



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

**“DESARROLLO DE UN MODELO COMPUTACIONAL DEL CAMPO
ELÉCTRICO EN LA BANDA GSM-1900 PARA DETERMINAR LA SAR EN EL
CUERPO HUMANO, UTILIZANDO LA FAMILIA VIRTUAL, SIM4LIFE Y EL
SRM-3000.”**

TRABAJO DE TITULACIÓN: PROPUESTA TECNOLÓGICA
Para optar el Grado Académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

AUTOR: EDWIN SANTIAGO AVILÉS LUNA

TUTOR: ING. PEDRO SEVERO INFANTE MOREIRA

Riobamba – Ecuador

2018

©2018, Edwin Santiago Avilés Luna.

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: **DESARROLLO DE UN MODELO COMPUTACIONAL DEL CAMPO ELÉCTRICO EN LA BANDA GSM-1900 PARA DETERMINAR LA SAR EN EL CUERPO HUMANO, UTILIZANDO LA FAMILIA VIRTUAL, SIM4LIFE Y EL SRM-3000**, de responsabilidad del Señor Edwin Santiago Avilés Luna, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Proyecto de Titulación, quedando autorizada su presentación.

Dr. Julio Santillán C.

VICEDECANO FIE

Ing. Franklin Moreno

**DIRECTOR DE LA ESCUELA
DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA,
TELECOMUNICACIONES Y REDES**

Ing. Pedro Infante

**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Dr. Hugo Moreno Ph.D

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo, Edwin Santiago Avilés Luna soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis; y, el patrimonio intelectual del Proyecto de Titulación pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

EDWIN SANTIAGO AVILÉS LUNA

Agradezco a Dios por iluminarme en este arduo caminar, a mi Madre por el apoyo incondicional brindado en todo momento de mi formación académica y profesional, a las personas que a lo largo de mi vida estudiantil colaboraron conmigo y me ayudaron a atravesar muchos obstáculos, y un agradecimiento muy especial al Ing. Pedro Infante que a través de su guía, apoyo, consejos y vivencias profesionales me han permitido la realización íntegra de este trabajo de titulación, a todos los tengo muy presentes en mi corazón, muchas gracias.

Edwin

El presente trabajo de titulación está dedicado:

A Dios por ser el ente creador de todo, a quien debemos nuestra vida y todo lo conseguido en la tierra fundamentalmente es gracias a él.

A mi Madre, Licda. Emma Laura Luna que es y será siempre el eje principal de mi familia y de mi vida, al ver su ejemplo he podido salir adelante, y todo su apoyo a lo largo de mi vida se verá siempre reflejado en el sitio donde me encuentre.

A toda mi familia, a quien trato de demostrar día a día que puedo ser mejor por ellos y para ellos.

A personas muy especiales que se cruzaron en mi vida estudiantil y que siempre las tendré muy presentes en mi corazón, de las cuales he podido aprender muchísimo. Sebastián, Luis, Marcos, Carlos, Viviana, Verónica.

Finalmente, pero no menos importante, a mi Director del presente Trabajo de Titulación, Ing. Pedro Infante que, a lo largo de la ejecución del Trabajo de Titulación, siempre estuvo brindándome una mano amiga, y que, gracias a sus consejos, pero en especial a su paciencia, me han permitido culminar de la mejor manera todo lo planificado en cuanto a realización de diversos proyectos.

Edwin Avilés

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	4
1 MARCO TEÓRICO	4
1.1 Ondas Electromagnéticas	4
1.1.1 Principales Características de una Onda Electromagnética.....	5
1.1.2 Propagación de una Onda Electromagnética	6
1.1.3 Espectro Electromagnético.....	7
1.1.3.1 Radiación Ionizante	8
1.1.3.2 Radiación no Ionizante	9
1.1.4 Espectro Radioeléctrico.....	10
1.2 Sistemas de Telefonía Móvil Celular	11
1.2.1 Arquitectura General de un Sistema Móvil Celular	12
1.2.2 Estándares para Telefonía Móvil Celular Analógica y Digital	14
1.2.3 Telefonía Móvil Celular en el Ecuador.....	16
1.3 Propagación de las Ondas Radioeléctricas	18
1.4 Normativas Internacionales UIT e ICNIRP	18
1.4.1 ICNIRP (Comisión Internacional de Protección de las Radiaciones no Ionizantes) 19	
1.4.2 Unión Internacional de telecomunicaciones.....	21
1.5 Equipo NARDA SRM-3000.....	23
1.6 Virtual Family Vip v3.0	25
1.7 Sim4life v3.0.....	26
1.8 Visual Studio 2015.....	27
CAPÍTULO II	29

2	MARCO METODOLÓGICO.....	29
2.1	Modelo de puntos de la familia virtual para el promedio espacial de los valores de campo eléctrico.....	29
2.2	Procedimiento de medición de la RNI en la banda GSM-1900.....	31
2.3	Toma de valores de medida de RNI espacial en la banda GSM- 1900.....	39
2.4	Procedimiento de simulación de la SAR de cuerpo entero y sobre 10 gramos.....	41
2.4.1	<i>Modelo de Vectores de campo eléctrico para la simulación de la SAR.....</i>	<i>41</i>
2.4.2	<i>Utilización del software Sim4life v3.0</i>	<i>44</i>
2.5	Diseño del Modelo Computacional para la obtención de la SAR de cuerpo entero y sobre 10 gramos.....	48
2.5.1	<i>Requerimientos en el diseño del Modelo Computacional.....</i>	<i>48</i>
2.5.2	<i>Determinación de la Función lineal del Modelo Computacional para el Campo Eléctrico y SAR.....</i>	<i>49</i>
2.5.3	<i>Diagrama de Flujo del Modelo Computacional.....</i>	<i>49</i>
	CAPÍTULO III.....	52
3	MARCO DE RESULTADOS.....	52
3.1	Resultados de campo eléctrico máximo y promedio.....	52
3.1.1	<i>Escenarios Genéricos de los modelos de la familia virtual.....</i>	<i>53</i>
3.1.2	<i>SAR de cuerpo entero y sobre 10 gramos para cabeza, tronco y extremidades</i>	<i>56</i>
3.2	Interfaz del Modelo Computacional para la obtención de la SAR de cuerpo entero y sobre 10 gramos.....	60
3.3	Comparación de Resultados del Modelo Computacional con la Normativa Internacional sobre RNI.....	66
	CONCLUSIONES.....	69
	RECOMENDACIONES.....	71
	GLOSARIO	72
	BIBLIOGRAFÍA.....	73
	ANEXOS	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Tramo del Espectro Electromagnético comprendido para Radiación no Ionizante..	10
Tabla 2-1: Bandas de Frecuencias utilizadas dentro del Espectro Radioeléctrico.....	11
Tabla 3-1: Bandas de Frecuencias de los Estándares de la Telefonía Móvil Analógica.....	14
Tabla 4-1: Bandas de Frecuencias de los Estándares de la Telefonía Móvil Digital.....	15
Tabla 5-1: Asignación de Espectro Radioeléctrico a los canales GSM de Uplink y Downlink.	16
Tabla 6-1: Asignación de frecuencias en las bandas GSM-850 y GSM-1900 en el Ecuador....	17
Tabla 7-1: Límites de referencia de Exposición Ocupacional contra las RNI.....	19
Tabla 8-1: Límites de referencia de Exposición Poblacional contra las RNI.....	20
Tabla 9-1: Límites de ICNIRP con respecto a la SAR y Densidad de Corriente para Exposiciones Poblacionales y Ocupacionales.....	21
Tabla 10-1: Principales características de la Familia Virtual.....	26
Tabla 1-2: Escenarios seleccionados para la medición de RNI en la ciudad de Riobamba.....	32
Tabla 2-2: Coordenadas rectangulares de los vectores de campo eléctrico.....	44
Tabla 1-3: Medición de campo eléctrico máximo en el escenario 1.....	52
Tabla 2-3: Valores máximos de campo eléctrico máximo de los 10 escenarios.....	53
Tabla 3-3: Media cuadrática de valores de campo eléctrico promedio de los 10 escenarios.....	54
Tabla 4-3: Valores Genéricos resultantes de campo eléctrico máximo.....	55
Tabla 5-3: Valores Genéricos resultantes de campo eléctrico promedio.....	55
Tabla 6-3: SAR en campo eléctrico máximo y promedio de los modelos de la familia virtual.	58
Tabla 7-3: SAR sobre 10 gramos en cabeza, tronco, brazos y piernas para campos eléctricos máximos.....	59
Tabla 8-3: SAR sobre 10 gramos en cabeza, tronco, brazos y piernas para campos eléctricos promedios.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Representación de una Onda Electromagnética.....	4
Figura 2-1: Movimiento de una carga eléctrica en presencia de Campo Eléctrico y Magnético. 5	5
Figura 3-1: Delimitación del Espectro Electromagnético por frecuencias y longitudes de onda. 7	7
Figura 4-1: Radiación Ionizante y su cuantificación de cargas	8
Figura 5-1: División Celular de las Redes de Telefonía Móvil Celular.....	12
Figura 6-1: Arquitectura de una Red Celular de Conmutación por Circuitos	13
Figura 7-1: Arquitectura de una Red Celular de Conmutación por Paquetes	13
Figura 8-1: Evolución de los Sistemas Móviles Celulares hasta la Actualidad.....	16
Figura 9-1: Tipos de Propagaciones de las Ondas Radioeléctricas	18
Figura 10-1: Zonas de Exposición de los Campos Electromagnéticos.....	22
Figura 11-1: Equipo NARDA SRM – 3000	24
Figura 12-1: Valores de campo eléctrico en la pantalla del Equipo NARDA SRM – 3000.....	25
Figura 13-1: Representación gráfica de la Modelos de Familia Virtual y los Modelos de Población Virtual.	26
Figura 14-1: Interfaz gráfica de Visual Studio 2015	27
Figura 1-2: División de Puntos de los modelos de la familia virtual Duke y Ella.....	30
Figura 2-2: División de Puntos de los modelos de la familia virtual Billie y Thelonious Ella..	30
Figura 3-2: Ubicación de los 10 Escenarios dentro la ciudad de Riobamba visualizados mediante la aplicación Google Earth	33
Figura 4-2: Visualización de los valores de campo eléctrico almacenados en el equipo NARDA SRM-3000.....	39
Figura 5-2: Registro de mediciones de campo eléctrico para extracción de valores.	40
Figura 6-2: Separación y longitud de los Vectores de campo eléctrico.....	42
Figura 7-2: Interfaz gráfica del software Sim4life v3.0.....	45
Figura 8-2: Ajustes de modelamiento dentro del software Sim4life v3.0	45
Figura 9-2: Ajustes de configuración de simulación para frecuencia y valor de campo eléctrico en Sim4life	46
Figura 10-2: Ejecución de la simulación dentro del software Sim4life v3.0	46
Figura 11-2: Opciones de análisis para visualizar resultados de SAR de cuerpo entero y sobre 10 gramos de cuerpo	47
Figura 1-3: Máxima concentración de SAR del modelo Duke para valores de campo eléctrico máximo en forma de tabla de datos.....	56

Figura 2-3: Máxima concentración de SAR en cuerpo entero para el modelo Ella para valores de campo eléctrico máximo	57
Figura 3-3: Distribución de la SAR en 10 gramos de la cabeza del modelo Ella.	58
Figura 4-3: Pantalla de Inicio del Modelo Computacional	60
Figura 5-3: Ventana de elección de los modelos de la familia virtual	61
Figura 6-3: Ventanas de resultados numéricos para la SAR de cuerpo entero y sobre 10 gramos del modelo Thelonious.....	61
Figura 7-3: Ventana de resultados gráficos para la SAR máxima en cuerpo entero del modelo Thelonious.....	62
Figura 8-3: Ventana de resultados gráficos para la SAR 10 gramos en la cabeza del modelo Thelonious.....	63
Figura 9-3: Ventana de resultados gráficos para la SAR 10 gramos en el tronco del modelo Thelonious.....	63
Figura 10-3: Ventana de resultados gráficos para la SAR 10 gramos en los brazos del modelo Thelonious.....	64
Figura 11-3: Ventana de resultados gráficos para la SAR 10 gramos en las piernas de modelo Thelonious.....	64
Figura 12-3: Valores de campo eléctrico al modelo Thelonious y cálculo de la SAR.	65
Figura 13-3: Modelo computacional con valores de campo eléctrico cercanos a los límites de ICNIRP y cálculo de la SAR.....	66
Figura 14-3: Modelo computacional con valores de campo eléctrico mayores a los límites de ICNIRP y cálculo de la SAR.....	67
Figura 15-3: Modelo computacional con valores de campo eléctrico medidos con el equipo NARDA SRM-3000.....	67
Figura 16-3: Comparación de la SAR obtenida entre el Modelo computacional y los valores de campo eléctrico medidos/simulados.	68

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1: Radiación Ionizante y efectos sobre un organismo biológico.	9
Gráfico 1-2: Soporte de madera para el equipo NARDA SRM-3000 de distancias ajustables.	31
Gráfico 2-2: Medición de RNI en el 1° escenario (Cdla. Las Acacias casa del Ing. Serrano) sacado del Proyecto de Investigación SIV.30, asignado por el IDI.	34
Gráfico 3-2: Medición de RNI en el 2° escenario (Cdla. Las Acacias) sacado del Proyecto de Investigación SIV.30, asignado por el IDI.	34
Gráfico 4-2: Medición de RNI en el 3° escenario (Cdla. Las Acacias calle Río Quevedo) sacado del Proyecto de Investigación SIV.30, asignado por el IDI.	35
Gráfico 5-2: Medición de RNI en el 4° escenario (Cdla. Las Acacias casa del Ing. Serrano) sacado del Proyecto de Investigación SIV.30, asignado por el IDI.	35
Gráfico 6-2: Medición de RNI en el 5° escenario (Calles García Moreno entre Esmeraldas y Boyacá) sacado del Proyecto de Investigación SIV.30, asignado por el IDI.	36
Gráfico 7-2: Medición de RNI en el 6° escenario (Panamericana Sur Km 11/2, frente a la gasolinera de la ESPOCH) sacado del Proyecto de Investigación SIV.30, asignado por el IDI.	36
Gráfico 8-2: Medición de RNI en el 7° escenario (Panamericana Sur Km 11/2, junto a la gasolinera de la ESPOCH) sacado del Proyecto de Investigación SIV.30, asignado por el IDI.	37
Gráfico 9-2: Medición de RNI en el 8° escenario (Calles Brasil y Gonzalo Dávalos) sacado del Proyecto de Investigación SIV.30, asignado por el IDI.	37
Gráfico 10-2: Medición de RNI en el 9° escenario (Calles Brasil entre Junín y Gonzalo Dávalos), sacado del Proyecto de Investigación SIV.30, asignado por el IDI.	38
Gráfico 11-2: Medición de RNI en el 10° escenario (Calles García Moreno entre Esmeraldas y Boyacá) sacado del Proyecto de Investigación SIV.30, asignado por el IDI.	38
Gráfico 12-2: Linealidad de la función de Campo Eléctrico y SAR dentro Sim4life.....	49
Gráfico 13-2: Diagrama de Flujo del modelo computacional para la presentar SAR en cuerpo entero y sobre 10 gramos	50

RESUMEN

Se desarrolló un modelo computacional para determinar la Tasa de Absorción Específica (SAR) en el cuerpo humano a partir de las mediciones del campo eléctrico en la banda de telefonía móvil celular GSM-1900 en 10 escenarios diferentes de la ciudad de Riobamba, utilizando los modelos de familia virtual (Duke, Ella, Billie, y Thelonious), el software Sim4Life v3.0 y el equipo NARDA SRM-3000; donde se analizaron los valores obtenidos de campo eléctrico máximos y campo eléctrico promedios proponiéndose un escenario genérico resultante por cada modelo de la familia virtual, y conjuntamente con en el software Sim4life v3.0 se obtuvieron diferentes niveles de concentración energética representados en forma gráfica por el simulador, además de la generación de los valores de la SAR en cuerpo entero y en 10 gramos de cabeza, tronco, brazos y piernas. Todos los valores resultantes de campo eléctrico así como de la SAR se presentan en una aplicación computacional desarrollada mediante el software Visual Studio 2015, que permite visualizar gráfica y numéricamente los valores obtenidos en las mediciones y simulaciones respectivas, para finalmente comparar los valores resultantes de campo eléctrico y de la SAR en cuerpo entero y sobre 10 gramos en cabeza, tronco y extremidades, con las normativas y recomendaciones de los organismos internacionales de regulación y control de las Radiaciones no Ionizantes (RNI), obteniéndose que los valores medidos y simulados están por debajo de los límites establecidos por los organismos de control de la RNI; recomendándose que para la obtención de la SAR mediante simuladores de altas prestaciones, se requiera de la ayuda de equipos de gran procesamiento computacional, así como de gran potencial gráfico que garanticen resultados fiables de simulación y que no produzcan fallos o errores de simulaciones por bajas prestaciones en hardware y software.

Palabras Clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <MODELO COMPUTACIONAL>, <TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA (SAR)>, <DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR>, <CAMPO ELÉCTRICO>, <SISTEMA GLOBAL PARA LAS COMUNICACIONES MÓVILES (GSM)>, <RADIACIONES NO IONIZANTES>

SUMMARY

A computing model was developed to determine the Specific Absorption Rate (SAR) in the human body coming from the measurements of the electric field in the cellular mobile phone band GSM-1900 in 10 different scenarios in Riobamba, using the models of virtual family (Duke, Ella, Billie and Thelonious), Sim4Life v3.0 software and NARDA SRM-3000 equipment; where the values obtained in the maximum electric field and average electric field were analyzed, stating a generic scenario resulting from each model of virtual family and, altogether with Sim4Life v3.0 software, different level of energetic concentration were obtained, graphically represented by the simulator, besides the generation of SAR values in full body and 10 grams of head, trunk, arms and legs. All the values resulting from the electric field as well as SAR are represented in an application developed by means of Visual Studio 2015 software, which allows to visualize graphically and numerically the values obtained in the corresponding measurements and simulations, to finally compare the resulting values of the electric field and SAR in the full body and on the 10 grams of head, trunk and limbs, with norms and recommendations of international organisms of regulation and control of Non-Ionizing Radiations (NIR), having that the measured and simulated values are under the limits stated by the control organisms of the NIR; it is recommended that, in order to obtain SAR by means of high performance simulators, the help of large computing processing equipment is required, as well as large graphic potential to guarantee reliable simulation results to prevent failures or simulation errors due to low performance in hardware and software.

Key Words: <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCE>, <TELECOMMUNICATIONS>, <COMPUTATIONAL MODEL>, <ESPECIFIC ABSORPTION RATE (SAR)>, <COMPUTER-AIDED DESIGN>, <ELECTRIC FIELD>, <GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATION (GSM)>, <NON-IONIZING RADIATION>

INTRODUCCIÓN

El gran avance tecnológico de los últimos años, le ha permitido al ser humano comunicarse sin importar las barreras y obstáculos que se crucen en su camino. La tendencia en la actualidad de utilizar la tecnología como hábito cotidiano ocasiona un crecimiento exponencial de los medios de telecomunicaciones y servicios, entre ellos la telefonía móvil celular.

El incremento del número de estaciones base de telefonía móvil celular causa una mayor exposición de la población a las señales emitidas por estos servicios públicos/privados. Las organizaciones internacionales de control y regulación de exposiciones a Radiaciones no Ionizantes (RNI) mantienen vigilancia y estudian los niveles de radiación en los que la población se ve afectada, con el objetivo de proporcionar a los distintos sectores de las telecomunicaciones las normativas límites sobre exposiciones a RNI. Acogidas por las entidades gubernamentales de cada país para su cumplimiento con el fin de precautelar el bienestar de sus habitantes.

Específicamente en la ciudad de Riobamba, se han realizado pocos estudios que analizan la cantidad energética que puede penetrar en el ser humano producto de las emisiones electromagnéticas de las antenas de los servicio de telecomunicaciones. Son escasos los análisis de incidencia tomándose como referencia una porción de 10 gramos del cuerpo distribuida en cabeza, troncos y extremidades, y el nivel de penetración que ocasionan las ondas electromagnéticas sobre el ser humano.

En el presente documento se obtienen los valores de la tasa de absorción específica (SAR) resultantes en el cuerpo humano y su incidencia en 10 gramos para cada modelo de la familia virtual (Duke, Ella, Billie, Thelonious). Procesándose las mediciones de campos eléctricos máximos y promedios en la ciudad de Riobamba de 10 lugares cercanos a las estaciones base de telefonía móvil celular en la banda GSM-1900. Obteniéndose un modelo computacional que permita visualizar valores de la SAR como resultado de un número N cualesquiera de mediciones de campo eléctrico ingresados por el usuario, comparados con las normativas y recomendaciones de las organizaciones ICNIRP y UIT encargadas del control y regulación de las RNI en general.

ANTECEDENTES

El ser humano en los últimos años, se ha visto inmiscuido en el aumento de la exposición electromagnética producida por los diferentes servicios de telecomunicaciones tras el creciente avance tecnológico que atraviesa nuestra sociedad, entre ellos el crecimiento de la telefonía móvil celular. Donde los estudios de entes reguladores e instituciones internacionales para ámbitos de ciencia y tecnología (ICNIRP-“COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN CONTRA

RADIACIONES NO IONIZANTES” y la OMS-“ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD”), establecieron principios de control y precaución para la exposición del ser humano a campos electromagnéticos.

En Riobamba no se ha desarrollado un modelo computacional del campo eléctrico en la banda GSM-1900 que permita determinar los valores de la tasa de absorción específica del cuerpo humano en forma gráfica y numérica, así como para 10 gramos de cabeza, tronco y extremidades. Utilizándose la familia virtual (Duke, Ella, Billie y Thelonious), las mediciones de campo eléctrico en 10 lugares diferentes, simulaciones de la SAR con Sim4Life v3.0.

JUSTIFICACIÓN

Para el presente trabajo de titulación se efectuaron diferentes mediciones de campo eléctrico máximo y promedio en la banda de frecuencias GSM-1900 en 10 escenarios diferentes en las cercanías de las antenas transmisoras de estaciones base de celulares, utilizando un soporte de madera que simula la familia virtual (Duke, Ella, Billie y Thelonious) y el equipo NARDA SRM-3000. A partir de los 10 escenarios se obtendrá un solo escenario genérico, para determinar la tasa de absorción específica en el cuerpo humano de los valores máximo, y promedio, utilizando el simulador Sim4Life v3.0.

A partir de los datos resultantes de las mediciones de campo eléctrico generado por las antenas de transmisión de estaciones base de sistemas celulares en la banda GSM-1900 y del resultado de las simulaciones en el software Sim4life v3.0, se desarrolló un modelo computacional programado en Visual Studio 2015 que determine la SAR en el ser humano, para cuerpo entero y sobre 10 gramos de cabeza, tronco y extremidades para un número cualesquiera de mediciones de campo eléctrico ingresadas por el usuario.

Los valores obtenidos a partir del modelo computacional serán utilizados en la tesis de investigación de Doctorado en Ciencias Técnicas de la Universidad de Oriente de Santiago de Cuba, misma que está siendo desarrollada por el Ingeniero Pedro Infante, para ser publicada mediante artículo científico en una revista que se relacione al tema propuesto.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo influye el modelo computacional para determinar la SAR en el cuerpo humano utilizando el dispositivo NARDA SRM-3000 y el simulador Sim4Life v3.0, en la ciudad de Riobamba?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo influye la exposición al campo eléctrico generado por antenas transmisoras de sistemas en la banda GSM-1900 apoyada en un soporte de madera que simula el modelo de la familia virtual (Duke, Ella, Billie y Thelonious)?

¿Cómo influye el software virtual family v3.0 en la modelación de la SAR sobre el cuerpo humano?

¿Cómo influyen las mediciones del dispositivo NARDA SRM-3000 en el modelamiento de la SAR sobre el cuerpo humano?

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar un modelo computacional del campo eléctrico en la banda GSM-1900 para determinar la SAR en el cuerpo humano, utilizando la familia virtual, Sim4Life y el SRM-3000 en la ciudad de Riobamba.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Medir el campo eléctrico en la banda de frecuencia de 1975 a 1990 MHz en 10 escenarios diferentes en las cercanías de las antenas transmisoras de las estaciones base de celulares en la ciudad de Riobamba, utilizando un soporte de madera que simula la familia virtual (Duke, Ella, Billie y Thelonious) y el equipo NARDA SRM-3000, para determinar los valores máximo y la media.
2. Determinar un escenario genérico de los modelos de la familia virtual (Duke, Ella, Billie y Thelonious) utilizando los datos medidos.
3. Determinar la SAR promediada sobre el cuerpo entero y promediado sobre 10 gramos en tronco, cabeza y extremidades a partir de las simulaciones en el Sim4life.
4. Analizar los resultados obtenidos de la SAR para compararlos con las normas de la ICNIRP y la UIT.
5. Desarrollar un modelo computacional para presentar la SAR utilizando un software específico.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

Es necesario identificar y definir conceptos básicos dentro del electromagnetismo, la radiación electromagnética, los servicios de telecomunicaciones como el de la telefonía móvil celular y la normativa internacional en aspectos electromagnéticos, donde el conocimiento de estas temáticas permitirá el desarrollo comparativo de los valores obtenidos a partir de mediciones de campo con respecto a los implementados dentro de una aplicación en forma de modelo computacional, por lo que el presente capítulo introduce diferentes nociones teóricas que se deben tomar en cuenta.

1.1 Ondas Electromagnéticas

Una onda, de manera general, se produce mediante la alteración de las propiedades de un medio determinado, produciéndose el transporte de energía o propagación de la misma. Una onda electromagnética propaga en una dirección simultáneamente, tanto el campo eléctrico como magnético. Las cargas eléctricas que componen la materia pueden moverse libremente en cualquier medio en forma transversal. (Ordóñez, 2012, p.17)

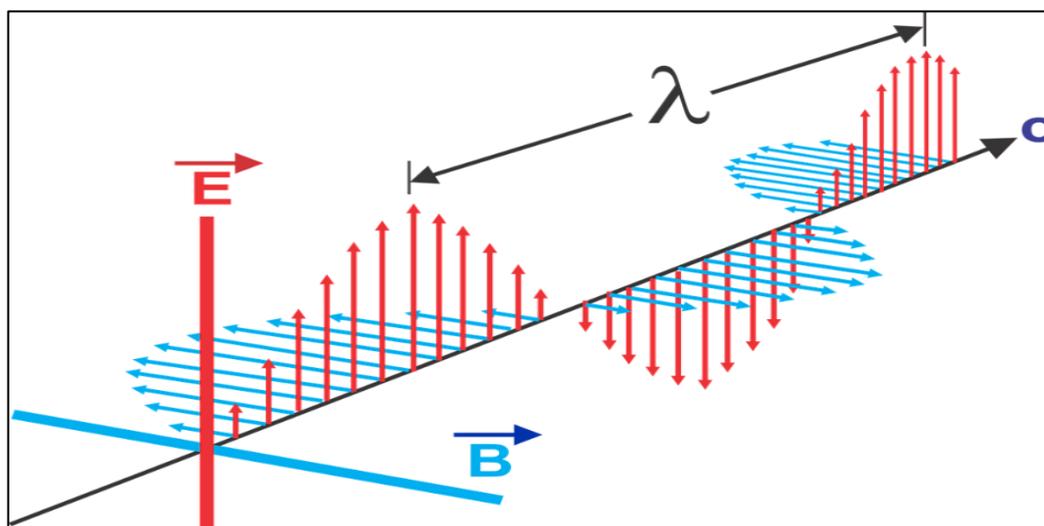


Figura 1-1: Representación de una Onda Electromagnética

Fuente: [Web]: <https://pixabay.com/es/ondas-electromagn%C3%A9ticas-1526374/>

En la figura 1-1 se encuentra denotada gráficamente una onda electromagnética mediante los vectores \vec{E} que representan al campo eléctrico, los vectores \vec{B} de campo magnético y que conjuntamente están representados de forma perpendicular entre sí, además de la longitud de onda denotada por el símbolo λ (Lamda) y la letra C que representa la dirección de propagación de la onda electromagnética.

