)	E promedio (V/m)	Desviación Estándar (V/m)	Media Cuadrática (V/m)
20:00 04/06/2018 - 05:30 05/06/2018	1,2486	0,4292	0,6358	0,1421	0,6513
20:00 05/06/2018 - 05:30 06/06/2018	1,632	0,3306	0,7068	0,1894	0,7315
20:00 06/06/2018 - 05:30 07/06/2018	1,1856	0,4837	0,7638	0,1522	0,785
20:00 07/06/2018 - 05:30 08/06/2018	1,1578	0,4246	0,7157	0,1822	0,7315
20:00 08/06/2018 - 05:30 09/06/2018	1,0319	0,5118	0,690	0,122	0,7001
20:00 09/06/2018 - 05:30 10/06/2018	1,1205	0,541	0,7655	0,1287	0,7761
20:00 10/06/2018 - 05:30 11/06/2018	1,1205	0,541	0,6595	0,1287	0,6693

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.



Figura 13-3: medición realizada en el nodo 9

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

NODO 10

La tabla 39-3 muestra los valores de intensidad de campos eléctricos medidos en el nodo 10 correspondiente al nodo del tercer dormitorio de la casa donde se realizó el estudio, donde se observa que los valores máximos son mayores a 0,9 V/m, los valores mínimos en todos los días son menores a 0,5 V/m y los promedios están por debajo de 0,7 V/m.

La desviación estándar al igual que el caso anterior son menores a 0,2 V/m lo que indica que la dispersión de los datos es baja en cada uno de los días y horarios en que se realizó la medición de intensidad de campo eléctrico promedio.

Tabla 39-3: Resultados de las RNI temporales del nodo 10

RNI TEMPORAL	E máx. (V/m)	E min. (V/m)	E promedio (V/m)	Desviación Estándar (V/m)	Media cuadrática (V/m)
20:00 11/06/2018 - 05:30 12/06/2018	1,1851	0,4285	0,6053	0,1054	0,6143
20:00 12/06/2018 - 05:30 13/06/2018	0,8438	0,4856	0,617	0,0858	0,6229
20:00 13/06/2018 - 05:30 14/06/2018	1,1826	0,4906	0,6564	0,1219	0,6675
20:00 14/06/2018 - 05:30 15/06/2018	1,1677	0,5179	0,6836	0,1237	0,6946
20:00 15/06/2018 - 05:30 16/06/2018	1,2558	0,4441	0,650	0,148	0,6663
20:00 16/06/2018 - 05:30 17/06/2018	1,3956	0,4858	0,6754	0,1445	0,6905
20:00 17/06/2018 - 05:30 18/06/2018	0,9015	0,4927	0,6251	0,0829	0,6305

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.



Figura 14-3: medición realizada en el nodo 10

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Con las tablas anteriores también se obtuvieron los valores máximos, mínimos y promedios de la intensidad de campo magnético (H) y densidad de potencia (S) por dormitorio (Nodo 8, 9 y 10) que se muestran a continuación es las tablas 40-3, 41-3 y 42-3, los cuales servirán para posteriores estudios en los que se requiera ver como esta afecta cuando la exposición es en un periodo largo de tiempo en una parte del cuerpo del ser humano.

Las tablas muestran en los días en que se realizaron las mediciones en cada dormitorio, tomando en cuenta que son días de tres semanas diferentes como se tiene detallado en las tablas 37-3, 38-3 y 39-3 que se unieron de tal forma de mostrar como varia tanto H como S en los tres nodos (nodo 8, 9 y 10).

Tabla 40-3: Intensidad de campo magnético y densidad de potencia con los valores máximos de campo eléctrico

DÍAS	Nodo 8		Nodo 9		Nodo 10	
	H máx. (mA/m)	S máx. (mW/m ²)	H máx. (mA/m)	S máx. (mW/m ²)	H máx. (mA/m)	S máx. (mW/m ²)
Lunes- Martes	4,6228	8,0566	3,3119	4,1352	3,1435	3,7254
Martes- Miércoles	4,8607	8,9072	4,3289	7,0648	2,2382	1,8886
Miércoles- Jueves	2,5255	2,4045	3,1448	3,7285	3,1369	3,7097
Jueves- Viernes	3,0711	3,5557	3,0711	3,5557	3,0973	3,6167
Viernes- Sábado	2,6838	2,7155	2,7371	2,8244	3,331	4,1831
Sábado- Domingo	2,8557	3,0744	2,9721	3,3302	3,7019	5,1664
Domingo- Lunes	2,5056	2,3668	2,9653	3,3149	2,3912	2,1557

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En la tabla 40-3 los valores de H máximo (intensidad de campo magnético) se encuentran por debajo de 5 mA/m y los valores de densidad de potencia (S) por debajo de 9 mW/m², además de que en el nodo 8 se obtuvieron los valores mayores de H y S entre los días lunes - martes y martes – miércoles como se observa en la tabla 40-3.

En la tabla 41-3 los valores mínimos para intensidad de campo magnético están en un rango de 0,4763 a 2,0305 mA/m y los valores calculados para la densidad de potencia mínimos en los 3 nodos temporales están entre 0,0929 a 1,5543 mW/m²; por ende, todos estos valores de H y S están dentro de las normas nacionales e internacionales ya que están en el orden la mili amperios y mili vatios respectivamente.

Tabla 41-3: Intensidad de campo magnético y densidad de potencia con los valores mínimos de campo eléctrico

DÍAS	Nodo 8		Nodo 9		Nodo 10	
	H min. (mA/m)	S min. (mW/m ²)	H min. (mA/m)	S min. (mW/m ²)	H min. (mA/m)	S min. (mW/m ²)
Lunes- Martes	1,5045	0,8534	1,1385	0,4886	1,6865	1,0723
Martes- Miércoles	1,0249	0,396	0,8769	0,2899	1,8748	1,3251
Miércoles- Jueves	1,2814	0,619	1,283	0,6206	2,026	1,5475
Jueves- Viernes	1,1263	0,4782	1,1263	0,4782	1,8984	1,3587
Viernes- Sábado	1,1671	0,5135	1,3576	0,6948	1,8289	1,261
Sábado- Domingo	1,2172	0,5586	1,435	0,7763	2,0305	1,5543
Domingo- Lunes	0,4963	0,0929	0,4763	1,2634	1,7493	1,1537

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

La tabla 42-3 se calculó con los valores promedios de campo eléctrico promedio de cada uno de los tres nodos, ocupando las ecuaciones (2) y (5) en el cual podemos observar que el promedio el nodo 8 en los días lunes-martes es el valor más alto de H y S.

En el nodo 10 son donde los promedios de intensidad de campo magnético y densidad de potencia son bajos en relación a los demás nodos, es decir que los valores de intensidad de campo eléctrico promedio medido en el nodo 10 en toda la semana son los valores fueron más bajos o que la radiación no ionizante que incide en ese dormitorio es baja comparada con los demás dormitorios.

Como se observa en las tablas 40-3, 41-3 y 42-3 la intensidad de campo magnético y densidad de potencia se calcularon con las ecuaciones de campo lejano y a la vez podemos ver que estos valores calculados en cada dormitorio en las 7 noches respectivas tanto H (intensidad de campo magnético) como S (densidad de potencia) están dentro de los límites permitidos en exposición poblacional establecidos para la intensidad de campo magnético y densidad de potencia por la normativa ICNIRP y ARCOTEL.

Tabla 42-3: Intensidad de campo magnético y densidad de potencia con los valores promedios de campo eléctrico

DÍAS	Nodo 8		Nodo 9		Nodo 10	
	H promedio (mA/m)	S promedio (mW/m ²)	H promedio (mA/m)	S promedio (mW/m ²)	H promedio (mA/m)	S Promedio (mW/m ²)
Lunes- Martes	2,2902	1,9774	1,6865	1,0723	1,6056	0,9719
Martes- Miércoles	1,9671	1,4588	1,8748	1,3251	1,6366	1,0098
Miércoles- Jueves	1,8218	1,2512	2,026	1,5475	1,7411	1,1429
Jueves- Viernes	1,5751	0,9353	1,8984	1,3587	1,8133	1,2396
Viernes- Sábado	1,6684	1,0494	1,8289	1,261	1,7236	1,12
Sábado- Domingo	1,9377	1,4155	2,0305	1,5543	1,7915	1,21
Domingo- Lunes	1,6599	1,0388	1,7493	1,1537	1,6581	1,0365

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

3.3. Desarrollo del software en Matlab para visualizar los resultados de las mediciones temporales y espaciales

Como se mencionó anteriormente los datos de las mediciones temporales y espaciales se almacenaron en hojas de Excel de tal manera que los datos estén organizados para no tener problemas a la hora de importarlos a Matlab para realizar los cálculos de promedios, máximos, mínimos, promedio y desviación estándar para cumplir los objetivos propuestos en la presente tesis.

3.3.1. Algoritmo del programa para la visualización de los resultados.

En la figura 15-3 se presenta el diagrama de flujo con el cual se procedió a crear el programa en Matlab para presentar los resultados de las mediciones realizadas tanto en el caso de las temporales y espaciales con lo cual se realizó el respectivo análisis de los datos medidos mediante tablas y gráficos de barras, así también como las comparaciones de estas mediciones con las normativas.

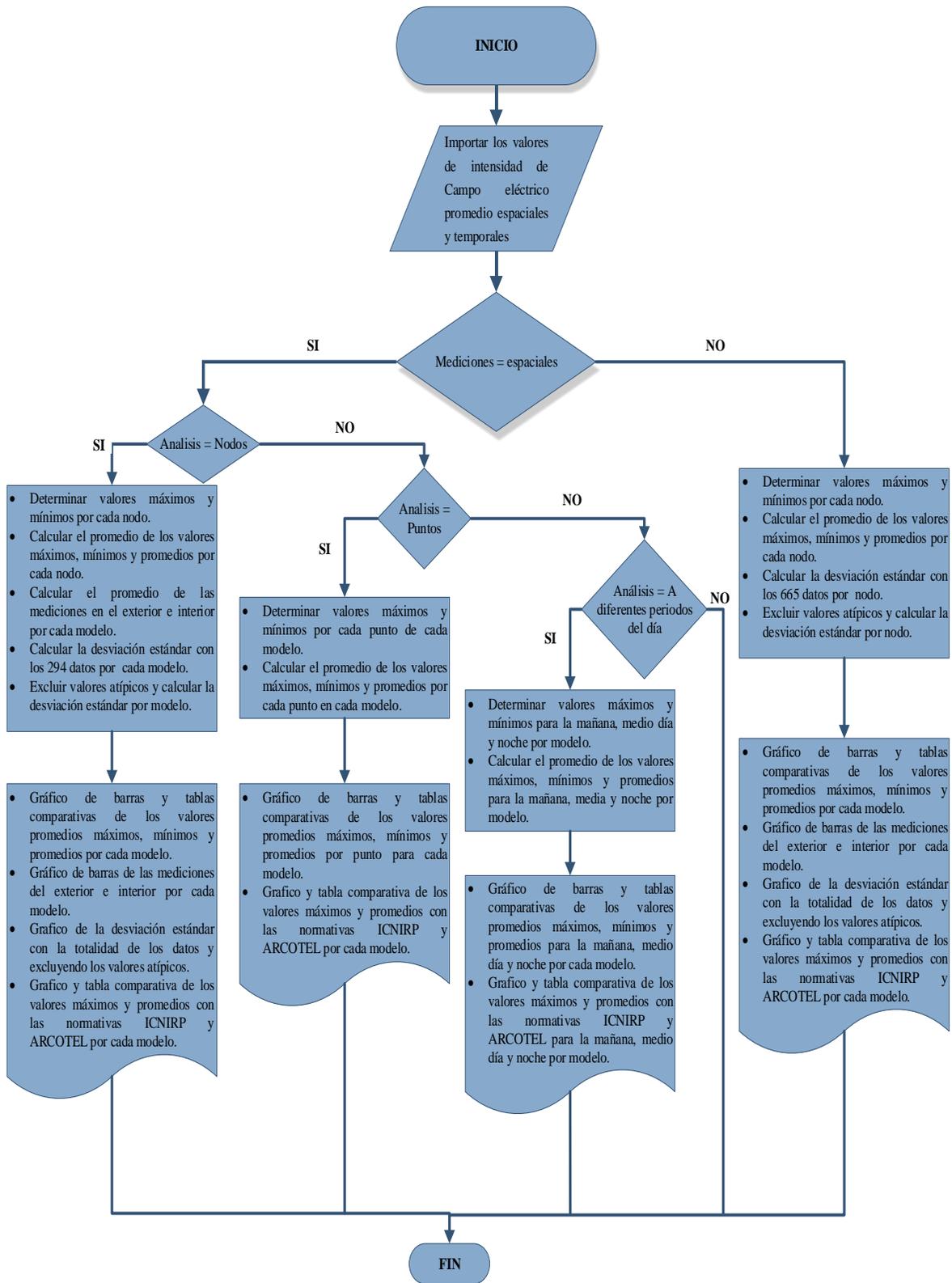


Figura 15-3: Algoritmo del programa

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

3.3.2. Desarrollo del programa utilizando Matlab

Con este programa se creó un proyecto en el cual se crean scripts y a su vez interfaces gráficas para realizar los cálculos, las comparaciones entre nodos, entre modelos de la familia virtual, las tablas de comparación con las normativas y las gráficas para las mediciones temporales y espaciales; en la figura 16-3 se aprecia los scripts creados y que luego son enlazados ordenadamente.

```
1776 function tman2_Callback(hObject, eventdata, handles)
1777
1778 function tman2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
1779 - if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
1780 - set(hObject,'BackgroundColor','white');
1781 - end
1782
1783 function ttar2_Callback(hObject, eventdata, handles)
1784
1785 function ttar2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
1786
1787 - if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
1788 - set(hObject,'BackgroundColor','white');
1789 - end
1790
1791 function tnoc2_Callback(hObject, eventdata, handles)
1792
1793 function tnoc2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
1794
1795 - if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
1796 - set(hObject,'BackgroundColor','white');
1797 - end
```

Figura 16-3: Ejemplo de un script creado en Matlab

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Para crear las interfaces gráficas de usuario se utilizó herramientas como Radio Button, Pop-up Menu que sirve para escoger opciones, Push Button, axes para crear las gráficas, también se usó la opción de Static Text para los títulos y poder visualizar los resultados que como se muestra en la figura 17-3

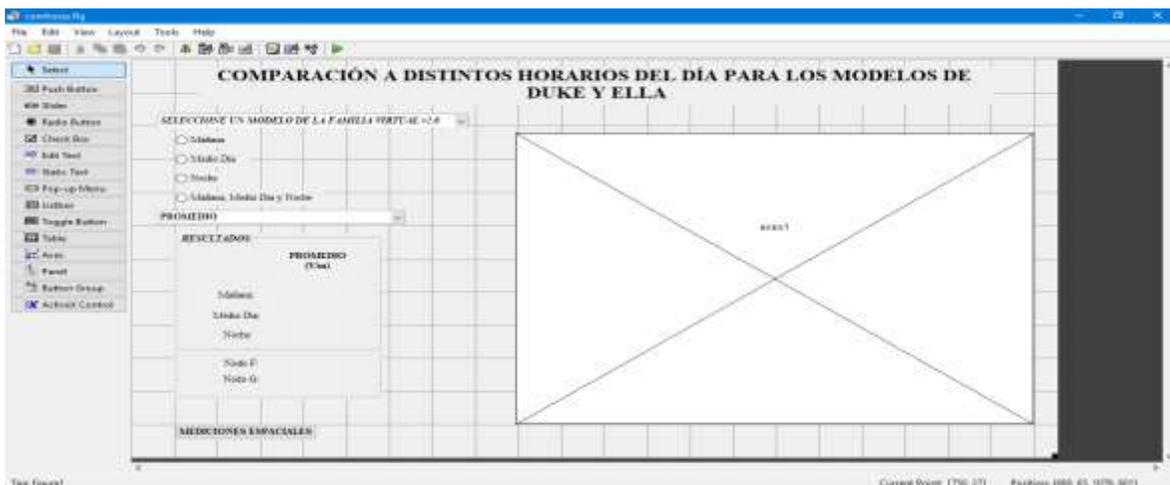


Figura 17-3: Ejemplo de la creación de una GUIDE en Matlab

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

3.3.3. Funcionamiento del programa utilizando Matlab

El programa al ejecutarse muestra como primera opción la figura 18-3 donde se visualiza la institución, el tema de la tesis, los autores además de tres botones donde dos de los cuales es para dirigirse a las mediciones temporales o espaciales y el último botón es para salir del programa.



Figura 18-3: Interfaz principal del programa

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Según sea el caso en el que se oprima alguno de los botones de la interfaz principal se despliegan varias opciones como se aprecian en las figuras 19-3 y 20-3 que como se observa para las mediciones temporales se tiene 6 opciones y para las mediciones espaciales se tiene 3 opciones.

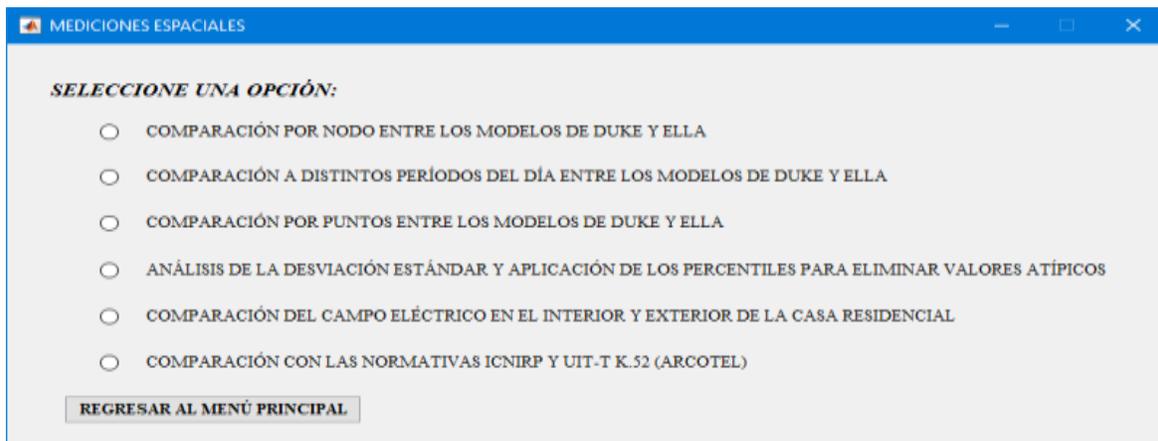


Figura 19-3: Interfaz mediciones espaciales

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En la primera opción de las mediciones espaciales se realiza una comparación por cada nodo entre los modelos adultos de la familia virtual V2.0 en la cual se puede apreciar el diagrama de barras que permita hacer la comparación entre los modelos dependiendo del tipo de cálculo que se seleccione y el nodo en que se desea hacer el análisis.

La segunda opción permite hacer una comparación por distintos períodos de día entre los modelos adultos de la familia virtual V2.0; en esta interfaz se muestra el diagrama de barras para hacer una comparación entre los modelos dependiendo del periodo de tiempo que se seleccione y el tipo de cálculo.

En la tercera opción se realiza una comparación por puntos entre los modelos de Duke y Ella; dentro de esta interfaz se muestra un diagrama de barras que permite hacer la comparación entre los modelos dependiendo el nodo que se seleccione y el tipo de cálculo.

La cuarta opción permite realizar un análisis de la desviación estándar por cada uno de los modelos de la familia virtual V2.0; dentro de esta interfaz se muestra el gráfico de la desviación estándar acompañado de su valor y el de la media aritmética, además existe un botón que permite excluir los valores atípicos para ambos modelos y también se especifica las razones por la cual se utilizó los percentiles en cada uno de los modelos.

La quinta opción permite hacer una comparación entre las mediciones indoor y outdoor por cada uno de los modelos de la familia virtual V2.0; dentro de esta interfaz se muestra un diagrama de barras dependiendo del modelo que se seleccione.

En la sexta opción se realiza una comparación de las mediciones espaciales con las normativas ICNIRP y ARCOTEL para cada uno de los análisis; dentro de esta interfaz se muestra el gráfico de barras en tres dimensiones dependiendo el modelo que se seleccione y el tipo de análisis.