1.1.1 Principales Características de una Onda Electromagnética

Dependiendo del movimiento que las cargas eléctricas presenten con respecto a un sistema de referencia dado, pueden generar campos electrostáticos (con cargas eléctricas en reposo), si las cargas se mueven ordenadamente se genera un campo de fuerzas conocido como campo magnético. Los movimientos acelerados con variación en el tiempo producen simultáneamente campos eléctricos y magnéticos que comúnmente se denominan campos electromagnéticos. (Gómez, 2010, p. 3)

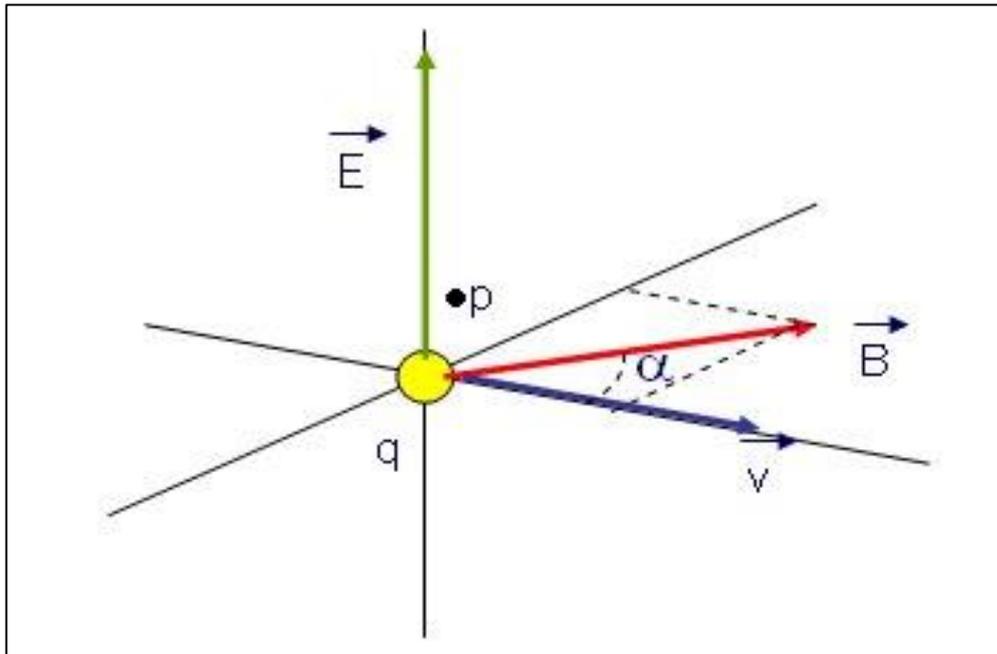


Figura 2-1: Movimiento de una carga eléctrica en presencia de Campo Eléctrico y Magnético

Fuente: [Web]: http://webs.um.es/jmz/www_interacciones/magnetico/magnetico.html

Como se puede observar en la figura 2-1, la presencia de los campos eléctricos y magnéticos de vectores \vec{E} y \vec{B} respectivamente que están sobre un punto P cualesquiera del espacio, se puede detectar mediante la ubicación de una carga q y su fuerza resultante \vec{F} de componentes eléctricas \vec{F}_e y magnéticas \vec{F}_m esta expresada en forma de la ecuación (1), denominada como la ley de fuerzas de Lorents:

$$(1) \quad \vec{F} = \vec{F}_e + \vec{F}_m = q (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

En conjunto la predicción de la existencia de las ondas electromagnéticas por Hertz en 1888, el estudio de las ecuaciones de Maxwell, que tiene como solución los campos eléctricos y magnéticos variables y su relación entre ellos; y la ley de conservación de las cargas, son considerados como los “postulados bases y fundamentales del estudio del electromagnetismo” en general. (Gómez, 2010, pp. 3-4)

Las ecuaciones de Maxwell están expresadas en forma integral de manera general en las ecuaciones (2), (3), (4), y (5), donde \vec{E} es un vector de campo eléctrico, \vec{B} es el vector de inducción magnética, \vec{H} es el vector de campo magnético, q representa la carga, ϵ es la permitividad del medio, $d\vec{l}$ y $d\vec{S}$ representan a los diferenciales de longitud y superficie, I representa a la corriente eléctrica, y $\partial\vec{B}$, $\partial\vec{D}$ y ∂t representan a los diferenciales de inducción magnética, desplazamiento eléctrico y tiempo, respectivamente.

$$(2) \quad \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon}$$

$$(3) \quad \oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

$$(4) \quad \oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = \iint_S \left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}$$

$$(5) \quad \oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = I + \iint_S \left(\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}$$

Por lo que la ecuación de Maxwell (2) se denomina como “Ecuación de Gauss para el campo eléctrico”, la del apartado (3) tiene la denominación de “Ecuación de Gauss para el campo magnético”, del apartado (4) se pueden expresar como “Ecuación de Faraday-Henry” y finalmente la del apartado (5) se denomina como “Ecuaciones de Ampere-Maxwell” (Gómez, 2010, pp. 4-6)

1.1.2 Propagación de una Onda Electromagnética

Partiendo de las ecuaciones de Maxwell, se puede saber el comportamiento de un movimiento ondulatorio, que denota la presencia de campos eléctricos y magnéticos gracias a la generación de voltajes y corrientes, que se propagan en formas de onda de magnitud y dirección determinada. Una onda electromagnética en el espacio libre carece de una fuente ($\rho_v = J = 0$) y sus términos de campo eléctrico \vec{E} y campo magnético \vec{B} son transversales a la dirección de propagación o en términos abreviados TEM (Onda Transversal Electromagnética), además de la variación espacial con dirección normal a su orientación y perpendicular al plano transversal. (Gómez, 2010, pp. 6-7)

La expresión resultante de la velocidad de propagación de una onda electromagnética está denotada en la ecuación (6):

$$(6) \quad v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3 \times 10^8 \frac{m}{s} = c$$

Donde ϵ_0 es la permitividad eléctrica en el vacío, μ_0 es la permeabilidad magnética en el vacío y v representa la velocidad de propagación de una onda electromagnética en general, y que al atravesar un medio determinado se denomina como velocidad de la luz. (Hayt & Buck, 2006, pp.396-398)

1.1.3 Espectro Electromagnético

A lo largo del universo, por innumerables factores propios del medio, se producen fenómenos naturales que pueden ocasionar manifestaciones de energía que viajan por el espacio a la velocidad de la luz (radiación). Donde el espectro electromagnético es el conjunto de ondas electromagnéticas de diversos tipos de frecuencia y longitud provocadas por el proceso de la radiación electromagnética de orígenes naturales o generados por el ser humano. (Fontal, 2005, pp. 2-16)

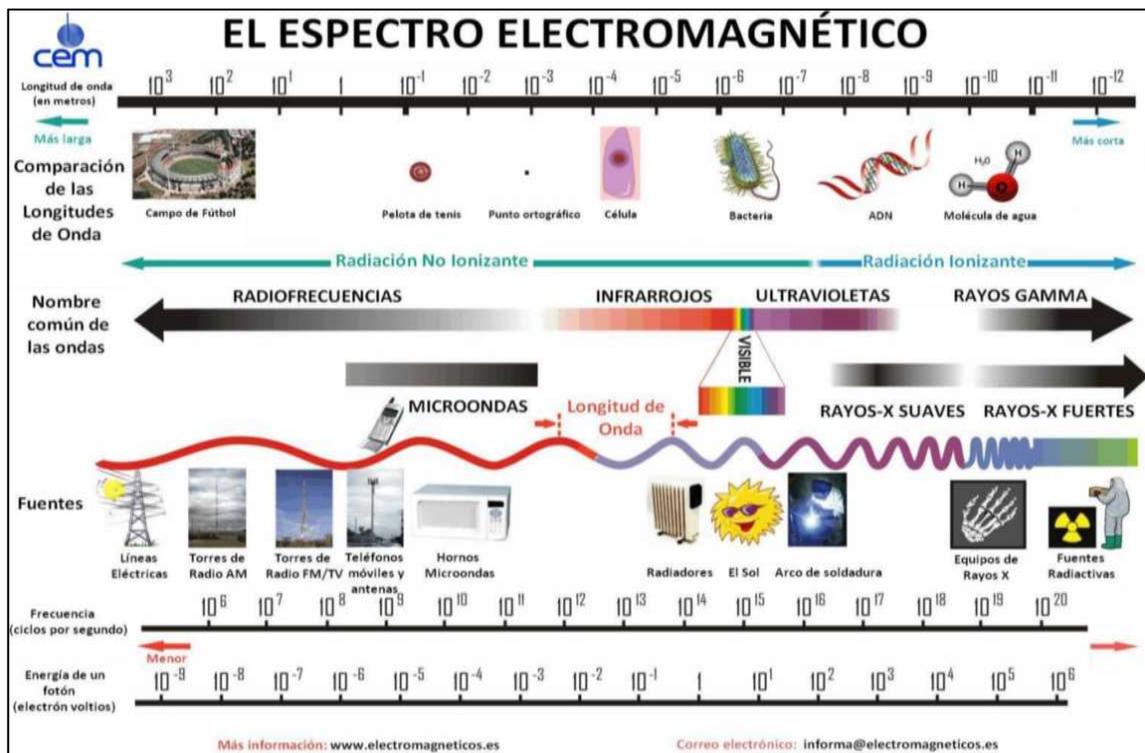


Figura 2-1: Delimitación del Espectro Electromagnético por frecuencias y longitudes de onda.

Fuente: [Web]: <https://pixabay.com/es/ondas-electromagn%C3%A9ticas-1526374/>

En la figura 3-1 se puede observar la delimitación del espectro electromagnético a partir de la comparación de longitudes de onda y frecuencias. Los equipos medidores/detectores sensibles a radiaciones electromagnéticas determinan que el rango del espectro electromagnético está comprendido entre frecuencias menores a los 30 Hercios pertenecientes a las más bajas radiofrecuencias y frecuencias tan altas como 3×10^{27} Hercios pertenecientes a los rayos gamma.

Con el fin de estudiar los diferentes efectos de la radiación electromagnética sobre los materiales, el espectro electromagnético en su delimitación total se subdivide en radiaciones ionizantes y no ionizantes. (Rodríguez, 2003, pp. 1-2)

1.1.3.1 Radiación Ionizante

Al producirse la radiación electromagnética, los fotones conformados por agrupaciones de energía en forma de un haz de radiación, producirán mayor cantidad de energía en respuesta a las radiaciones electromagnéticas a mayores frecuencias. Este tipo de radiación se encuentra delimitado en el espectro electromagnético en las zonas de los Rayos X y Rayos Gamma, resultado de la emisión de materiales radiactivos generados artificialmente mediante equipamiento eléctrico o por generación natural. (Rodríguez, 2003, pp. 3)

La figura 4-1, representa la cuantificación molecular de la radiación ionizante, donde se realiza la contabilización de la cantidad de cargas que se crean a raíz de la radiación por unidad de masa del medio atravesado. Tiene como unidades de medida del Sistema Internacional para la cuantificación los Culombios/Kg, y a través de un material se contabiliza la energía depositada en el mismo por su masa, teniendo como unidad de medida los Julios/kg. (Rodríguez, 2003, p. 4)

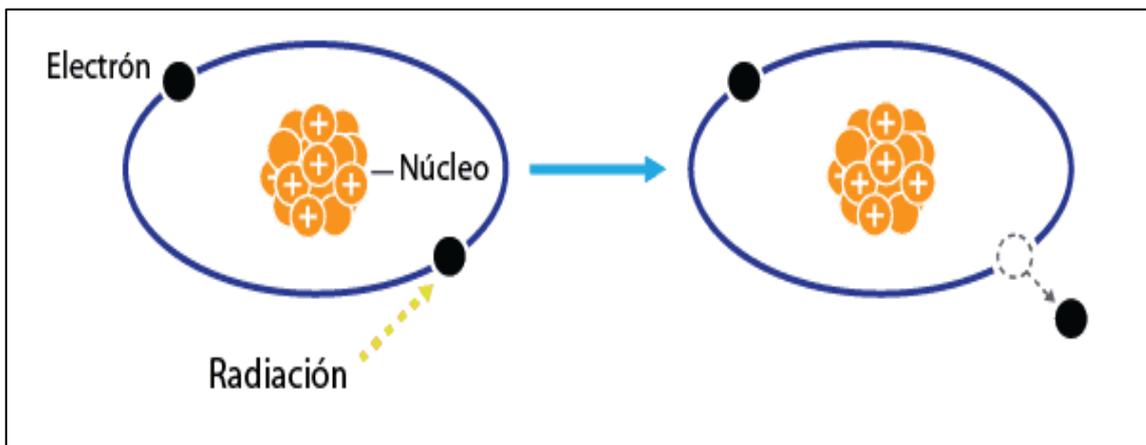


Figura 3-1: Radiación Ionizante y su cuantificación de cargas

Fuente: [Web]: <https://curiosoando.com/wp-content/uploads/2017/02/ionizacion.png>

En el gráfico 1-1 se puede observar los efectos que se producen por la incidencia de la radiación ionizante sobre las células de un ente biológico. Los diferentes tipos de afectaciones tras generarse radicales libres sobre el núcleo de las células generan daños biológicos que pueden o no alterar el material genético base o ADN. (Rodríguez, 2003, p. 5)

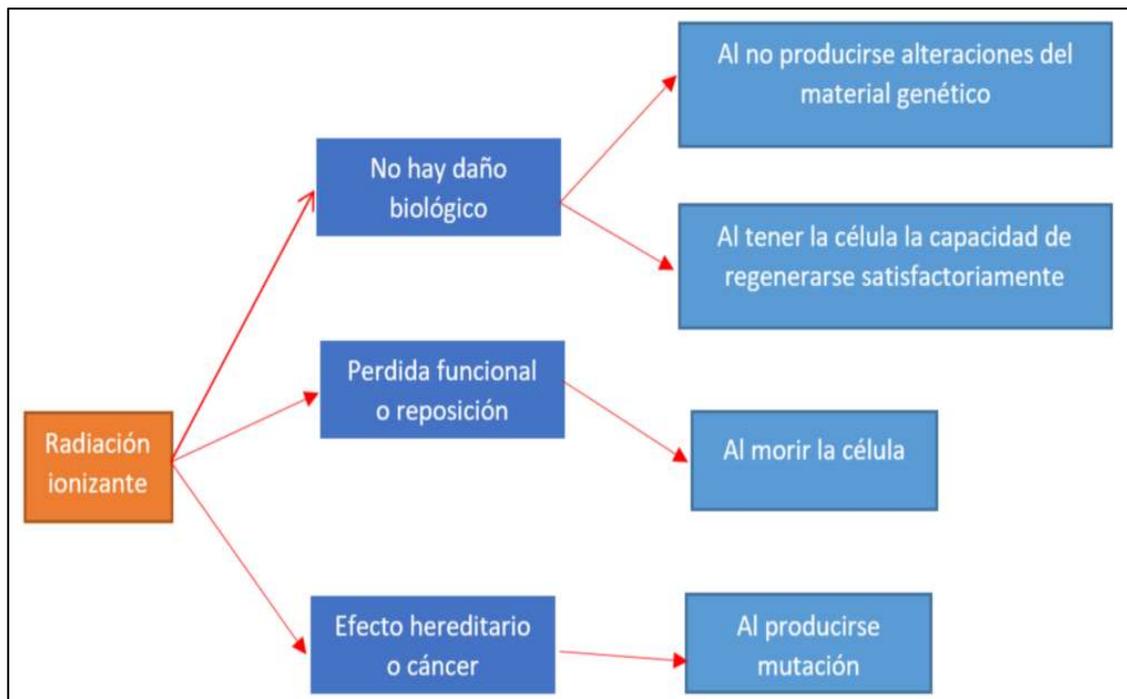


Gráfico 1-1: Radiación Ionizante y efectos sobre un organismo biológico.
 Realizado por: Avilés, E.

1.1.3.2 Radiación no Ionizante

Está comprendida por las frecuencias menores con respecto a las zonas ocupadas por las de la radiación ionizante. Se encuentra delimitada desde las zonas más bajas de la radiación LF hasta la zona de radiación ultravioleta y que están asociadas a los servicios de telecomunicaciones de la actualidad.

En la tabla 1-1, se puede observar el Tramo del Espectro Electromagnético asignado a la Radiación no Ionizante (RNI) en las telecomunicaciones y la colectividad. La exposición continua a este tipo de radiaciones genera cuestionamientos sobre la posible afectación en la salud de ser humano y los efectos microscópicos producidos a nivel celular. Los escasos estudios epidemiológicos así como el desconocimiento de las normativas adecuadas por parte de la población en general, dan como consecuencia que la realización de los proyectos de telecomunicaciones vaya dirigidos sobre la delimitación del espectro electromagnético utilizado específicamente para servicios de telecomunicaciones denominado Espectro Radioeléctrico. (Rodríguez, 2003, pp. 5-22)

Tabla 1-1: Tramo del Espectro Electromagnético comprendido para la Radiación no Ionizante

ZONA DE RADIACIÓN NO IONIZANTE	DELIMITACION POR FRECUENCIA Y LONGITUD DE ONDA	APLICACIONES
LF (Radiación de baja frecuencia) y ELF (Radiación de muy baja frecuencia)	1 Hz a 300 KHz	Campos eléctricos de aparatos domésticos, tramos de radio AM
RF (Radiofrecuencias)	300 KHz a 300 MHz	Radio AM y FM, onda corta Médica, RMN para campo magnético de 1T
M.O (Microondas)	300 MHz a 300 GHz	Telefonía Móvil, Microondas para Fisioterapia Médica.
IR (Infrarrojo)	300 GHz a 780 nm	Luz solar, Dispositivos para Terapia de Calor, Láser
Luz Visible	780 nm a 400 nm	Fototerapia, Láser
UV (Ultravioleta)	400 nm a 100 nm	Tubos Fluorescentes, Radioterapia, Luz Solar, Esterilización de comida y aire, Materiales por encima de los 2700K

Fuente: (Rodríguez, 2003, p. 5). Radiaciones Ionizantes y no Ionizantes, Aplicaciones y Riesgos.

1.1.4 Espectro Radioeléctrico

Está comprendido por las frecuencias por debajo de los 300 GHz (Gigahercios) atribuido a los distintos servicios de telecomunicaciones globales. Considerado como un recurso natural limitado y con la capacidad de transportar la información en forma de energía mediante la propagación electromagnética. Utiliza al aire como medio no guiado para su propagación y dispone de regulaciones por parte de entidades gubernamentales e internacionales. (Llanos, 2013, pp. 13)

Tabla 2-1: Bandas de Frecuencias utilizadas dentro del Espectro Radioeléctrico

Número de la banda	Simbología	Rango de frecuencias [Hz]
4	VLF	3 a 3×10^4
5	LF	3×10^4 a 3×10^5
6	MF	3×10^5 a 3×10^6
7	HF	3×10^6 a 3×10^7
8	VHF	3×10^7 a 3×10^8
9	UHF	3×10^8 a 3×10^9
10	SHF	3×10^9 a 3×10^{10}
11	EHF	3×10^{10} a 3×10^{11}
12		3×10^{11} a 3×10^{12}

Fuente: (Llanos, 2013, p. 14). Gestión del Espectro Electromagnético en el Ecuador.

En la tabla 2-1 se especifican las bandas de frecuencias asignadas al espectro radioeléctrico, simbología y canalización, utilizadas por los servicios de telecomunicaciones comprendidas desde los 3 KHz a los 300 GHz. La generación de las ondas electromagnéticas se realiza a través de dispositivos conductores con altas capacidades de transmisión y recepción denominadas “antenas”. La longitud de una onda electromagnética es directamente proporcional a la cantidad de información a enviarse a través de este denominado ancho de banda. La asignación de los servicios de telecomunicaciones y tecnologías para transmisión de voz, audio, datos y video, se deben a una planificación gubernamental, que asigna las bandas de frecuencias disponibles, los permisos pertinentes solicitados, y los estudios previos realizados. (Llanos, 2013, p. 14)

1.2 Sistemas de Telefonía Móvil Celular

El nombre de esta tecnología de la comunicación se debe a que la transmisión y recepción de la información en forma de ondas electromagnéticas se asignan a zonas o sectores específicos conocidas como células o celdas. Cada celda es de forma hexagonal, contiene en su interior a la estación base transmisora conformada por una o más antenas y decenas de canales para la conexión simultánea de usuarios, creándose una red de celdas celulares. (Pogo, 2011, p. 17)

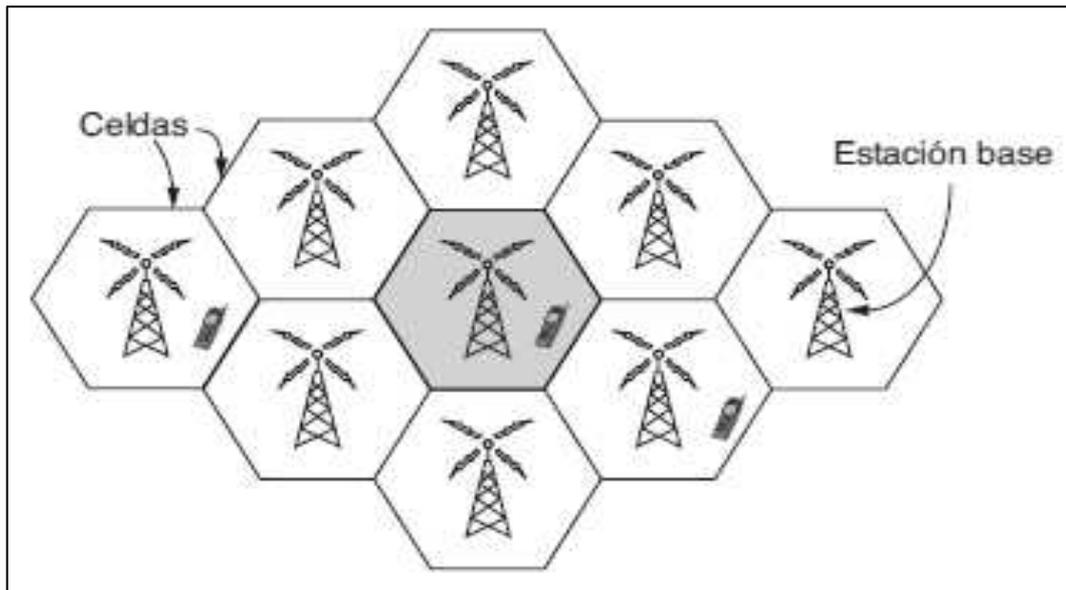


Figura 4-1: División Celular de las Redes de Telefonía Móvil Celular

Fuente: [Web]: <https://www.emaze.com/@ACIRLIOI/gsm-y-gprs>.

Como se puede observar en la Figura 5-1, la división por celdas celulares permite que varios dispositivos móviles puedan estar conectados a la red de telefonía celular simultáneamente. Las distancias de transmisión entre las celdas celulares y los usuarios se reducen considerablemente, permitiendo que un dispositivo móvil celular posea características como: pequeños tamaños, peso reducido y transmisión con muy poca energía. Si un usuario establece una comunicación y se desplaza de una celda a otra dentro de la misma red celular, se realizan conexiones y desconexiones automáticas a las estaciones bases, conocido como el handover o handoff de la comunicación, sin interrumpir una conversación establecida. (Pogo, 2011, pp. 18)

1.2.1 Arquitectura General de un Sistema Móvil Celular

Los sistemas de telefonía celular surgieron a través de los sistemas de conmutación por circuitos para la transmisión de voz, y posteriormente se adaptaron a los sistemas de conmutación por paquetes para el envío de datos sobre los canales de voz existentes. Como se puede observar en la figura 6-1, una red celular de conmutación por circuitos consta de 3 grupos principales:

- La Red de Acceso que interconecta los dispositivos móviles terminales con las estaciones bases celulares.
- La Red Conmutada de Circuitos encargada de la gestión de llamadas entre los equipos terminales y redes externas.
- El Grupo de Registros que almacenan los datos de los usuarios. (Pogo, 2011, p. 19)

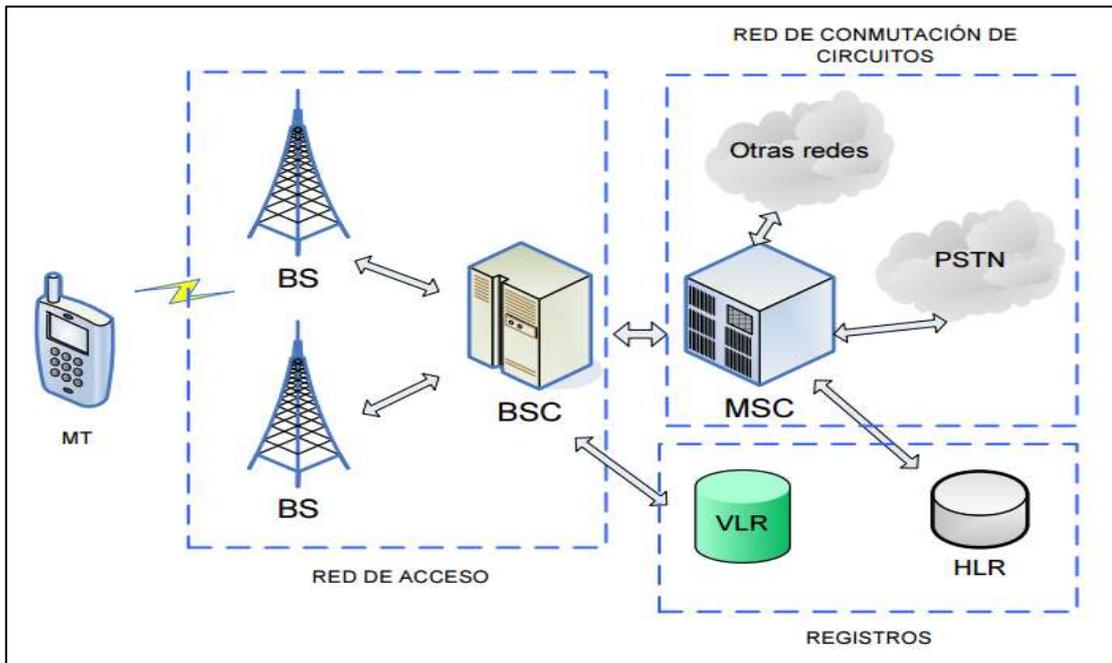


Figura 5-1: Arquitectura de una Red Celular de Conmutación por Circuitos
Fuente: (Pogo, 2011, p. 19). Análisis de los Servicios de Telecomunicaciones Móviles en el Ecuador

Las Redes de Conmutación por Paquetes son capaces de enviar y recibir eficientemente información digital basándose en una Red de Conmutación por Circuitos, añadiéndose nuevos elementos a la red mediante la implementación de las tecnologías GPRS (Sistemas Generales de Radio por Paquetes), tales como: la PCU o conocida con el nombre de Unidad de Control Por Paquetes, la SGSN o denominada como el Nodo de Soporte del Servicio GPRS y la GGSN o Nodo de Soporte de Puertos GPRS). Estos nuevos elementos de las Redes de Conmutación por Paquetes, se los puede observar en la figura 7-1. (Pogo, 2011, pp. 20-21)

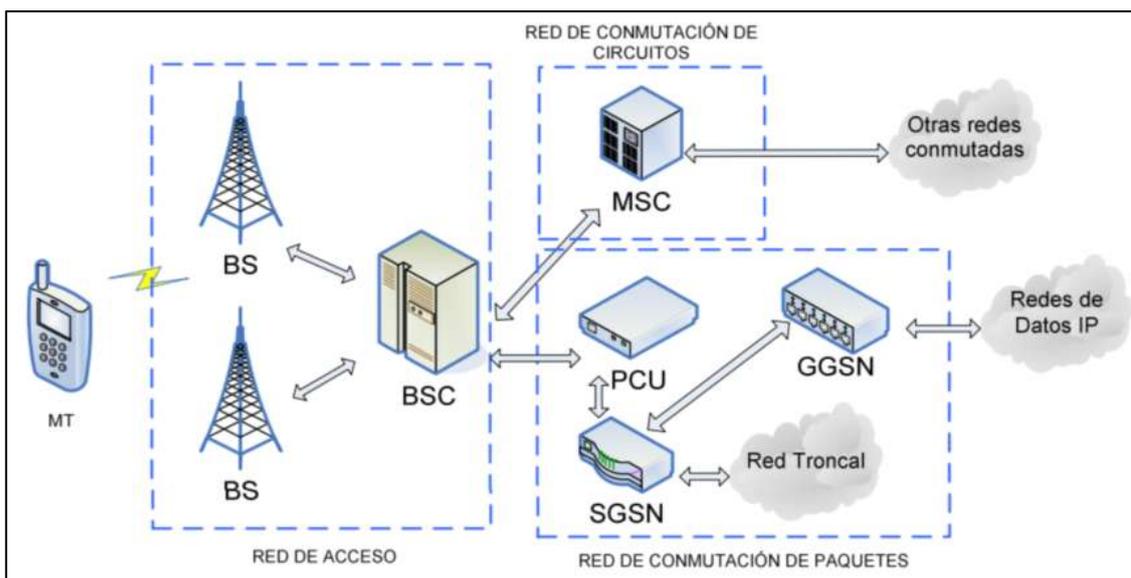


Figura 6-1: Arquitectura de una Red Celular de Conmutación por Paquetes
Fuente: (Pogo, 2011, p. 21). Análisis de los Servicios de Telecomunicaciones Móviles en el Ecuador.

Dentro de la Red de Conmutación por Paquetes, la PCU actúa como interfaz entre la estación base y la Red de Datos, siendo encargada del tráfico de paquetes en forma de tramas PCU. La SGSN se encarga de las tareas de autenticación y tarificación entregando datos entre las estaciones móviles y controlando el intercambio de paquetes entre la PCU y la GGSN. Esta última interfaz interconecta la red troncal de datos con otras redes externas a la Red de Conmutación por Paquetes. (Pogo, 2011, p. 22)

1.2.2 Estándares para Telefonía Móvil Celular Analógica y Digital

La primera generación de telefonía móvil celular (1G) transmitía solo voz bajo sistemas analógicos de telefonía. Utilizaba técnicas de acceso múltiple al medio por división de frecuencias, conocida como FDMA, con limitantes en el uso de una frecuencia por canal telefónico que impedía el acceso a un gran número de abonados simultáneamente. En consecuencia se establecieron estándares de telefonía móvil analógica por frecuencias, como los observados en la tabla 3-1. (Pogo, 2011, p. 32)

Tabla 3-1: Bandas de Frecuencias de los Estándares de la Telefonía Móvil Analógica.

Estándar	Banda de Frecuencia [MHz]
NMT	450/900
TACS	900
AMPS	800

Fuente: (Pogo, 2011, p. 29). Análisis de los Servicios de Telecomunicaciones Móviles en el Ecuador.

El primer sistema analógico disponible comercialmente fue el NMT desarrollado por Mobira (antecesor de Nokia) y Ericsson, operando en las bandas de 450 MHz y posteriormente a 900 MHz con técnicas de acceso al medio FDD y FDMA para alcances de hasta 25 Km y canalización de 30 KHz. El estándar AMPS fue desarrollado por laboratorios Bell y denominado como 1G, es la base de las redes móviles actuales implementando la MSC para conectarse con las estaciones base, utiliza 832 canales de subida y 832 canales de bajada con 30 KHz de ancho de banda cada uno, y operando en las bandas de 824 a 849 MHz para la transmisión y de 869 a 894 MHz para la recepción. Las TACS se adaptaron a la tecnología 1G para requisitos europeos de telefonía móvil celular dúplex en la banda de 900 MHz, dividiendo 1000 canales en dos segmentos de 300 canales cada uno para la comunicación y una banda restante para la introducción del sistema GSM. (Pogo, 2011, pp. 33-34)

Con el crecimiento de los requerimientos de más usuarios luego del surgimiento de los Sistemas de Telefonía Móvil Analógicos, las carencias observadas en Europa por los Sistemas introducidos de origen Americano, y el pedido del Sistema de Radio común de anchos de banda comunes, se implementaron Estándares de Sistemas Móviles Celulares con una asignación común de frecuencias, tales como los que se pueden observar en la tabla 4-1. (Pogo, 2011, p. 35)

Tabla 4-1: Bandas de Frecuencias de los Estándares de la Telefonía Móvil Digital.

Estándar	Banda de Frecuencia [MHz]
TDMA	800/1900
CDMA	800/1900
GSM	850/900/1800/1900

Fuente: (Pogo, 2011, p. 32). Análisis de los Servicios de Telecomunicaciones Móviles en el Ecuador.

De los estándares digitales observados en la tabla 4-1, TDMA es la versión digital de los Sistemas AMPS utiliza terminales híbridos y acceso a servicios como SMS. Sus tasas de transmisión de bits de canal para la modulación son de 48.6 Kbits/s y tiene esquemas de modulación PSK, beneficios de red para mensajería corta SMS de hasta 192 caracteres, identificadora de llamadas, correo electrónico y voicemail. (Pogo, 2011, pp. 36-37)

El estándar CDMA fue desarrollado por Qualcomm y aceptado por la Asociación de Industrias de Telecomunicaciones (TIA). Utiliza técnicas de acceso al medio por división de código con anchos de banda de portadora de hasta 1.25 MHz y de espectro ensanchado que permite tener acceso al mismo ancho de banda de múltiples usuarios al mismo tiempo. Posee una mayor capacidad de canalización con respecto a AMPS y usos en las comunicaciones militares así como en las redes inalámbricas. (Pogo, 2011, pp. 38-39)

GSM es un estándar de telefonía móvil celular considerado de segunda generación (2G) utilizado debido a sus grandes velocidades de transmisión. Tiene como técnicas de acceso al medio a TDMA multiplexando 8 ranuras de tiempo sobre canales de 200 KHz, con 7 canales para voz y un canal de señalización y control. GSM transmite voz a 13 Kbps y datos a 9.6 Kbps con capacidad de soportar servicios como: desvíos de llamadas, mensajería corta y otros servicios personalizados a través de la tarjeta SIM-Card, encriptación para la confidencialidad en la comunicación, autenticación del abonado, códigos de control de error más robustos que mejora la calidad en las comunicaciones y acceso a redes públicas de forma internacional mediante la Red Publica Conmutada y las Redes Digitales de Servicios Integrados RDSI. (Pogo, 2011, p. 40)

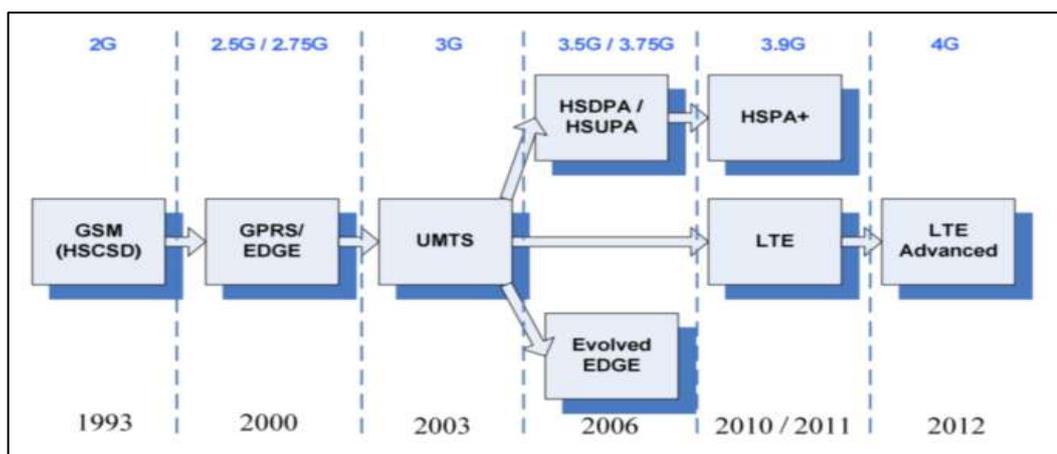


Figura 7-1: Evolución de los Sistemas Móviles Celulares hasta la Actualidad

Fuente: (Pogo, 2011, p. 42). Análisis de los Servicios de Telecomunicaciones Móviles en el Ecuador.

En la figura 8-1, se puede observar la evolución de los Sistemas de Telefonía Móvil Celular en respuesta al requerimiento de los usuarios de poder integrar mayores servicios a diferentes dispositivos. La tercera generación (3G) permite la convergencia de voz y datos mediante acceso inalámbrico a internet con aplicaciones multimedia para juegos en línea y video conferencia que soporta velocidades de transmisión de hasta 384 Kbps. La evolución de los Sistemas Móviles Avanzados se regula a través de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) impulsando el desarrollo de nuevos estándares basados en la red GSM y promoviendo el desarrollo de las tecnologías de Telefonía Móvil actuales. (Pogo, 2011, pp. 32-42)

1.2.3 Telefonía Móvil Celular en el Ecuador

Para la comunicación de los usuarios finales con las estaciones bases, los Sistemas de Telefonía Móvil Celular poseen dos canales fundamentales: un canal de bajada o DOWNLINK para el intercambio de información entre la radiobase y el usuario, y un canal de subida o UPLINK que comunica al usuario con la radiobase.

Tabla 5-1: Asignación de Espectro Radioeléctrico a los canales GSM de Uplink y Downlink.

BANDA DE FRECUENCIAS	RANGO CANALES UPLINK [MHZ]	RANGO CANALES DOWNLINK [MHZ]	SEPARACION ENTRE UPLINK Y DOWNLINK [MHZ]
GSM-850	824 a 849	869 a 894	45
GSM-1900	1850 a 910	1930 a 1990	80

Realizado por: Avilés, E.

En la tabla 5-1 se puede observar la asignación de rangos de frecuencias a redes GSM de 850 MHz y 1900 MHz para canales Uplink y Downlink, así como la separación espectral que evita las interferencias y solapamientos entre canales de transmisión y recepción de información.

Tabla 6-1: Asignación de frecuencias en las bandas GSM-850 y GSM-1900 en el Ecuador.

OPERADORA	RANGO DE FRECUENCIAS EN LA BANDA GSM-1900 [MHz]	RANGO DE FRECUENCIAS EN LA BANDA GSM-850 [MHz]
OTECEL S.A	1865 a 1870	835 a 845
		846.5 a 849
	1945 a 1950	880 a 890
		891.5 a 894
CONECEL S.A	1870 a 1890	824 a 835
		845 a 846.5
	1950 a 1970	869 a 880
		890 a 891.5
CNT EP	1895 a 1910	---
	1975 a 1990	---
	1890 a 1895	---
	1970 a 1975	---

Fuente: (AGENCIA DE REGULACION Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES, 2012, pp. 68-76). Plan Nacional de Frecuencias.

En la tabla 6-1 se puede observar la asignación espectral para las 3 operadoras vigentes en el Ecuador. La interconexión de un dispositivo móvil celular con la estación base se realiza a través de la asignación numérica de los canales denominados ARFCN desde el 0 a 1023 para servicios GSM, con separaciones espaciales entre canales de 200 KHz. (ESCALONA; BARCELO; PARADELLS, 2002, pp. 2-3)

1.3 Propagación de las Ondas Radioeléctricas

Los factores propios del medio de propagación, las características y condiciones eléctricas del terreno, las capas atmosféricas y la frecuencia, generan distintos tipos de propagaciones de las ondas Radioeléctricas, que son las que contienen la información a transmitirse/receptarse desde las estaciones base y los equipos terminales, generándose fenómenos físicos tales como la reflexión, refracción, absorción y difracción. (Ordoñez, 2012, p. 19)

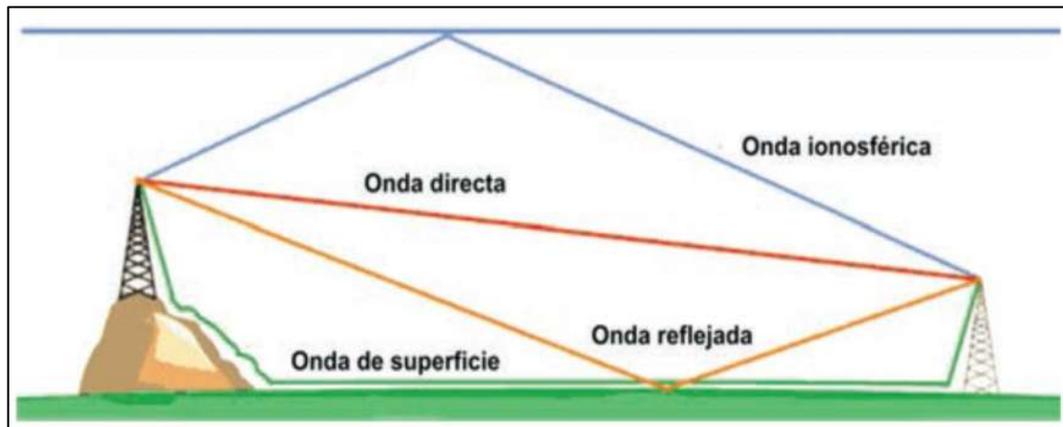


Figura 8-1: Tipos de Propagaciones de las Ondas Radioeléctricas

Fuente: (Ordoñez, 2012, p. 20). Espectro Electromagnético y Espectro Radioeléctrico.

En la figura 9-1, se puede observar los tipos de propagación de las ondas radioeléctricas tales como: Las ondas de superficie con distancias largas de transmisión para frecuencias menores a 30 MHz donde su propagación depende de las características del suelo. Las ondas directas de línea de vista enlazan el transmisor con el receptor, pudiendo verse afectadas por desvanecimientos propios de la señal. Las ondas reflejadas conectan al transmisor con el receptor mediante un reflejo del terreno. Las ondas ionosféricas se producen por la reflexión de las ondas en la capa ionizada de la atmosfera, se propagan a largas distancias con un rango de frecuencias desde los 3 a 30 MHz. (Ordoñez, 2012, p. 20)

1.4 Normativas Internacionales UIT e ICNIRP

Las instituciones o entes que prestan servicios de telecomunicaciones y que producen radiaciones no Ionizantes, son regulados por organizaciones internacionales que salvaguardan a la población frente a la exposición de ondas electromagnéticas, proponiéndose así normativas o recomendaciones como resultado de estudios e investigaciones previas. En Ecuador se utilizan recomendaciones como la K.52 de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) y las de la ICNIRP (Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones no Ionizantes).

1.4.1 ICNIRP (Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones no Ionizantes)

La organización ICNIRP, asociada a instituciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS), proporciona asesoramiento científico sobre los efectos en salud y medio ambiente de las Radiaciones no Ionizantes, así como recomendaciones para la protección a distintos niveles de exposición. Se establecieron dos límites principales de exposición: Ocupacional donde las personas conviven transitoriamente con las ondas electromagnéticas por cuestiones de trabajo y estando conscientes de la exposición. Poblacional donde las personas pueden estar expuestos a cualquier tipo de radiaciones y no se encuentran conscientes de este tipo de exposición.

En la tabla 7-1 se puede observar los límites que ICNIRP propone para las variaciones de Intensidades de Campo Eléctrico y Campo Magnético, para exposiciones ocupacionales dependiendo del rango de frecuencias de radiación no Ionizante.

Tabla 7-1: Límites de referencia de Exposición Ocupacional contra Radiaciones no Ionizantes.

Rango de Frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico [V/m]	Intensidad de Campo Magnético [A/m]
Hasta 1 Hz	-----	1.63×10^5
1 a 8 Hz	20 000	$1.63 \times 10^5 / f^2$
8 a 25 Hz	20 000	$2 \times 10^4 / f$
0.025 a 0.82 KHz	$500 / f$	$20 / f$
0.82 a 65 KHz	610	24.4
0.065 a 1 MHz	610	$1.6 / f$
1 a 10 MHz	$610 / f$	$1.6 / f$
10 a 400 MHz	61	0.16
400 a 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$
2 a 300 GHz	137	0.36

Fuente: (ICNIRP, 1998, p. 511). Guía de la ICNIRP para la exposición límite a variaciones de tiempo eléctricas, magnéticas y de campo electromagnético superiores a los 300 GHz.

En la tabla 8-1, se muestra los valores límites propuestos por ICNIRP para las variaciones de campo electromagnético, en relación a Intensidades de Campo Eléctrico y Campo Magnético, para exposiciones poblacionales dependiendo del rango de frecuencias de radiación no Ionizante;

Tabla 8-1: Límites de referencia de Exposición Poblacional contra las Radiaciones no Ionizantes.

Rango de Frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico [V/m]	Intensidad de Campo Magnético [A/m]
Hasta 1 Hz	-----	3.2×10^4
1 a 8 Hz	10 000	$3.2 \times 10^4 / f^2$
8 a 25 Hz	10 000	$4\,000 / f$
0.025 a 0.8 KHz	$250 / f$	$4 / f$
0.8 a 3 KHz	$250 / f$	5
3 a 150 KHz	87	5
0.15 a 1 MHz	87	$0.73 / f$
1 a 10 MHz	$87 f^{1/2}$	$0.73 / f$
10 a 400 MHz	28	0.073
400 a 2000 MHz	$1.375 f^{1/2}$	$0.0037 f^{1/2}$
2 a 300 GHz	61	0.16

Fuente: (ICNIRP, 1998, p. 511). Guía de la ICNIRP para la exposición límite a variaciones de tiempo eléctricas, magnéticas y de campo electromagnético superiores a los 300 GHz.

La tabla 9-1 muestra los límites que ICNIRP propone con respecto a la SAR en el cuerpo entero y sobre cabeza, tronco y extremidades para exposiciones a campos electromagnéticos ocupacionales y poblacionales, teniéndose en cuenta la realización de mediciones de campo mayores a 6 minutos mientras más altos sean los rangos de frecuencia del espectro radioeléctrico. (ICNIRP, 1998, pp. 508-511)

Tabla 9-1: Límites de ICNIRP con respecto a la SAR y Densidad de Corriente para Exposiciones poblacionales y Ocupacionales.

Rango de Frecuencias	Tipo de Exposición	Densidad de Corriente en la cabeza y tronco	SAR media en todo el cuerpo [W/Kg]	SAR localizada (cabeza y tronco) [W/Kg]	SAR localizada (extremidades) [W/Kg]
Hasta 1 Hz	OCUPACIONAL	40	-----	-----	-----
	POBLACIONAL	8	-----	-----	-----
1 a 4 Hz	OCUPACIONAL	40/F	-----	-----	-----
	POBLACIONAL	8/F	-----	-----	-----
4 Hz a 1 KHz	OCUPACIONAL	10	-----	-----	-----
	POBLACIONAL	2	-----	-----	-----
1 a 100 KHz	OCUPACIONAL	F/100	-----	-----	-----
	POBLACIONAL	F/500	-----	-----	-----
100 KHz a 10 MHz	OCUPACIONAL	F/100	0.4	10	20
	POBLACIONAL	F/500	0.08	2	4
10 MHz a 10 GHz	OCUPACIONAL	-----	0.4	10	20
	POBLACIONAL	-----	0.08	2	4

Fuente: (ICNIRP, 1998, p. 509). Guía de la ICNIRP para la exposición límite a variaciones de tiempo eléctricas, magnéticas y de campo electromagnético superiores a los 300 GHz. ICNIRP GUIDELINES.

1.4.2 Unión Internacional de telecomunicaciones

Dentro del organismo de la UIT, la recomendación UIT-T K.52 se creó con el fin de que las instalaciones de telecomunicaciones cumplan con los límites de seguridad de exposición de las personas a los campos electromagnéticos (EMF). La UIT-T es un organismo que forma parte de la UIT encargándose del estudio, tarificación, publicación de recomendaciones y normalización de las telecomunicaciones a nivel mundial. Para emisiones intencionales de señales electromagnéticas se determinan zonas de exposición, a las que las personas podrían estar expuestas, siendo tomadas en cuenta por las instalaciones electromagnéticas, regulándose parámetros de la antena transmisión como: potencia de funcionamiento, frecuencia, orientación, ganancia y directividad.

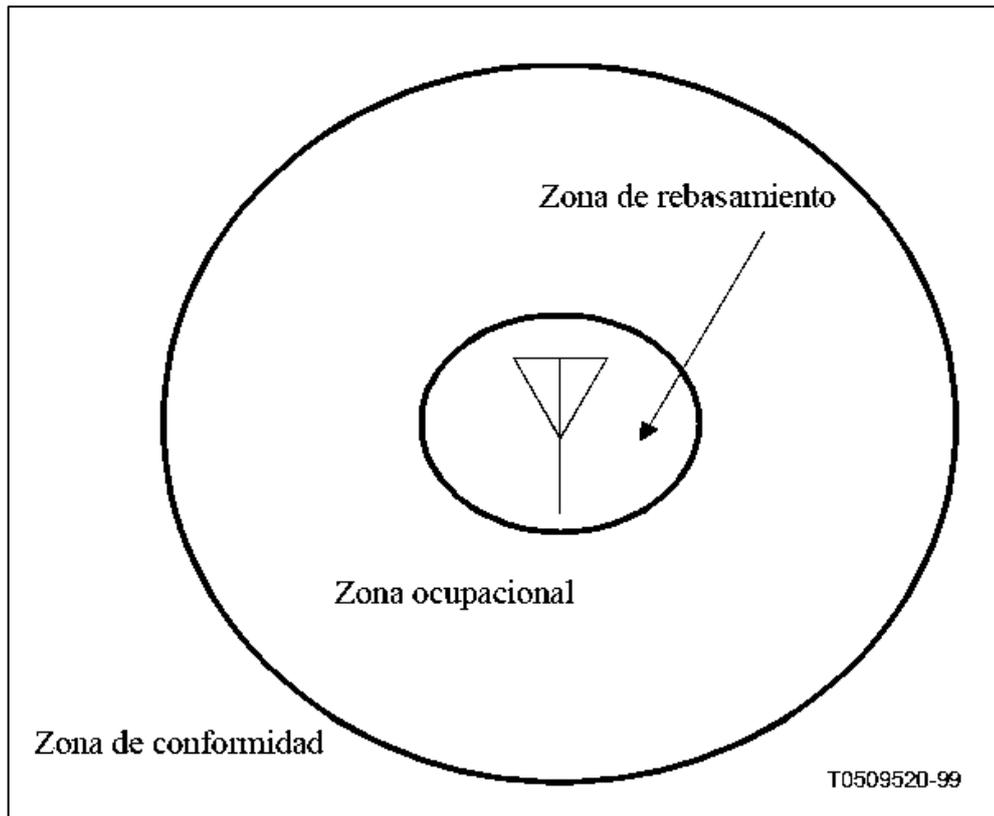


Figura 9-1: Zonas de Exposición de los Campos Electromagnéticos

Fuente: (UIT-T K.52, 2000, p. 8). Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos.

Como se puede observar en la figura 10-1, se distinguen 3 zonas de exposición a campos electromagnéticos como son: la Zona de Conformidad donde la exposición a los campos electromagnéticos está por debajo de los límites que las Zonas de Exposición Ocupacional o intermedia, y las Zonas no controladas por el público en general o de Rebasamiento; estas dos últimas zonas son poco accesibles a las personas o de tiempos limitados, gracias a la presencia de riesgos de exposición mayores mientras más cercanos de la estación base la persona se encuentre.

Además se define el concepto de Tasa de Absorción Específica (SAR) como la relación entre la cantidad de energía absorbida por el cuerpo humano sobre unidad de masa, expresado por el Sistema Internacional de Medidas en [W/Kg] y calculados mediante la ecuación diferencial (7):

$$(7) \quad SAR = \frac{d}{dt} \frac{dW}{dm} = \frac{d}{dr} \left(\frac{1}{\rho_m} \frac{dW}{dV} \right)$$

Donde:

dW es un diferencial de energía, dt es un diferencial de tiempo, dm es un diferencial de masa, dV : es un diferencial de volumen y ρ_m es la densidad de masa.

La ecuación (7) se resuelve en términos de conductividad y densidad de masa de la ecuación (8), en función del diferencial de temperatura de la ecuación (9) y en términos de la densidad de corriente inducida de la ecuación (10).

$$(8) \quad SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho_m}$$

$$(9) \quad SAR = c \frac{dT}{dt}$$

$$(10) \quad SAR = \frac{J^2}{\rho_m \sigma}$$

Donde:

E es el valor de intensidad de campo eléctrico expresado en [V/m], σ es la conductividad del tejido corporal expresado en [S/m], ρ_m es la densidad de tejido corporal expresado en [Kg/m^3], c es la capacidad térmica de tejido corporal expresado en [$J/kg \text{ } ^\circ C$], J es el valor de densidad de corriente inducida en el tejido corporal expresado en [A/m^2] y dT/dt es la derivada en el tiempo de la temperatura del tejido corporal expresado en [$^\circ C/s$]. (UIT-T K.52, 2000, pp. 4-8)

1.5 Equipo NARDA SRM-3000

Instrumento de medida con la capacidad de analizar la exposición a campos electromagnéticos en el rango de los 100 KHz a los 3 GHz, utilizada en las telecomunicaciones para el análisis de los componentes de campo alrededor de las emisiones presentes en el espectro electromagnético. (GmbH, 2011, p. 17)

En la figura 11-1 se puede observar el equipo NARDA SRM-3000 compuesto de: una antena de tres ejes sensible a la detección de los valores de campo eléctrico dentro de un rango específico de frecuencias. La pantalla principal con botones adyacentes que permiten la visualización y almacenamiento de valores medidos. Herramientas externas como cables extensores para la conexión a larga distancia de la antena con la pantalla principal, y los adaptadores para la conexión del cargador así como de un trípode que facilita la movilidad del dispositivo de un lugar a otro. (GmbH, 2011, p. 40)



Figura 10-1: Equipo NARDA SRM – 3000

Fuente: (GmbH, 2011, p. 5.8). Manual Operativo del Medidor Selectivo Narda.