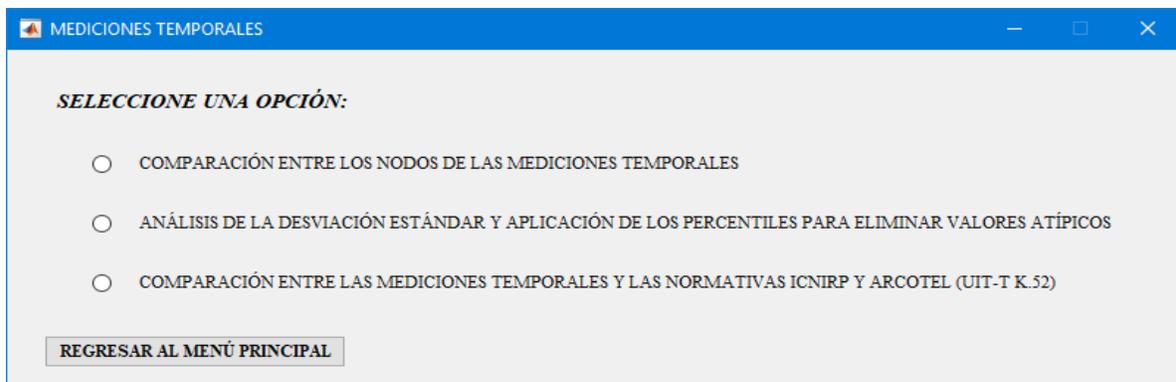


Figura 20-3: Interfaz mediciones espaciales

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En el caso de que se escoja la opción de las mediciones temporales, la primera opción permite realizar una comparación entre los nodos en el cual se muestra un diagrama de barras que permite hacer la comparación dependiendo del tipo de calculo que se desea analizar.

La segunda opción permite realizar el análisis de la desviación estándar por cada uno de los nodos; dentro de esta interfaz se muestra el gráfico de la desviación estándar acompañado de su valor y de la media aritmética, además tiene un botón que permite excluir los valores atípicos por cada uno de los nodos y se especifica mediante un texto las razones por las cuales se utilizó los percentiles para eliminar los valores atípicos.

La tercera opción permite comparar las mediciones temporales con las normativas ICNIRP y ARCOTEL por cada uno de los nodos; dentro de esta interfaz se muestra un diagrama de barras en tres dimensiones por cada uno de los nodos.

Como un ejemplo de lo anteriormente explicado se muestran dos capturas de pantalla en las cuales se ha escogido una opción de las mediciones espaciales (figura 21-3) y temporales (figura 22-3).

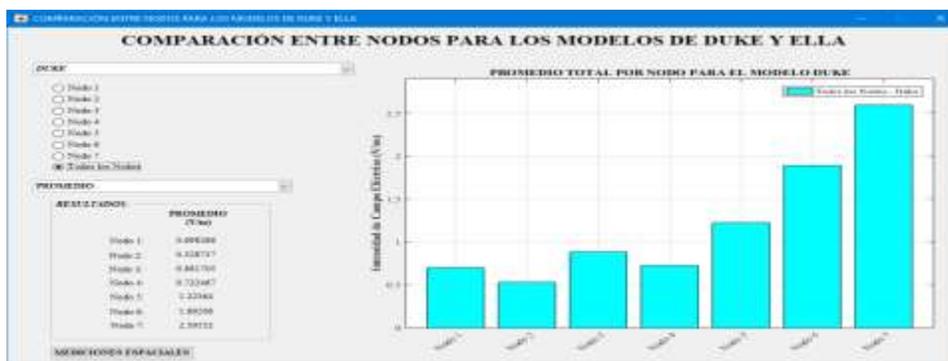


Figura 21-3: Interfaz mediciones espaciales de comparación entre nodos

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

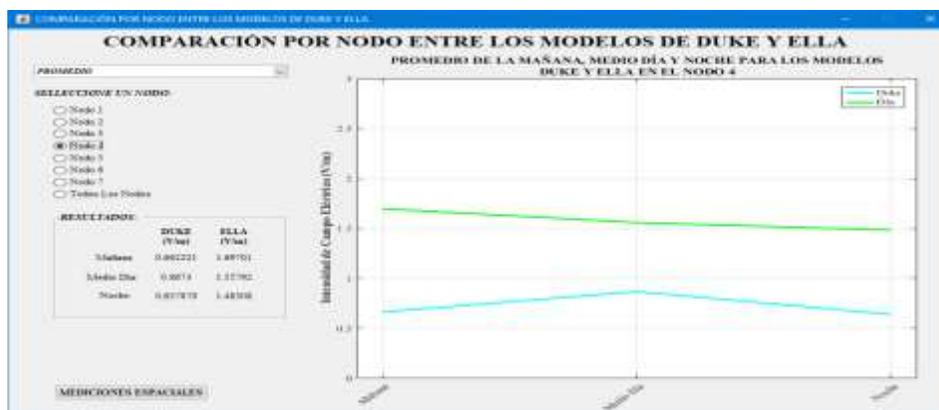


Figura 22-3: Interfaz mediciones temporales por cada nodo

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

3.4. Análisis de los resultados obtenidos en las mediciones RNI espaciales

Con el software de Matlab en su versión gratuita se procedió al análisis de los resultados con las mediciones realizadas en el soporte de madera y el equipo LATNEX HF-B3G en las diferentes instancias de la casa, con lo cual se pudo realizar todos los cálculos pertinentes y gráficas que ayuden a una mejor visualización de estos resultados para sus respectivos análisis.

3.4.1. Comparación entre los nodos espaciales

3.4.1.1. Análisis de los promedios de campos eléctricos

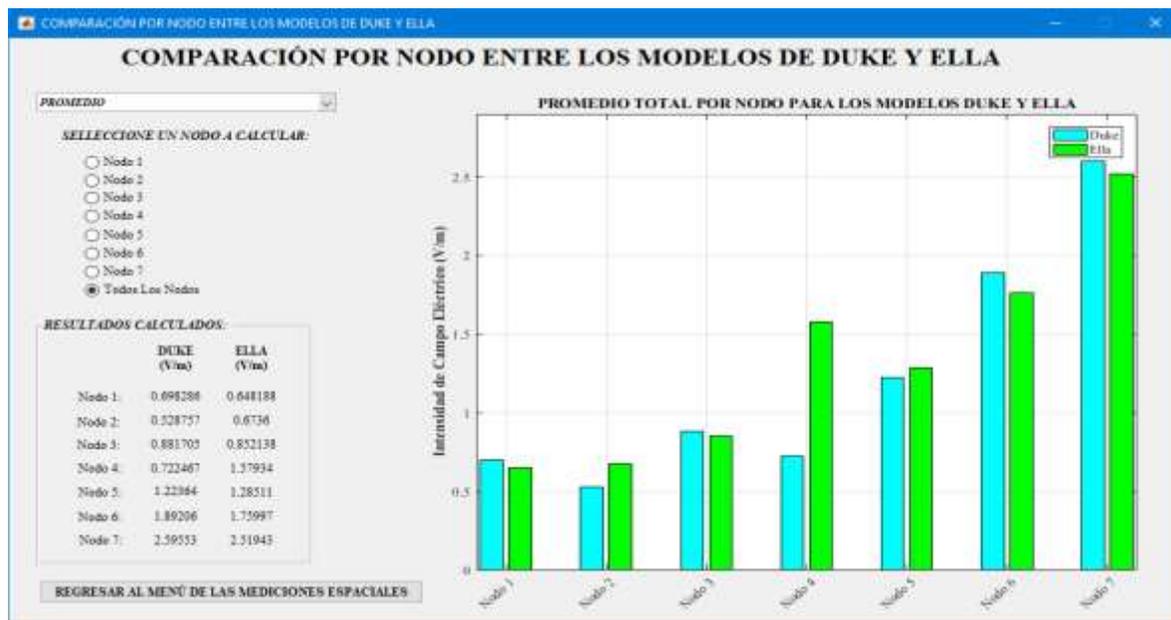


Figura 23-3: Gráfico de barras de los promedios totales por nodo para los modelos de Duke y Ella
Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Como se puede observar en la figura 23-3, las medidas de campo eléctrico promedio son mayores para ambos modelos en los nodos 6 y 7 que corresponden a los dos nodos de la terraza de la casa, es decir que en esos lugares la exposición a RNI es mucho mayor que en los demás sitios de medición siendo estas mayores a 1,5 V/m.

También se observa en la figura que los valores de campo eléctrico obtenidos para Duke son parcialmente iguales o aproximados a los de Ella, exceptuando claramente esto en el nodo 4 que corresponde a la cocina, ya que para Ella se hizo de medir el campo eléctrico dos veces tanto en la mañana, tarde y noche con el microondas encendido, lo que hizo que estos valores que oscilan de entre 6 y 8 V/m afecten al promedio total calculado y a la vez que sea mucho mayor al promedio de Duke ya que para él solo se encendió una vez el microondas en las tres etapas de medición.

3.4.1.2. Análisis de los valores promedios de los campos eléctricos máximos.

Como se puede ver en la figura 24-3, en los nodos 1 y 3 el nivel de RNI máximo no supera el 1,2 V/m para ambos modelos, pero es ligeramente mayor en Duke que en Ella, de la misma manera sucede en los nodos 6 y 7, que en este caso el nivel de RNI máximo para Duke y Ella rebasan los 4 y 6 V/m respectivamente, esto es debido a que estos nodos se encuentran en la terraza mucho más expuestos a las antenas de telefonía móvil que los nodos 1 y 3 que están ubicados en la parte interior de la vivienda.

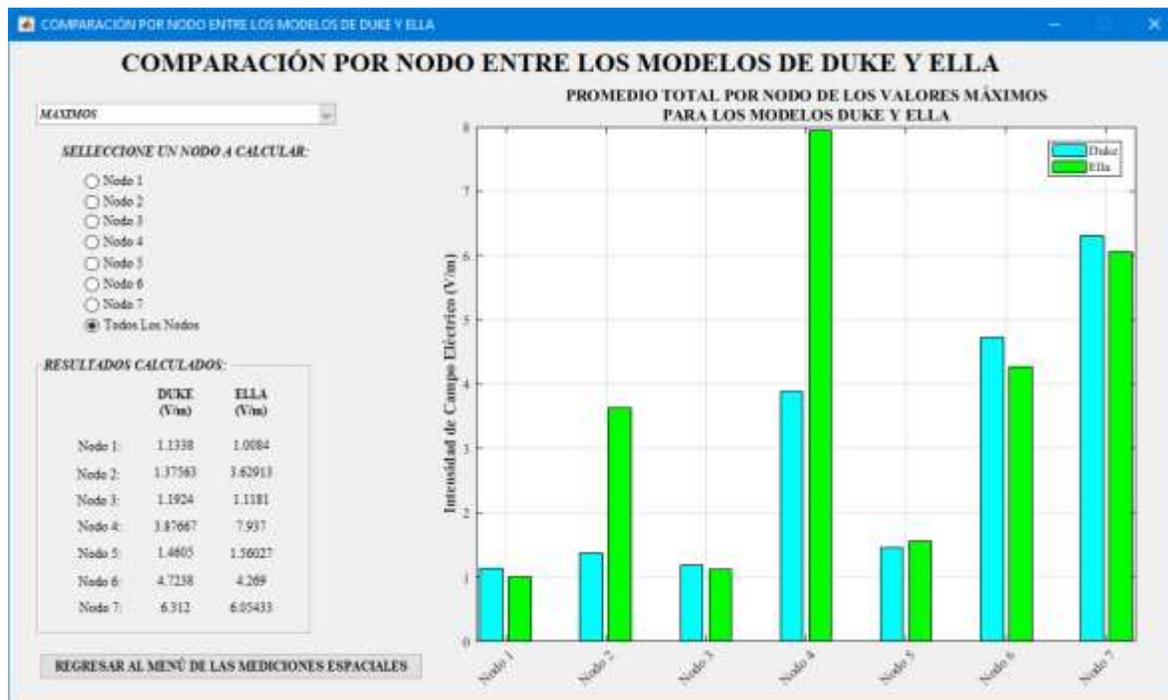


Figura 24-3: Gráfico de barras de los promedios totales de los valores máximos por nodo para los modelos Duke y Ella

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

También se puede observar que en el nodo 5 el nivel de RNI en Ella es ligeramente superior al obtenido en Duke, y a pesar de que está ubicado en la parte externa de la vivienda, la intensidad de campo eléctrico no sobrepasa los 1,6 V/m, debido a que se encuentra mayormente distanciado de la antena de telefonía móvil con relación a los nodos 6 y 7 que están muy próximos a esta antena ya que se localizan en la terraza mientras que el nodo 5 está localizado en la vereda.

En el nodo 2, el nivel de RNI máximo es muy superior en Ella con respecto a Duke ya que para Duke la intensidad de campo eléctrico máximo alcanza los 1,37 V/m mientras que para Ella rebasa los 3 V/m, esto es debido a que en el instante que se tomaron las mediciones para Ella durante la noche, un

habitante de la vivienda se encontraba próximo al nodo realizando una llamada a través de la red celular, lo que provocó el aumento considerable de la intensidad de campo eléctrico a 8,926 V/m.

En el nodo 4 se puede observar que se obtienen los picos más altos de intensidad de campo eléctrico con respecto a los demás nodos, ya que en este caso el nodo está ubicado en la cocina muy próximo al horno microondas y debido a que las mediciones se realizaron en condiciones reales para ambos modelos, el dispositivo eléctrico se encendió en el instante que se tomaron las mediciones en Ella, por lo cual la intensidad de campo eléctrico fue superior en Ella que en Duke.

3.4.1.3. Análisis de los valores promedios de los campos eléctricos mínimos.

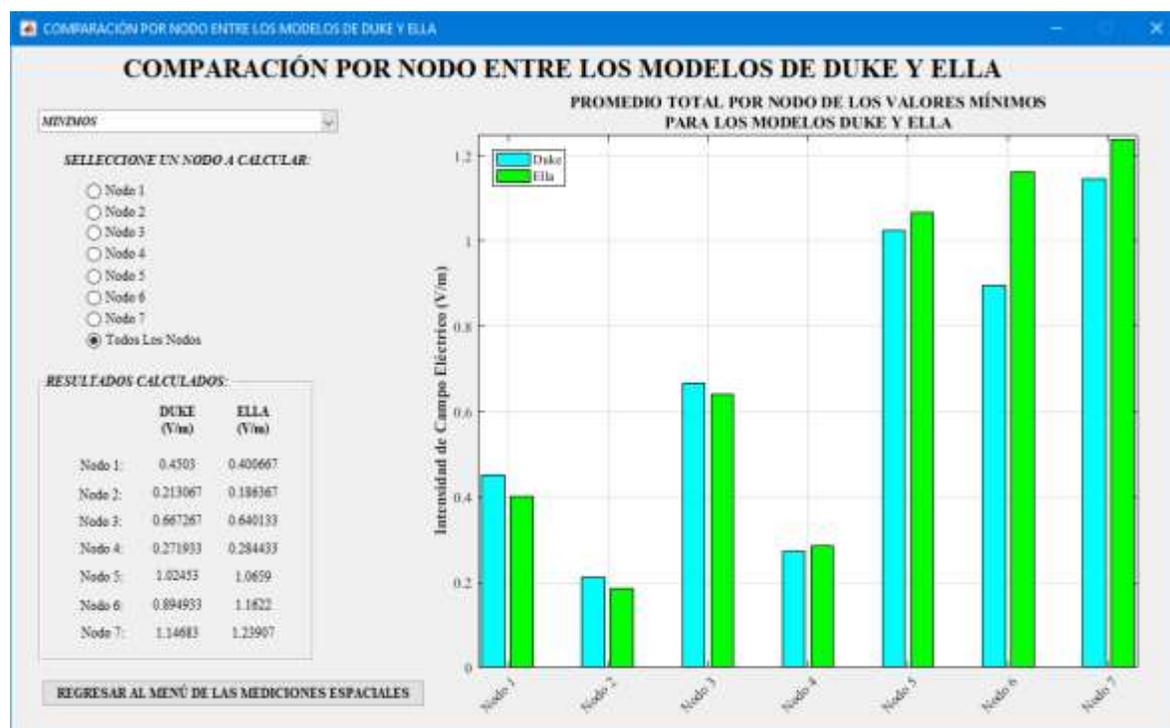


Figura 25-3: Gráfico de barras de los promedios totales de los valores mínimos por nodo para los modelos Duke y Ella

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Como se aprecia en la figura 25-3 la diferencia entre los valores mínimos de los dos modelos CAD son pequeñas en cada nodo, exceptuando el nodo 6 donde tenemos que para Duke es de 0,8949 V/m y de Ella es de 1,0659 V/m.

También se evidencia que los valores más bajos en ambos modelos están en los nodos 2 y 4 (taller y cocina respectivamente) esto es debido a que los campos electromagnéticos que irradian en esas dos habitaciones no sobrepasan de 0,3 V/m; mientras que en el nodo 8 tanto para Duke y Ella los valores

sobrepasan a los demás ya que los dos son mayores a 1,1 V/m como se ve en la figura, y Ella a su vez posee más absorción de RNI que Duke ya que su campo eléctrico mínimo es de 1,239 V/m y para el modelo masculino sea de 1,1468 V/m en ese nodo.

3.4.2. Comparación en la mañana, medio día y noche para Duke y Ella

3.4.2.1. Análisis de los promedios de campo eléctrico

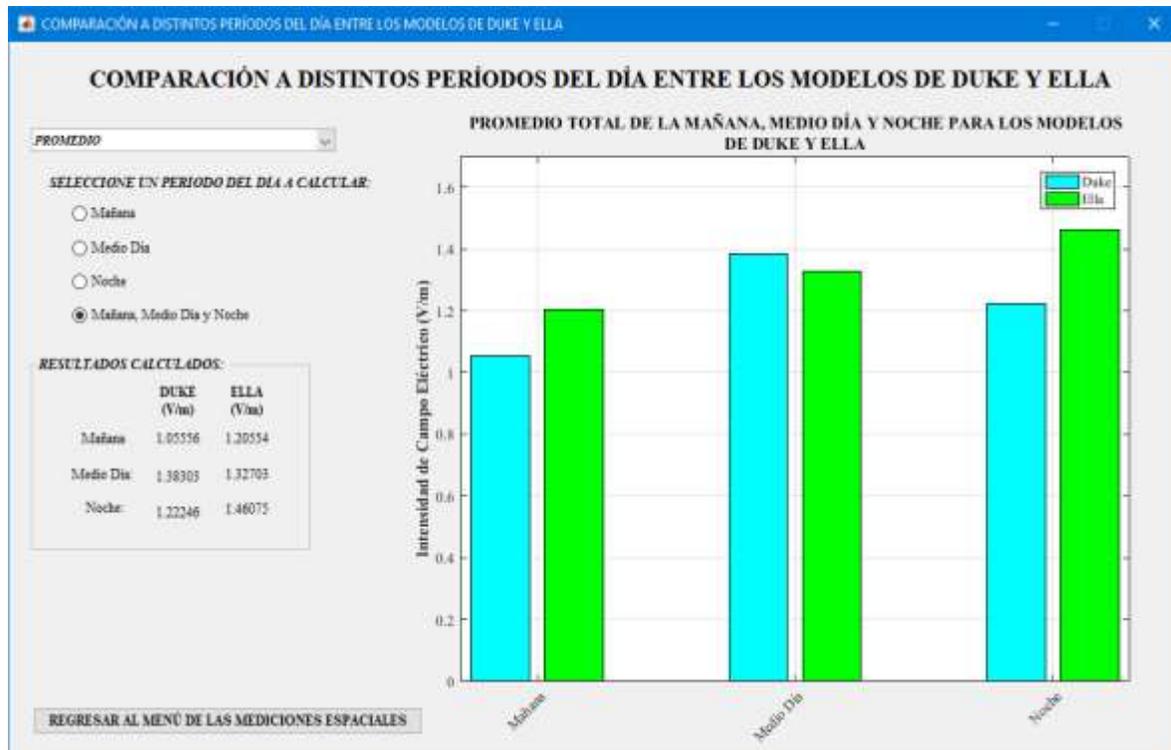


Figura 26-3: Gráfico de barras de los valores promedios de Duke y Ella en la mañana, medio día y noche

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En la figura 26-3 se observa tanto la tabla de los valores promedios de los tres horarios de medición realizados en cada modelo de la familia virtual V2.0 y el gráfico de barras en el cual se observa que en la mañana se tienen los valores promedios bajos de campo eléctrico y también que en Ella existe mayor absorción de RNI ya que el promedio total es de 1,2055 V/m en comparación a Duke con 1,05609 V/m.

Por la tarde en cambio se ve que los valores promedios en ambos modelos sobrepasan los 1,3 V/m y Duke en este caso su promedio de campo eléctrico que es de 1,383 V/m es mayor a Ella de 1,327 V/m; por lo que es evidente que en las tardes el modelo para hombre ha recibido más RNI que el modelo para mujer.