En la figura 12-1, se muestra la representación de los valores medidos de campo eléctrico dentro de la pantalla principal del equipo NARDA SRM-3000 y otros tipos de datos propios del equipo como: nivel de batería, rango de mediciones, nombre del servicio de telecomunicación del que se toma mediciones, valor de campo eléctrico, rangos de frecuencias de los servicios de telecomunicaciones, extensión del rango de frecuencias, valor total promediado de campo eléctrico, entre otros. (GmbH, 2011, p. 64)

Battery: Ext. Power Ant: 3AX75M-3G Alles		
Mode: Safety Evaluation Cbl:		
Meas.Range: 5 V/m Std:		
Service	Value	Freq Set Measurement Range
Radio	60.79 mV/m	87.5 (MR)
TV Band III	51.71 mV/m	174.0
T-DAB	18.39 mV/m	223.0
Bahnfunk	2.987 mV/m	467.4
TV Band IV/V	80.13 mV/m	470.0
GSM 900 DL	28.77 mV/m	925.0
GSM 1800 DL	54.99 mV/m	1805.0
DECT	20.61 mV/m	1880.0
UMTS-TDD unten	18.76 mV/m	1900.0
UMTS-TDD oben	17.40 mV/m	2010.0
UMTS DL	43.88 mV/m	2110.0
Total	258.7 mV/m	87.500
Isotropic Result		5 V/m
Fmin:	87.5 MHz	Process Time: 1.851 s
Fmax:	2.5 GHz	No. of Runs: 8
RBW:	200 kHz(Auto)	Result: ACT

Figura 11-1: Valores de campo eléctrico en la pantalla del Equipo NARDA SRM – 3000

Fuente: (GmbH, 2011, p. 7.7). Manual Operativo del Medidor Selectivo Narda.

1.6 Virtual Family Vip v3.0

Se compone de los modelos Duke, Ella, Billie y Thelonious que son archivos de extensión CAD de modelos anatómicos simplificados y optimizados ejecutados en plataformas software externas como ANSYS, CST y Sim4life que contienen aproximadamente 300 órganos y 22 grupos de tejidos tridimensionales de alta resolución utilizados para análisis y simulaciones varias. Forma parte de los Modelos de Población Virtuales creados por la fundación ITIS a partir de imágenes de resonancias magnéticas a individuos voluntarios; dotando, a los centros de investigación e instituciones colaboradoras, de bases de datos y detalles de alta precisión. (ITIS, 2014)

Como se puede observar en el recuadro de la figura 13-1, los Modelos de la Familia Virtual (Duke, Ella, Billie y Thelonious) se encuentran contenidos en los Modelos de Población Virtual de la fundación ITIS, apreciándose una diferenciación digital entre modelos tanto en estaturas, complejones del cuerpo, composiciones de tejidos y órganos. Dichos modelos en forma digital representan a un promedio poblacional de los habitantes existente. (ITIS, 2014)

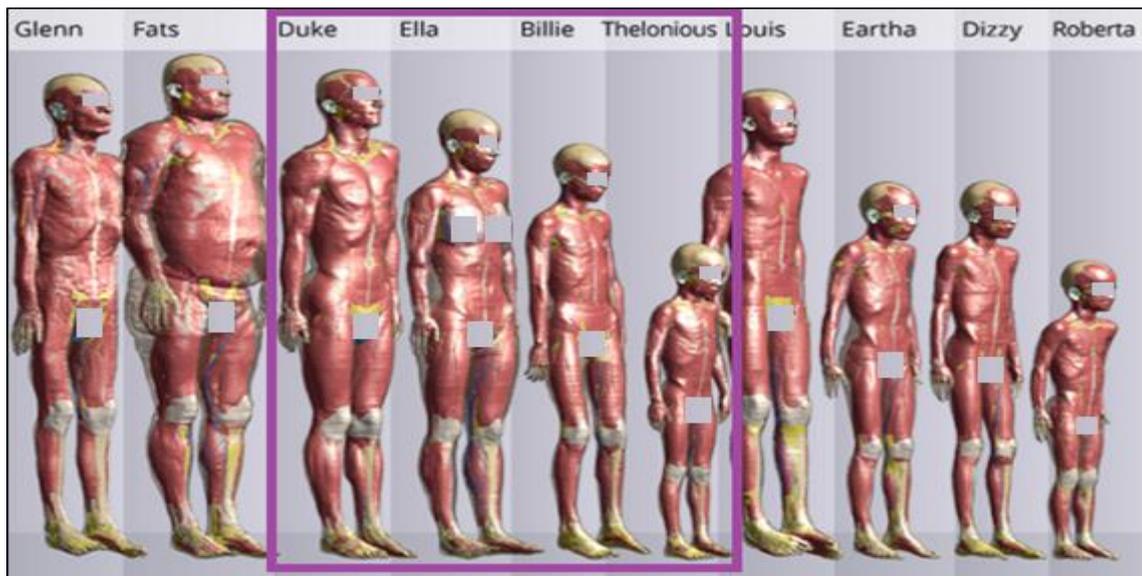


Figura 12-1: Representación gráfica de la Modelos de Familia Virtual y los Modelos de Población Virtual.

Fuente: [Web]: <https://www.itis.ethz.ch/virtual-population/virtual-population/overview/>

En la tabla 10-1, se pueden observar las principales características de los modelos de la familia virtual que se utilizaron para su representación digital y tridimensional como: el género (masculino/femenino), la edad en años, la estatura en metros, el peso de cada modelo en Kilogramos, y el índice de masa corporal (BMI) expresado en Kilogramos por metros cuadrados. (ITIS, 2014)

Tabla 10-1: Principales características de la Familia Virtual.

Familia Virtual	Duke	Ella	Billie	Thelonious
Género	Masculino	Femenino	Femenino	Masculino
Edad	34 años	26 años	11 años	6 años
Estatura [m]	1.77	1.63	1.49	1.15
Peso [Kg]	70.3	57.3	34	18.6
BMI [Kg/m²]	22.4	21.5	15.4	14.1

Fuente: [Web]: <https://www.itis.ethz.ch/virtual-population/virtual-population/vip2/>.

1.7 Sim4life v3.0

Es una plataforma de simulación desarrollada por la compañía Zurich MedTech que fusiona a los modelos humanos computacionales, con potentes solucionadores físicos dentro de ámbitos Electromagnéticos, Acústicos, Termales y de Flujo. Esta herramienta analiza fenómenos reales

producidos en entornos biológicos y anatómicos, ofrece altos rendimientos trabajando conjuntamente con otras herramientas software multifísicas CAE/TCAD y fundaciones internacionales (ITIS-Sociedad de Tecnologías de la Información, ETH- Instituto Federal Suizo de Tecnología) dedicadas a la investigación en áreas como el modelado anatómico, análisis de procesos fisiológicos, definición de problemas, discretización, simulación y visualización de resultados flexibles y claros. (Zurich MedTech, 2017)

1.8 Visual Studio 2015

Es una herramienta computacional creada por la Corporación Microsoft, posee un entorno de desarrollo integrado con compatibilidad para plataformas iOS, Android, Windows, plataformas web y datos en la nube. Visual Studio presenta tres tipos de versiones en su plataforma de descargas: la versión de Visual Studio Professional que posee herramientas de desarrollo y servicios para profesionales con ventajas de suscripción de equipos sencillos, la versión de Visual Studio Enterprise creada para satisfacer las altas exigencias de calidad del mercado y equipos de grandes proporciones aptos para la competitividad empresarial, y la versión Visual Studio Community que es gratuita y de libre adquisición para usos de la comunidad estudiantil así como de los desarrolladores de código abierto, versión utilizada en el presente trabajo de titulación. (Microsoft, 2017)

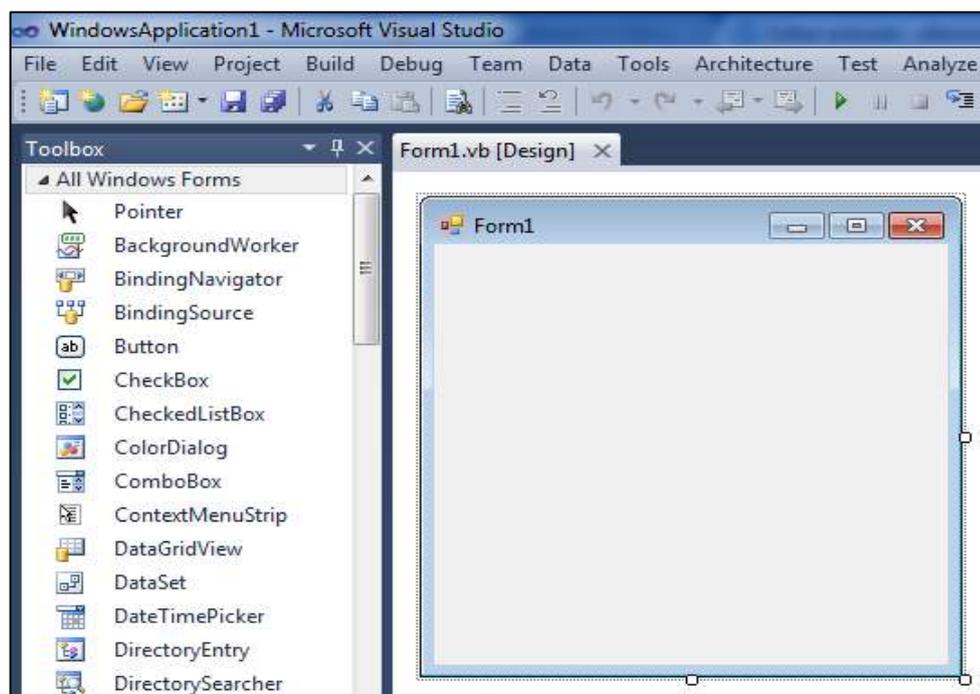


Figura 13-1: Interfaz gráfica de Visual Studio 2015

Fuente: [Web]: <https://allenmv510.files.wordpress.com/2012/10/3.png>

En la figura 14-1 se puede observar la interfaz gráfica del software Visual Studio orientada a la programación sobre objetos. Permite al usuario el desarrollo de aplicaciones de manera sencilla y el trabajo conjunto con la inserción de códigos, visualización de detalles y funciones, depuración y corrección de errores en distintos lenguajes de programación, emisión fácil de diagnósticos de procesamiento y rendimiento computacionales, realización de pruebas con métricas de alta calidad para el control. (Microsoft, 2017)

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

Para la realización práctica del presente trabajo de titulación, se procedió a tomar mediciones con el equipo NARDA SRM-3000, de la intensidad de campo eléctrico máxima y promedio de la banda de frecuencia de 1975 a 1990 MHz correspondiente a los servicios de telefonía móvil celular GSM para canales de Downlink en 10 lugares diferentes de la ciudad de Riobamba cercanos a las antenas de las estaciones base, con la ayuda de un soporte de madera que simula la familia virtual (Duke, Ella, Billie y Thelonious).

Los valores máximos y promedios medidos por el equipo NARDA SRM-3000, permiten obtener un escenario genérico para cada uno de los modelos de la familia virtual mediante expresiones matemáticas como la media aritmética y cuadrática. Los valores resultantes fueron utilizados dentro de simulaciones en el software Sim4life v3.0 determinando la SAR para cuerpo entero y sobre 10 gramos en cabeza tronco y extremidades y su representación gráfica.

El Modelo Computacional fue diseñado para el cálculo del campo eléctrico máximo y promedio de un N número de mediciones ingresadas por el usuario y determina la SAR para cuerpo entero y sobre 10 gramos de los modelos de la familia virtual. Los resultados de campo eléctrico y de la SAR generados son comparados con los valores límites establecidos en normativas de INCNIP e UIT,

2.1 Modelo de puntos de la familia virtual para el promedio espacial de los valores de campo eléctrico.

La antena del equipo NARDA SRM-3000 mide la intensidad de campo eléctrico en un punto en específico surgiendo la necesidad de cubrir la totalidad de la composición (tamaño, forma del cuerpo) de los modelos de la familia virtual (Duke, Ella, Billie, Thelonious), por lo cual se representa a cada modelo de la familia virtual en un conjunto de puntos que permita cubrir sus contornos así como los lugares vitales de los modelos virtuales. Mediante la promediación aritmética de dichos puntos se puede obtener un valor resultante (genérico) que represente la totalidad de la división de puntos de cada modelo de la familia virtual.

En la figura 1-2, se puede observar la división por puntos de los modelos de la familia virtual Duke y Ella, y en la figura 2-2, se muestra la división por puntos de los modelos de la familia virtual Billie y Thelonious, correspondientes a 18 puntos ubicados en distancias determinadas por

las dimensiones de cada modelo y capaces de cubrir la totalidad del contorno del cuerpo, así como las regiones vitales más importantes, que permitan la representación de un modelo promedio resultante (modelo genérico) de los modelos de la familia virtual.

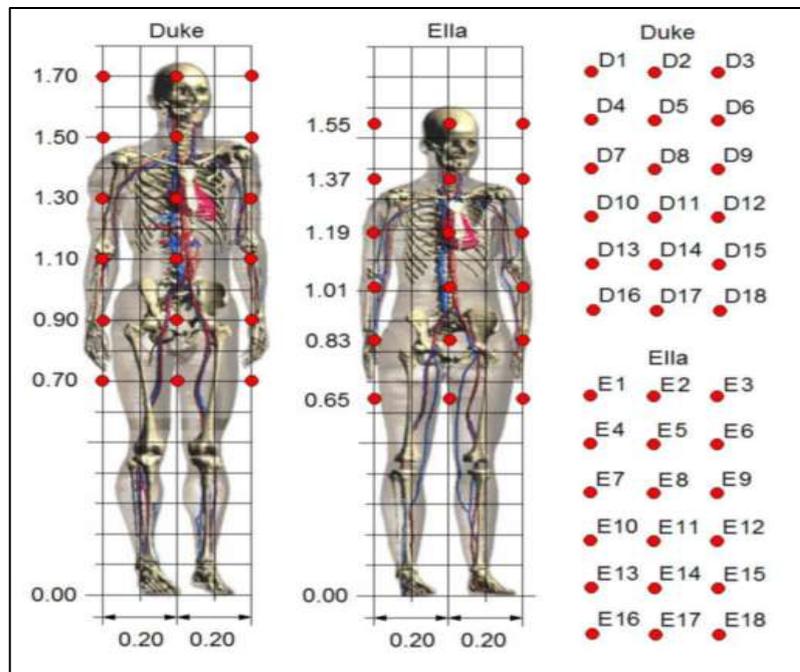


Figura 1-2: División de Puntos de los modelos de la familia virtual Duke y Ella

Fuente: [Web]: https://www.researchgate.net/figure/40696766_fig3_Figure-3-The-Virtual-Family-Duke-Ella-Billie-Thelonious-from-left-to-right

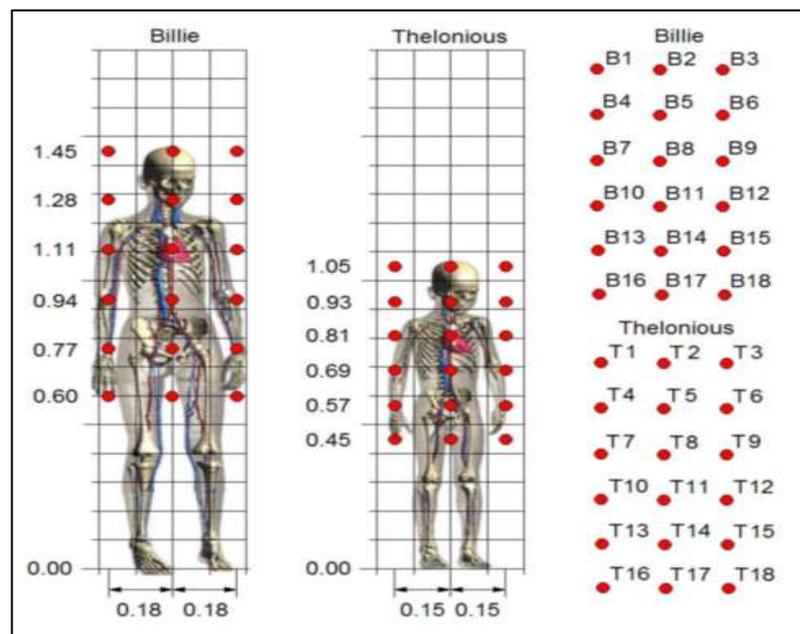


Figura 2-2: División de Puntos de los modelos de la familia virtual Billie y Thelonious

Fuente: [Web]: https://www.researchgate.net/figure/40696766_fig3_Figure-3-The-Virtual-Family-Duke-Ella-Billie-Thelonious-from-left-to-right

De la división de puntos de los modelos de la familia virtual observada en las figuras 1-2 y 2-2, se tomaron como referencia para ajustarse a un soporte de madera de distancias movibles, que pueda trasladar el equipo NARDA SRM-3000 a cada distancia de los puntos especificados en las figuras mencionadas y como se puede observar en el gráfico 1-2.



Gráfico 1-2: Soporte de madera para el equipo NARDA SRM-3000 de distancias ajustables.
Realizado por: Avilés, E.

2.2 Procedimiento de medición de la RNI en la banda GSM-1900.

Se seleccionó 10 lugares de medición en la ciudad de Riobamba que se encuentren cercanos a las antenas de telefonía móvil celular, y dentro de la zona conocida como Far-Field, donde las ondas electromagnéticas ya están conformadas y propagándose por el espectro, tal como se puede observar en la ecuación 11. (Balanis, 2005, p. 34)

$$(11) \quad FAR \ FIELD [m] = \frac{2D^2}{\lambda}$$

Donde D es la longitud de la antena y λ es la longitud de onda del servicio de telefonía móvil celular, determinándose en este caso que las mediciones se efectúen en un rango mayor a los 20 metros de separación hacia las antenas, con mejor resultado mientras más cerca la medición se efectúe sobre este límite.

Los lugares de medición se encuentran detallados en la tabla 1-2, mostrándose los valores de longitud y latitud obtenidas a partir de un GPS, y además la dirección de cada lugar en específico.

Tabla 1-2 Escenarios seleccionados para la medición de RNI en la ciudad de Riobamba.

Escenario	Coordenadas GPS		Dirección
	Longitud (O)	Latitud (S)	
1	78°40'28.6''	1°38'26.8''	Cdla. Las Acacias (casa Ing. Serrano)
2	78°40'28.2''	1°38'25.6''	Cdla. Las Acacias
3	78°40'32.5''	1°38'25.6''	Cdla. Las Acacias, calle Río Quevedo
4	78°40'28.4''	1°38'28.1''	Cdla. Las Acacias (casa Ing. Serrano)
5	78°39'16.7''	1°40'30.4''	Calles García Moreno entre Esmeraldas y Boyacá
6	78°40'33.5''	1°39'42.6''	Panamericana Sur Km 11/2, frente a la gasolinera de la ESPOCH
7	78°40'33.6''	1°39'41.7''	Panamericana Sur Km 11/2, junto a la gasolinera de la ESPOCH, estación CNT
8	78°39'49.2''	1°39'49.2''	Calles Brasil y Gonzalo Dávalos
9	78°39'15.75''	1°39'48.49''	Calles Brasil entre Junín y Gonzalo Dávalos
10	78°39'16.5''	1°40'30.6''	Calles García Moreno entre Esmeraldas y Boyacá

Realizado por: Avilés, E.

Cabe señalar que se seleccionaron lugares anteriormente escogidos para mediciones de campo eléctrico de trabajos de titulación ya propuestos, por motivos estrictamente de seguridad por el alto costo y cuidado en manejo del equipo NARDA SRM-3000 utilizado para las mediciones de RNI, así como la autorización y confianza para utilizarlo en las inmediaciones de los sitios de medición. (Tumalli, 2016, pp. 35-39)



Figura 3-2 Ubicación de los 10 Escenarios dentro la ciudad de Riobamba visualizados mediante la aplicación Google Earth

Fuente: (Google Earth). Aplicación Web.

En la figura 3-2, se observan los 10 escenarios seleccionados dentro de la ciudad de Riobamba vistos a partir de la aplicación web Google Earth, mostrándose el número de escenario y el sector de la ciudad de Riobamba donde se realizaron las mediciones de RNI para la banda GSM 1900.

En los gráficos 2-2 a 11-2 se puede observar la ubicación del equipo NARDA SRM-3000 y el soporte de madera en cada uno de los 10 escenarios para la toma de Mediciones de campo eléctrico en la cercanía a las antenas de las estaciones base de telefonía móvil celular en la banda GSM-1900 de la ciudad de Riobamba, los gráficos utilizados son del Proyecto de Investigación SIV.30, asignado en el Instituto de Investigaciones IDI de la ESPOCH.



Gráfico 2-2: Medición de RNI en el 1° escenario (Cdra. Las Acacias casa del Ing. Serrano) sacado del Proyecto de Investigación SIV.30, asignado por el IDI.
Realizado por: Avilés, E.



Gráfico 3-2: Medición de RNI en el 2° escenario (Cdra. Las Acacias) sacado del Proyecto de Investigación SIV.30, asignado por el IDI.
Realizado por: Avilés, E.



Gráfico 4-2: Medición de RNI en el 3° escenario (Cdla. Las Acacias calle Río Quevedo) sacado del Proyecto de Investigación SIV.30, asignado por el IDI.

Realizado por: Avilés, E.



Gráfico 5-2: Medición de RNI en el 4° escenario (Cdla. Las Acacias casa del Ing. Serrano) sacado del Proyecto de Investigación SIV.30, asignado por el IDI.

Realizado por: Avilés, E.



Gráfico 6-2: Medición de RNI en el 5° escenario (Calles García Moreno entre Esmeraldas y Boyacá) sacado del Proyecto de Investigación SIV.30, asignado por el IDI.
Realizado por: Avilés, E.



Gráfico 7-2: Medición de RNI en el 6° escenario (Panamericana Sur Km 11/2, frente a la gasolinera de la ESPOCH) sacado del Proyecto de Investigación SIV.30, asignado por el IDI.
Realizado por: Avilés, E.



Gráfico 8-2: Medición de RNI en el 7° escenario (Panamericana Sur Km 11/2, junto a la gasolinera de la ESPOCH) sacado del Proyecto de Investigación SIV.30, asignado por el IDI.
Realizado por: Avilés, E.



Gráfico 9-2: Medición de RNI en el 8° escenario (Calles Brasil y Gonzalo Dávalos) sacado del Proyecto de Investigación SIV.30, asignado por el IDI.
Realizado por: Avilés, E.



Gráfico 10-2: Medición de RNI en el 9° escenario (Calles Brasil entre Junín y Gonzalo Dávalos), sacado del Proyecto de Investigación SIV.30, asignado por el IDI.
Realizado por: Avilés, E.



Gráfico 11-2: Medición de RNI en el 10° escenario (Calles García Moreno entre Esmeraldas y Boyacá) sacado del Proyecto de Investigación SIV.30, asignado por el IDI.
Realizado por: Avilés, E.

Configurado y ubicado el equipo NARDA SRM-3000 en los lugares de medición, se procedió a desplazar el equipo de medición a cada distancia asignada al modelo de 18 puntos de los modelos de la familia virtual (Duke, Ella, Billie, Thelonious) por un lapso de 6 minutos de medición mediante el soporte de madera de medias ajustables, efectuándose 18 medidas de campo eléctrico máximos y 18 medidas de campo eléctrico promedios por cada uno de los 4 modelos de la familia virtual. Contabilizándose en cada escenario 144 mediciones de campo eléctrico y generando un total de 1440 mediciones de los 10 escenarios escogidos. Mediciones realizadas en lapso de tiempo total aproximado de un mes, considerándose mediciones efectuadas por 4 horas diarias.

De lo observado en los gráficos 2-2 a 11-2 el equipo NARDA SRM-3000 almacenó en su memoria interna todos los valores de campo eléctrico medidos, generando una hoja de cálculo en Microsoft Excel en el rango de frecuencias de 76 MHz a 2.6 GHz y que contiene a la banda GSM-1900 producto del presente análisis, así como un número de medición realizada, estos valores se los puede observar en la figura 4-2 siendo necesarios para la extracción de los valores medidos.

64	0.0089715	UNCHECKED	TRONCALIZA2	851000000	869000000
65	0.023514001	UNCHECKED	PORTA_A2_DOWN	869000000	870000000
66	0.078529	UNCHECKED	PORTA_A_DOWN	870000000	880000000
67	1.337200046	UNCHECKED	MOVI_B_DOWN	880000000	890000000
68	0.00912	UNCHECKED	PORTA_A1_DOWN	890000000	891500000
69	0.398479998	UNCHECKED	MOVI_B_DOWN	891500000	894000000
70	0.0028443	UNCHECKED	TRONCALIZA3	896000000	898000000
71	0.0025063	UNCHECKED	TRONCALIZA4	902000000	904000000
72	0.0023956	UNCHECKED	TRONCALIZA5	932000000	934000000
73	0.002704	UNCHECKED	TRONCALIZA6	935000000	937000000
74	0.0055393	UNCHECKED	ENLA_FM	944000000	951000000
75	0.012574	UNCHECKED	ENLA_TV	1452000000	1492000000
76	0.0059274	UNCHECKED	OTECEL_PCS_UP D	1865000000	1870000000
77	0.0058383	UNCHECKED	PORTA_PCS_UP	1885000000	1890000000
78	0.0057237	UNCHECKED	TELECSA_PCS_1UP	1890000000	1895000000
79	0.0096886	UNCHECKED	TELECSA_PCS_UP	1895000000	1910000000
80	0.541729987	UNCHECKED	MOVI_PCS_DOWN	1945000000	1950000000
81	0.014278	UNCHECKED	PORTA_PCS_DOWN	1965000000	1970000000
82	0.0059574	UNCHECKED	TELECSA_PCS_1D	1970000000	1975000000
83	0.018193999	UNCHECKED	TELECSA_PCS_DOW	1975000000	1990000000
84	0.039719999	UNCHECKED	SPREAD SPECTRUM	2400000000	2483500000
85	0.059733	UNCHECKED	TV_CODIFICADA_M	2500000000	2686000000
86					

Figura 4-2: Visualización de los valores de campo eléctrico almacenados en el equipo NARDA SRM-3000

Realizado por: Avilés, E.

2.3 Toma de valores de medida de RNI espacial en la banda GSM-1900.

En la pantalla principal del equipo NARDA SRM-3000 se registra el valor total de campo eléctrico y un número de medición que deben de ser anotados para la posterior verificación y

extracción de resultados de campo eléctrico en forma de una hoja de cálculo en Microsoft Excel, realizando el siguiente proceso de medición para la obtención de los valores de campo eléctrico:

- 1) Configurar el Equipo NARDA SRM-3000 para mediciones de campo eléctrico en la banda de frecuencias desde los 76 MHz a los 2.6 GHz, de dicho rango total de frecuencias seleccionaremos el rango de la banda GSM-1900 almacenado en la memoria de equipo medidor.
- 2) Apoyándose en el soporte de madera de medidas ajustables, se debe ubicar el equipo NARDA SRM-3000 en cada una de las distintas posiciones de los modelos de 18 puntos para los modelos de la familia virtual (Duke, Ella, Billie, Thelonious), almacenando en memoria del equipo los diferentes valores de campo eléctrico máximo y promedio cada 6 minutos.
- 3) Se debe tomar apuntes por separado de los distintos valores de campo eléctrico máximo y promedio por cada punto de cada modelo de la familia virtual y llevar registro de cada una de las mediciones efectuadas como el que se muestra en la figura 5-2.

DIRECCIÓN: Cda. Las Acacias, Casa del Ing. José Luis Serrano		Esenario No. 1		FAMILIA VIRTUAL: DUKE	
ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR: 2820 m		Altura de la base de la estructura de madera sobre el piso (tierra): 14 m		Día: Sábado	
LONGITUD: W 78° 40' 28.6"		FECHA: 01 de octubre de 2016		Distancia de la estructura de madera a la pared: 2 m	
LATITUD: S 1° 38' 26.8"		Distancia de la base de la estructura de madera a la antena transmisora: 25 m		Rango = 14 V/m	

Código Family	Altura	Ancho	Hora	Código SRM-3000	E (V/m)
D1	1.70	0.20	08:13-08:19	1023.1	15.320
D2	1.70	0.00	08:19-08:25	1024.1	15.330
D3	1.70	0.20	08:25-08:31	1025.1	15.390
D4	1.50	0.20	08:50-08:56	1029.1	14.400
D5	1.50	0.00	08:56-09:02	1030.1	14.850
D6	1.50	0.20	09:02-09:08	1031.1	14.850
D7	1.30	0.20	09:27-09:33	1035.1	14.500
D8	1.30	0.00	09:34-09:40	1036.1	12.890
D9	1.30	0.20	09:40-09:46	1037.1	9.996
D10	1.10	0.20	10:05-10:11	1041.1	9.973
D11	1.10	0.00	10:11-10:17	1042.1	8.345
D12	1.10	0.20	10:17-10:23	1043.1	6.363
D13	0.90	0.20	10:42-10:48	1047.1	7.743
D14	0.90	0.00	10:48-10:54	1048.1	7.143
D15	0.90	0.20	10:54-11:00	1049.1	5.521
D16	0.70	0.20	11:20-11:26	1053.1	4.946
D17	0.70	0.00	11:26-11:32	1054.1	7.316
D18	0.70	0.20	11:32-11:38	1055.1	6.184

Figura 5-2: Registro de las mediciones de campo eléctrico efectuadas para la extracción de valores.

Realizado por: Avilés, E.

2.4 Procedimiento de simulación de la SAR de cuerpo entero y sobre 10 gramos.

El simulador Sim4life v3.0 permite el ingreso de un valor resultante de campo eléctrico y de su representación gráfica para realizar el cálculo de la SAR en cuerpo entero y sobre 10 gramos. El valor numérico resultante de campo eléctrico se lo obtiene a través del promedio cuadrático y aritmético de los valores máximos y promedios medidos para los 10 escenarios de la ciudad de Riobamba, y gráficamente los valores de campo eléctrico resultantes se los representa en forma de vectores de campo eléctrico para cada modelo de la familia virtual.

2.4.1 Modelo de Vectores de campo eléctrico para la simulación de la SAR

La representación de los valores de campo eléctrico en forma de vectores trazados dentro del simulador Sim4life cuyas coordenadas van asignadas acogiendo estudios y publicaciones similares realizados para campos electromagnéticos y modelos anatómicos con la utilización de herramientas computacionales como SEMCAD predecesora del software Sim4life, donde se especifica la representación del campo eléctrico en forma de vectores o líneas de campo que poseen 2 configuraciones conjuntas dentro de SEMCAD. (Sven Kühn, 2009, pp. 875-876).

La primera configuración de 3 vectores horizontales incidentes al modelo computacional vistos desde el plano XY, uno incidente en línea recta y los otros dos de ellos con inclinación de 15 grados horizontal; y en la segunda configuración se visualizan 2 vectores incidentes en el plano XZ, uno horizontal incidente, que representa a los 3 vectores horizontales de la primera configuración, pero por efectos de visualización se representa como uno solo, y el segundo vector inclinado a 20 grados que representa las ondas reflejadas del piso incidentes al modelo computacional; y que conjuntamente estas 2 configuraciones se distribuyen en las partes frontales, posteriores, lateral izquierdo, lateral derecho, superior e inferior de los modelos humanos virtuales, es decir estos vectores de campo eléctrico se ubican en cada uno de los 6 perfiles de dichos modelos. (Sven Kühn, 2009, pp. 879-881)

En la figura 6-2, se puede observar la representación de las dos configuraciones conjuntas y de las variables de cálculo de los vectores de campo eléctrico utilizadas, en los estudios mencionados no se detallan la dimensión de los vectores de campo eléctrico, ni tampoco su separación en torno a los modelos humanos virtuales dentro del entorno de simulación del software SEMCAD, para lo cual después la realización de varias simulaciones en Sim4life se propone una dimensión de los vectores correspondiente a $\lambda/2$ de longitud de onda dependiente a la frecuencia media de la

banda GSM-1900 y con una ubicación de los vectores separados a una distancia de $\lambda/32$ de los modelos de la familia virtual distribuidos en cada uno de sus 6 perfiles.

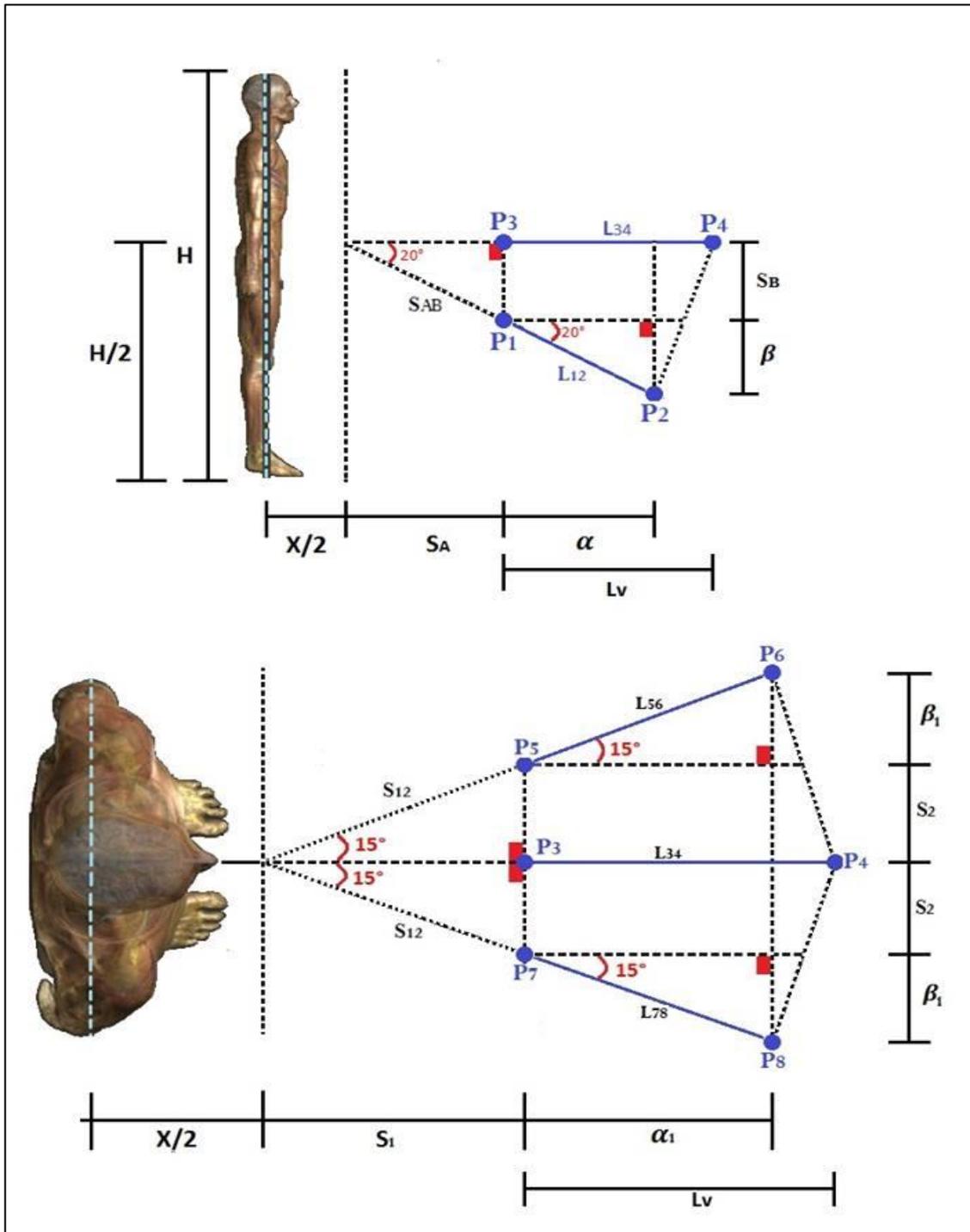


Figura 6-2: Separación y longitud de los Vectores de campo eléctrico

Realizado por: Avilés, E.

Las variables que se pueden observar en la figura 6-2, son asignadas para el cálculo de las coordenadas de inserción de cada vector de campo eléctrico dentro del software Sim4life y se denotan de la siguiente manera:

λ = longitud de onda.

C = velocidad de la luz.

f = frecuencia.

H = altura del modelo.

x = dimensión del modelo en el eje x.

L_v = Longitud de los vectores.

Sep = separación del modelo hacia los vectores.

Donde se calcula el valor de las variables para la ubicación de los vectores en coordenadas cuadrangulares en el software Sim4life mediante:

$$(12) \quad \lambda = \frac{c}{f}$$

$$(13) \quad L_v = L_{12} = L_{34} = L_{56} = L_{78}$$

$$(14) \quad Sep = S_1 = S_a$$

$$(15) \quad S_2 = S_1 \tan(15^\circ)$$

$$(16) \quad S_b = S_a \tan(20^\circ)$$

$$(17) \quad \alpha = L_v \cos(20^\circ)$$

$$(18) \quad \beta = L_v \sen(20^\circ)$$

$$(19) \quad \alpha_1 = L_v \cos(15^\circ)$$

$$(20) \quad \beta_1 = L_v \sen(15^\circ)$$

Las ecuaciones: (12) se utiliza para el cálculo de la longitud de onda, (13) para la longitud de los vectores, (14) para la separación de los modelos virtuales hacia los vectores, (15) y (16) para las separaciones entre vectores, (17) para la longitud de la componente horizontal del vector con inclinación de 20° , (18) para la longitud de la componente vertical del vector con inclinación de 20° , (19) para la longitud de la componente horizontal del vector horizontal a 15° , y (20) para la longitud de la componente vertical del vector horizontal a 15° .

La tabla 2-2 está diseñada a partir de los valores de las variables encontradas en las ecuaciones (12) a (20), determinándose los puntos de coordenadas rectangulares que conformaran los 4 vectores de campo eléctrico a representarse en el software Sim4life, tomando en cuenta que el

procedimiento será el mismo para cada uno de los 6 perfiles de cada modelo de la familia virtual, con variaciones únicamente dadas por las dimensiones propias de los modelos Duke, Ella, Billie, Thelonious.

Tabla 2-2: Coordenadas rectangulares de los vectores de campo eléctrico.

	Coordenada eje X	Coordenada eje Y	Coordenada eje Z
Punto 1	$\frac{x}{2} + S_a$	0	$\frac{H}{2} - S_b$
Punto 2	$\frac{x}{2} + S_a + \alpha$	0	$\frac{H}{2} - S_b - \beta$
Punto 3	$\frac{x}{2} + S_a$	0	$\frac{H}{2}$
Punto 4	$\frac{x}{2} + S_a + L_{34}$	0	$\frac{H}{2}$
Punto 5	$\frac{x}{2} + S_1$	S_2	$\frac{H}{2}$
Punto 6	$\frac{x}{2} + S_1 + \alpha_1$	$S_2 + \beta_1$	$\frac{H}{2}$
Punto 7	$\frac{x}{2} + S_1$	$-S_2$	$\frac{H}{2}$
Punto 8	$\frac{x}{2} + S_1 + \alpha_1$	$-(S_2 + \beta_1)$	$\frac{H}{2}$

Realizado por: Avilés, E.

2.4.2 Utilización del software Sim4life v3.0

El acceso al software Sim4life v3.0 se realiza mediante licencia adquirida a sus desarrolladores, que permite el uso de las diferentes opciones de simulación presentadas en el mercado, como el entorno EM-FDTD que se encarga de hacer posible las simulaciones de campos electromagnéticos habilitándose el acceso a la interfaz gráfica del software de la figura 7-2.



Figura 7-2: Interfaz gráfica del software Sim4life v3.0

Fuente: (Zurich MedTech, 2017), Software Sim4life v3.0.

Esta herramienta computacional, para llevar a cabo las distintas simulaciones de campo electromagnético y obtener resultados de la SAR en forma visual y numérica, posee 3 importantes ajustes de simulación: el ajuste de configuración model (Modelamiento) permite ingresar diferentes modelos de la familia virtual y además mediante las diferentes opciones de la barra de herramientas del software, como tools (herramientas) se puede representar elementos lineares en forma de vectores de campo eléctrico, tal como se puede observar en la figura 8-2.

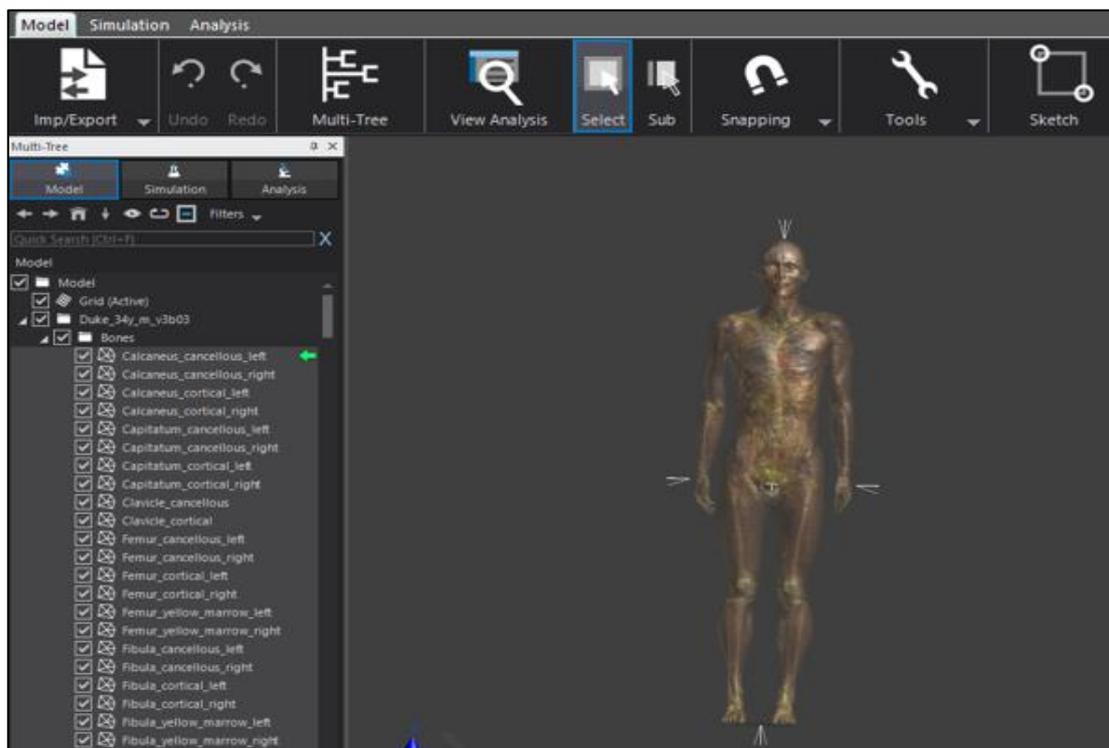


Figura 4-2: Ajustes de modelamiento dentro del software Sim4life v3.0

Fuente: (Zurich MedTech, 2017), Software Sim4life v3.0.

En el apartado de configuración Simulation (Simulación) se inserta las diferentes opciones del medio propio a simularse tales como: frecuencia, el valor de campo eléctrico obtenido de los modelos genéricos de cada modelo de la familia virtual, tal como se puede observar en la barra Explorer (Explorador) en la figura 9-2.

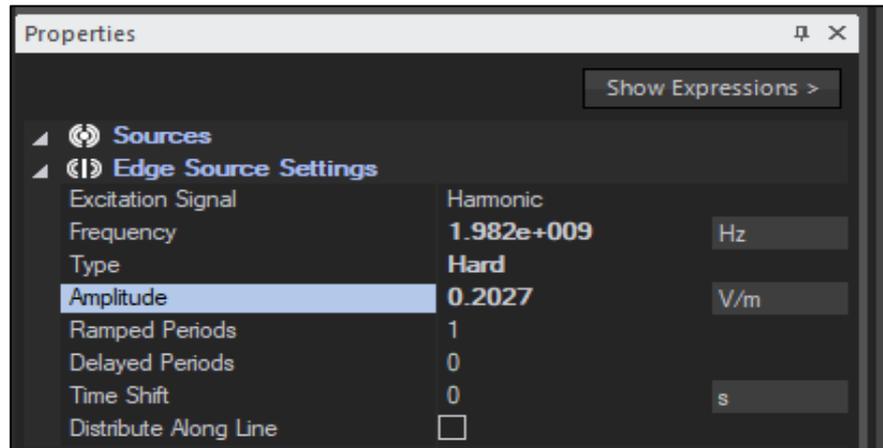


Figura 9-2: Ajustes de configuración de simulación para frecuencia y valor de campo eléctrico en sim4life

Fuente: (Zurich MedTech, 2017), Software Sim4life v3.0.

Además en el apartado de simulación se deben configurar opciones adicionales como: Boundary Conditions (Condiciones de frontera) para alta absorción, Grid (enmallado) y Voxels (encajonado) de manera por defecto, y Solver (solucionador) tipo CUDA para procesamiento en paralelo utilizando las propiedades computacionales de las tarjetas gráficas para altos rendimientos, tal como se muestra en la figura 10-2.

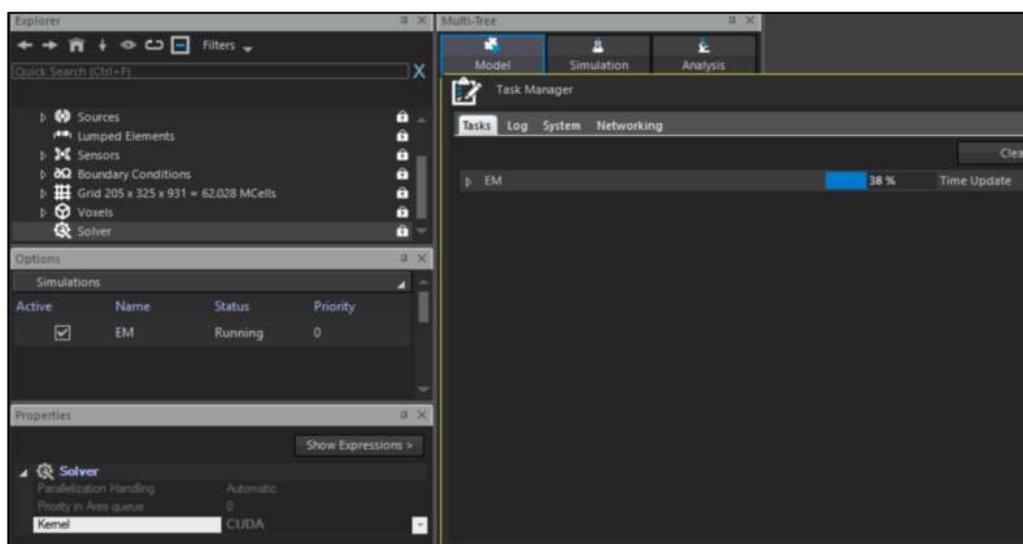


Figura 5-2: Ejecución de la simulación dentro del software Sim4life v3.0

Fuente: (Zurich MedTech, 2017), Software Sim4life v3.0.

Terminadas las simulaciones y para observar los resultados de la SAR de cuerpo entero y sobre 10 gramos del cuerpo, se debe dirigir a la pestaña del apartado de Analysis (Análisis) de la barra de herramientas del software Sim4life v3.0, esta opción es una herramienta visualizadora de resultados de la SAR en forma gráfica y también en forma de tabla de datos. Los resultados para cuerpo entero se muestran a partir la opción Dosimetry (Dosímetro) utilizando una tabla de datos en la opción SAR Statistics (Estadísticas de la SAR) y la opción grafica psSAR (SAR Pico Espacial) para la SAR sobre 10 gramos del cuerpo en cabeza, tronco, brazos y piernas. Estas opciones de análisis se pueden observar en figura 11-2.

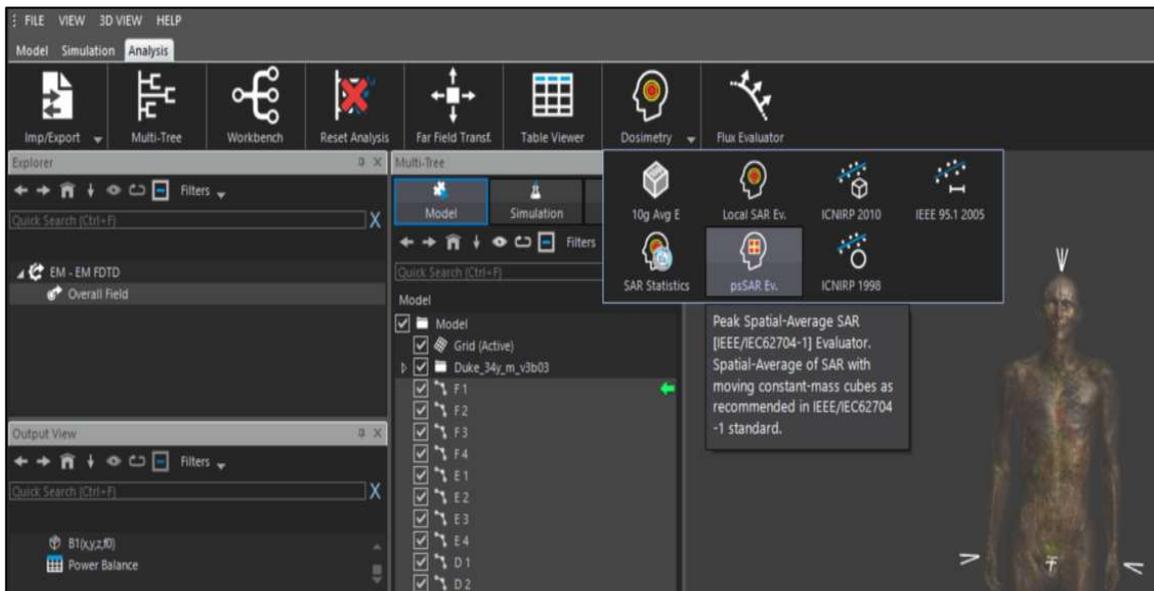


Figura 11-2: Opciones de análisis para visualizar resultados de SAR de cuerpo entero y sobre 10 gramos de cuerpo

Fuente: (Zurich MedTech, 2017), Software Sim4life v3.0.

La herramienta psSAR evaluator para valores de la SAR en 10 gramos para cabeza, tronco y extremidades presentará en una placa de colores de dos dimensiones las diferentes zonas de incidencia energética mediante un cubo que representa los 10 gramos y que puede desplazarse por toda la anatomía que compone cada modelo de la familia virtual. Los resultados de la SAR en 10 gramos presentados por el simulador son específicamente gráficos.

Cabe destacar que para la utilización del simulador Sim4life v3.0 y su óptimo funcionamiento, fue necesario realizar las simulaciones bajo un ordenador con altas capacidades de procesamiento de información y un alto rendimiento gráfico, con las siguientes características: Tarjeta gráfica NVIDIA GTX-1080, procesamiento CUDA de 2560 núcleos, 48 GB de Memoria RAM y 1TB en Disco Duro.

2.5 Diseño del Modelo Computacional para la obtención de la SAR de cuerpo entero y sobre 10 gramos.

Un modelo computacional obtiene las propiedades físicas de un sistema real utilizando expresiones matemáticas implementadas en un programa desarrollado a partir de un lenguaje de programación específico. (Grupo GIDAI, pp. 3-5)

El modelo computacional implementado en el presente trabajo de titulación permite al usuario mediante la plataforma software Visual Studio 2015 Community determinar la SAR para cuerpo entero y sobre 10 gramos para un número N de mediciones de campo eléctrico ingresadas. Haciendo una comparativa con los límites establecidos por ICNIRP mediante aproximaciones porcentuales a valores reales medidos para la determinación de la SAR.

2.5.1 *Requerimientos en el diseño del Modelo Computacional*

Los elementos necesarios para la implementación del modelo computacional que determine la SAR fueron los siguientes:

- 1) Valores resultantes de campo eléctrico máximo y promedio medidos en los 10 diferentes escenarios de la ciudad de Riobamba para servicios de telefonía móvil celular en la banda GSM-1900.
- 2) Escenarios Genéricos resultantes del promedio aritmético de los valores máximos de campo eléctrico y del promedio medio cuadrático de los valores de campo eléctrico promedio.
- 3) Valores de la SAR simulados en el software Sim4life v3.0 a partir de los valores de los Escenarios Genéricos Resultantes.
- 4) Valores genéricos de campos eléctricos de orden N obtenidos de las expresiones matemáticas del promedio aritmético y promedio medio cuadrático.
- 5) Comparación porcentual de los valores genéricos de campo eléctrico simulados en Sim4life con los valores genéricos de orden N, para la obtención de la SAR aproximada mediante la Función Lineal de Campo Eléctrico y SAR.
- 6) Límites de ICNIRP que permitan comparar los valores resultantes de la SAR para un número N de mediciones de campo eléctrico con lo establecido en las normativas internacionales sobre RNI. Para ser expresada dicha comparativa de manera porcentual y sobre una escala de colores.

2.5.2 Determinación de la Función lineal del Modelo Computacional para el Campo Eléctrico y SAR.

Mediante el simulador Sim4life v3.0 a la frecuencia de 1982 MHz y bajo las mismas condiciones de simulación (Modelo Duke con los 6 vectores de campo eléctrico), se determinó que el comportamiento que presenta la SAR es en forma de una Función Lineal para rango de valores de campo eléctrico que se muestra en el gráfico 12-2.