En la noche se produce que el campo eléctrico medido en el modelo de Ella (1,46075 V/m) es mayor al de Duke (1,222 V/m) y también a la vez es el promedio más grande en relación a los demás promedios de la mañana y medio día.

Esto sucede ya que el nivel de radiación no ionizante que se recibe no es el mismo a distintas horas del día pues el tráfico de celulares, el uso de redes Wi-fi, teléfonos inalámbricos, etc. varía según el uso que hagan las personas de los equipos.

3.4.2.2. Análisis del promedio de campos eléctricos máximos.

Como se puede observar en la figura 27-3, los picos máximos de intensidad de campo eléctrico no superan los 4,5369 V/m en promedio, donde las mediciones que se obtuvieron durante la mañana para el modelo de Ella alcanzaron los 3,0389 V/m en promedio, superiores a los valores obtenidos en Duke, de la misma manera sucedió durante la noche donde la diferencia de RNI con respecto a Duke fue aún mayor, mientras que en la tarde los picos máximos obtenidos para Duke son ligeramente superiores a los medidos en Ella.

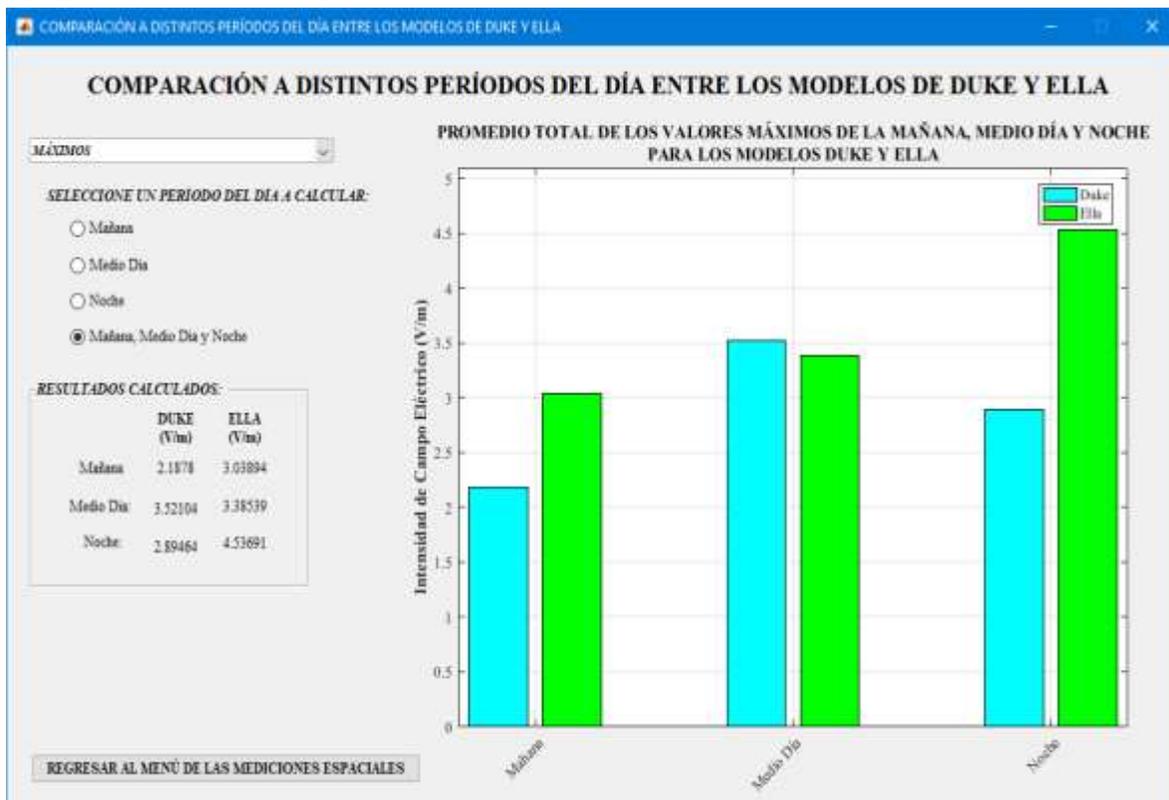


Figura 27-3: Gráfico de barras de los promedios totales de los valores máximos de Duke y Ella en la mañana, medio día y noche

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018

Además, se puede ver que la intensidad de campo eléctrico alcanza los picos más altos durante el mediodía y la noche para los modelos de Duke y Ella respectivamente, mientras que durante la mañana el nivel de RNI máximos son bajos con respecto al medio día y noche para ambos modelos.

3.4.2.3. Análisis del promedio de campos eléctricos mínimos.

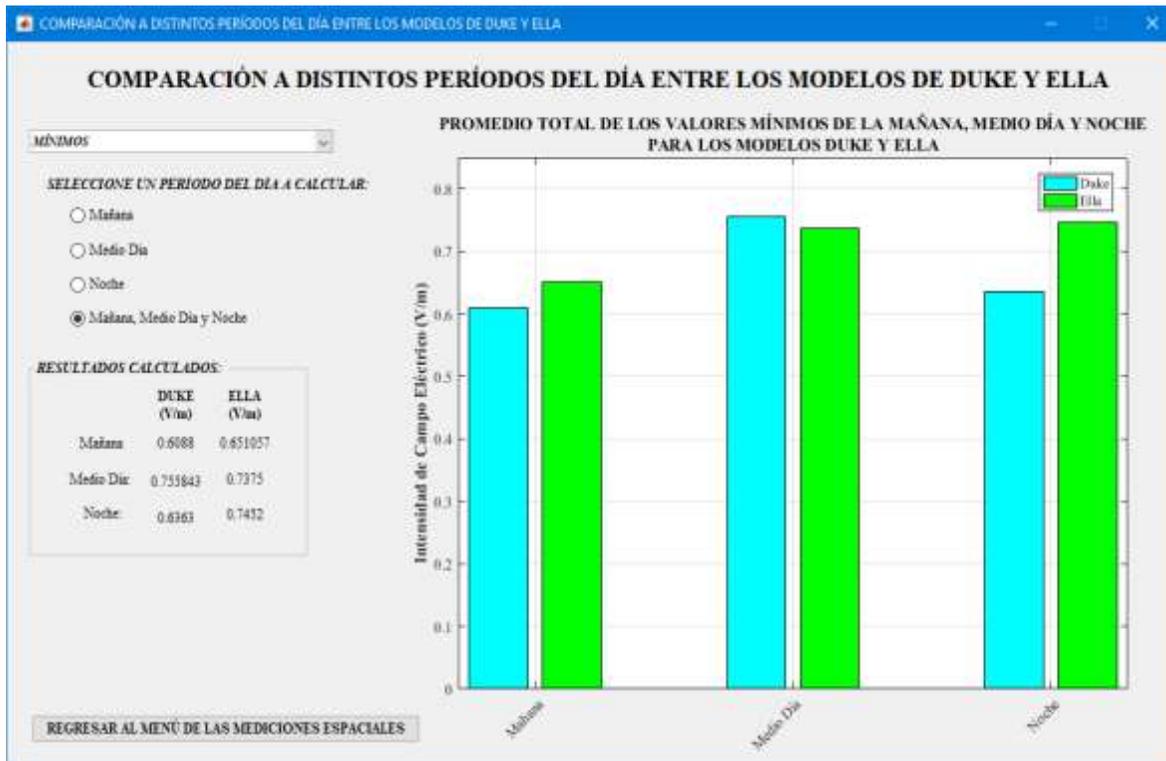


Figura 28-3: Gráfico de barras de los promedios totales de los valores mínimos de Duke y Ella en la mañana, medio día y noche

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Como se puede observar en la figura 28-3, el promedio total de los valores mínimos de intensidad de campo eléctrico supera los 0,6 V/m, donde las mediciones obtenidas durante la mañana para los modelos de Duke y Ella son las que alcanzan los picos más bajos en promedio con relación al medio día y la noche.

3.4.3. Comparación de los 14 puntos distribuidos en Duke y Ella

3.4.3.1. Análisis de los promedios de campo eléctrico

En la figura 29-3 se puede observar la tabla que muestra los promedios totales de los valores de intensidad de campo eléctrico medidos en los 14 puntos de los modelos CAD, además se representa estos valores mediante un gráfico de barras, donde se puede apreciar que el nivel de RNI más alto

que se recibe para los modelos de Duke y Ella es en los puntos D1 y E1 respectivamente, debido a que se encuentra a una altura superior a la que se encuentran los puntos restantes en ambos modelos.

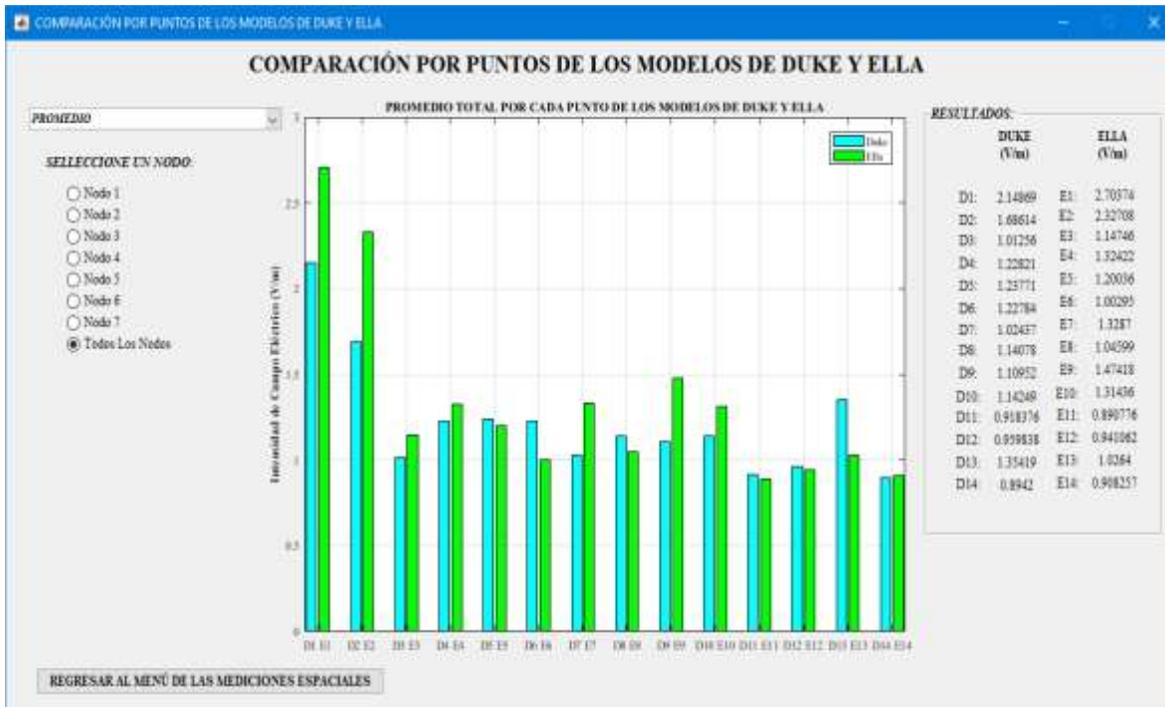


Figura 29-3: Gráfico de barras de los promedios totales de los 14 puntos distribuidos en los modelos de Duke y Ella

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

También se puede ver que el nivel de RNI más bajo para el modelo de Duke se obtiene en el punto D14 que alcanza los 0,8942 V/m en promedio y para el modelo de Ella se tiene en el punto E11 que no supera los 0,89 V/m en promedio, además se puede evidenciar que en Duke los puntos D1 y D2 alcanzan los valores más altos de RNI en promedio al igual que en los puntos E1 y E2 para el modelo de Ella, debido a que estos puntos se encuentran a una altura superior a la que se encuentran los demás puntos para cada modelo.

3.4.3.2. Análisis del promedio de los campos eléctricos máximos.

En la figura 30-3 se puede observar el gráfico de barras que representa la tabla que muestra los promedios totales de los valores máximos obtenidos en los 14 puntos distribuidos en los modelos de Duke y Ella, donde se puede apreciar que en los puntos E1 y E2 de Ella alcanzan los picos más altos de intensidad de campo eléctrico debido a que las mediciones en estos puntos se tomaron en el nodo 4 que se ubica en la cocina y fue en el instante que el horno microondas se encontraba en funcionamiento.

Podemos ver también que en el punto E9 de Ella existe un pico alto de RNI que supera los 2,5 V/m al igual que los puntos E1 y E2, esto es debido a que las mediciones tomadas en el nodo 2 durante la noche fueron en el instante que se realizaba una llamada cercana al punto E9.

En el modelo de Duke el nivel RNI más alto se ha obtenido en los puntos D1 y D2 ya que superan los 2 V/m a diferencia de los puntos restantes que no superan dicho valor debido a que los puntos D1 y D2 están a una altura superior a los puntos restantes, y las mediciones realizadas en los nodos 6 y 7 para dichos puntos alcanzan picos altos de intensidad de campo eléctrico.

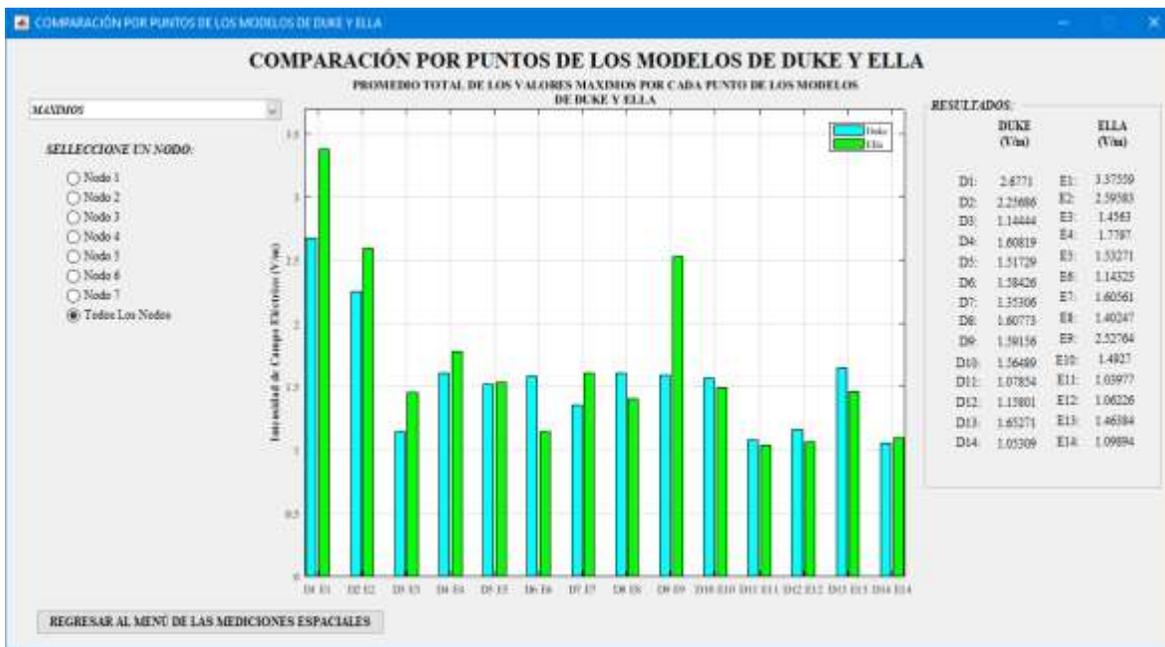


Figura 30-3: Gráfico de barras del promedio total de los valores máximos de los 14 puntos distribuidos en los modelos de Duke y Ella

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

3.4.3.3. Análisis del promedio de los campos eléctricos mínimos.

En la figura 31-3 se puede observar el gráfico de barras que representa los promedios totales de los valores mínimos obtenidos en los 14 puntos distribuidos en los modelos de Duke y Ella, donde se puede apreciar que para el modelo de Duke las mediciones en todos los puntos superan los 0,7192 V/m en promedio mientras que para Ella superan los 0,7189 V/m

Además, se puede apreciar que en los puntos D1, D2, E1 y E2 de los modelos de Duke y Ella respectivamente, los valores mínimos de intensidad de campo eléctrico están por encima de los valores mínimos obtenidos para los demás puntos en ambos modelos, es decir en estos puntos el nivel de RNI por lo general fue alto.

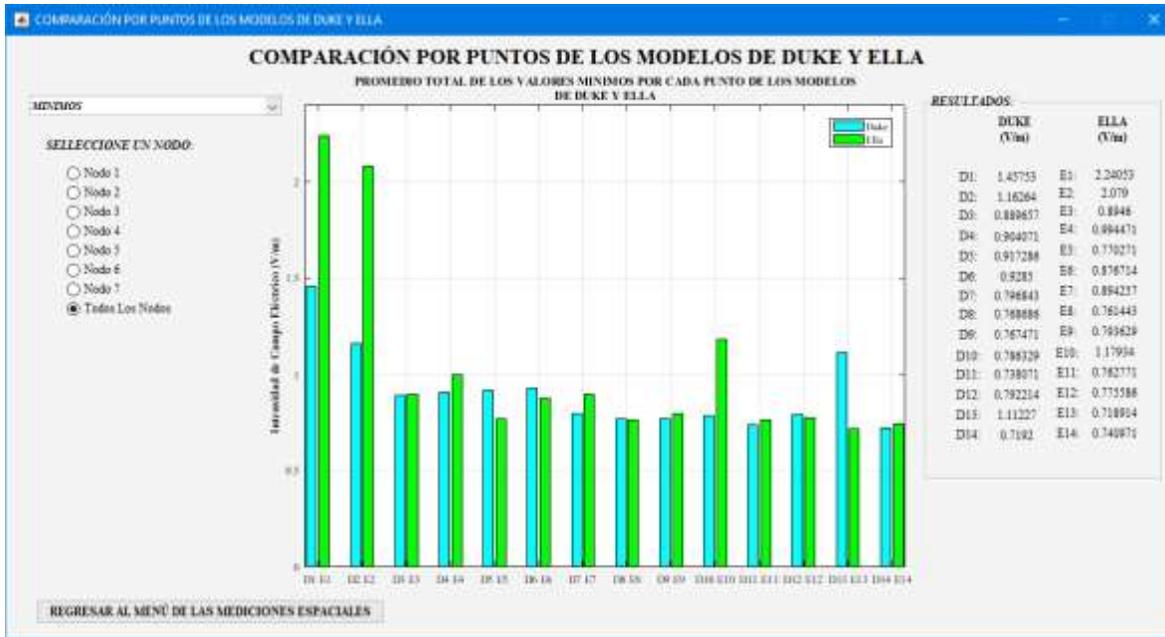


Figura 31-3: Gráfico de barras del promedio total de los valores mínimos de los 14 puntos distribuidos en los modelos de Duke y Ella

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

3.4.4. Comparación del campo eléctrico en el interior y exterior de la casa residencial

3.4.4.1. Comparación con el modelo de Duke

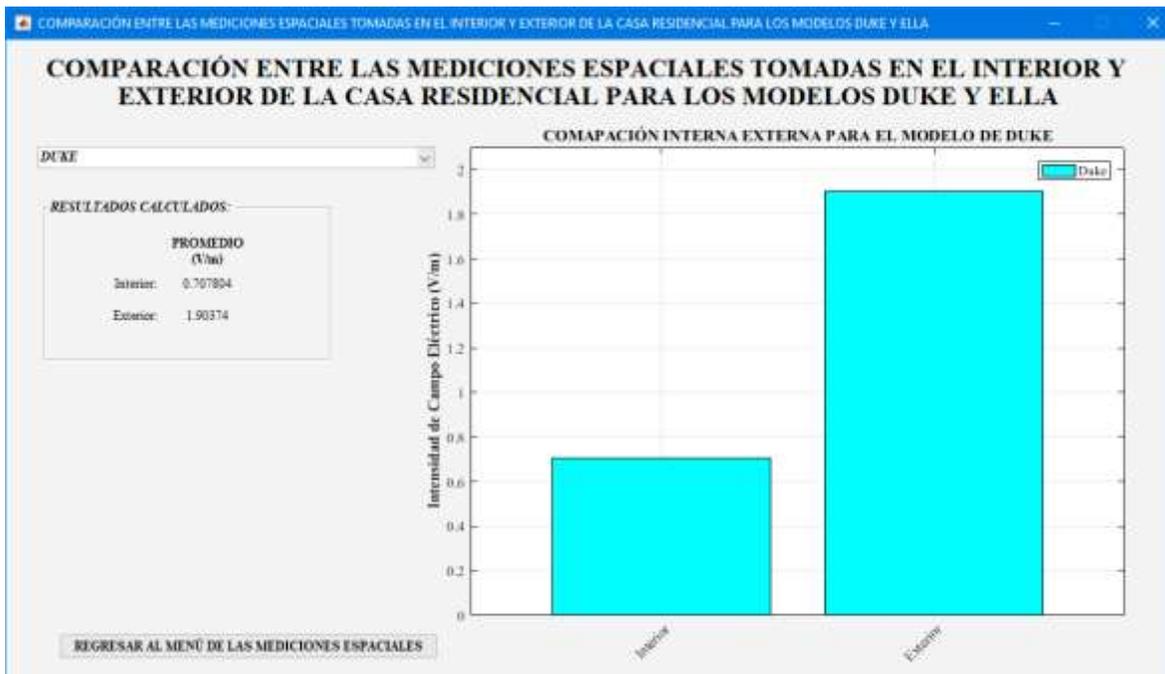


Figura 32-3: Gráfico de barras de los valores promedios internos y externos para Duke

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En la figura 32-3 se aprecia claramente en el gráfico de barras como es el comportamiento de la radiación electromagnética en ambientes indoor (interior) y outdoor (exterior), y además en la parte de resultados el valor numérico nos indica también que la radiación que absorbe el modelo de Duke es mayor (1,904 V/m) en la parte externa, siendo este valor que se indica el promedio de los tres nodos exteriores de medición, en comparación con el promedio (0,708 V/m) de los otros nodos internos de la casa de estudio.