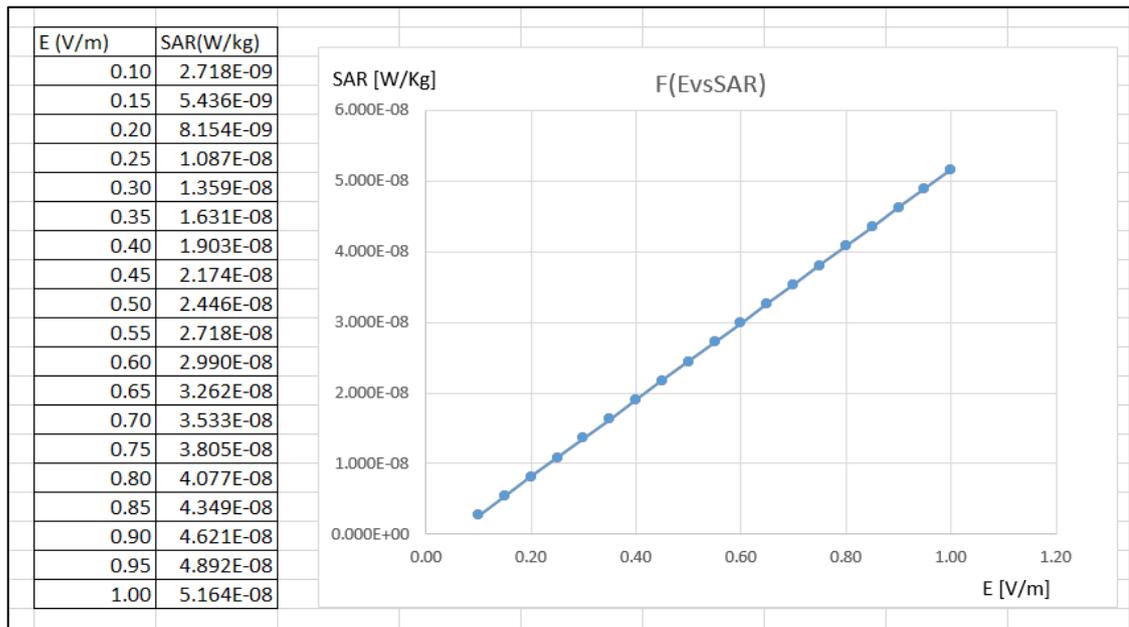


Gráfico 12-2: Linealidad de la función de Campo Eléctrico y SAR dentro del simulador Sim4life
Realizado por: Avilés, E.

La linealidad en la función Campo Eléctrico y SAR permite deducir que el Modelo Computacional se basa en una comparación porcentual y aproximaciones matemáticas lineales para obtener los valores de la SAR a partir de valores de campo eléctrico genéricos de orden N.

Cabe destacar que los valores resultantes de la SAR de la aplicación implementada tendrán un mayor porcentaje de error mientras más se alejen las simulaciones de campo eléctrico del rango propuesto, con una función de campo eléctrico y SAR de otras formas matemáticas a determinarse posteriormente.

2.5.3 Diagrama de Flujo del Modelo Computacional

Para expresar los resultados de la SAR de cuerpo entero y 10 gramos sobre Visual Studio 2015 Community, se siguió un lineamiento básico como se puede observar en la gráfica 13-2, gracias a que la plataforma permite el desarrollo de códigos con orientación a objetos, haciendo fácil el uso de formas gráficas de presentación de resultados bajo un entorno Windows, utilizándose

herramientas como: “textbox” para ingresos de valores de campo eléctrico, “datagridview” como tablas para el cálculo de los modelos genéricos resultantes de campo eléctrico, “label” y “button” para la presentación de los valores resultantes asociados con líneas de código.

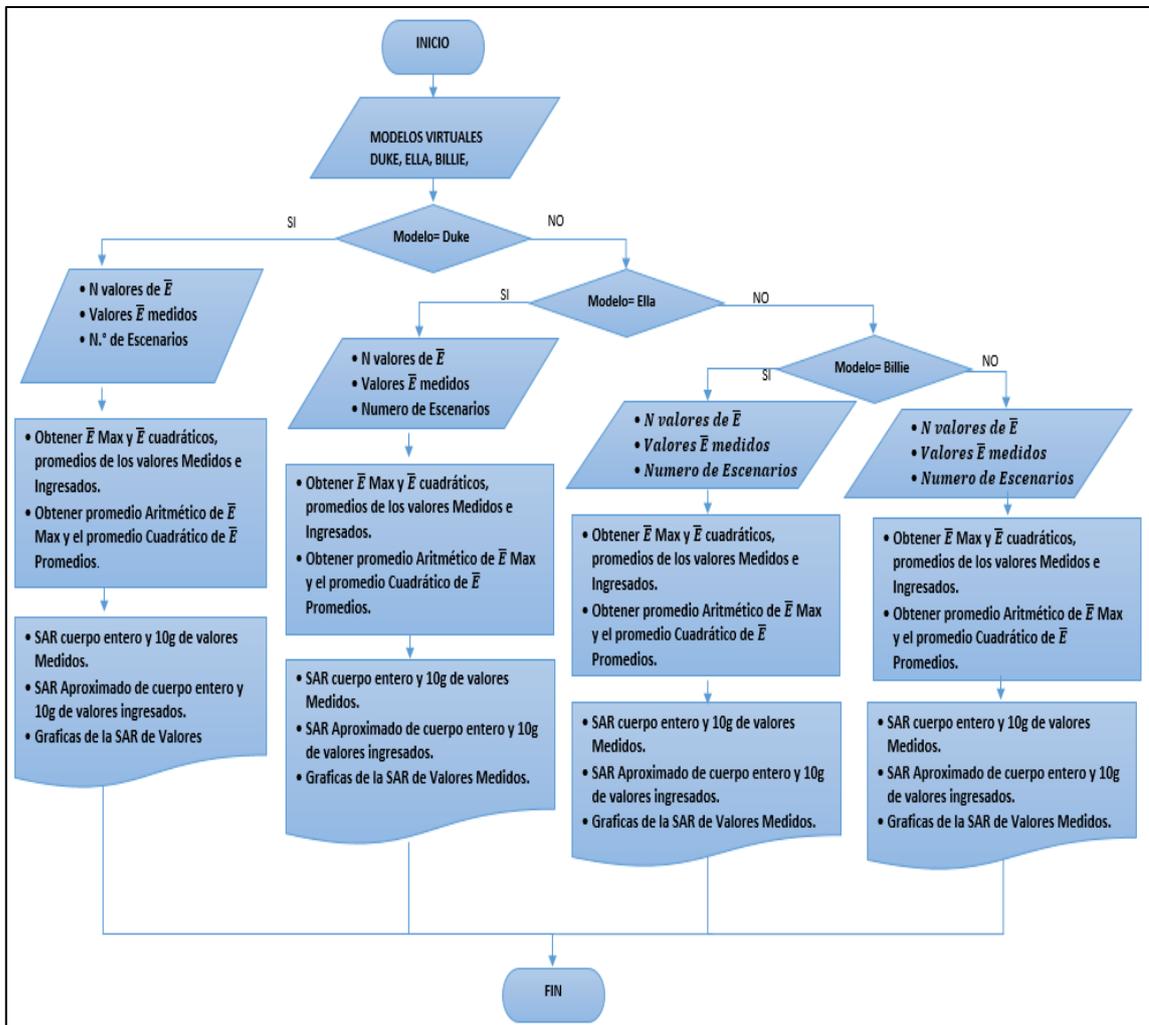


Gráfico 13-2: Diagrama de Flujo del modelo computacional para la presentar SAR en cuerpo entero y sobre 10 gramos

Realizado por: Avilés, E.

El diagrama de flujo del gráfico 13-2, implementado para el desarrollo del modelo computacional, se puede expresar como la siguiente secuencia de pasos:

- Se solicita al usuario el ingreso de un N número de escenarios posibles de mediciones de campo eléctrico y que mediante “datagridviews” en forma de tablas obtiene un modelo genérico de orden N.
- En la programación de la aplicación del modelo computacional constan los datos resultantes de las simulaciones de la SAR efectuadas en Sim4life v3.0 a partir de los valores de campo eléctrico medidos.

- El nuevo modelo genérico se compara con los resultados ingresados en línea de código para obtener una aproximación de la SAR de los diferentes modelos de la familia virtual, tanto para cuerpo entero así como en 10 gramos de cabeza, tronco y extremidades a partir de la Función Lineal de Campo Eléctrico y SAR.
- Como resultados se muestran: Los valores medidos de campo eléctrico y la SAR simulada en forma numérica y gráfica. Los valores en orden N de campo eléctrico y la SAR aproximada con representación numérica, comparada bajo los límites de ICNIRP.

CAPÍTULO III

3 MARCO DE RESULTADOS

En este capítulo se extrajeron los valores de campo eléctrico medidos, simulándose en Sim4life los valores genéricos obtenidos mediante el promedio aritmético y cuadrático. Utilizados como base en el desarrollo del modelo computacional para obtener los valores de la SAR en cuerpo entero y sobre 10 gramos para un número N cualesquiera de mediciones ingresadas por el usuario.

3.1 Resultados de campo eléctrico máximo y promedio.

Los valores de campo eléctrico medidos se agrupan en 10 tablas de valores máximos por cada escenario de medición para los modelos de 18 puntos de la familia virtual, y de igual forma se generan 10 tablas de valores promedios. Estos valores se organizan en un total de 20 tablas expresadas de forma similar a la que se muestra en la tabla 1-3 para valores máximos de campo eléctrico del escenario 1.

Tabla 1-3: Medición de campo eléctrico máximo en el escenario 1.

Punto	E máximo en Duke [V/m]	E máximo en Ella [V/m]	E máximo en Billie [V/m]	E máximo en Thelonious [V/m]
1	0.1039	0.1072	0.1468	0.2384
2	0.1439	0.1769	0.1189	0.1608
3	0.1599	0.1920	0.1653	0.2498
4	0.1215	0.1071	0.1423	0.1810
5	0.1800	0.2195	0.1169	0.2743
6	0.1800	0.1575	0.1913	0.3203
7	0.1408	0.1595	0.1307	0.2150
8	0.1252	0.1341	0.1386	0.2312
9	0.1420	0.2242	0.2121	0.3261
10	0.1807	0.2837	0.1708	0.1971
11	0.1431	0.1556	0.1598	0.1703
12	0.2065	0.2576	0.2637	0.1692
13	0.1955	0.1784	0.1315	0.1494
14	0.2073	0.1203	0.2198	0.2090
15	0.1682	0.2677	0.1263	0.1940
16	0.0986	0.1916	0.1985	0.0004
17	0.2201	0.0918	0.2170	0.1259
18	0.1608	0.1947	0.1770	0.1128

Realizado por: Avilés, E.

3.1.1 Escenarios Genéricos de los modelos de la familia virtual

Se considera como Escenario Genérico a la obtención de los valores de campo eléctrico resultantes a partir de la utilización de expresiones matemáticas (media aritmética y media cuadrática) sobre los valores de las mediciones realizadas y que representan un promedio simplificado de dichos valores.

Luego de la agrupación de los valores de las mediciones de campo eléctrico máximo en 10 tablas, se procede al cálculo de los valores máximos entre los 18 puntos de cada tabla de los modelos de la familia virtual, conformándose así una tabla similar a la tabla 2-3.

Tabla 2-3: Valores máximos de campo eléctrico máximo de los 10 escenarios.

Escenario	E máximo de Duke [V/m]	E máximo de Ella [V/m]	E máximo de Billie [V/m]	E máximo de Thelonious [V/m]
1	0.2201	0.2837	0.2637	0.3261
2	0.1123	0.1476	0.1487	0.1015
3	0.6895	0.5843	0.8732	0.5344
4	0.1265	0.1429	0.1514	0.1270
5	0.1654	0.1781	0.1890	0.1377
6	0.3738	0.3378	0.3164	0.2566
7	0.0435	0.0403	0.0413	0.0361
8	0.0417	0.0477	0.0561	0.0487
9	0.0329	0.0340	0.2530	0.0371
10	0.2213	0.2596	0.2771	0.1882

Realizado por: Avilés, E.

De forma similar, después de obtenidas las 10 tablas de valores de las mediciones de campo eléctrico promedios, se procede al cálculo de los valores de la media cuadrática (raíz cuadrada del promedio aritmético de los cuadrados de los valores) de las mediciones de campo eléctrico promedios de cada uno de los 10 escenarios medidos en los 18 puntos de los modelos de la familia virtual, conformándose así una tabla similar a la tabla 3-3 y utilizándose la expresión (28) de la media cuadrática.

$$(28) \quad Mc_{18} = \sqrt{\frac{(x_1)^2 + (x_2)^2 + \dots + (x_{18})^2}{18}}$$

Donde:

Mc_{18} es el valor medio cuadrático de los 18 puntos medidos, $x_{1...18}$ representan cada valor de campo eléctrico promedio medido, y 18 representa el número total de mediciones tomadas para el cálculo mediante la división de puntos propuesta para cada modelo de la familia virtual. (Pajares y Tomeo, 2014, p. 2)

Tabla 3-1: Media cuadrática de los valores de campo eléctrico promedio de los 10 escenarios.

Escenario	E promedio de Duke [V/m]	E promedio de Ella [V/m]	E promedio de Billie [V/m]	E promedio de Thelonious [V/m]
1	0.0959	0.1137	0.1032	0.1249
2	0.0419	0.0512	0.0524	0.0407
3	0.1975	0.2988	0.2159	0.1435
4	0.0413	0.0449	0.0493	0.0453
5	0.0755	0.0776	0.0837	0.0670
6	0.1494	0.1580	0.1440	0.1177
7	0.0222	0.0205	0.0205	0.0200
8	0.0260	0.0251	0.0303	0.0270
9	0.0196	0.0197	0.0235	0.0237
10	0.1051	0.0988	0.0961	0.0959

Realizado por: Avilés, E.

Obteniéndose los valores máximos de campo eléctrico máximo y los valores de la media cuadrática de campo eléctrico promedio de las tablas 2-3 y 3-3, se debe realizar el cálculo de la media aritmética utilizando la expresión (29) para valores de campo eléctrico máximo y el cálculo de la media cuadrática utilizando la expresión (30) para valores de campo eléctrico promedio, para obtener los escenarios genéricos resultantes máximos y promedios de los modelos de la familia virtual (Duke, Ella, Billie, Thelonious), tal como se muestra en la tabla 4-3 para valores máximos de campo eléctrico y en la tabla 5-3 para los valores promedio.

$$(29) \quad Ma_{10} = \sum_{i=1}^{10} \frac{x_i}{10}$$

Donde:

Ma_{10} es el valor medio aritmético de los 10 escenarios, x_i representa cada valor de campo eléctrico máximo obtenido, y 10 representa el número total de escenarios tomadas para el cálculo. (Pajares y Tomeo, 2014, p. 2)

Tabla 4-3: Valores Genéricos resultantes de campo eléctrico máximo.

Modelo de la familia virtual	Valor genérico de campo eléctrico máximo [V/m]	Porcentaje con respecto a límites de INCIRP (%)
Duke	0.2027	0.3323
Ella	0.2056	0.3371
Billie	0.2570	0.4213
Thelonious	0.1793	0.2939

Realizado por: Avilés, E.

$$(30) \quad Mc_{10} = \sqrt{\frac{(x_1)^2 + (x_2)^2 + \dots + (x_{10})^2}{10}}$$

Donde: Mc_{10} es el valor medio cuadrático de los 10 escenarios medidos, $x_{1...10}$ representan cada valor de campo eléctrico promedio obtenidos a partir de los 10 escenarios, y 10 representa el número total de escenarios tomados para el cálculo. (Pajares y Tomeo, 2014, p. 2)

Tabla 3-2 Valores Genéricos resultantes de campo eléctrico promedio.

Modelo de la familia virtual	Valor genérico de campo eléctrico promedio [V/m]	Porcentaje con respecto a límites de INCIRP (%)
Duke	0.0961	0.1575
Ella	0.1221	0.2001
Billie	0.1006	0.1649
Thelonious	0.0831	0.1362

Realizado por: Avilés, E.

En las tablas 4-3 y 5-3 se puede observar que los valores genéricos obtenidos de campo eléctrico máximos y promedios están por debajo del 1% del límite propuesto por ICNIRP equivalente a 61 [V/m].

3.1.2 SAR de cuerpo entero y sobre 10 gramos para cabeza, tronco y extremidades

Después de obtenerse los valores genéricos de campo eléctrico de las tablas 4-3 y 5-3 para la banda GSM-1900, se los ingresa en el software Sim4life en los ajustes de configuración de simulación, y que conjuntamente con los diferentes modelos de la familia virtual (Duke, Ella, Billie, Thelonious) y con el modelo de vectores de campo eléctrico insertados en los apartados de modelamiento del software, permiten la obtención de la SAR de cuerpo entero y sobre 10 gramos. Presentándose mediante el apartado de análisis de Sim4life la máxima concentración de SAR de cuerpo entero en forma de tablas de datos similares a la de la figura 1-3.

	▲ Max Loss Power Density ▼	Min. local SAR ▼	Mass-Averaged SAR ▼	Max. local SAR ▼
	W/m ³	W/kg	W/kg	W/kg
Adrenal_gland (Ella_26y_f_v3b03)	1.223e-007	2.541e-012	3.505e-011	1.190e-010
Air_internal (Ella_26y_f_v3b03)	0	0	0	0
All Regions	1.342e-005	0	1.292e-010	1.210e-008
Artery (Ella_26y_f_v3b03)	4.838e-006	7.528e-014	8.278e-011	4.608e-009
Background	0	0	0	0
Bladder_wall (Ella_26y_f_v3b03)	1.140e-007	2.064e-013	9.181e-012	1.050e-010
Breast (Ella_26y_f_v3b03)	1.435e-007	4.591e-013	4.042e-011	1.575e-010
Bronchus_lumen (Ella_26y_f_v3b03)	0	0	0	0
Bronchus_wall (Ella_26y_f_v3b03)	3.680e-008	1.445e-013	4.432e-012	3.341e-011
Calcaneus_cancellous_left (Ella_26y_f_v3b03/Bones)	1.450e-006	3.737e-011	4.261e-010	1.230e-009

Showing 1 to 10 of 305 entries Previous **1** 2

Figura 1-3: Máxima concentración de SAR del modelo Duke para valores de campo eléctrico máximo en forma de tabla de datos

Fuente: (Zurich MedTech, 2017), Software Sim4life v3.0.

En la figura 2-3 se puede observar la representación gráfica de la máxima concentración de la SAR en cuerpo entero para el modelo Ella, localizada en la región baja del abdomen y que se marca en la paleta de colores, donde la zona genital es la de máxima incidencia de SAR para este modelo de la familia virtual, de forma similar se realiza el mismo procedimiento para los modelos de la familia virtual Duke, Billie y Thelonious.

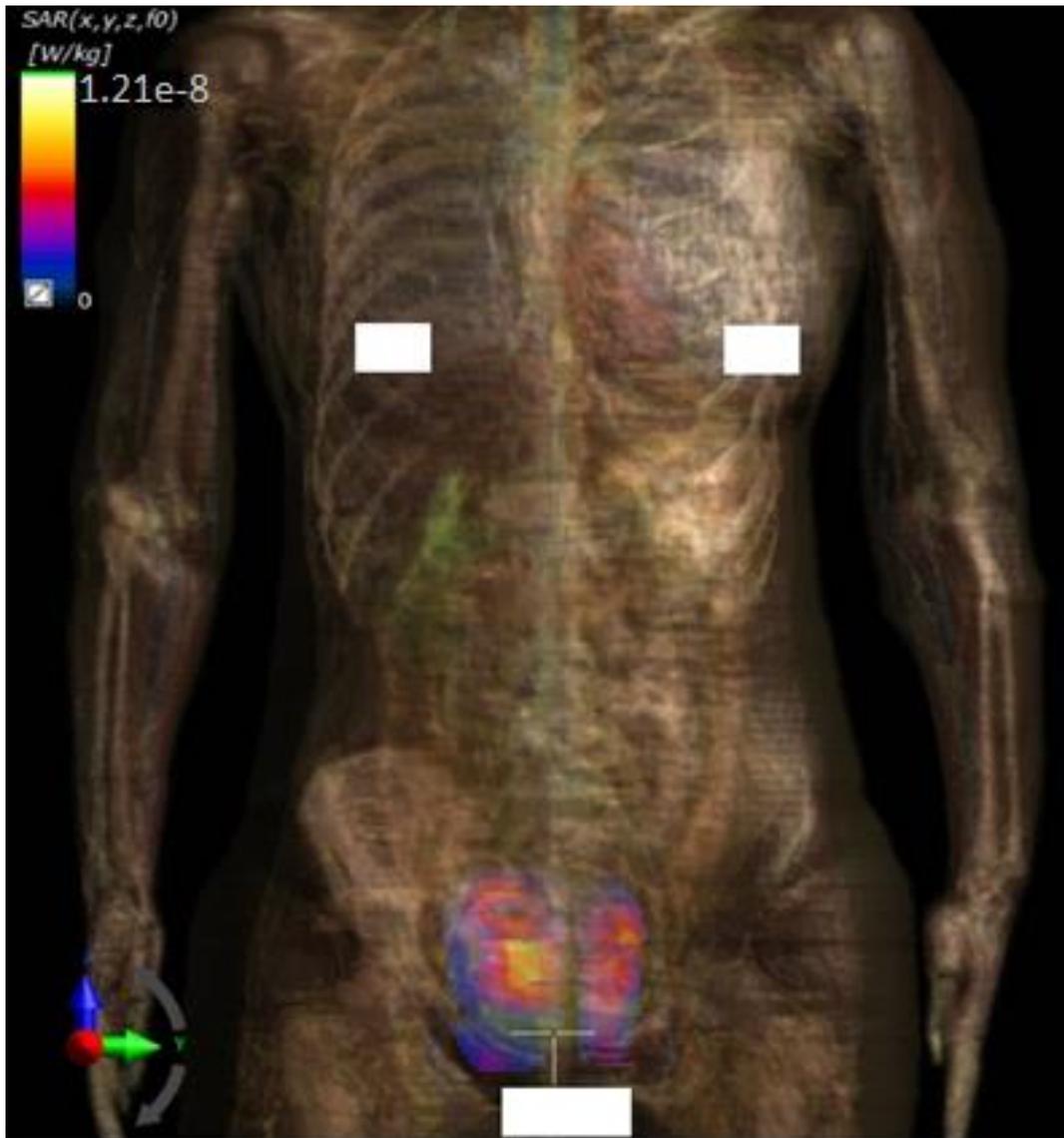


Figura 2-3: Máxima concentración de SAR en cuerpo entero para el modelo Ella para valores de campo eléctrico máximo

Fuente: (Zurich MedTech, 2017), Software Sim4life v3.0.

El software Sim4life a partir de las simulaciones de cuerpo entero de la SAR, mediante la herramienta de análisis psSAR Evaluator (Evaluador de la SAR Espacial Pico), permite visualizar las zonas de mayor concentración de la SAR en 10 gramos con la representación de un cubo ubicado en cabeza, tronco, brazos y piernas de cada modelo de la familia virtual.

En la figura 3-3 se puede observar la representación gráfica de la concentración de la SAR de 10 gramos en la cabeza para el modelo Ella, localizada en la región superior del cráneo y encerrada por un cubo que representa los 10 gramos de análisis denotada de un color naranja de incidencia de la SAR por debajo de la máxima intensidad, de forma similar se realiza el mismo procedimiento para tronco, brazos y piernas de los modelos de la familia virtual Duke, Billie y Thelonious.

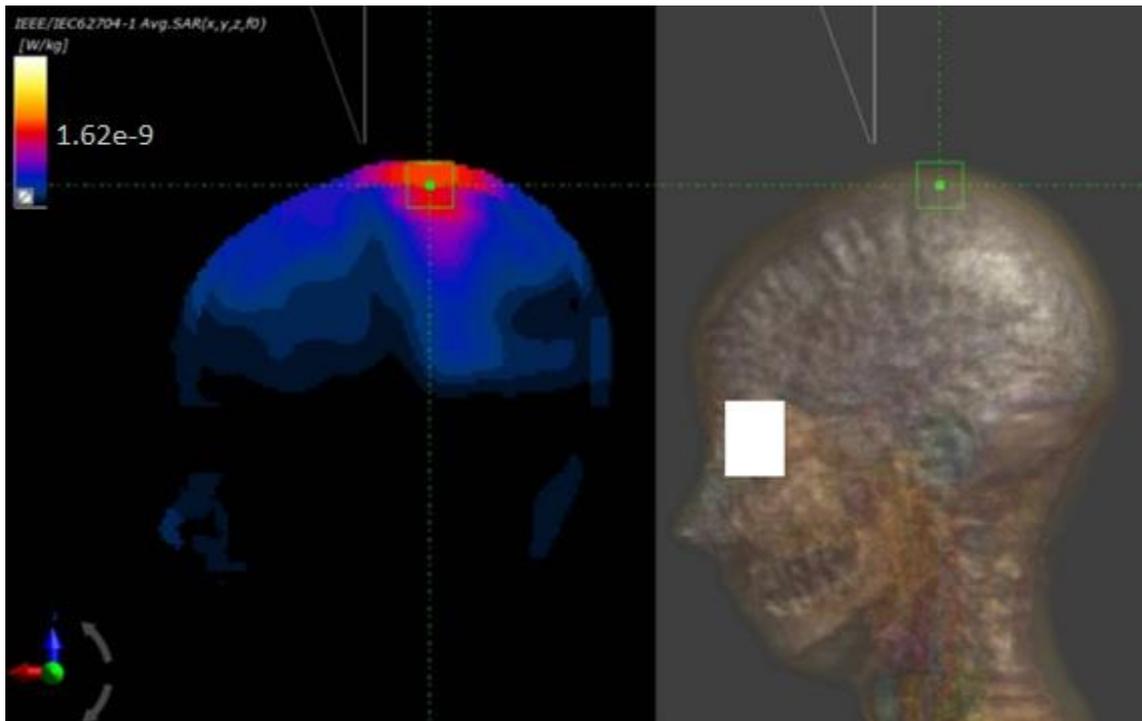


Figura 3-1: Distribución de la SAR en 10 gramos de la cabeza del modelo Ella.

Fuente: (Zurich MedTech, 2017), Software Sim4life v3.0.

Los valores de los niveles de absorción debido a la exposición RNI en la banda GSM-1900 se representan en [W/Kg] para los valores de las tabla 6-3 como resultado de la SAR en las simulaciones de cuerpo entero y las tablas 7-3 y 8-3 como resultado de la SAR sobre 10 gramos de cabeza, tronco, y extremidades en campo eléctrico máximo y promedio.

Tabla 6-3: SAR en campo eléctrico máximo y promedio de los modelos de la familia virtual.