Con la ecuación (10) se muestra la diferencia porcentual existente entre las mediciones internas y externas y con esto se evidencia que la RNI medida en las partes externas posee valores más altos teniendo una variación porcentual de 62,82% en comparación con el promedio externo e interno que como se menciona anteriormente estos están influenciadas por la radiación no ionizante emitida por la antena celular cercana a la vivienda.

$$\text{diferencia porcentual} = \frac{\text{valor}_1 - \text{valor}_2}{\text{valor}_1} * 100\% \quad (10)$$

$$\text{diferencia porcentual} = \frac{1,90374 \left(\frac{V}{m}\right) - 0,707804 (V/m)}{1,90374 \left(\frac{V}{m}\right)} * 100\% = 62,82\%$$

3.4.4.2. Comparación con el modelo de Ella

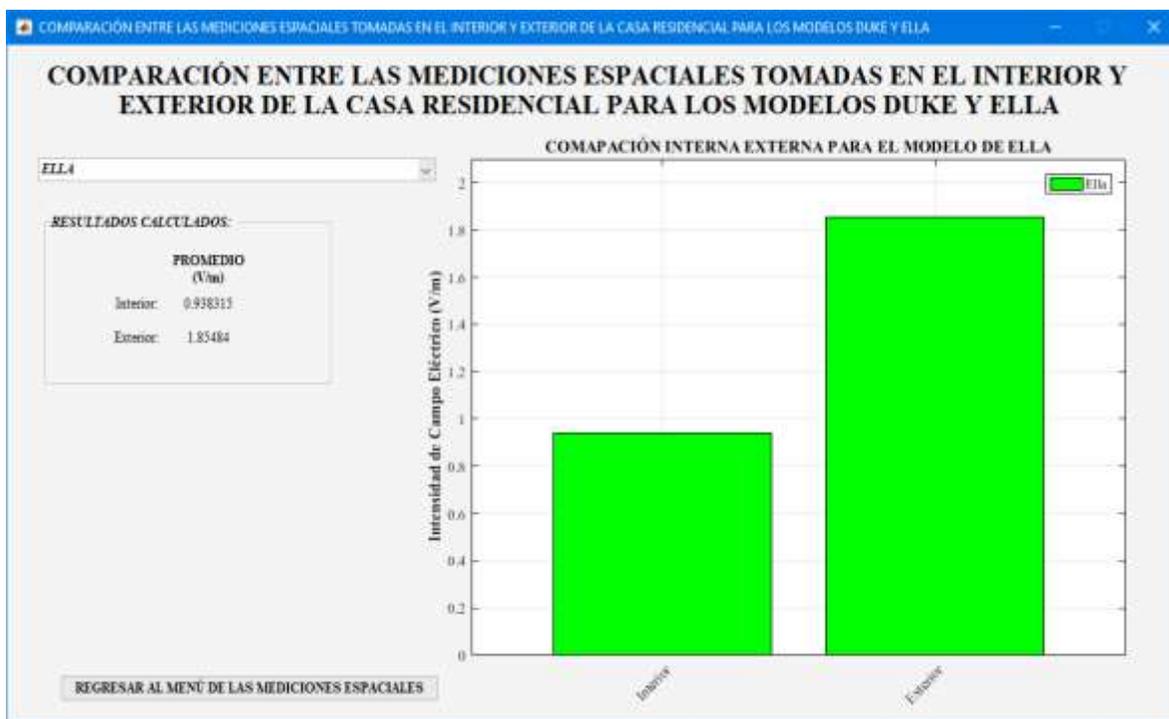


Figura 33-3: Gráfico de barras de los valores promedios internos y externos para Ella

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Aplicando como en el caso anterior la ecuación (10) para ver la variación porcentual entre las mediciones en el interior y exterior de la casa se obtiene:

$$diferencia\ porcentual = \frac{1,85484 \left(\frac{V}{m}\right) - 0,938315 (V/m)}{1,85484 \left(\frac{V}{m}\right)} * 100\% = 49,41\%$$

La variación porcentual resultante en Ella es del 49,41% en relación a las mediciones externas e internas, siendo un porcentaje bajo a el de Duke ya que como se observa en la figura 32-3 el promedio de los valores de Ella es más alto por lo que la absorción de radiación dentro de la casa es alta en comparación al promediado en Duke.

3.4.5. Análisis de la desviación estándar y aplicación de los percentiles para eliminar los valores atípicos tanto en los modelos Duke y Ella

En esta sección se realizó el análisis de la desviación estándar para el total de datos obtenidos en los 7 nodos espaciales (Nodo 1, Nodo 2, ..., Nodo7) para los dos modelos de la familia virtual V2.0; donde todos estos valores se presentaron mediante un gráfico en forma de puntos acompañado del promedio total de los 294 datos de campo eléctrico medido para poder visualizar de mejor manera la dispersión que existe de los datos con respecto al promedio.

También se procedió con los mismos 294 datos a obtener los 99 percentiles que se pueden observar en los anexos B y C, de los cuales dependiendo donde se encuentren los datos que se repitan con menos frecuencia y que estén muy alejados del promedio, se seleccionó el percentil adecuado con lo cual se elimina dichos datos dispersos para ver el comportamiento de la desviación estándar aplicando dicho percentil como se presenta a continuación.

Como se aprecian en las figuras 34-3 y 36-3 se tiene la opción de mostrar la desviación estándar para cada uno de los dos modelos de la familia virtual V2.0, con la cual nos enfocamos para este análisis ya que de esta forma mostramos una comparación global en los 7 días medidos tanto para Duke como para Ella. De la misma forma se tiene la opción de excluir los valores atípicos aplicando el valor percentil que se escogió tanto para Duke y Ella (Figura 35-3 y 37-3).

La desviación estándar para Ella (Figura 34-3) se observa que a lo largo de los 7 días de medición realizados en los 14 puntos la mayor concentración de datos se da por debajo de los 2 V/m, ya que al superar este valor se aprecia la existencia de valores de campo eléctrico promedio distribuidos con poca frecuencia que son mayores a 5 V/m, estos valores altos se deben a circunstancias como lo es la exposición al microondas y la exposición del modelo en exteriores especialmente el de la terraza.

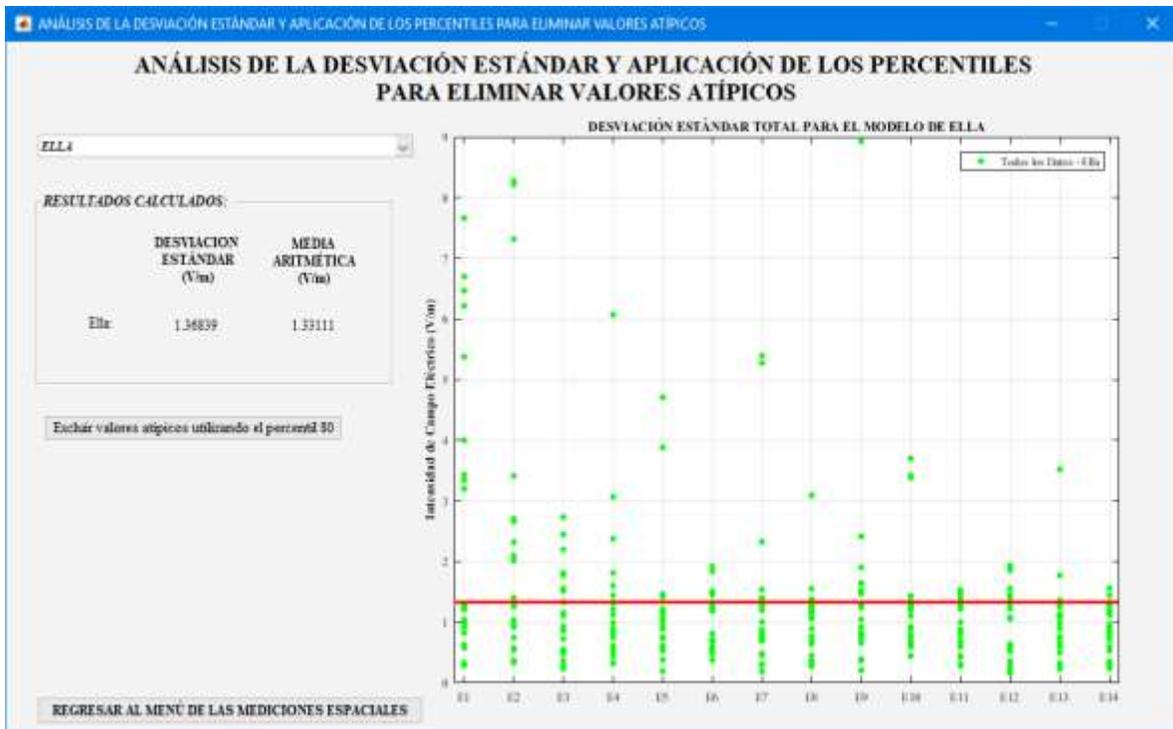


Figura 34-3: Desviación estándar de los 7 nodos para Ella

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

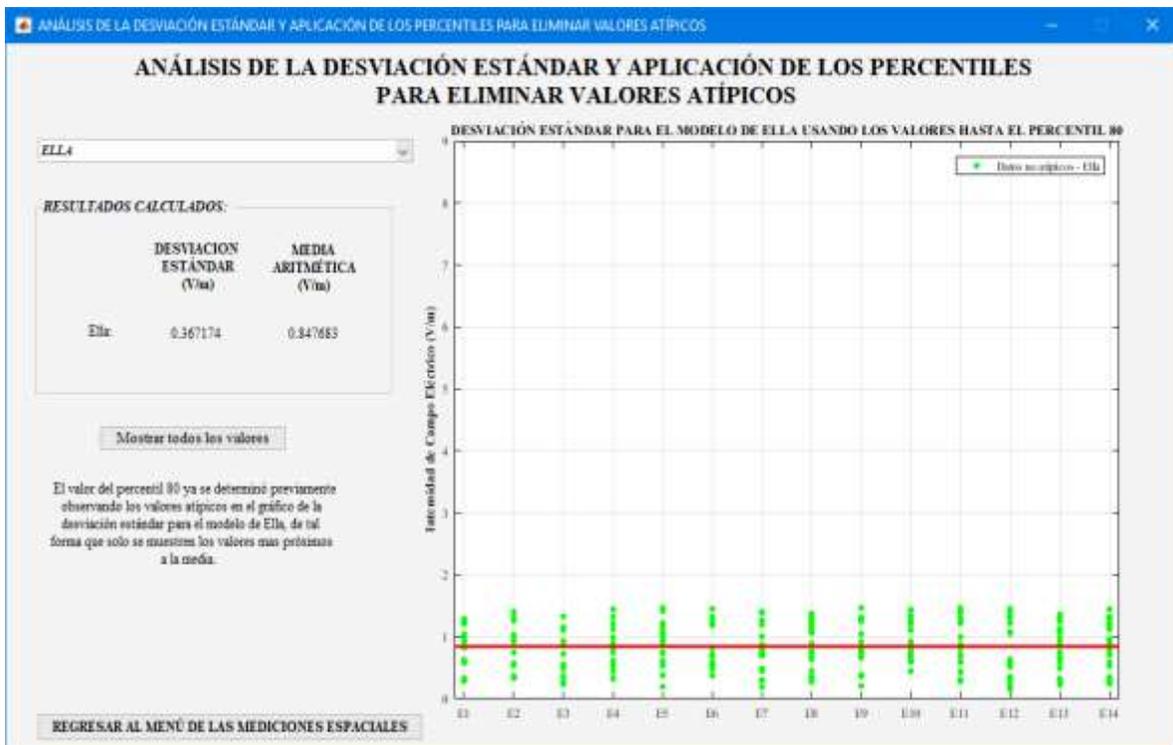


Figura 35-3: Desviación estándar de los 7 nodos para Ella aplicando el percentil 80

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

La desviación estándar que se muestra calculada tiene un valor de 1,36839 V/m, que como se dice representa la dispersión de los datos con respecto a la media (promedio) del total de los datos medidos, cuyo valor depende mucho de los valores de campo eléctrico medido más extremos como ya se comentó.

La figura 35-3 muestra los valores de campo eléctrico medidos aplicando el percentil 80 (Anexo C) cuyo valor correspondiente es de 1,4689 V/m, es decir que todos los valores superiores al percentil 80 son los valores que aparecieron con menos frecuencia durante las mediciones.

Al eliminar estos valores atípicos y al calcular la desviación estándar da como resultado 0,367174 V/m, es decir que al eliminar estos valores atípicos la dispersión de los datos utilizando la ecuación (10) se reduce en un 73,17% comparando con los resultados presentados en la figura 34-3.

$$\text{diferencia porcentual} = \frac{1,36839 \left(\frac{V}{m}\right) - 0,367174 \left(\frac{V}{m}\right)}{1,36839 \left(\frac{V}{m}\right)} * 100\% = 73,17\%$$

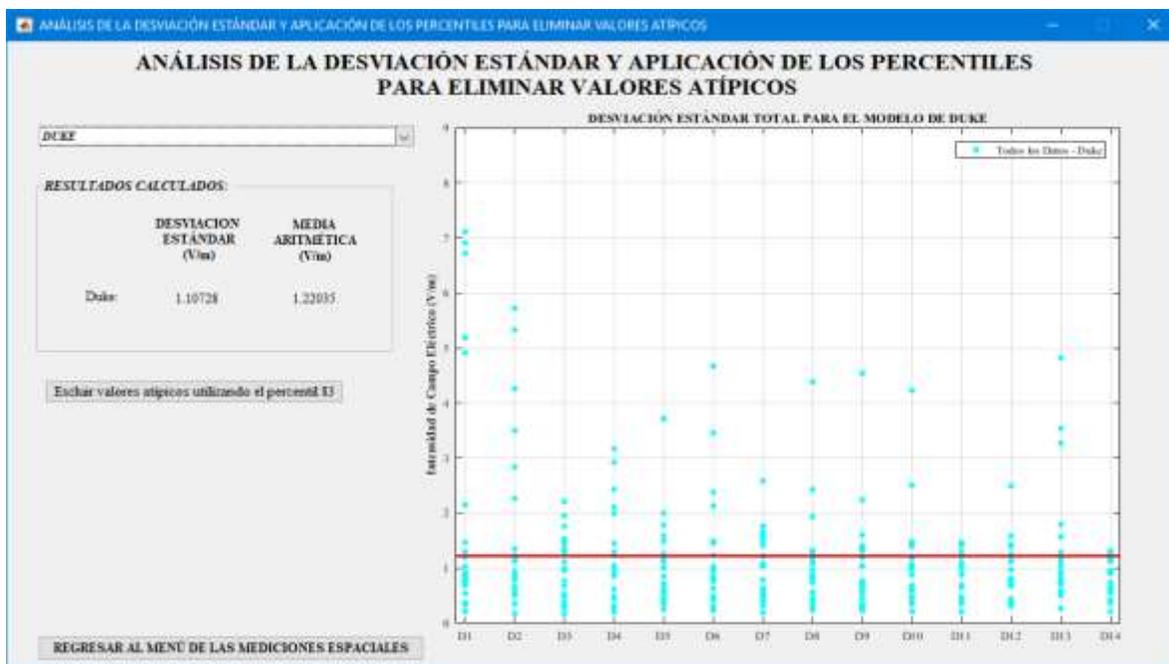


Figura 36-3: Desviación estándar de los 7 nodos para Duke

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Duke por su parte, aunque tiene valores muy dispersos y atípicos a la media con una desviación estándar de 1,10728 V/m como se ve en la figura 36-3 es menor a la desviación estándar de Ella. En este caso la concentración de los datos medidos está por debajo de los 2 V/m y llegando a tener valores que superan a los 7 V/m, que como se aprecia la repetición de estos valores medidos son pocas en comparación con el resto de datos mostrados.

En la figura 37-3 se observa que el valor de la desviación estándar es menor con relación al valor obtenido con los 294 datos para el modelo de Duke debido a que se excluyeron los valores que están por encima del percentil 83 (Anexo B), es decir que superan el 1,49364 V/m (valor correspondiente al percentil 83), lo que se tiene como resultado una disminución en la desviación estándar a 0,377523 V/m que aplicando la ecuación (10) se obtiene un porcentaje del 65,91 % de reducción en la dispersión de los datos.

$$\text{diferencia porcentual} = \frac{1,10728 \left(\frac{V}{m}\right) - 0,377523 \left(\frac{V}{m}\right)}{1,10728 \left(\frac{V}{m}\right)} * 100\% = 65,91\%$$

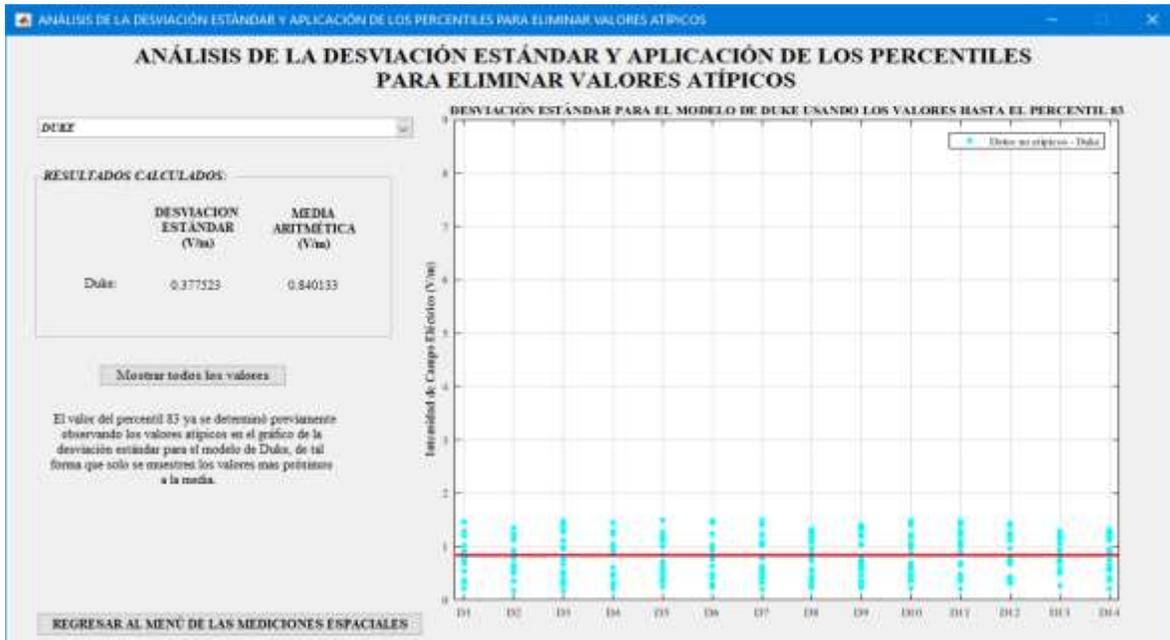


Figura 37-3: Desviación estándar de los 7 nodos para Duke aplicando el percentil 83

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

3.4.6. Análisis comparativo de las mediciones espaciales con las normativas ICNIRP y ARCOTEL (UIT-T K.52)

En esta sección se realizó el análisis comparativo de las mediciones espaciales de los modelos de Duke y Ella con las normativas ICNIRP y ARCOTEL para lo cual se procedió a plantear tres tipos de análisis por cada modelo, uno por nodos, a distintos periodos del día (mañana, medio día y noche) y otro por los 14 puntos de los modelos.