Modelo de la familia virtual	SAR máxima en cuerpo entero [W/Kg]	Porcentaje con respecto a límites de INCIRP (%)	SAR promedio en cuerpo entero [W/Kg]	Porcentaje con respecto a límites de INCIRP (%)
Duke	2.162×10^{-8}	2.702×10^{-5}	4.859×10^{-9}	6.074×10^{-6}
Ella	1.210×10^{-8}	1.512×10^{-5}	4.31×10^{-9}	5.388×10^{-6}
Billie	2.382×10^{-7}	2.978×10^{-4}	3.649×10^{-8}	4.561×10^{-5}
Thelonious	3.61×10^{-8}	4.513×10^{-5}	7.755×10^{-9}	9.694×10^{-6}

Realizado por: Avilés, E.

En la tabla 6-3 se puede observar que los valores de la SAR de cuerpo entero máxima y promedio de los modelos de la familia virtual obtenidos en simulaciones están por debajo del 1% del límite propuesto por ICNIRP equivalente a 0.08 [W/Kg].

Tabla 7-3: SAR sobre 10 gramos en cabeza, tronco, brazos y piernas para campos eléctricos máximos.

MODELO DE LA FAMILIA VIRTUAL	SAR máxima en 10 gramos			
	Cabeza [W/Kg]	Tronco [W/Kg]	Brazos [W/Kg]	Piernas [W/Kg]
DUKE	2.96×10^{-9}	2.69×10^{-9}	7.40×10^{-9}	4.65×10^{-9}
Porcentaje respecto a ICNIRP Duke (%)	7.40×10^{-8}	6.725×10^{-8}	3.70×10^{-7}	2.325×10^{-7}
ELLA	1.62×10^{-9}	2.03×10^{-9}	1.70×10^{-9}	1.45×10^{-9}
Porcentaje respecto a ICNIRP Ella (%)	4.050×10^{-8}	5.075×10^{-8}	8.50×10^{-8}	7.250×10^{-8}
BILLIE	4.52×10^{-9}	1.64×10^{-9}	2.64×10^{-9}	4.99×10^{-9}
Porcentaje respecto a ICNIRP Billie (%)	1.13×10^{-7}	4.10×10^{-8}	1.320×10^{-8}	2.495×10^{-7}
THELONIOUS	2.71×10^{-9}	1.09×10^{-9}	5.28×10^{-9}	1.88×10^{-9}
Porcentaje respecto a ICNIRP Thelonious (%)	6.775×10^{-8}	2.725×10^{-8}	2.640×10^{-7}	9.40×10^{-8}

Realizado por: Avilés, E.

En la tabla 7-3 se puede observar que los valores de la SAR máxima en 10 gramos para cabeza, tronco, brazos y piernas obtenidas en simulaciones de los modelos de la familia virtual, están por debajo del 1% del límite propuesto por ICNIRP equivalente a 4 [W/Kg] para cabeza y tronco, y 2 [W/Kg] para brazos y piernas.

Tabla 8-3: SAR sobre 10 gramos en cabeza, tronco, brazos y piernas para campos eléctricos promedios.

MODELO DE LA FAMILIA VIRTUAL	SAR promedio en 10 gramos			
	Cabeza [W/Kg]	Tronco [W/Kg]	Brazos [W/Kg]	Piernas [W/Kg]
DUKE	6.65×10^{-10}	5.94×10^{-10}	1.66×10^{-9}	1.09×10^{-9}
Porcentaje respecto a ICNIRP Duke (%)	1.663×10^{-8}	1.485×10^{-8}	8.30×10^{-8}	5.450×10^{-8}
ELLA	3.99×10^{-10}	7.17×10^{-10}	5.99×10^{-10}	5.07×10^{-10}
Porcentaje respecto a ICNIRP Ella (%)	9.975×10^{-8}	1.793×10^{-8}	2.995×10^{-8}	2.535×10^{-8}
BILLIE	6.88×10^{-10}	2.64×10^{-10}	3.66×10^{-10}	7.64×10^{-10}
Porcentaje respecto a ICNIRP Billie (%)	1.720×10^{-8}	6.60×10^{-9}	1.830×10^{-8}	3.820×10^{-8}
THELONIOUS	6.23×10^{-10}	2.27×10^{-10}	1.13×10^{-9}	3.97×10^{-10}
Porcentaje respecto a ICNIRP Thelonious (%)	1.558×10^{-8}	5.675×10^{-9}	5.650×10^{-8}	1.985×10^{-8}

Realizado por: Avilés, E.

En la tabla 8-3 se puede observar que los valores de la SAR promedio en 10 gramos para cabeza, tronco, brazos y piernas obtenidas en simulaciones de los modelos de la familia virtual, están por debajo del 1% del límite propuesto por ICNIRP equivalente a 4 [W/Kg] para cabeza y tronco, y 2 [W/Kg] para brazos y piernas.

3.2 Interfaz del Modelo Computacional para la obtención de la SAR de cuerpo entero y sobre 10 gramos.

El modelo computacional desarrollado en la plataforma Visual Studio 2015 Community, permite una mejor gestión de los datos obtenidos a partir de las mediciones efectuadas y de ingresos realizados por el usuario, mediante una interfaz gráfica con acceso a botones, tablas y cuadros de texto.

En la figura 4-3 se puede observar la pantalla inicial del modelo computacional, visualizándose el nombre de la aplicación correspondiente al tema del presente trabajo de titulación, y el botón “siguiente” para acceder al interior de la aplicación.



Figura 4-3: Pantalla de Inicio del Modelo Computacional

Realizado por: Avilés, E.

Al dar click en el botón “SIGUIENTE”, se despliega una nueva ventana donde se permite escoger de cual modelo de la familia virtual (Duke, Ella, Billie, Thelonious) se desea visualizar los valores de la SAR de cuerpo entero y 10 gramos, tal como se muestra en la figura 5-3.

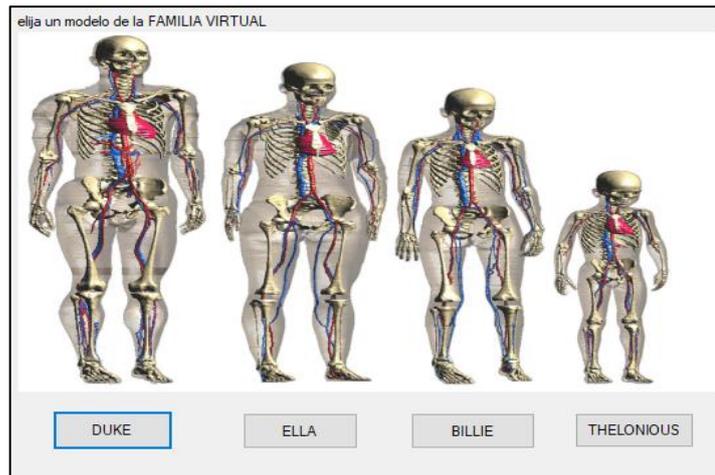


Figura 5-3: Ventana de elección de los modelos de la familia virtual
Realizado por: Avilés, E.

Al seleccionar cualquier modelo de la familia virtual se despliega una nueva ventana, que permite visualizar los valores numéricos de modelo genérico de campo eléctrico máximo y campo eléctrico promedio, y los valores numéricos correspondientes a los resultados de la SAR de cuerpo entero y sobre 10 gramos en cabeza, tronco, brazos y piernas en la banda GSM-1900 en la ciudad de Riobamba, además de la opción de realizar el ingreso de valores de campo eléctrico por el usuario.

En la figura 6-3 se puede observar la presentación de los datos obtenidos del campo eléctrico máximo y promedio, y de la simulación de la SAR para el modelo de la familia virtual Thelonious.



Figura 6-3: Ventanas de resultados numéricos para la SAR de cuerpo entero y sobre 10 gramos del modelo Thelonious.
Realizado por: Avilés, E.

Mediante la opción “graficar” de las ventanas de resultados, el Modelo Computacional permite visualizar las gráficas de los modelos de la familia virtual con los vectores de campo eléctrico y además de la representación gráfica de la SAR máxima para cuerpo entero, como se puede observar en la figura 7-3; y también visualizar las gráficas y valores simulados en Sin4life para 10 gramos de cabeza, tronco, brazos y piernas mostradas en las figuras 8-3 a 11-3 para el modelo Thelonious.

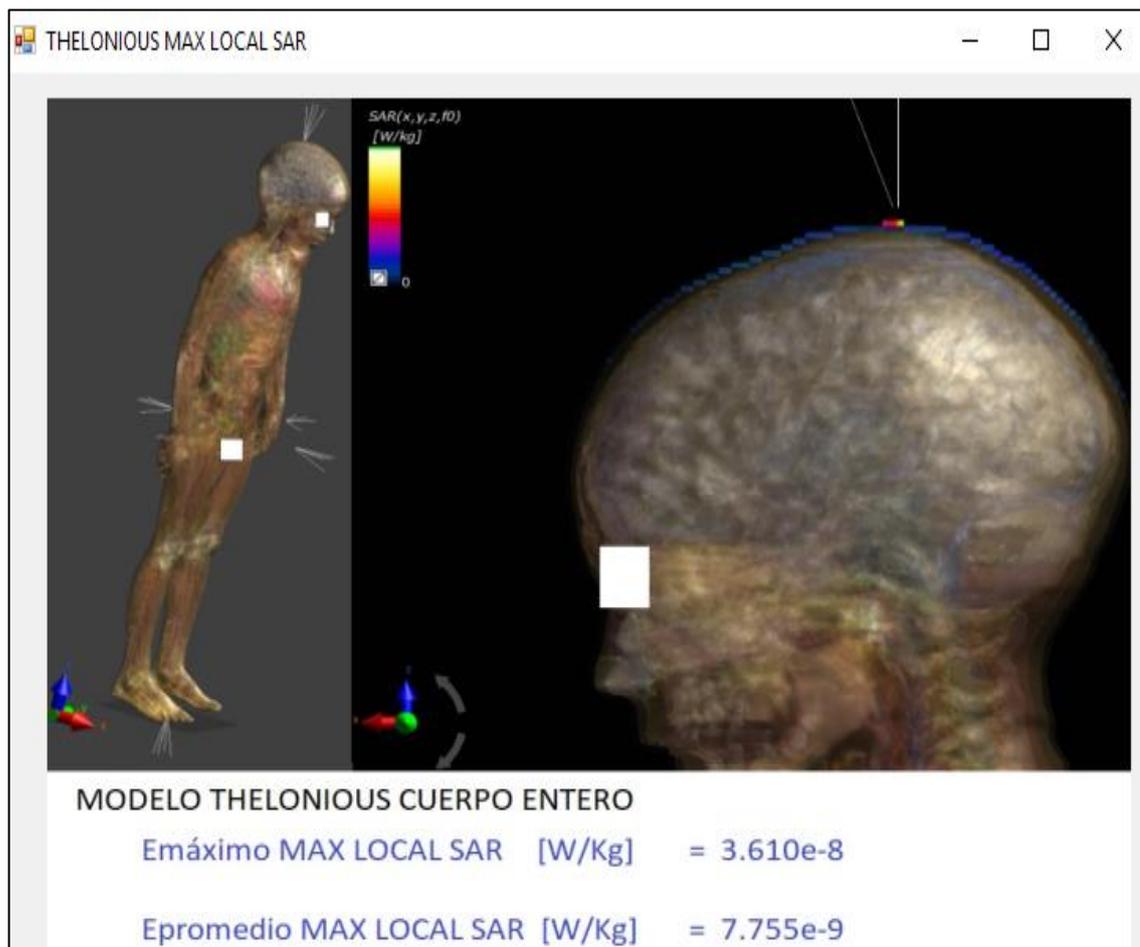


Figura 7-3: Ventana de resultados gráficos para la SAR máxima en cuerpo entero del modelo Thelonious.

Fuente: (Zurich MedTech, 2017), Software Sim4life v3.0.

En la figura 7-3 se puede observar la representación gráfica de la máxima concentración de la SAR en cuerpo entero para el modelo Thelonious a partir del modelo computacional en Visual Studio 2015 Community y las simulaciones del software Sim4life, SAR localizada en la región superior de la cabeza mostrada por la mayor intensidad de la paleta de colores.

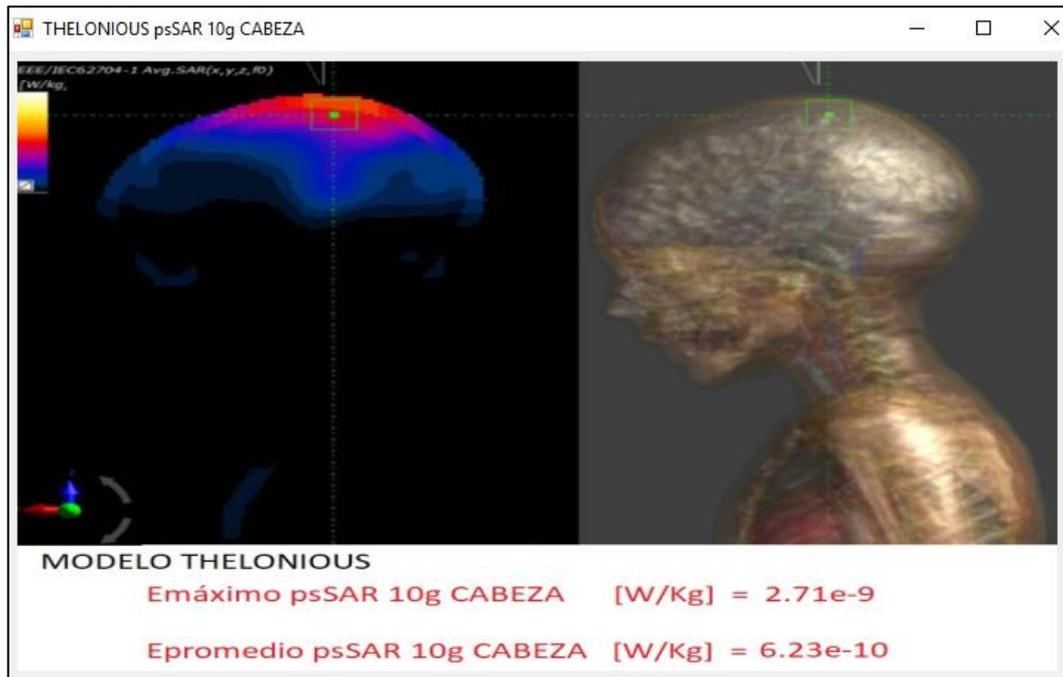


Figura 8-3: Ventana de resultados gráficos para la SAR 10 gramos en la cabeza del modelo Thelonious.

Fuente: (Zurich MedTech, 2017), Software Sim4life v3.0.

En la figura 8-3 se puede observar la representación gráfica de la concentración de la SAR de 10 gramos en la cabeza para el modelo Thelonious, localizada en la región superior del cráneo y encerrada por un cubo que representa los 10 gramos de análisis denotada de un color naranja de incidencia de la SAR que está por debajo de la máxima intensidad.

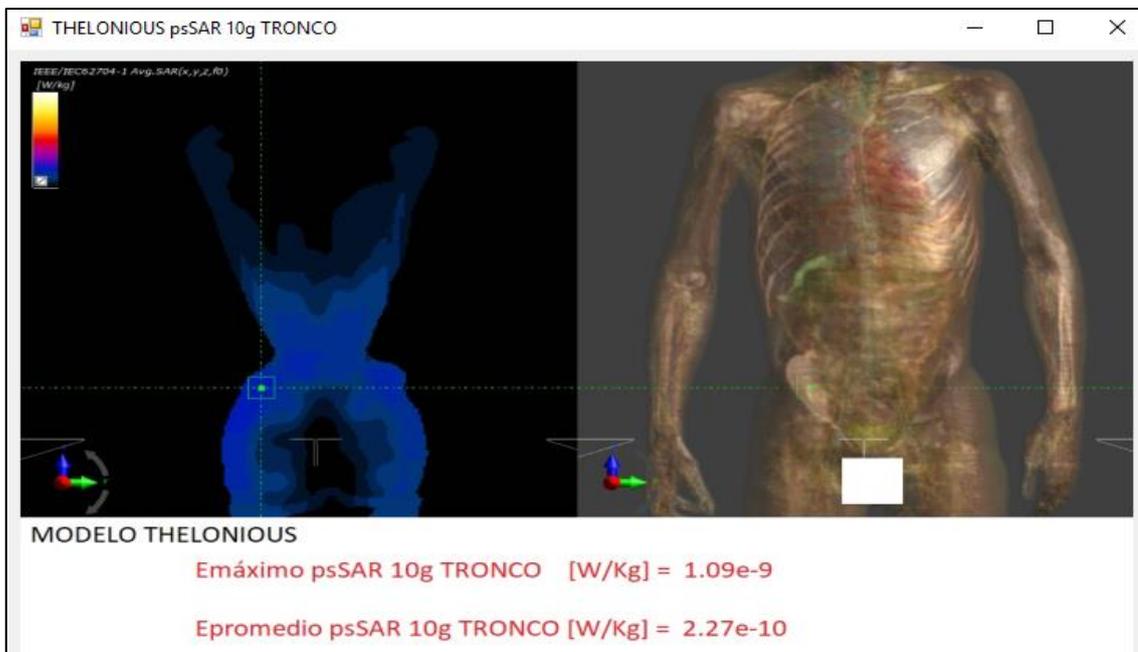


Figura 9-3: Ventana de resultados gráficos para la SAR 10 gramos en el tronco del modelo Thelonious.

Fuente: (Zurich MedTech, 2017), Software Sim4life v3.0.

En la figura 9-3 se puede observar la representación gráfica de la concentración de la SAR de 10 gramos en el tronco para el modelo Thelonious, localizada en la región de la cadera y encerrada por un cubo que representa los 10 gramos de análisis denotada de un color azul de incidencia de la SAR que está por debajo de la máxima intensidad

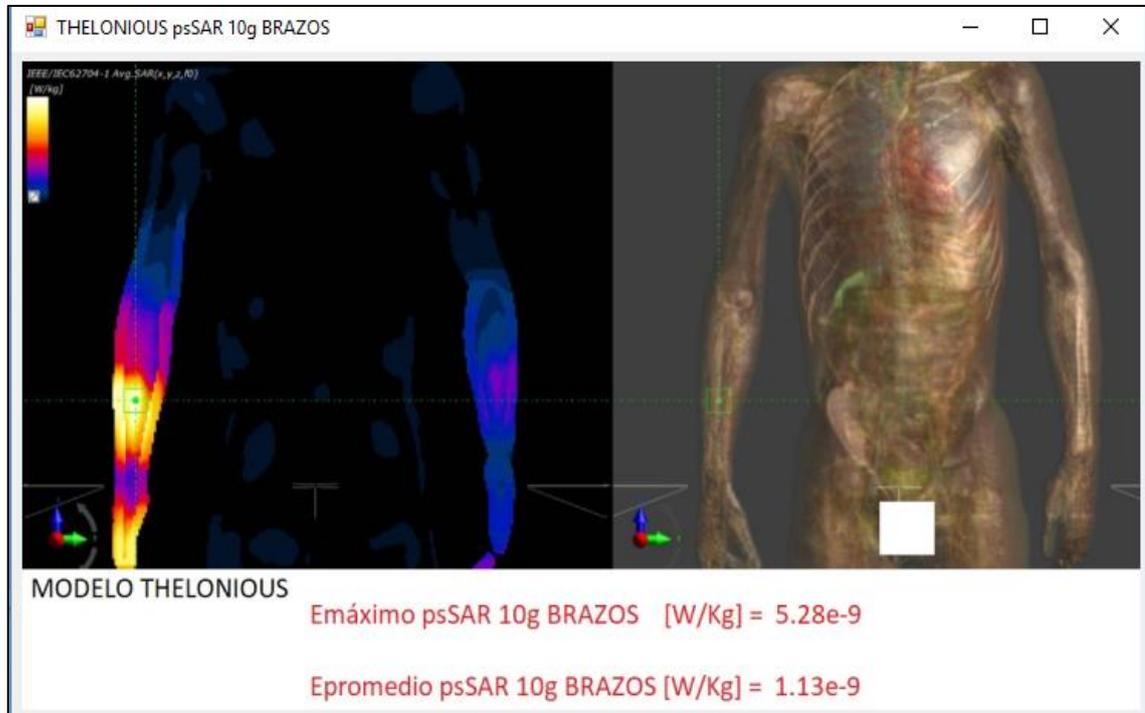


Figura 10-3: Ventana de resultados gráficos para la SAR 10 gramos en los brazos del modelo Thelonious.

Fuente: (Zurich MedTech, 2017), Software Sim4life v3.0.

En la figura 10-3 se puede observar la representación gráfica de la concentración de la SAR de 10 gramos en los brazos para el modelo Thelonious, localizada en la región del antebrazo y encerrada por un cubo que representa los 10 gramos de análisis denotada por el color máximo de incidencia de la SAR



Figura 11-3: Ventana de resultados gráficos para la SAR 10 gramos en las piernas de modelo Thelonious.

Fuente: (Zurich MedTech, 2017), Software Sim4life v3.0.

En la figura 11-3 se puede observar la representación gráfica de la concentración de la SAR de 10 gramos en la cabeza para el modelo Thelonious, localizada en la región superior del cráneo y encerrada por un cubo que representa los 10 gramos de análisis denotada de un color naranja de incidencia de la SAR que está por debajo de la máxima intensidad.

La opción de ingreso de datos del modelo computacional, permite que el usuario obtenga la SAR de cuerpo entero y sobre 10 gramos en cabeza, tronco, brazos y piernas, mediante N medidas de campo eléctrico en los 18 puntos de los modelos de la familia virtual, obteniéndose modelos genéricos de campo eléctrico máximo y promedio de orden N, calculándose a partir de estos modelos generados los valores resultantes de la SAR y una escala comparativa porcentual con los valores propuestos de ICNIRP siendo “BAJOS” los comprendidos en un rango menor al 30%, “MEDIOS” los comprendidos en un rango del 30% al 70% y “ALTOS” los comprendidos en un rango mayor al 70%.

Figura 12-3: Ingreso de valores de campo eléctrico al modelo Thelonious y cálculo de la SAR. Realizado por: Avilés, E.

En la figura 12-3 se puede observar el ingreso de 15 mediciones de campo eléctrico con valores cercanos a los medidos en la realidad (campos eléctricos menores a 1 [V/m]) para cada uno de los 18 puntos del modelo Thelonious, generándose los modelos genéricos de campo eléctrico máximo y promedio de orden 15, y el cálculo de la SAR para cuerpo entero y sobre 10 gramos obteniéndose que dichos valores porcentuales están por debajo del 1% de los valores límites establecidos por ICNIRP representado como un indicador de nivel de SAR “BAJO”.

3.3 Comparación de Resultados del Modelo Computacional con la Normativa Internacional sobre RNI.

Los valores resultantes de la SAR para cuerpo entero y sobre 10 gramos producto de la mediciones efectuadas en los 10 escenarios de la ciudad de Riobamba, y que sirven como base para el desarrollo del modelo computacional de orden N de mediciones, representan menos del 1% de los valores límites propuestos por ICNIRP, observados en las tablas 6-3 a 8-3.

En el modelo computacional al ingresarse valores de campo eléctrico cercanos a los medidos determina valores de la SAR menores al 1% (en el orden de los 10^{-9} [W/Kg]) de los valores límites de ICNIRP de representación “BAJA” como lo observado en la figura anterior.

Figura 13-3: Modelo computacional con valores de campo eléctrico cercanos a los límites de ICNIRP y cálculo de la SAR.

Realizado por: Avilés, E.

Si en el modelo computacional se ingresan valores de campo eléctrico cercanos a los límites de ICNIRP igual a 61 [V/m] que representan el 100% y valores “ALTOS” de campo, se obtendrán valores de la SAR también “BAJOS” (en el orden de los 10^{-7} [W/Kg]) menores al 1% de ICNIRP, como se puede observar en la figura 13-3.

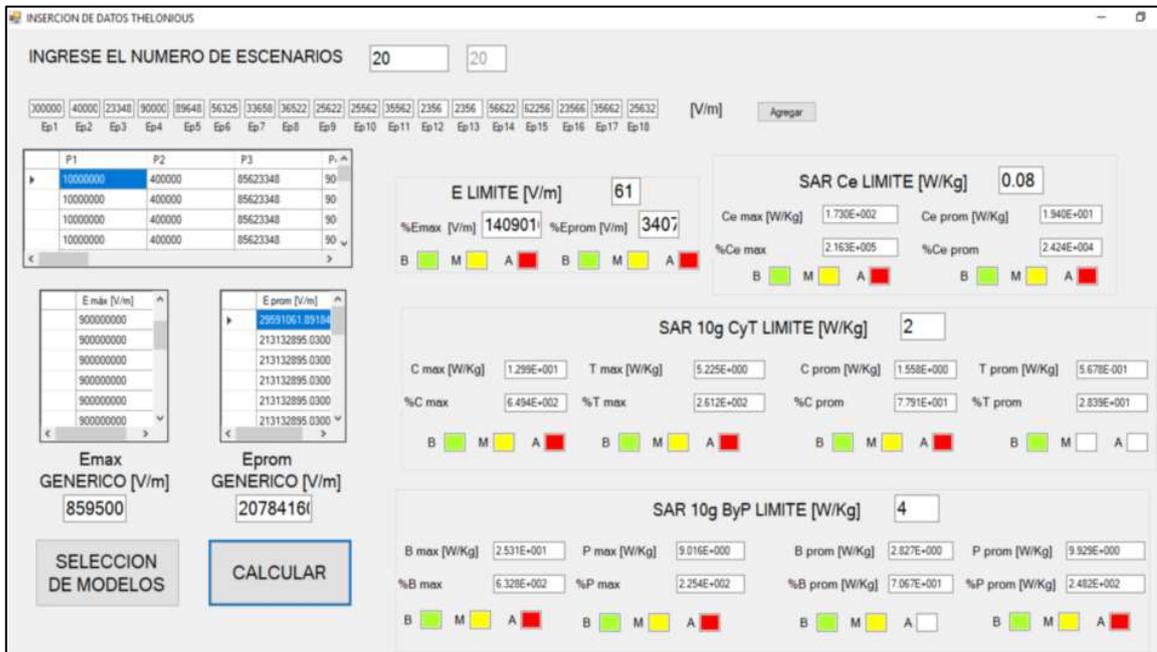


Figura 14-3: Modelo computacional con valores de campo eléctrico mayores a los límites de ICNIRP y cálculo de la SAR.
Realizado por: Avilés, E.

Para la obtención de valores “MEDIOS” y “ALTOS” de la SAR para cuerpo entero y sobre 10 gramos, se deben ingresar al modelo computacional valores de campo eléctrico mayores a los límites de ICNIRP (en el orden de los 10^{+5} [W/Kg]) y que en la realidad no se generan en las emisiones electromagnéticas de los servicios de telecomunicaciones, como se puede observar en la figura 14-3.