Para llevar a cabo estos análisis se crearon tablas comparativas en las cuales se muestran los valores de intensidad de campo eléctrico establecidos por las normativas, los valores máximos y promedios obtenidos en las mediciones RNI de cada modelo, cuyos valores se calcularon de acuerdo a los

análisis planteados, además cada tabla se representó mediante un gráfico de barras de tal manera que se visualice dichos resultados de las mediciones realizadas al ser comparados con las normativas.

3.4.5.1. Comparación por nodo para el modelo de Duke

Debido a que en la figura 38-3 el valor de campo eléctrico máximo promediado más alto (6,3120 V/m) como se observa en la tabla está ubicado en el nodo 7; realizando una regla de tres se obtuvo que este valor representa el 10,35% con respecto a los valores de las normativas ICNIRP y ARCOTEL (UIT-T K.52)

Respecto al valor de 6,3120 V/m entonces es evidente que los de más valores de campo eléctrico máximo promediado en todos los nodos no superan el 10,35% de los límites establecidos, por ende, esto también aplica a los valores promedios que son valores de intensidad de campo eléctrico menores a los de los máximos como se muestra en la figura 38-3.

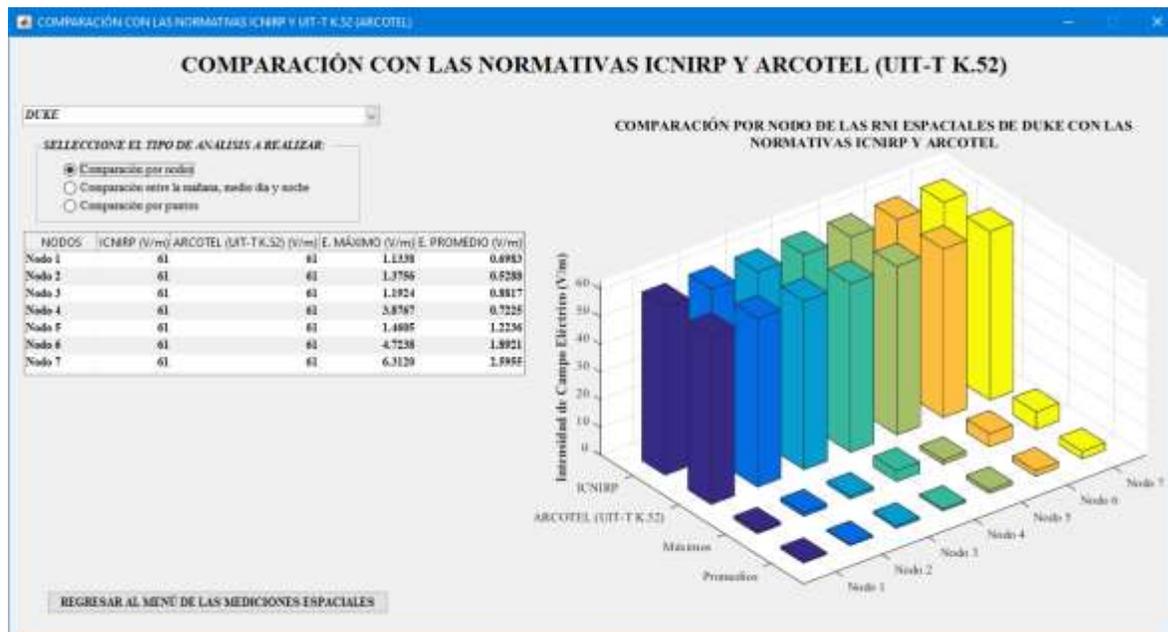


Figura 38-3: Tabla y gráfico de barras para la comparación por nodos de las mediciones del modelo Duke con las normativas

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

3.4.5.2. Comparación a distintos períodos del día para el modelo de Duke

En la tabla de la figura 39-3 se puede observar que los valores máximos y promedios de intensidad de campo eléctrico obtenidos a distintos periodos del día para el modelo de Duke no supera el 6% del valor establecido por las normativas, dado que el valor máximo es de 3,5210 V/m en promedio obtenido durante el medio día, de la misma manera se puede observar en el gráfico de barras que la

diferencia que existe entre los valores máximos medidos a diferentes periodos del día tiene una amplia diferencia con el valor establecido por las normativas.

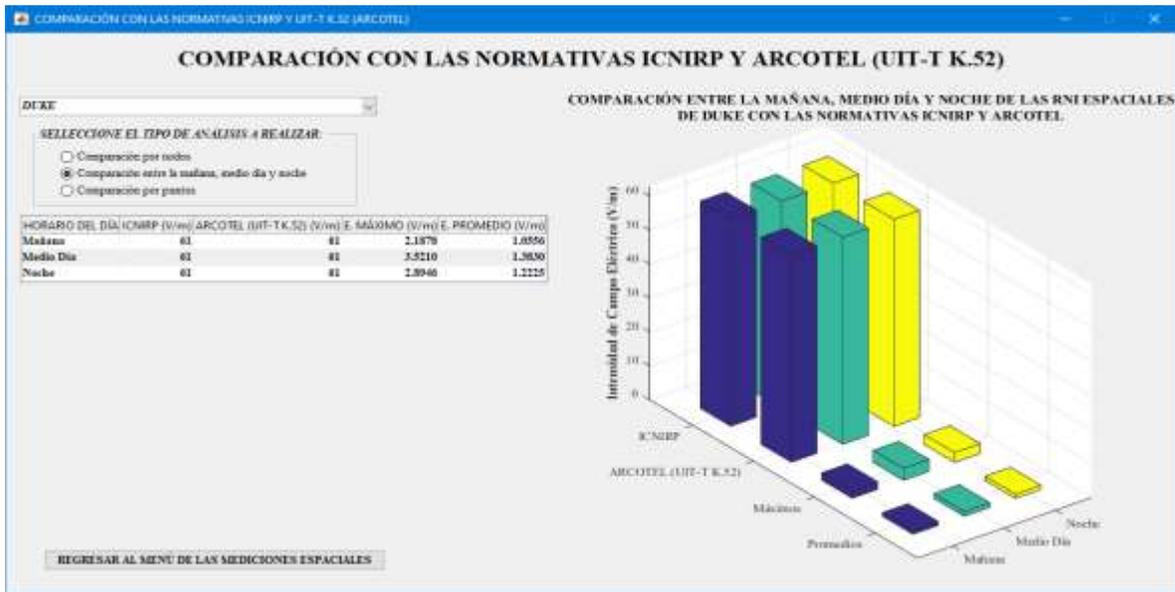


Figura 39-3: Tabla y gráfico de barras para la comparación a distintos periodos del día de las mediciones del modelo Duke con las normativas

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

3.4.5.3. Comparación por los 14 puntos del modelo de Duke

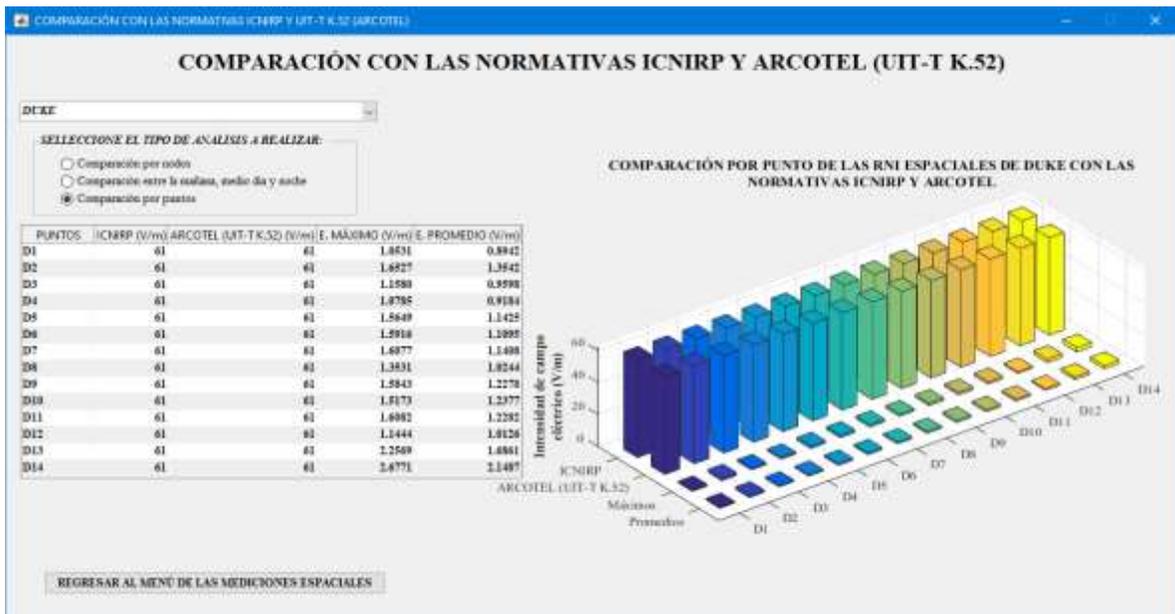


Figura 40-3: Tabla y gráfico de barras para la comparación por punto de las mediciones del modelo Duke con las normativas

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En la tabla de la figura 40-3 se puede observar que los valores máximos y promedios de intensidad de campo eléctrico obtenidos en los 14 puntos del modelo de Duke no sobrepasa el 4% del valor establecido por las normativas, dado que el valor máximo es de 2,6771 V/m en promedio obtenido durante en el punto D1 del modelo de Duke, de la misma manera se puede observar en el gráfico de barras que la diferencia que existe entre los valores máximos medidos en los 14 puntos tiene una amplia diferencia con el valor establecido por las normativas.

3.4.5.4. Comparación por nodo para el modelo de Ella

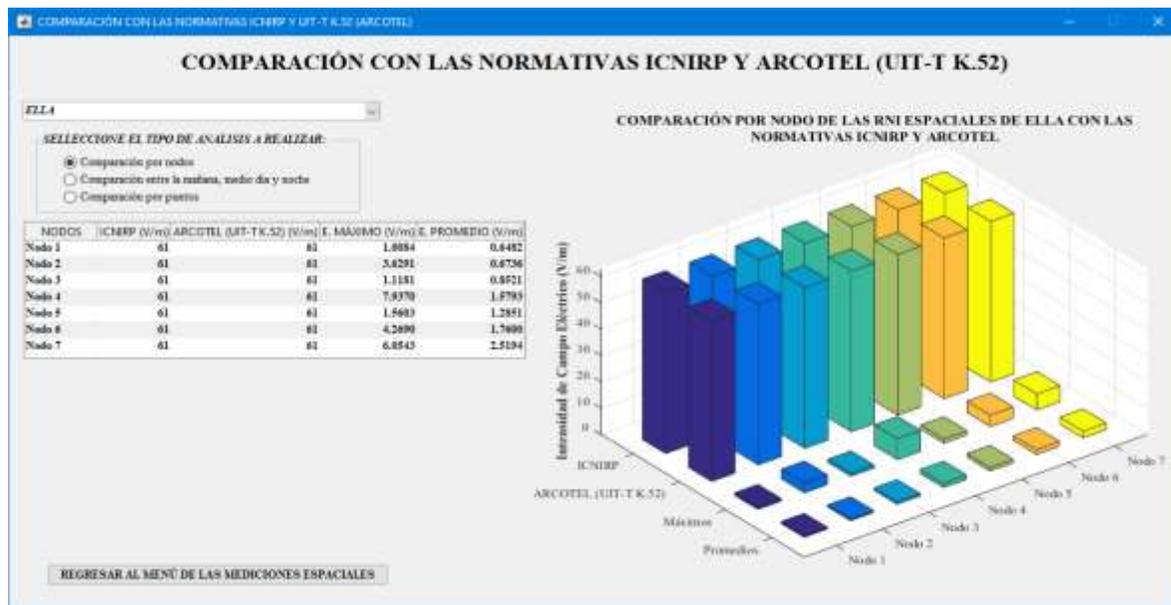


Figura 41-3: Tabla y gráfico de barras para la comparación por punto de las mediciones del modelo Ella con las normativas

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En la tabla de figura 41-3 se puede observar que los valores máximos y promedios de intensidad de campo eléctrico obtenidos para el modelo de Ella por cada nodo no supera el 14% del valor establecido por las normativas, dado que el valor máximo es de 7,9370 V/m en promedio obtenido en el nodo 4, de la misma manera se puede observar en el gráfico de barras que la diferencia que existe entre los valores medidos por cada nodo tiene una amplia diferencia con el valor establecido por las normativas.

3.4.5.5. Comparación a distintos períodos del día para el modelo de Ella

En la tabla de figura 42-3 se puede observar que los valores máximos y promedios de intensidad de campo eléctrico obtenidos a distintos periodos del día para el modelo de Ella no supera el 7% del valor establecido por las normativas, dado que el valor máximo es de 4,5369 V/m en promedio

obtenido durante el medio día, de la misma manera se puede observar en el gráfico de barras que la diferencia que existe entre los valores máximos medidos a diferentes periodos del día tiene una amplia diferencia con el valor establecido por las normativas.

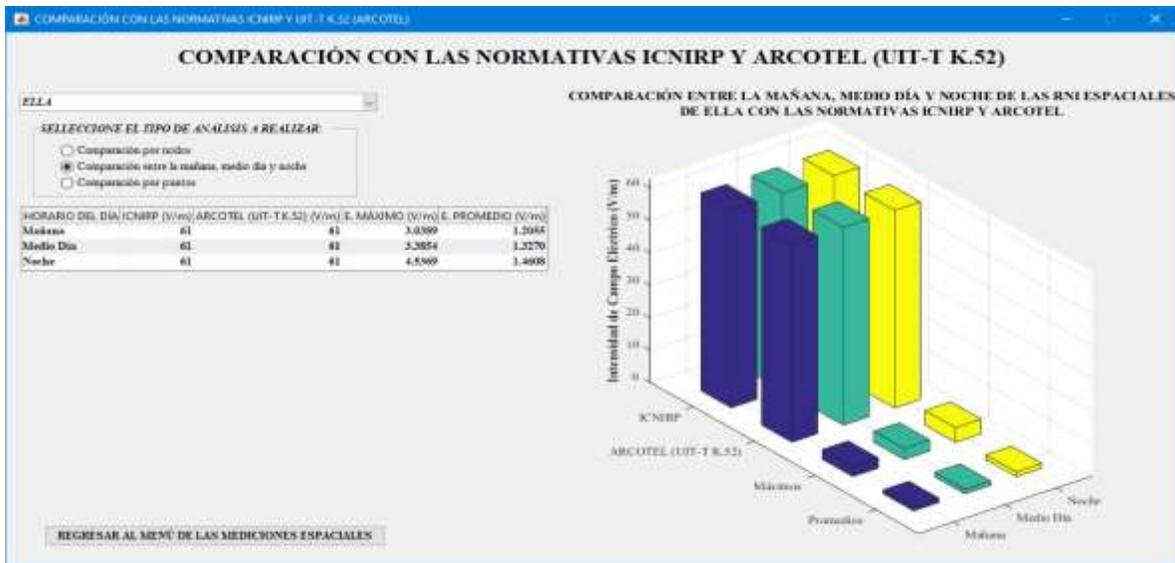


Figura 42-3: Tabla y gráfico de barras para la comparación a distintos periodos del día de las mediciones del modelo Ella con las normativas

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

3.4.5.6. Comparación por los 14 puntos del modelo de Ella

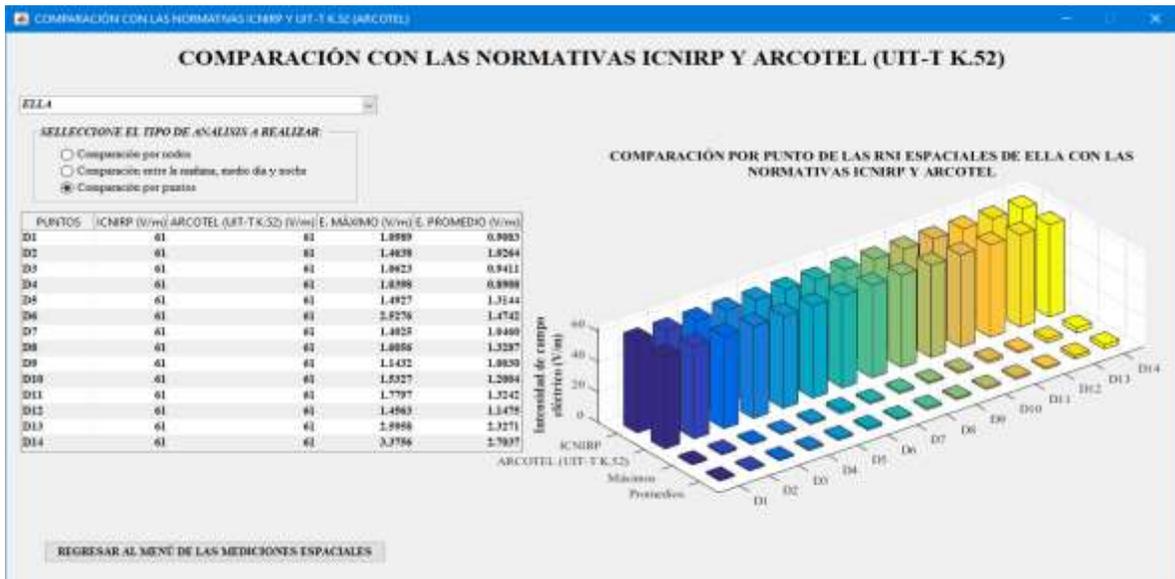


Figura 43-3: Tabla y gráfico de barras para la comparación por punto de las mediciones del modelo Ella con las normativas

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

En la tabla de figura 43-3 se puede observar que los valores máximos y promedios de intensidad de campo eléctrico obtenidos en los 14 puntos del modelo de Ella no sobrepasa el 6% del valor establecido por las normativas, dado que el valor máximo es de 3,3756 V/m en promedio obtenido en el punto D1 del modelo de Ella, de la misma manera se puede observar en el gráfico de barras que la diferencia que existe entre los valores máximos medidos en los 14 puntos tiene una amplia diferencia con el valor establecido por las normativas.

3.5. Análisis de los resultados obtenidos en las mediciones RNI temporales

Como se procedió en el análisis de las mediciones espaciales, se realizó el mismo trabajo para las mediciones temporales con gráficos realizados en Matlab que ayuden a una mejor visualización de los resultados obtenidos en los dormitorios.

3.5.1. Análisis por cada nodo de las mediciones temporales

3.5.1.1. Análisis de los campos eléctricos promedios

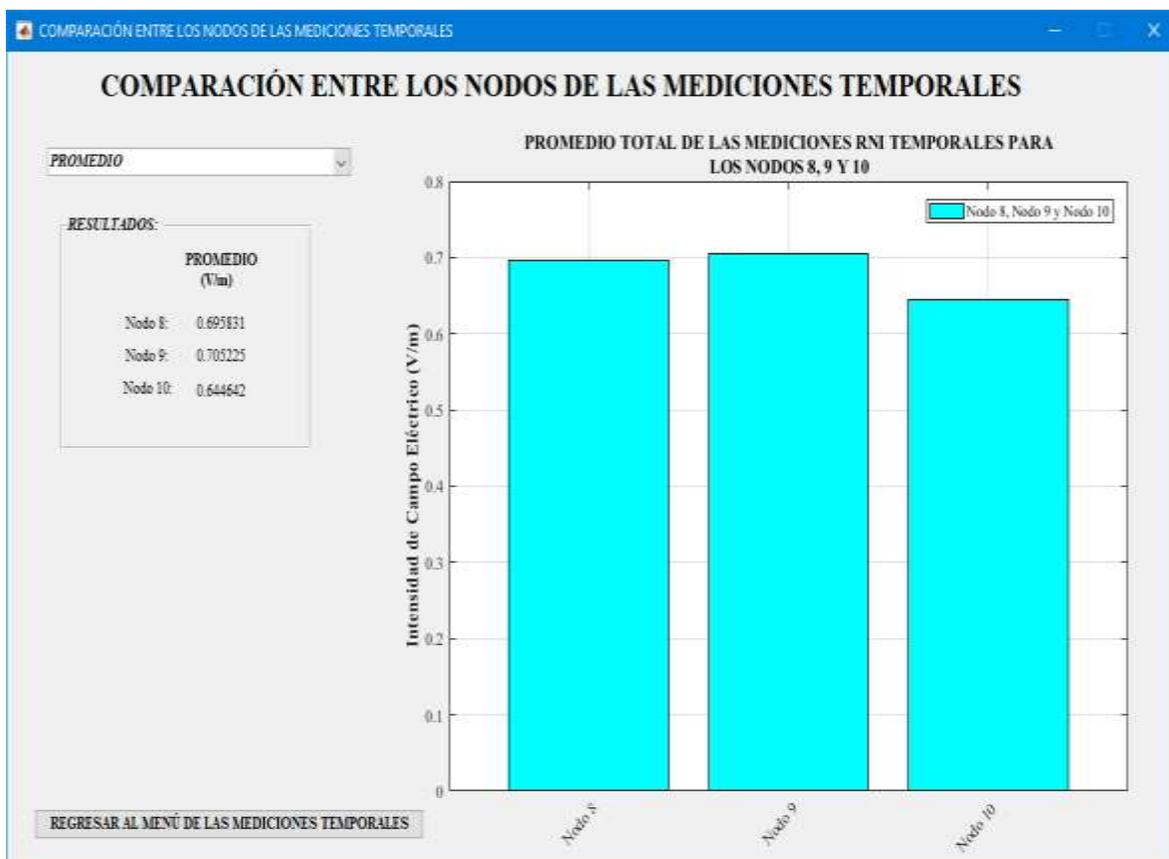


Figura 44-3: Gráfico de barras de los campos eléctricos promedios para los nodos temporales

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Como se puede observar en la figura 44-3, el promedio total de intensidad de campo eléctrico en los tres nodos no supera los 0,8 V/m, donde las mediciones obtenidas en el nodo 8 alcanzaron los 0,705 V/m en promedio, muy próximo al valor obtenido en el nodo 9 y con una diferencia mayor en el nivel de RNI con respecto al nodo 10, que es el nodo donde se obtuvieron los valores de intensidad de campo eléctrico más bajos en promedio con respecto a los nodos 8 y 9.

3.5.1.2. Análisis de los valores promedios de los campos eléctricos máximos.

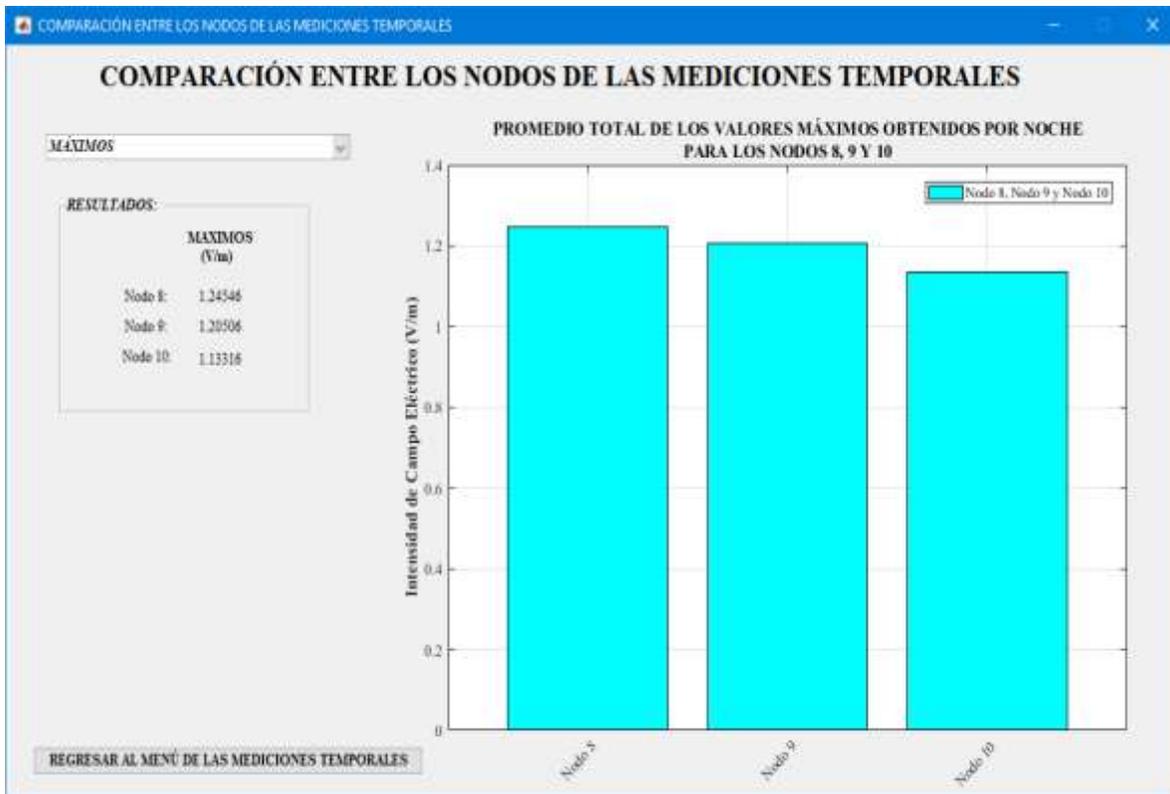


Figura 45-3: Gráfico de barras de los promedios totales de los campos eléctricos máximos para los nodos temporales

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Como se puede observar en la figura 45-3, el promedio total de los valores máximos de intensidad de campo eléctrico no supera los 1,3 V/m, donde los valores obtenidos en el nodo 8 es de 1,24 V/m, que es superior al promedio en los nodos 9 y 10, los cuales fueron de 1,20 y 1,13 V/m respectivamente.

A pesar de que en la figura 45-3 el promedio total de las mediciones de intensidad de campo eléctrico obtenidos en el nodo 9 es ligeramente superior que en el nodo 8, existen valores de campo eléctrico medidos en el nodo 8 que son mayores a los medidos en el nodo 9 como se observa en las tablas 37-3 y 38-3.

3.5.1.3. Análisis de los valores promedios de los campos eléctricos mínimos.

Como se puede observar en la figura 46-3, en promedio los valores medidos de intensidad de campo eléctrico en el nodo 8 superan los 0,42 V/m a excepción de los datos obtenidos en la segunda y séptima noche cuyos datos no superan dicho valor, mientras que en el nodo 9 los valores medidos superan los 0,41 V/m a excepción de la segunda y cuarta noche y en el nodo 10 los valores medidos están por encima de los 0,47 V/m a excepción de la primera y quinta noche de medición.

También se puede apreciar que en el nodo 9 se obtiene el pico más bajo en promedio de intensidad de campo eléctrico con relación a los nodos 8 y 10.

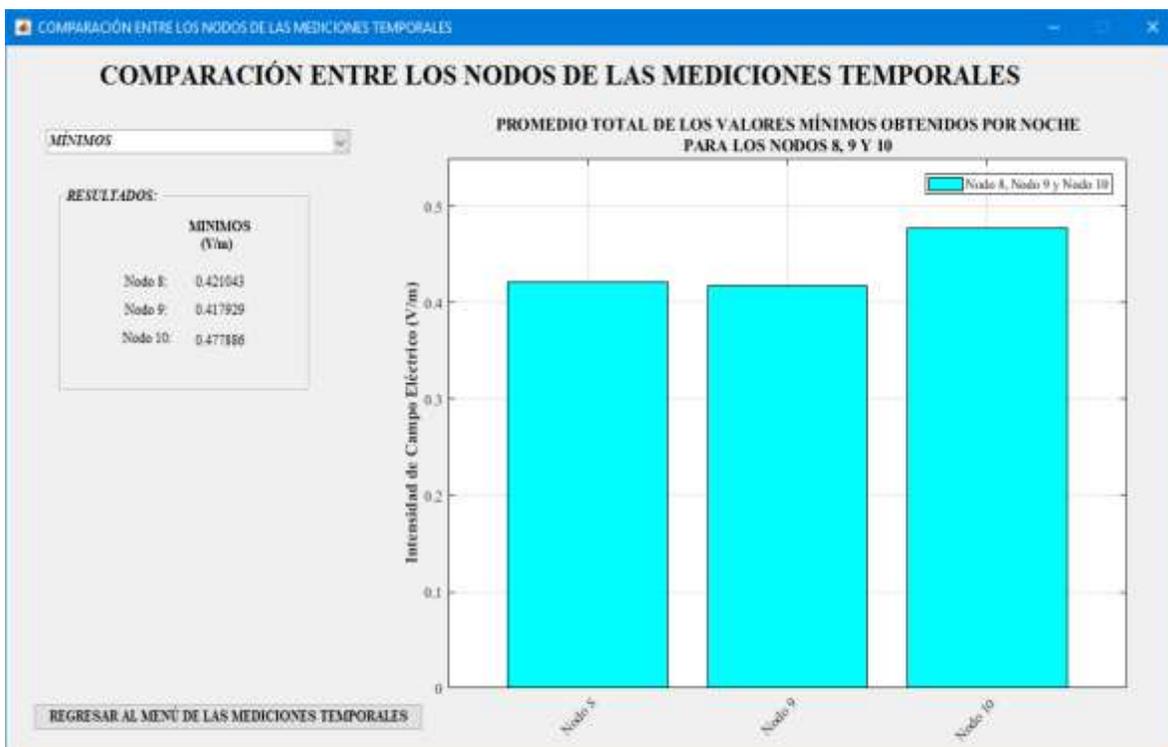


Figura 46-3: Gráfico de barras de los promedios totales de los campos eléctricos mínimos en los nodos temporales

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

3.5.2. Análisis de la desviación estándar y aplicación de los percentiles para eliminar los valores atípicos para los nodos de las mediciones RNI temporales

En esta sección se realizó el análisis de la desviación estándar de las mediciones temporales para lo cual se crearon tres gráficos (figuras 47-3, 49-3 y 51-3), en los cuales se graficaron los 665 puntos que representan los datos obtenidos en cada uno de los tres nodos durante los 7 días de la semana acompañado también del promedio total de los mismos con la finalidad de observar la dispersión que

presentan los puntos que refleja el valor de la desviación estándar que se muestra en cada uno de los gráficos.

De igual forma se llevó a cabo el cálculo de los 99 percentiles (Anexos D, E y F) con los 665 datos obtenidos en cada uno de los tres nodos temporales (Nodo 8, 9 y 10) en hojas de Excel, los mismos que nos ayudaron a eliminar los valores que están más alejados del promedio (media aritmética), para después analizar el comportamiento de la desviación estándar y el promedio de todos los valores sin considerar aquellos valores que se excluyeron, para este análisis se realizaron los gráficos que se muestran en las figuras 48-3, 50-3 y 52-3.

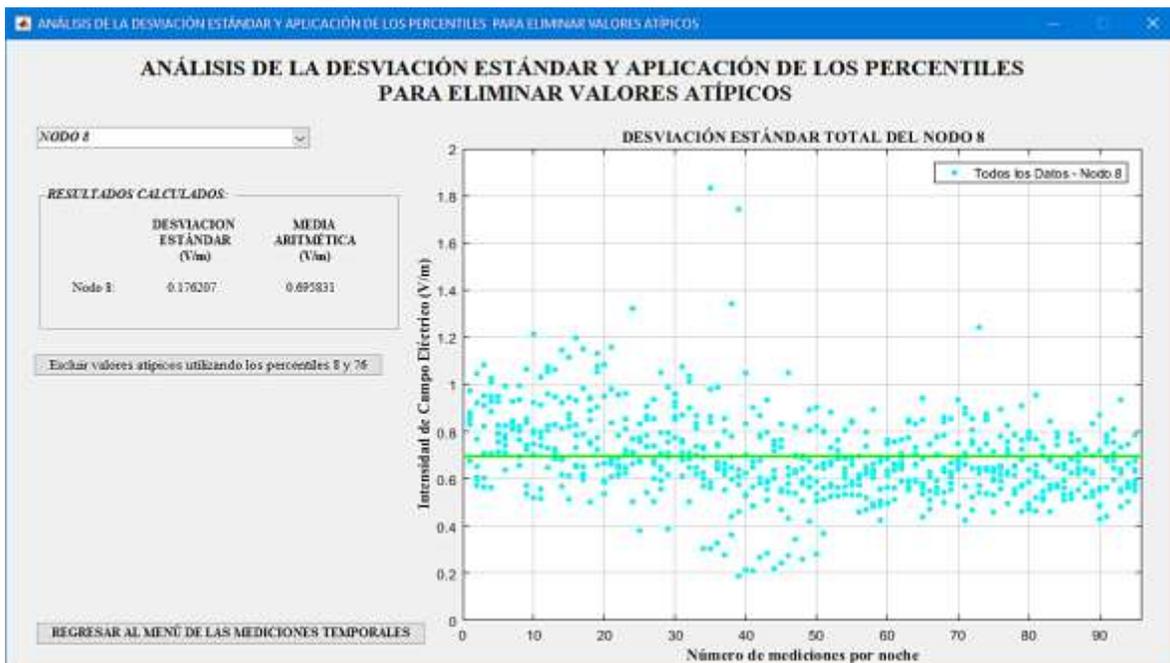


Figura 47-3: Desviación estándar del Nodo 8

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

La figura 47-3 muestran todos los valores medidos de campo eléctrico promedio en el nodo 8 (dormitorio 1 de la casa residencial) en el cual podemos ver que la dispersión de los datos existe tanto en la parte superior como inferior de la línea que representa la media o promedio total de los datos.

La dispersión de los datos está sucediendo cuando sobrepasan los valores medidos a 0,7 V/m además que en la gráfica se observa que existen dos valores muy alejados superiores a 1,7 V/m y en la parte inferior a la media los valores atípicos suceden cuando los valores medidos están por debajo de los 0,5 V/m teniendo una desviación estándar de 0,176207 V/m.

En relación a la figura 48-3 en donde al calcular los 99 percentiles (Anexo D) para los 665 datos medidos del nodo 8 y relacionando con la figura 47-3 se procedió a encontrar que los valores atípicos

ubicados hasta antes del percentil 8 y después del percentil 76 es decir que se eliminaron todos los valores que sean menores a 0,5028 V/m y mayores 0,7977 V/m.

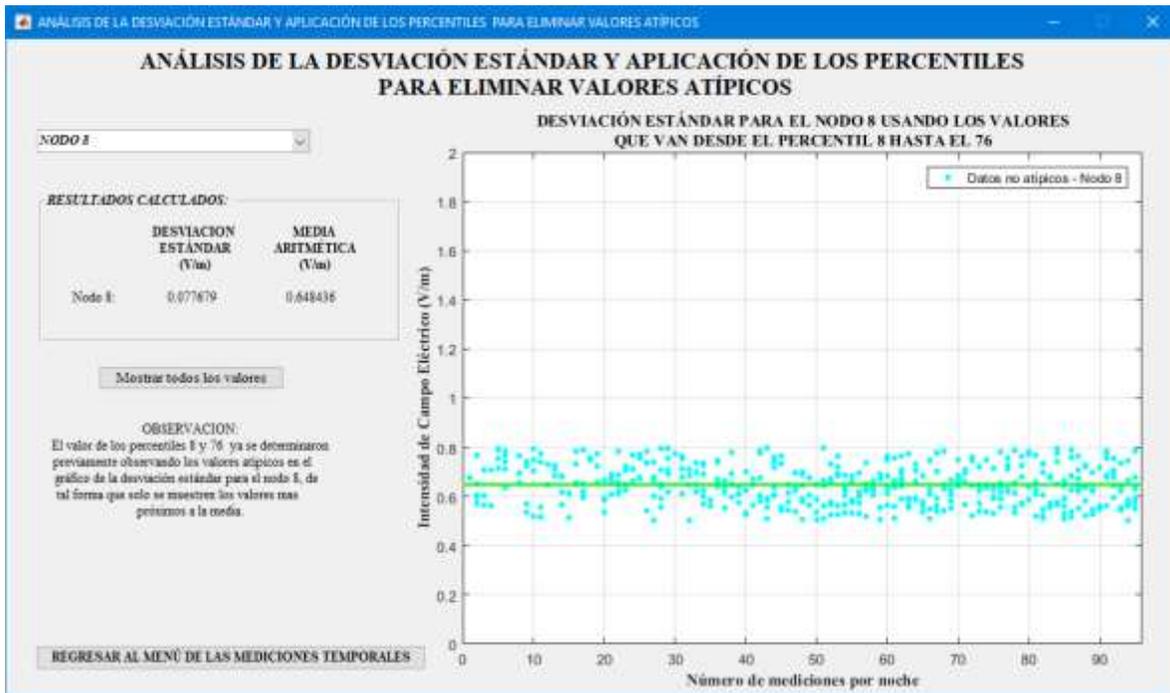


Figura 48-3: Desviación estándar aplicando los percentiles 8 y 76 del Nodo 8

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Con los valores que están entre este rango percentil se volvió a calcular la dispersión y el promedio que como se observa en la figura 48-3 en la cual tenemos el valor de 0,077679 V/m como desviación estándar que en porcentaje representa el 55,92% de reducción al eliminar todos los valores atípicos del nodo 8 aplicando la ecuación (10) con los respectivos valores.

$$\text{diferencia porcentual} = \frac{0,176207 \left(\frac{V}{m}\right) - 0,077679 \left(\frac{V}{m}\right)}{0,176207 (V/m)} * 100\% = 55,92\%$$

La figura 49-3 muestra las 665 mediciones realizadas en el dormitorio 2 (Nodo 9) de la casa donde se realiza el estudio en los cuales observamos que los valores medidos están concentrados entre 0,5 V/m y 0,7 V/m, pues pasado de estos valores se nota que hay más dispersión de los datos y los valores atípicos se observa que son valores mayores a 1,2 V/m y valores menores a 0,4 V/m; lo que conlleva a tener un valor para la desviación estándar de 0,155857 V/m.

Para la figura 50-3 se calcularon los 99 percentiles (Anexo E) y se escogió de entre estos al percentil 2 y 77 es decir que se eliminaron todos los valores de campo eléctrico promedio que son menores a 0,5009V/m y valores mayores a 0,7958 V/m.

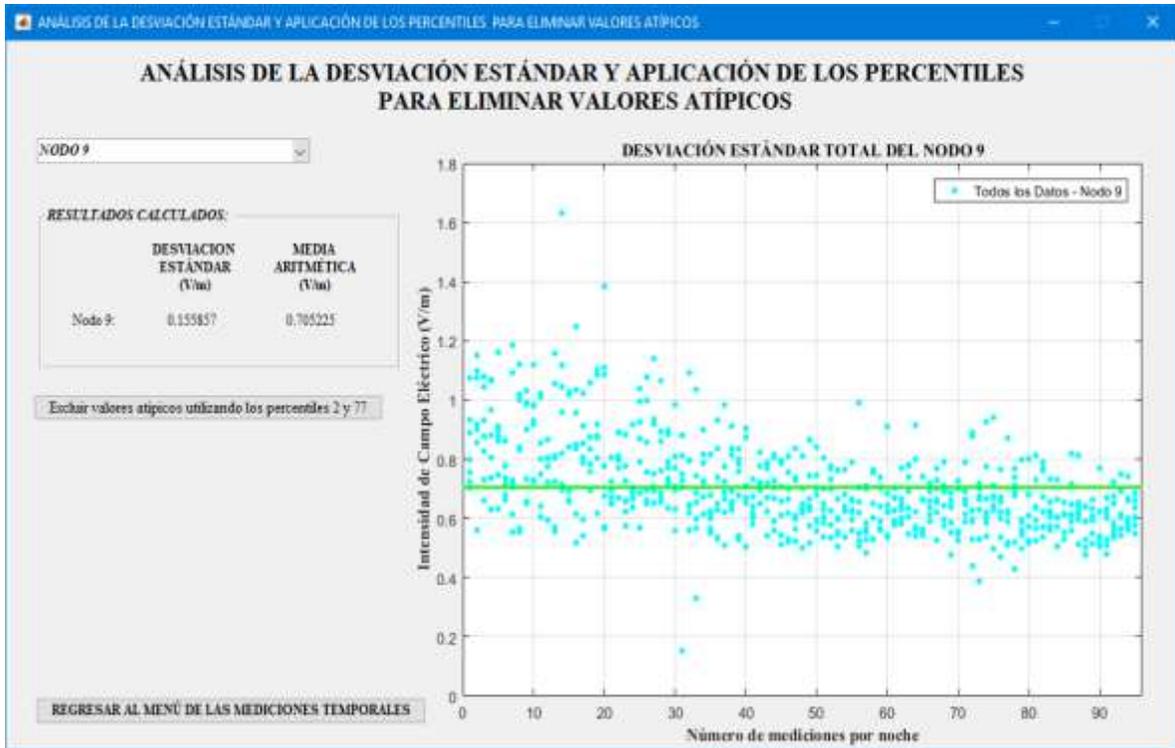


Figura 49-3: Desviación estándar del Nodo 9

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

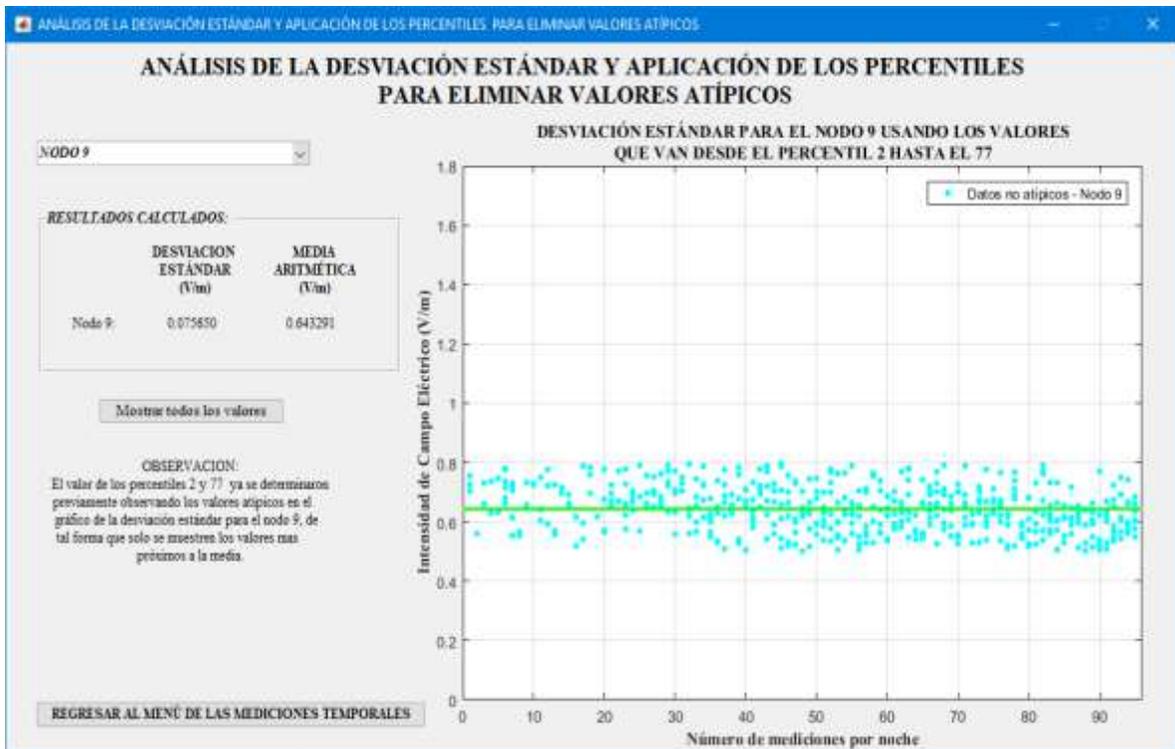


Figura 50-3: Desviación estándar aplicando los percentiles 2 y 77 del Nodo 9

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Al eliminar todos los valores atípicos se volvió a calcular el promedio y desviación estándar con los valores restantes que como se presenta en la figura 50-3 tenemos solo los valores más cercanos a la media, que está representado el valor de la desviación estándar de 0,075650 V/m lo que refleja una reducción del 51,46% al eliminar todos los valores atípicos o que se repiten con poca frecuencia en el caso del nodo 9 aplicando la ecuación (10).

$$diferencia\ porcentual = \frac{0,155857 \left(\frac{V}{m}\right) - 0,075650 \left(\frac{V}{m}\right)}{0,155857 (V/m)} * 100\% = 51,46\%$$

Para el nodo 10 en la figura 51-3 se observa un conjunto de puntos que están representado los 665 valores medidos en el dormitorio 3 (Nodo 10) de la casa residencial, estos valores están concentrados aproximadamente entre los 0,4 V/m hasta 1 V/m y se observa que existen valores atípicos que son superiores a 1 V/m es decir que son valores dispersos, porque como se observa en el gráfico de la figura 48-3 son muy pocos los puntos que están sobre este valor, lo que da lugar a tener una desviación estándar de 0,121153 V/m.

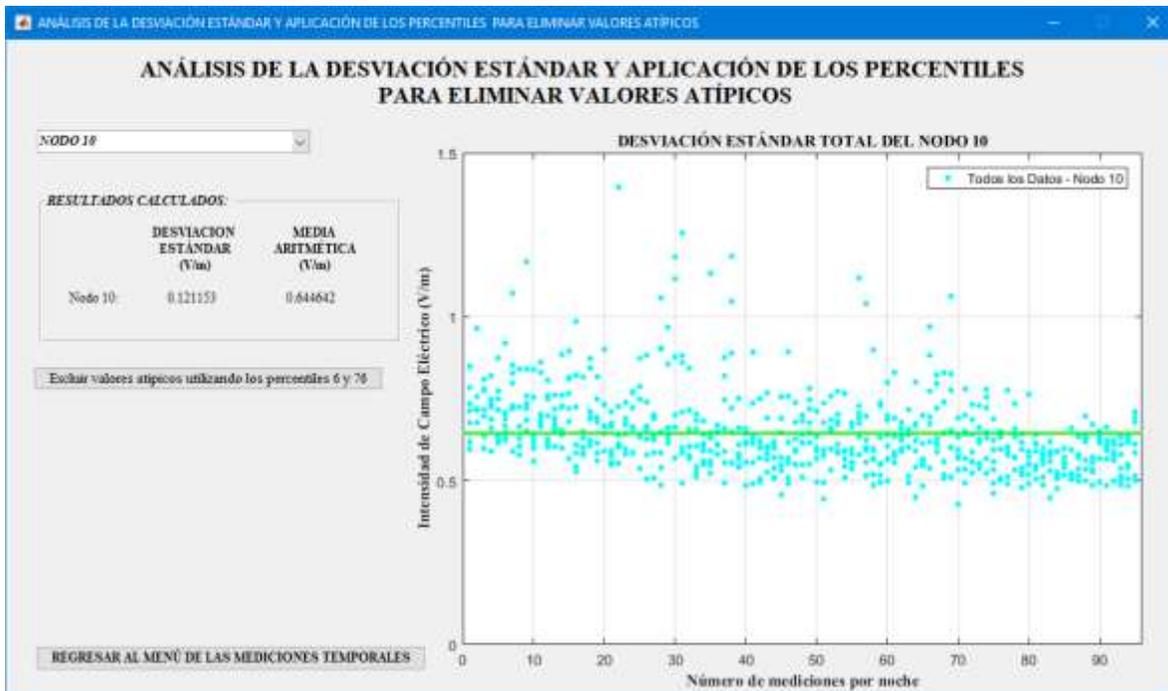


Figura 51-3: Desviación estándar del Nodo 10

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Para la figura 52-3 del total de los 665 datos medidos se escogieron los percentiles 6 y 76 de los 99 (Anexo F) de tal manera que se pueda eliminar los valores atípicos que se muestran en la figura 51-3 tanto en la parte inferior y superior a la media.

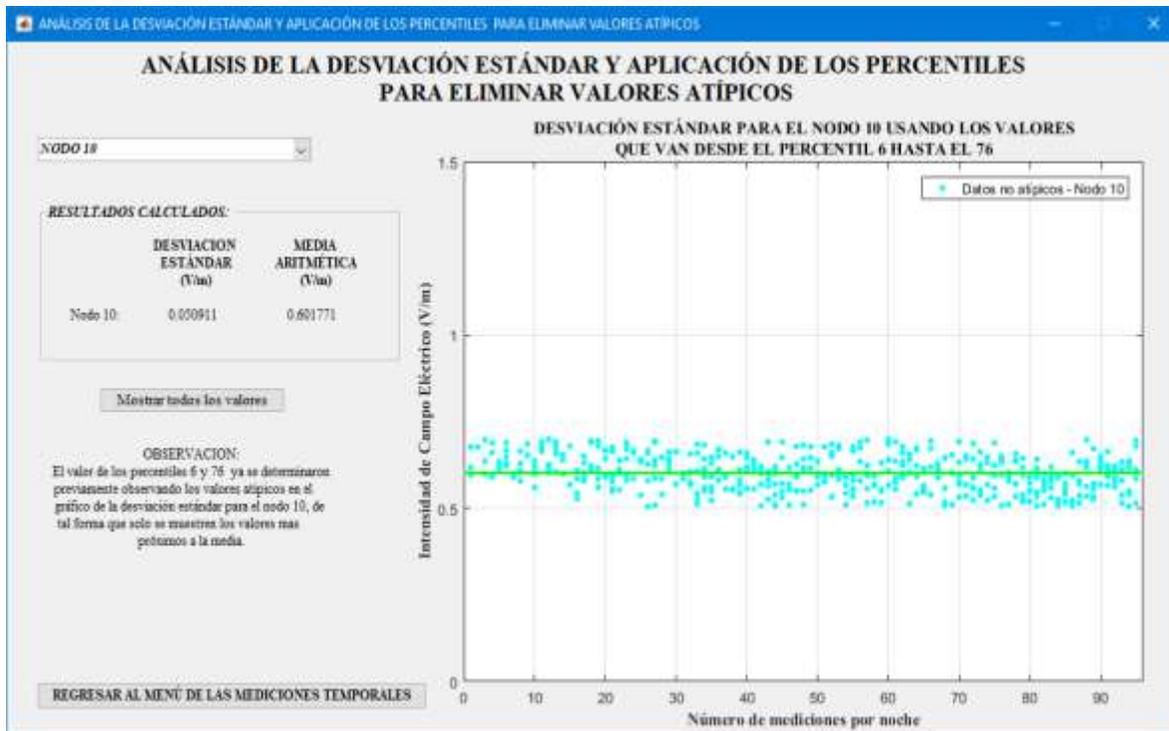


Figura 52-3: Desviación estándar aplicando los percentiles 6 y 76 del Nodo 10

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Es decir que los valores eliminados fueron todos los que sean menores a 0,5047 V/m (percentil 6) y mayores a 0,6984 V/m (percentil 76) con lo cual se obtuvo una nueva desviación estándar con un valor de 0,050911 V/m que evidentemente es menor al valor que contiene los valores atípicos que en porcentaje aplicando la ecuación (10) representa el 57,98% de reducción con lo cual se tienen valores más reales de como varia el campo eléctrico en este nodo a lo largo del periodo de medición.

$$diferencia\ porcentual = \frac{0,121153 \left(\frac{V}{m}\right) - 0,050911 \left(\frac{V}{m}\right)}{0,121153 (V/m)} * 100\% = 57,98\%$$

3.5.3. Análisis comparativo de las mediciones temporales con las normativas ICNIRP y ARCOTEL (UIT-T K.52)

En las figuras 53-3, 54-3 y 55-3 se puede observar las tablas comparativas creadas en Matlab para los nodos 8, 9 y 10 respectivamente que muestran los valores de intensidad de campo eléctrico establecidos por las normativas ICNIRP y ARCOTEL (UIT-T K.52), a la vez también se pueden apreciar los valores máximos y promedios obtenidos en las mediciones RNI temporales por cada noche y se visualizan los gráficos de barras que permiten comparar de mejor manera las mediciones RNI temporales de cada nodo con las normativas.

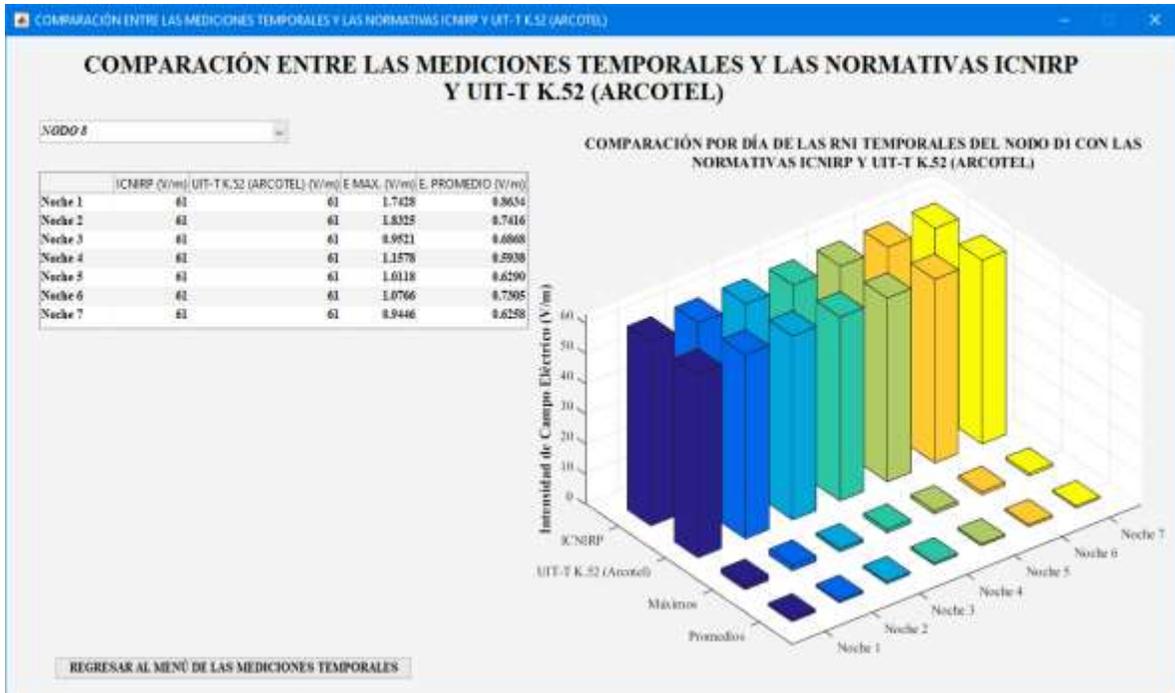


Figura 53-3: Tabla comparativa y gráfico de barras para la comparación del nodo 8 con las normativas

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

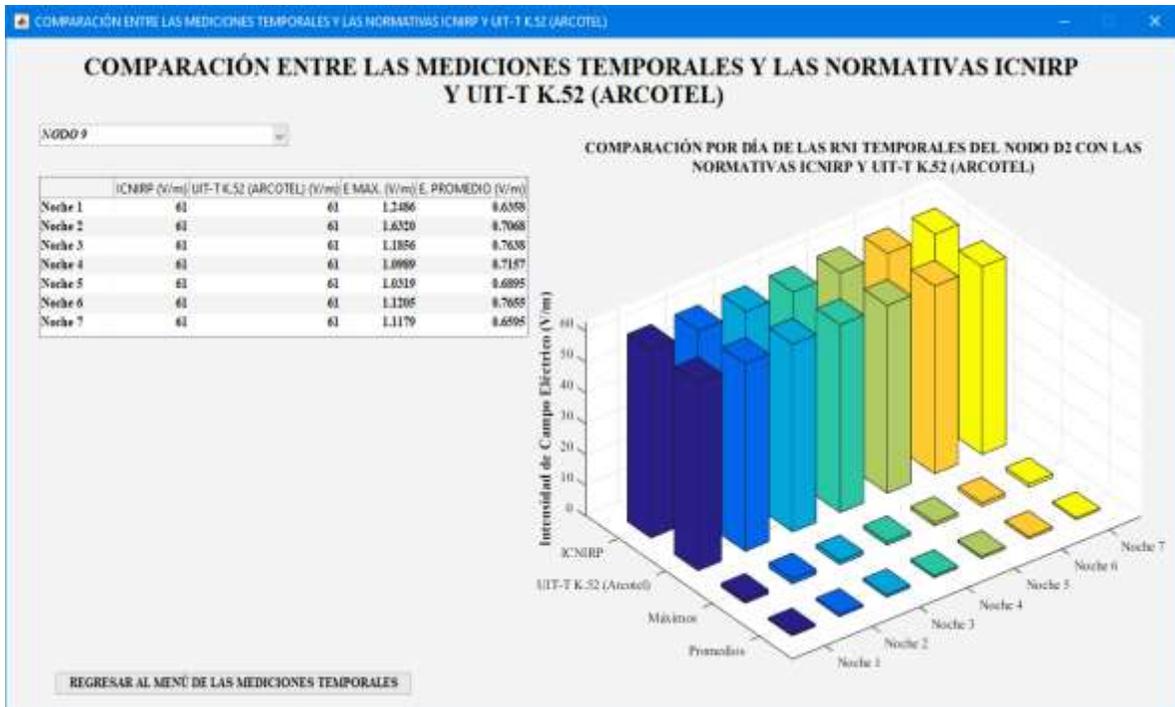


Figura 54-3: Tabla comparativa y gráfico de barras para la comparación del nodo 9 con las normativas

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018

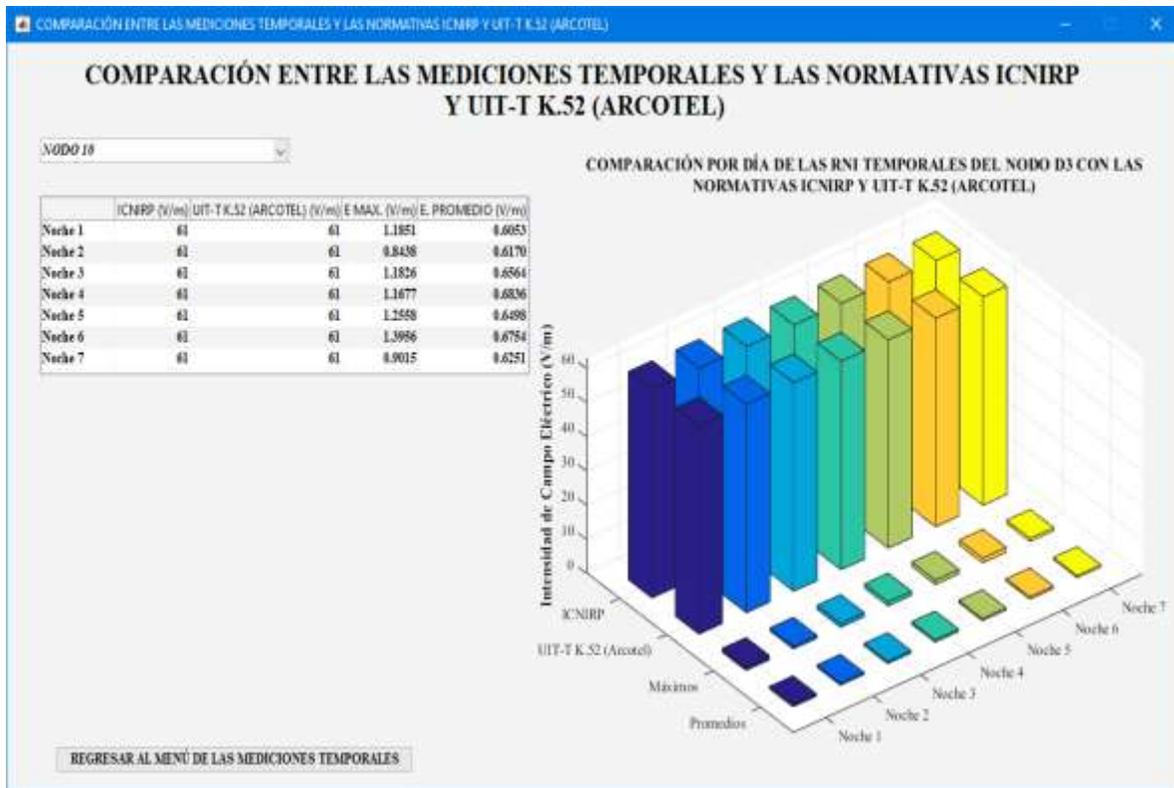


Figura 55-3: Tabla comparativa y gráfico de barras para la comparación del nodo 10 con las normativas

Realizado por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

Como se puede observar en estas figuras los valores máximos y promedios de los datos obtenidos durante las mediciones de intensidad de campo eléctrico tomadas por la noche y madrugada (20:00 a 05:30) en los tres nodos que representan a los dormitorios de la casa residencial no superan el 3 % del límite establecido por las normativas ICNIRP y ARCOTEL, por tal motivo las mediciones de RNI temporales medidas para todos los nodos temporales (8, 9 y 10) cumplen con los límites referenciales establecidos.

CONCLUSIONES

1. Con el estudio realizado de los niveles de radiación no ionizante se determina que los valores de intensidad de campo eléctrico, intensidad de campo magnético y densidad de potencia obtenidos en las mediciones espaciales y temporales están por debajo de los límites establecidos por las entidades ICNIRP, UIT y ARCOTEL.
2. Con respecto a las mediciones espaciales el nivel de radiación no ionizante es diferente en el exterior a el interior de la casa ya que existe un nivel más alto de intensidad de campo eléctrico en la parte externa del domicilio con una variación porcentual de 62,82% y 49,41% tanto para Duke y Ella respectivamente. Esto debido a que las ondas electromagnéticas llegan a atenuarse cuando chocan con las paredes, vidrios y otros obstáculos que conforman y están dentro de la vivienda; entonces una parte de la onda se transmite y otra se refleja dependiendo de las propiedades del material y el efecto atenuante que provoca sobre estas, lo que resulta que las ondas incidan en las diferentes habitaciones con distintos ángulos durante la medición.
3. Al realizar las mediciones a diferentes horas del día se muestra que no hay una tendencia clara de que período específico de tiempo de los tres realizados sea mayor la concentración de radiación no ionizante, pues para el modelo Ella los valores máximos, mínimos y promedios son mayores en la noche y para el modelo Duke es al medio día; esto ocurre porque las mediciones tomadas para cada uno de los modelos está realizada en semanas diferentes por ende el tráfico celular, uso de la red inalámbrica y de los otros equipos que imiten radiación no es el mismo en días así como en semanas.
4. Con el análisis realizado de valores máximos, mínimos y promedios tenemos que en el nodo ubicado en de la lavandería es donde los ocupantes de la vivienda están más expuestas a recibir radiación no ionizante siendo aún mayor a las del nodo 6 que se ubicó por su cercanía a la antena celular próxima a la casa residencial. Por otra parte, el nodo 1 que es el local comercial de la casa es donde los residentes absorben menos radiación no ionizante.
5. Haciendo referencia al promedio de los valores de intensidad de campo eléctrico obtenidos en las mediciones temporales se determina que en el nodo 9 correspondiente al segundo dormitorio se alcanza el nivel más alto de radiación con un valor de 0,7052 V/m en promedio, mientras que

en el nodo 8 ubicado en el primer dormitorio los valores máximos medidos alcanzan los 1,2454 V/m en promedio, cuyos valores no se repiten con mayor frecuencia como si sucede en el dormitorio 2, en el cual existe un equipo electrónico (Televisor Smart TV) que emite radiación constantemente al estar conectado a la red inalámbrica provocando que los valores máximos se repitan con mayor frecuencia e influyan en el cálculo del promedio total para dicho dormitorio además de los valores de intensidad de campo eléctrico que incide en todos dormitorios.

6. La desviación estándar calculada evidencia que la dispersión con respecto a la media de las mediciones espaciales es mayor a la dispersión existente en las mediciones temporales, por ello al utilizar los percentiles se eliminaron todos los valores atípicos para tener una idea más clara de cómo varía la intensidad de campo eléctrico de una forma más precisa y tratar de reducir la dispersión existente, teniendo como resultado una reducción de la desviación estándar superior al 60% para las mediciones espaciales y más del 50% en las mediciones temporales.

RECOMENDACIONES

1. Tomar en cuenta que las normativas que se ocuparon en el presente trabajo de titulación de exposición de las personas a campos electromagnéticos están hechas solo a corto plazo, por lo que no se debe descartar efectos adversos en las personas cuando la exposición a estos campos electromagnéticos es prolongada y actualmente se encuentran en estudios en este ámbito.
2. Monitorear constantemente los campos electromagnéticos que se reciben en el domicilio ya que los niveles de radiación experimentan variaciones a lo largo del tiempo dependiendo de las fuentes y del tráfico de radiación a las que está expuesta la vivienda.
3. Se recomienda utilizar los datos expuestos en este trabajo para posteriores estudios que se enfoquen en la obtención de la Tasa de Absorción Específica (SAR).
4. Considerar que el nivel de RNI que se recibe en el interior del domicilio específicamente cuando se utiliza el horno microondas y el teléfono celular para realizar llamadas alcanzan picos muy altos que en muchos casos llega a ser superior al que se recibe en el exterior por tal motivo se recomienda a las personas que al momento de utilizar el horno microondas mantener una distancia prudencial mientras está en funcionamiento el artefacto, de la misma manera al ocupar el celular

para realizar una llamada utilizar en la medida posible los dispositivos manos libres que ayudará a mantener una distancia prudencial entre la persona y el celular.

5. Revisar que el equipo con el cual se va a realizar las mediciones tenga certificado de calibración con lo cual se corrobora que el equipo este correctamente funcional y se obtenga mayor precisión durante las mediciones, además se debe verificar que el rango de frecuencias en el cual mide el equipo sea el requerido para nuestro estudio.
6. Realizar un mapeo con anterioridad de la vivienda para determinar la ubicación de los nodos en los cuales se realizará las mediciones, considerando las zonas de mayor afluencia de las personas y donde los dispositivos emisores de RNI tengan mayor incidencia sobre los habitantes del domicilio.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Aguirre, A. & Skvarca, J.** *Radiaciones - Protección contra Radiaciones*. [en línea]. [Consulta: 29 mayo 2018]. Disponible en:
<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IDEntrega=3015>
2. **Ahlbom, A.; et al.** “Guidelines for Limiting Exposure To Time - Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (Up To 300 GHz)”. *Health Physics* [en línea], 1998, (Germany) 75(4), pp. 494, 504-505, 510, 521. [Consulta: 23 mayo 2018]. Disponible en:
<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>.
3. **Andrade Guerrero, D. M.; Contreras Ortiz C. F.** Medición y análisis del nivel de exposición a Radiaciones no ionizantes (RNI) en ambientes indoor en la ciudad de Cuenca, dentro del espectro radioeléctrico en la banda de frecuencia de telefonía celular (Tesis) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Carrera de Ingeniería Electrónica. Cuenca – Ecuador. 2014. p. 54. [Consulta: 10 mayo 2018]. Disponible en:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7092/1/UPS-CT003850.pdf>
4. **ARCOTEL.** *Norma Técnica para el Servicio de Televisión Analógica y Plan de Distribución de Canales*. Quito-Ecuador, 2015, pp. 3-4
5. **ARCOTEL.** *Norma Técnica para el Servicio de Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada Analógica*. Quito-Ecuador, 2015, p. 3.
6. **ARCOTEL.** *PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS*. Quito-Ecuador, 2015, pp. 2-150.
7. **Balanis, C.A.** *Antenna Theory: Analysis and Design*. 3ª ed. New Jersey - United State: John Wiley & Sons, 2005, pp. 34-35.
8. **CONATEL.** *Reglamento de Protección de Emisiones de Radiación No Ionizante generadas por uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico*. Quito-Ecuador, 2005, pp. 4-26.

9. **Fustel, Alonso E.; Garcia Vázquez, R.; Onaindia Olalde, C.** “Campos electromagnéticos y efectos en salud”. Subdirección De Salud Pública De Biskaia [en línea], 2011, Biskaia(España), p. 13. [Consulta: 10 mayo 2018]. Disponible en:
https://www.osakidetza.euskadi.eus/contenidos/informacion/cem_salud/es_cem/adjuntos/cem.pdf
10. **Gilat, A; & Macias Iglesias, J.A.** Matlab: una introducción con ejemplos prácticos. 2ª ed. Hoboken-USA: REVERTÉ, S.A, 2005, pp.1-2.
11. **Goita, J.** *Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz*. Análisis del estado actual de conocimientos. [en línea]. Madrid-España: UNESA S. A, 2001, pp.14-15. [Consulta: 2 marzo 2018]. Disponible en: http://www.iberdrola.es/webibd/gc/prod/es/doc/6-Campos_electricos_UNESA.pdf.
12. **IESS.** *Seguro General de Riesgos del Trabajo. Reglamento Radiaciones No Ionizantes*. Quito-Ecuador: Editora Nacional, 2013, p. 10.
13. **UIT-T.** “Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields”.
14. **ITU-T K.52.** *Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields*.
15. **ITU-T K.61.** *Guidance on measurement and numerical prediction of electromagnetic fields for compliance with human exposure limits for telecommunication installations*.
16. **ITIS Foundation.** Virtual Population. [en línea] [Consulta: 15 abril 2018]. Disponible en: <https://www.itis.ethz.ch/virtual-population/virtual-population/overview/>
17. **Kustra, R.** *El espectro Radioeléctrico*. [en línea]. Washington, D.C. - Estados Unidos, 2008. [Consulta: 20 mayo 2018]. Disponible en:
http://www.oas.org/en/citel/infocitel/2008/octubre/espectro_e.aspx
18. **LATNEX.** Triple Axis RF/High Frequency Meter. HF-B3G. User’s Manual. Canadá:2018, pp.1-5.
19. **Nolivos, M.** ANÁLISIS PARA UNA PROPUESTA DE LA NORMA TÉCNICA D INDICADORES DE CALIDAD DE SERVICIO (QoS) PARA INTERNET MÓVIL EN REDES

DE SERVICIO MÓVIL AVANZADO (SMA) DE CUARTA GENERACIÓN EN EL ECUADOR. (Tesis) (Pregrado) [en línea]. Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Facultad de Electrónica y Automatización, Ingeniería Electrónica. Quito-Ecuador. 2014, pp. 25-26. [Consulta: 22 mayo 2018]. Disponible en:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7560/1/UPS-ST001324.pdf>.

20. **OMS.** *Campos Electromagnéticos (CEM)* [en línea]. Ginebra–Suiza, 2006. [Consulta: 15 mayo 2018]. Disponible en: <http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs299/es/>
21. **OMS.** *Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección* [en línea]. Ginebra-Suiza, 2016. [Consulta: 19 mayo 2018]. Disponible en: <http://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>
22. **Pacohuanca, I.** MEDICIÓN DEL NIVEL DE RADIACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS CON ARDUINO (Tesis) (Pregrado) [en línea]. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Carrera De Informática. La Paz-Bolivia, 2017, p. 4. [Consulta: 30 mayo 2018]. Disponible en:
<http://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/16206/t.3334.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
23. **Popovic, Z; & Popovic, B.D.** *Introducción al electromagnetismo*. 2006, p. 201
24. **Sadiku, M.** *Elementos de Electromagnetismo*. 2^a ed. México: Grupo Editorial Patria, 2011, pp. 114-117.
25. **Solano, F.** *Ensayos de laboratorio para la medida de la tasa de absorción específica (SAR) en dispositivos móviles (Proyecto Fin de Carrera)*. Universidad Politécnica de Madrid, Ingeniería Audiovisual y Comunicaciones. Madrid – España. 2013. pp. 7-9. [Consulta: 22 mayo 2018]. Disponible en: http://oa.upm.es/21274/1/PFC_FRANCISCO_SOLANO_EIZAGUIRRE.pdf.
26. **Stellman, J.M.** *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. Madrid- España: Chantal Dufresne, BA, 2001. [Consulta: 31 mayo 2018]. Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/sumario.pdf>.

27. **Tipler, Paul A.; Mosca, G.** Física para la ciencia y la tecnología. 6^a ed. Barcelona - España: Reverté, 2010, pp. 705, 706.

ANEXOS

ANEXO A: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO LATNEX HF - B3G



ANEXO B: TABLA DE PERCENTILES PARA DUKE

Número de percentil	Valor Percentil (V/m)	Número de percentil	Valor Percentil (V/m)	Número de percentil	Valor Percentil (V/m)
1	0,1958	34	0,722	67	1,229
2	0,2111	35	0,7294	68	1,235
3	0,2257	36	0,7392	69	1,2404
4	0,248	37	0,7633	70	1,2578
5	0,2676	38	0,7799	71	1,2702
6	0,292	39	0,8084	72	1,2801
7	0,3095	40	0,8216	73	1,2927
8	0,3217	41	0,8468	74	1,3044
9	0,3429	42	0,8494	75	1,3262
10	0,3522	43	0,8687	76	1,3493
11	0,36	44	0,8748	77	1,4004
12	0,3718	45	0,8995	78	1,409
13	0,3808	46	0,9077	79	1,436
14	0,3941	47	0,9327	80	1,4489
15	0,4206	48	0,938	81	1,4677
16	0,4311	49	0,9579	82	1,4855
17	0,4351	50	0,9717	83	1,4934
18	0,4555	51	0,9955	84	1,5683
19	0,4761	52	1,0206	85	1,5904
20	0,4937	53	1,028	86	1,7604
21	0,5048	54	1,0465	87	1,794
22	0,53	55	1,0519	88	1,9914
23	0,5443	56	1,0839	89	2,133
24	0,5567	57	1,0938	90	2,239
25	0,5773	58	1,1147	91	2,43
26	0,5939	59	1,1242	92	2,507
27	0,6116	60	1,1651	93	2,924
28	0,6266	61	1,1684	94	3,457
29	0,6354	62	1,1861	95	3,7132
30	0,6608	63	1,1995	96	4,26
31	0,6826	64	1,205	97	4,669
32	0,689	65	1,2177	98	5,1874
33	0,7181	66	1,2216	99	6,719

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

ANEXO C: TABLA DE PERCENTILES PARA ELLA

Número de percentil	Valor Percentil (V/m)	Número de percentil	Valor percentil (V/m)	Número de percentil	Valor Percentil (V/m)
1	0,191	34	0,7354	67	1,2689
2	0,2282	35	0,7464	68	1,2796
3	0,247	36	0,7511	69	1,2897
4	0,2842	37	0,7681	70	1,3066
5	0,2906	38	0,7872	71	1,3179
6	0,3049	39	0,8106	72	1,3264
7	0,3127	40	0,8243	73	1,3311
8	0,3335	41	0,8291	74	1,3638
9	0,3396	42	0,855	75	1,3846
10	0,3559	43	0,8764	76	1,4044
11	0,3717	44	0,8941	77	1,424
12	0,3802	45	0,8967	78	1,4451
13	0,4449	46	0,9254	79	1,4542
14	0,4536	47	0,9275	80	1,4698
15	0,4872	48	0,9471	81	1,5177
16	0,5176	49	0,9941	82	1,5394
17	0,5281	50	0,9977	83	1,5606
18	0,5361	51	1,0267	84	1,6059
19	0,5403	52	1,0486	85	1,7749
20	0,5578	53	1,0671	86	1,8154
21	0,5735	54	1,0807	87	1,9068
22	0,585	55	1,1102	88	2,021
23	0,5937	56	1,1276	89	2,322
24	0,5984	57	1,1337	90	2,417
25	0,6094	58	1,1575	91	2,708
26	0,6157	59	1,1831	92	3,093
27	0,6366	60	1,2069	93	3,382
28	0,6542	61	1,2169	94	3,43
29	0,6686	62	1,2227	95	3,882
30	0,6954	63	1,2265	96	5,276
31	0,7034	64	1,2365	97	6,069
32	0,718	65	1,2484	98	6,699
33	0,73	66	1,2629	99	8,22

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

ANEXO D: TABLA DE PERCENTILES PARA EL NODO 8

Número de Percentil	Valor Percentil (V/m)	Número de Percentil	Valor Percentil (V/m)	Número de Percentil	Valor Percentil (V/m)
1	0,2678	34	0,6206	67	0,7482
2	0,3281	35	0,6236	68	0,7552
3	0,4202	36	0,6285	69	0,7582
4	0,4406	37	0,6309	70	0,7645
5	0,4672	38	0,6359	71	0,7686
6	0,4816	39	0,6384	72	0,7741
7	0,4929	40	0,6418	73	0,7808
8	0,5028	41	0,6437	74	0,7854
9	0,5095	42	0,6455	75	0,7903
10	0,516	43	0,6479	76	0,7977
11	0,5228	44	0,65	77	0,8043
12	0,5315	45	0,6536	78	0,811
13	0,5361	46	0,6574	79	0,82
14	0,5412	47	0,6612	80	0,8257
15	0,5469	48	0,6639	81	0,8308
16	0,5531	49	0,6672	82	0,8368
17	0,5558	50	0,6725	83	0,8436
18	0,5609	51	0,677	84	0,8498
19	0,5621	52	0,6796	85	0,8546
20	0,5647	53	0,6837	86	0,8635
21	0,5669	54	0,6852	87	0,8713
22	0,5715	55	0,6906	88	0,8885
23	0,5749	56	0,6946	89	0,9021
24	0,5807	57	0,6992	90	0,9131
25	0,5856	58	0,7038	91	0,9284
26	0,5893	59	0,708	92	0,9367
27	0,5922	60	0,711	93	0,9499
28	0,5959	61	0,7152	94	0,9607
29	0,6013	62	0,7235	95	0,988
30	0,6058	63	0,7278	96	1,0316
31	0,6102	64	0,7346	97	1,0532
32	0,6132	65	0,7396	98	1,0827
33	0,6175	66	0,7427	99	1,1967

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

ANEXO E: TABLA DE PERCENTILES PARA EL NODO 9

Número de Percentil	Valor Percentil (V/m)	Número de Percentil	Valor Percentil (V/m)	Número de Percentil	Valor Percentil (V/m)
1	0,4763	34	0,6249	67	0,7339
2	0,5009	35	0,6265	68	0,7403
3	0,506	36	0,629	69	0,7466
4	0,5139	37	0,6322	70	0,7555
5	0,5193	38	0,6359	71	0,7616
6	0,5262	39	0,6399	72	0,7677
7	0,5293	40	0,6415	73	0,7712
8	0,5356	41	0,646	74	0,7772
9	0,5383	42	0,6503	75	0,7841
10	0,5426	43	0,6509	76	0,789
11	0,5478	44	0,6549	77	0,7958
12	0,5498	45	0,6566	78	0,8005
13	0,5545	46	0,6601	79	0,8047
14	0,5596	47	0,6623	80	0,8067
15	0,5612	48	0,6648	81	0,8133
16	0,5641	49	0,6659	82	0,8206
17	0,5677	50	0,6689	83	0,836
18	0,5708	51	0,6709	84	0,8505
19	0,5753	52	0,6741	85	0,8624
20	0,5819	53	0,6796	86	0,874
21	0,5871	54	0,6849	87	0,8804
22	0,59	55	0,6908	88	0,89
23	0,5935	56	0,6922	89	0,9009
24	0,596	57	0,697	90	0,9151
25	0,6	58	0,7005	91	0,9255
26	0,6021	59	0,7023	92	0,9412
27	0,6057	60	0,7045	93	0,9845
28	0,6097	61	0,7077	94	1,0099
29	0,6137	62	0,7149	95	1,0271
30	0,6153	63	0,7207	96	1,0554
31	0,6186	64	0,725	97	1,0778
32	0,6201	65	0,7279	98	1,0989
33	0,6226	66	0,7306	99	1,1509

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.

ANEXO F: TABLA DE PERCENTILES PARA EL NODO 10

Número de Percentiles	Valor Percentiles (V/m)	Número de Percentiles	Valor Percentiles (V/m)	Número de Percentiles	Valor Percentiles (V/m)
1	0,4759	34	0,589	67	0,6657
2	0,4858	35	0,5903	68	0,6698
3	0,4903	36	0,5906	69	0,6736
4	0,4944	37	0,5931	70	0,6769
5	0,4993	38	0,5948	71	0,679
6	0,5047	39	0,5974	72	0,6849
7	0,5072	40	0,5988	73	0,6888
8	0,5109	41	0,601	74	0,6913
9	0,514	42	0,6027	75	0,6943
10	0,5172	43	0,6045	76	0,6984
11	0,522	44	0,6062	77	0,7024
12	0,5259	45	0,6095	78	0,7104
13	0,5329	46	0,6113	79	0,7158
14	0,5362	47	0,6145	80	0,7187
15	0,5389	48	0,6155	81	0,7226
16	0,5431	49	0,6175	82	0,7271
17	0,5474	50	0,6199	83	0,7319
18	0,5488	51	0,6223	84	0,7373
19	0,5516	52	0,6258	85	0,7471
20	0,5531	53	0,6285	86	0,7501
21	0,5555	54	0,6301	87	0,758
22	0,5579	55	0,6331	88	0,766
23	0,5603	56	0,6351	89	0,7733
24	0,5655	57	0,6378	90	0,7815
25	0,5675	58	0,6395	91	0,8064
26	0,5684	59	0,641	92	0,8189
27	0,5703	60	0,6433	93	0,8304
28	0,5759	61	0,6465	94	0,849
29	0,5779	62	0,6498	95	0,8735
30	0,5796	63	0,6542	96	0,885
31	0,581	64	0,6581	97	0,9015
32	0,5845	65	0,6602	98	0,9857
33	0,586	66	0,6627	99	1,1182

Realizada por: Paca, H.; Tobar, M.; 2018.