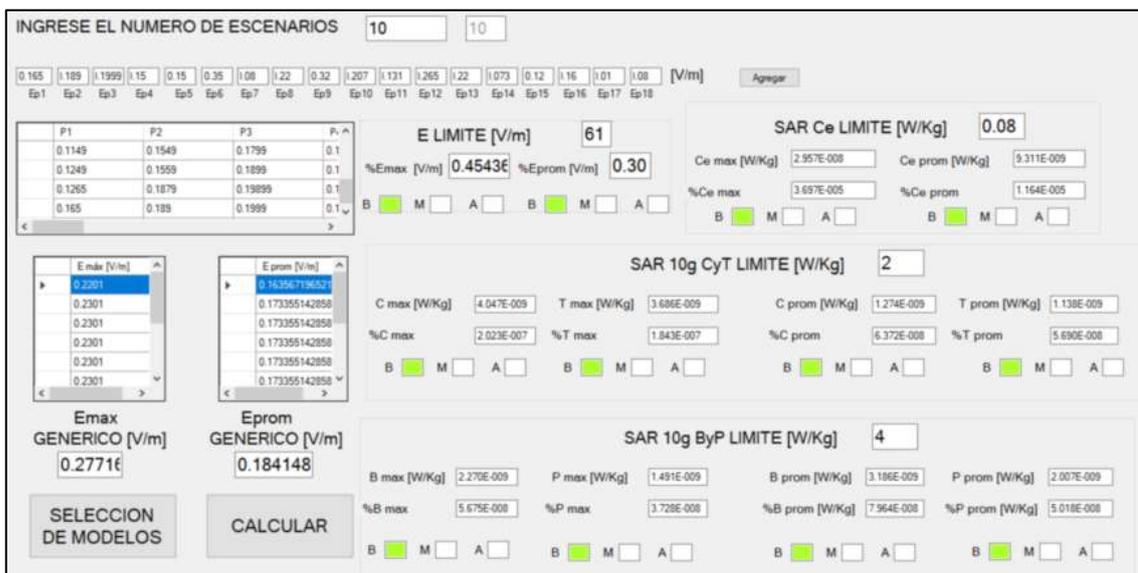


Figura 15-3 Modelo computacional con valores de campo eléctrico medidos con el equipo NARDA SRM-3000.
Realizado por: Avilés, E.

Como se observa en la figura 15-3, que si se ingresan en el modelo computacional los valores de campo eléctrico medidos por el equipo NARDA SRM-3000, se obtienen valores de la SAR “BAJOS” (en el orden entre los 10^{-8} y 10^{-9} [W/Kg]) siendo menores a 1% de ICNIRP.

Modelo de la familia virtual	SAR máxima en cuerpo entero [W/Kg]	SAR Ce LIMITE [W/Kg] 0.08
Duke	2.162×10^{-8}	Ce max [W/Kg] 2.957E-008
		%Ce max 3.697E-005
		B <input checked="" type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/>
valor de duke tabla 3.6		valor de duke en el modelo computacional

Figura 16-3 Comparación de la SAR obtenida entre el Modelo computacional y los valores de campo eléctrico medidos/simulados.

Realizado por: Avilés, E.

Comparando los valores de la SAR medidos/simulados (2.162×10^{-8} [W/Kg]) y los valores obtenidos a través del Modelo Computacional (2.957×10^{-8} [W/Kg]) como se puede observar en la figura 16-3, se determina que dichos valores no difieren entre sí teniendo un error de $\pm 7.95 \times 10^{-7}$ [W/Kg]. Por lo tanto se demuestra que el Modelo Computacional implementado es muy eficiente obteniendo la SAR de los modelos de la familia virtual con un porcentaje de error por debajo del 1%.

CONCLUSIONES

1. Se realizaron mediciones de campo eléctrico máximo y promedio en la banda GSM-1900 en la ciudad de Riobamba, y se obtuvieron valores genéricos promedio de campo para los diferentes modelos de la familia virtual (Duke, Ella, Billie, Thelonious), determinándose que la intensidad de Campo Eléctrico representa menos del 1% de los límites establecidos por los organismos ICNIRP y UIT para la protección de la Radiación no Ionizante (RNI).
2. Al realizarse simulaciones de la SAR en Sim4life v3.0 con los valores de campo eléctrico genéricos máximos y promedios obtenidos a partir de mediciones, se verificó que el nivel de absorción específica para la banda GSM-1900 en la ciudad de Riobamba representa menos del 1% por debajo de la normativa de ICNIRP sobre exposiciones a RNI.
3. Para la obtención de la SAR sobre 10 gramos del cuerpo en cabeza, tronco, y extremidades mediante Sim4life v3.0, se utilizó la herramienta psSAR (SAR Pico Espacial), mostrándose las zonas de mayor nivel de absorción en forma gráfica, y medidas con un cubo cuyas dimensiones representan 10 gramos; donde los valores de la SAR para 10 gramos representan menos del 1% de los límites de las Normativas de ICNIRP.
4. Se desarrolló el Modelo Computacional mediante el software Visual Studio 2015 Community, que permite el ingreso de N número de mediciones de Campo Eléctrico visualizando los valores de la SAR en cuerpo entero y sobre 10 gramos de la banda GSM-1900 a partir de las mediciones de campos eléctricos realizadas en la ciudad de Riobamba.
5. Se logró implementar el Modelo Computacional a partir de la determinación de la Función Lineal de Comportamiento del Campo Eléctrico y SAR permitiendo el cálculo de la SAR mediante aproximaciones matemáticas lineales y porcentuales para distintos valores de Campo Eléctrico ingresados por el usuario.
6. Se determinó que el Modelo Computacional implementado es eficiente con un margen de error de la SAR resultante por debajo del 1%, después de comparar los valores de la SAR simulados en Sim4life con los valores de la SAR obtenidos a partir del modelo computacional.
7. Utilizándose el modelo computacional se determinó que: al ingresarse valores de campo eléctrico cercanos a los medidos, la SAR es menor al 1% (en el orden de los 10^{-10} [W/Kg]) de los valores límites de ICNIRP con un nivel “BAJO” de intensidad. Al ingresarse valores “ALTOS” de campo eléctrico cercanos a los límites de ICNIRP igual

a 61 [V/m] que representan el 100%, se obtendrán valores de la SAR también “BAJOS” (en el orden de los 10^{-7} [W/Kg]) menores al 1% de ICNIRP. Para obtener valores “MEDIOS” y “ALTOS” de SAR para cuerpo entero y sobre 10 gramos, se deben ingresar valores de campo eléctrico mayores a los límites de ICNIRP (en el orden de los 10^{+5} [W/Kg]) y que no se generan en las emisiones de los servicios de telecomunicaciones.

RECOMENDACIONES

1. Es recomendable que el modelo computacional permita el ingreso de nuevos valores de mediciones de campo eléctrico con sus respectivas simulaciones de la SAR, dotándole al modelo computacional de un menor porcentaje de error en las comparaciones matemáticas lineales y una mayor precisión en el cálculo de la SAR.
2. Se recomienda incorporar al modelo computacional una herramienta software de gestión de tablas de datos como SQL Server, que permita el almacenamiento de los valores obtenidos a partir del modelo computacional y la aplicación de operaciones matemáticas así como comparaciones para estudios posteriores.
3. Es recomendable que al modelo computacional se le pueda añadir opciones como la de representar gráficamente en forma de una función matemática los valores obtenidos de la SAR y permita al usuario una mejor interpretación de los valores ingresados.
4. Se recomienda la aplicación del modelo computacional sobre un modelo de la población virtual que represente el promedio poblacional de la ciudad de Riobamba, teniéndose así valores de la SAR de mayor precisión dentro de nuestra localidad.
5. Se puede recomendar ampliar el estudio de la SAR con relación a posibles patologías asociadas en la ciudad de Riobamba, fusionándose así 2 ramas de la ciencia como la salud y el electromagnetismo, pudiendo expandir el modelo computacional a determinar posibles afectaciones en futuros estudios.
6. Es recomendable la implementación gráfica sobre los modelos anatómicos de la familia virtual de los resultados de la SAR obtenidos con la utilización del modelo computacional desarrollado, evitando la dependencia del software Sim4life V3.0 de difícil adquisición para el cálculo y visualización de la SAR en el ser humano.

GLOSARIO

BANDA DE FRECUENCIAS: agrupación de frecuencias en un rango específico, que en su conjunto poseen ciertas características en común.

CAMPO ELECTROMAGNÉTICO: interacción entre los campos eléctricos y magnéticos que se propagan en forma ortogonal en una dirección determinada.

GSM: Tecnología de comunicación móvil celular creada con el objetivo del intercambio de información de forma inalámbrica, utilizando celdas celulares que interconectan distintos lugares en una sola red de comunicación.

HERCIOS (Hz): Unidad de medida de la frecuencia determinada por la cantidad de ciclos recorridos en un segundo.

MEDICIÓN: actividad propia de determinar la magnitud de un objeto, o la determinación de las diferentes características que posee la materia.

SAR: Nivel de absorción específica que presenta la materia al ser expuesta a diferentes tipos de radiaciones electromagnéticas.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES.** Plan Nacional de Frecuencias. 2012. pp. 68-76. [Consulta en: 12 septiembre 2017]. Disponible en:
http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf
2. **BALANIS, C.** Antenna Theory, Analysis and Design. 3rd ed. New Jersey. EEUU: John Wiley & Sons. 2005. p 34. [Consulta en: 30 octubre 2017]. Disponible en:
<https://ia800205.us.archive.org/3/items/Antenna.Theory.Analysis.and.Design3rd.Edition/Antenna.Theory.Analysis.and.Design%283rd.Edition%29.pdf>
3. **ESCALONA, I; BARCELO, F; PARADELLS, J.** Delivery of Non-Standardized Assistance Data in E-OTD/Gnss Hybrid Location Systems. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. 2002. pp. 2-3. [Consulta en: 28 septiembre 2017]. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/3975009_Delivery_of_non-standardized_assistance_data_in_E-OTDGNSS_hybrid_location_systems
4. **FONTAL, B.** El Espectro Electromagnético y sus Aplicaciones. Mérida, Venezuela: La VII Escuela. 2005. pp. 2-16. [Consulta en: 14 septiembre 2017]. Disponible en:
http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/16746/1/espectro_electromagnetico.pdf
5. **GMBH, N. S.** SRM-3000 selective radiation meter. L3 Communications. 2011. pp. 17-64. [Consulta en: 08 septiembre 2017]. Disponible en:
http://www.narda-sts.us/pdf_files/SRM-3000.pdf
6. **GÓMEZ GOÑI, J.** Ondas electromagnéticas. En Apoyo para la preparación de los estudios de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Politécnica De Madrid. España. 2010. pp. 3-7. [Consulta en: 15 septiembre 2017]. Disponible en:
http://ocw.upm.es/apoyo-para-la-preparacion-de-los-estudios-de-ingenieria-y-arquitectura/fisica-preparacion-para-la-universidad/contenidos/electromagnetismo/ondas_em.pdf

7. **GOOGLE EARTH.** Aplicación Web. [Consulta en: 10 septiembre 2017]. Disponible en:
<https://earth.google.com/web/@-1.67538369,-78.6598243,2763.15965489a,2145.59097989d,35y,0.00000001h,37.49210909t,0r>

8. **GRUPO GIDAI.** Algunos Conceptos y Definiciones del Modelado y Simulación Computacional de Incendios. Seguridad contra Incendios, Investigación y Tecnología. Universidad de Cantabria. España. 2006. pp. 357. [Consulta en: 21 septiembre 2017].
 Disponible en:
<https://grupos.unican.es/gidai/web/Algunos%20Conceptos%20y%20Definiciones%20de%20la%20Modelaci%C3%B3n%20y%20Simulaci%C3%B3n%20Computacional%20de%20Incendios.pdf>

9. **HAYT, W; & BUCK, J.** Teoría Electromagnética. 7ma ed. México: McGraw-Hill. (2006), pp. 317-398. [Consulta en: 9 septiembre 2017]. Disponible en:
<https://al3xlm.wordpress.com/2013/05/28/teoria-electromagnetica-7ma-edicion-william-h-hayt-jr-john-a-buck/>

10. **ICNIRP.** ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). 1998. pp. 508-511. [Consulta en: 9 septiembre 2017]. Disponible en: <http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>

11. **ITIS.** [en línea]. Human Models. [Consulta en: 19 septiembre 2017]. Disponible en:
<https://www.itis.ethz.ch/virtual-population/virtual-population/overview/>.

12. **LLANOS, A.** Gestión del Espectro Electromagnético en el Ecuador. Quito. Ecuador: Corporación Editora Nacional. 2013. pp. 13-14. [Consulta en: 18 septiembre 2017].
 Disponible en:
<http://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/3833/1/SM138-Llanos-Gestion.pdf>

13. **MICROSOFT.** IDE Visual Studio. [Consulta en: 19 septiembre 2017]. Disponible en:
<https://www.visualstudio.com/es/vs/>

14. **ORDÓÑEZ, J. L.** Espectro Electromagnético y Espectro Radioeléctrico. ACTA [en línea]. 2012. pp. 17-20, [Consulta en: 20 agosto 2017]. Disponible en:
http://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/062017.pdf.

15. **PAJARES, A; TOMEO, V.** Las medias estadísticas: ejercicios motivadores. 2014. p. 2.
[Consulta en: 19 septiembre 2017]. Disponible en:
http://estudiosestadisticos.ucm.es/data/cont/docs/12-2014-10-16-CT05_2014.pdf
16. **POGO, J.** Análisis de los Servicios de Telecomunicaciones Móviles en el Ecuador (tesis de pregrado). Escuela Politécnica del Ejército, Quito, Ecuador. 2011. pp. 17-42. [Consulta en: 28 agosto 2017]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/3173>
17. **UIT-T K.52.** Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos.
18. **RODRÍGUEZ, J. L.** Radiaciones Ionizantes y no Ionizantes, Aplicaciones y Riesgos. Málaga. España. 2003. pp. 1-22. [Consulta en: 15 septiembre 2017]. Disponible en: <http://www.marcoshurvitz.com.ar/Archivos/Docen/ISFT%20190/Radiaciones%20y%20patologia.pdf>
19. **SVEN KÜHN, W. J.** Assessment of induced radio-frequency electromagnetic fields in various anatomical human body models. Foundation for Research on Information Technologies in Society-IT'IS. 2009. pp. 875-881.
20. **TUMALLI, L.** Desarrollo de un Modelo Computacional utilizando el simulador Sim4life para obtener la distribución de la SAR en el cuerpo humano producida por los campos eléctricos de las antenas transmisoras de radio, televisión y estaciones base de celulares en diferentes escenarios cercanos a las antenas transmisoras de celulares. (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 35-39
21. **ZURICH MEDTECH.** Sim4Life. [Consulta en: 19 septiembre 2017]. Disponible en: <https://www.zurichmedtech.com/sim4life/>

ANEXO A. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO NARDA SRM-3

RF Safety
Test Solutions

50 Years of
Excellence

Electric and Magnetic Field Measurement

SRM 3000
Selective Radiation Meter

- Complete Solution for Selective Measurement of RF and Microwave Electromagnetic Fields
- Isotropic and Single-Axis Measurements from 100 kHz to 3 GHz
- Excellent Immunity for Operation in High Field Strengths
- Automatic Antenna and Cable Detection
- Results in V/m, A/m, Power Density, or Percentage of Permissible Limit
- Automatic Correlation of Results with Telecommunication Services (e.g., TETRA, GSM, UMTS) Based on User-Defined Tables
- Automatic Computation of Contribution of Individual Services to Overall Field Exposure (Safety Evaluation mode)
- Resolution Bandwidths (RBWs) up to 5 MHz for UMTS and W-CDMA



Features

The Selective Radiation Meter (SRM) is a hand-held selective measuring device for safety analysis of RF and microwave electromagnetic fields. The SRM can be used by broadcasters, radio network operators, measurement service providers and public authorities to selectively measure the field exposure produced by individual telecom services and assess the results in accordance with the applicable standards. Most measurements required in the mobile radio sector can be performed directly using the hand-held device. The SRM immediately evaluates the results on-site.

The SRM consists of a basic unit and a measurement antenna. The basic unit contains a spectrum analyzer for the 100 kHz to 3 GHz frequency range. It can be operated using antennas from Narda or in combination with measurement antennas from other manufacturers. The triaxial antenna allows isotropic (non-directional) measurements from 75 MHz to 3 GHz, covering FM radio up to the W-CDMA and UMTS services.

The basic unit and antenna are battery powered, rugged, and easily hand portable, offering all of the functions needed to evaluate, store, and document results without a separate PC. However, when required, results can easily be exported to a PC for long-term storage or further analysis.

Applications

The SRM is a hand-held measuring device that was developed for analyzing safety issues in electromagnetic fields. It includes specially designed modes for safety applications. It can also be used as a conventional RF spectrum analyzer for general field strength measurements. Typical applications are as follows:

COMPARISON MEASUREMENT IN A KNOWN-FIELD ENVIRONMENT

"Site sharing" is the usual situation today. Suppose that several mobile radio service operators have antennas located on a common tower or a roof. The overall electromagnetic radiation exposure from any number of sources needs to remain below a specified limit that usually varies with frequency. The SRM displays the total field exposure and also the contributions of the individual services (absolute value or percentage of permissible limit).

This allows operators, public authorities and measurement service providers to verify directly, on-site, whether the different services comply with emission regulations and if not, to know which operator needs to reduce its output power and by how much.

USA TEL: (1) 631 231-1700 • FAX: (1) 631 231-1711 • E-MAIL: NardaSTS@L-3COM.com • www.narda-sts.com
GERMANY TEL: 49-4121-9732-777 • FAX: 49-4121-9732-790 • E-MAIL: support@narda-sts.de • www.narda-sts.de

narda
Safety Test Solutions
an L-3 communications company

RF Safety
Test Solutions

50 Years of
Excellence

Electric and Magnetic Field Measurement

OVERVIEW MEASUREMENT IN AN UNKNOWN-FIELD ENVIRONMENT

All of the industrialized nations have stipulated emission limits for both working environments and for the general public. Special care is often taken in sensitive areas such as schools and hospitals.

The SRM allows public authorities and measurement service providers to verify whether operators are complying with the applicable limits. With the SRM it is easy to make a fast scan of all the field sources in the frequency range of interest. The SRM is so sensitive that the very weak sources, such as individual mobile radio channels, can be separately evaluated – even inside buildings. An overview measurement is also useful for detecting any unknown sources.

MEASUREMENT OF INDIVIDUAL TELECOM SERVICES

Operators are responsible for the fields produced by their own services. Even in a very complex field environment, and in the vicinity of powerful broadcast signals, the SRM can be used to measure individual transmit channels or frequencies. The device is capable of integrating over its frequency range and displaying the total value (an absolute value). For example, for GSM measurements, the SRM can use a 200 kHz resolution bandwidth (RBW) to measure the field strength of an individual control channel (CCH) which always transmits at full power and estimates the field emissions which all of the traffic channels (TCH) would produce under full load. For UMTS measurements, the SRM can use a 5 MHz resolution bandwidth to measure an entire frequency block.

The SRM is capable of taking long-term measurements showing how the field strength of a selected frequency varies over time. The peak values can be saved to provide valuable information for service providers and local authorities alike.

Additionally, the SRM can demodulate the pilot channels (P-CPICH) of individual cells of UMTS base stations and extrapolate the "worst case" electromagnetic exposure level from the result.

Operation

The SRM's basic unit contains the spectrum analyzer with the RF input unit, measurement processor, input panel and display. All of the functions and parameters can be set directly using softkeys and/or a thumb-wheel. The SRM can also compute results as follows:

- Field strength level or percentage of permissible exposure level
- Single source or single channel
- List of sources or channels
- Contribution from a given telecom service
- Contribution from all services and their percentage of the total field strength

The SRM automatically recognizes the following data:

- **Antenna factors for converting the antenna output voltage into field strength values.** The SRM automatically recognizes the individual correction factors from an EEPROM built into the antenna via a separate control cable. If the antenna is connected to the basic unit via a Narda extension cable, the SRM will also recognize the frequency-dependent loss factors for the cable from an EEPROM in the cable. For antennas and cables from other manufacturers, the user can input the relevant correction factors using the supplied PC software and transfer the data to the SRM via the serial interface. To make measurements, just select the antenna and cable type in the configuration menu.
- **Exposure limits from common safety guidelines and standards.** Exposure limits are stored in the SRM and can be easily selected via a simple menu. Other limits can be transferred to the SRM as an update via the serial interface.
- **Assignment of telecom services to frequency bands.** User-editable tables are provided in the supplied PC software. A service table (e.g., "GSM-900") is a list of individual operators by name along with the upper and lower limits of the assigned frequency band. These lists are transferred to the SRM via the serial interface.

MEASUREMENTS USING NARDA'S TRIAXIAL ANTENNA

Such measurements automatically produce isotropic (i.e., non-directional) results. These measurements can be made in three different ways.

- **Antenna connected directly to the basic unit.** This makes it possible to perform measurements in the entire mobile radio band. The SRM is well suited for use on radio masts and towers where it is difficult to make conventional narrowband measurements. As a true hand-held device, the SRM is relatively easy to use in these awkward environments.
- **Antenna connected to basic unit via cable.** This is useful if you need to take measurements over a given volume to find the location with the highest field strength. It is also possible to hang the basic unit from a belt or harness and hand-carry the antenna.
- **Antenna mounted on a tripod and connected to basic unit via cable.** This arrangement produces the most reliable results since the field being measured is not influenced by the presence of the basic unit or the user.

USA TEL: (1) 631 231-1700 • FAX: (1) 631 231-1711 • E-MAIL: NardaSTS@L-3COM.com • www.narda-sts.com
GERMANY TEL: 49-4121-9732-777 • FAX: 49-4121-9732-790 • E-MAIL: support@narda-sts.de • www.narda-sts.de

narda
Safety Test Solutions
an L-3 communications company

**MEASUREMENTS USING ANTENNAS
FROM OTHER MANUFACTURERS**

Antennas built by other manufacturers may be used with the SRM. Of course, single-axis antennas will produce directional results. For example, you can connect a directional antenna to the SRM via a cable and carry it in your hand to determine the main direction of radiation or 'main beam' from a source.

The SRM can also measure three axes with a single-axis antenna. To do this, a special apparatus must be used on the tripod to arrange the receiving axis of the antenna in three mutually orthogonal positions in succession. The SRM saves the result for each of the axes and then computes the field strength.

Operating Modes

Since it is built for broad everyday use, the SRM has both general and special modes which are tailored to the main applications.

SPECTRUM ANALYSIS

In multi-frequency environments, the *Spectrum Analysis* mode provides an overview of all frequency components with their field strengths. The user just has to set the desired frequency range. The SRM will only accept values which do not exceed the frequency limits of the connected antenna. The spectrum is clearly displayed, and the markers and zoom function can be used to quickly make a field strength assessment. Peak tables show all field strength values above a certain value along with their frequency.

One special feature of the SRM in this mode is the ability to integrate over a desired frequency range. This allows the user to display the power of a transmit channel with a bandwidth greater than the resolution bandwidth (RBW) of the measurement.



Spectrum Analysis mode is useful for identifying all field sources within the chosen frequency range.

SAFETY EVALUATION

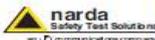
In this mode, the SRM displays the field strength results in tabular format, broken down by the contributions from individual telecom services. The total exposure is also displayed. The frequency bands for individual services can be user-defined. The results can be displayed as a percentage of an exposure limit, or as absolute values in V/m, A/m or W/m² and mW/cm². The Safety Evaluation mode provides the user with an immediate overview of contributions from individual services which make up the total field strength level. This is very useful where several operators are sharing an antenna site.

The SRM displays the results as a percentage or as absolute values in V/m, A/m or W/m² and mW/cm² of the given exposure limit. *Safety Evaluation* mode is based on spectrum analysis followed by integration across certain frequency ranges. The measurement process is fully automated. The SRM measures the entire frequency range for all selected services and automatically sets its resolution bandwidth (RBW) to fit the smallest frequency span to be measured. It saves the absolute field strength values from the selective measurements, evaluates the data based on the selected standard, and stores these results also. Integration over the frequency ranges of the individual services provides the individual contributions. The SRM groups together the frequency ranges between



Safety Evaluation mode enables contributions from individual telecom services to be compared with the total field strength value. Here, the results are shown as a percentage of the permissible exposure level.

USA TEL: (1) 631 231-1700 • FAX: (1) 631 231-1711 • E-MAIL: NardaSTS@L-3COM.com • www.narda-us.com
GERMANY TEL: 49-7121 4752-777 • FAX: 49-7121 4752-750 • E-MAIL: support@narda-sts.de • www.narda-sts.de



the selected services as 'Others' and includes them in the overall total result.

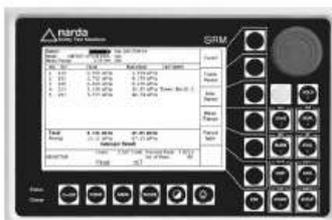
UMTS P-CPICH DEMODULATION (optional)

In UMTS P-CPICH Demodulation mode, the SRM can decode the primary common pilot channels (P-CPICH) of each UMTS cell detected in a 5 MHz UMTS frequency block.

The instrument provides the results in a table arranged according to the scrambling codes used to identify the various cells. The SRM displays the results as percentages of a limit value or as absolute values in V/m, A/m or W/m² and mW/cm². In addition to the sum of all the demodulated field strength results (Total), the SRM also determines the actual overall analog channel power level of the UMTS frequency block being evaluated.

The SRM simultaneously displays the current values (Value) and the maximum values that occurred for each cell since the last Max Reset.

UMTS channel selection is made by entering the center frequency or the corresponding channel number. For quick and easy identification of the various scrambling codes, user defined cell name tables can be selected, in which each scrambling code is assigned a user defined alphanumeric comment.



The UMTS P-CPICH Demodulation Option allows the SRM to decode all the pilot channels (P-CPICH) contained in a 5 MHz bandwidth UMTS frequency block and can thus correlate the measured field strengths to the respective pilot channels.

TIME ANALYSIS

In Time Analysis mode, the SRM measures the field strength values at a user-definable center frequency and with a selectable resolution bandwidth between 6.4 kHz and 6 MHz.

The measurement algorithm employed ensures that the measurement results are recorded, processed and saved in real time without any gaps (as determined by the sampling rate).

Either a peak value detector (PEAK) or an RMS detector can be selected in Time Analysis mode.

The current or 'actual' value (ACT) or the maximum value (MAX) can be displayed numerically when the PEAK detector is used.

The average value (AVG) or maximum average value (MAX AVG) can additionally be determined and displayed numerically when the RMS detector is used. The averaging time can be set between 0.96 seconds and up to 30 minutes, which includes the '6-minute average' required by many standards.

The SRM uses channel filters with steep cutoff characteristics in Time Analysis mode, so that a specific service can be monitored over a period of time without being influenced by neighboring services.



In Time Analysis mode, the SRM measures one peak value or RMS value against time. Changes in the measured values over a period of time can be recorded in this way.

Specifications

Basic Unit SRM-3000		
Frequency Range	100 kHz to 3 GHz	
Modes	Spectrum Analysis UMTS — P-CPICH Demodulation (optional) Safety Evaluation Time Analysis	
RF Features		
Frequency	Resolution Bandwidth (RBW)	See specifications for each mode
	Phase Noise (SSB)	30 kHz carrier spacing < -85 dBc (1 Hz) 100 kHz carrier spacing < -105 dBc (1 Hz) 1 MHz carrier spacing < -120 dBc (1 Hz)
	Reference Frequency	Original Deviation < 1.5 ppm Aging < 0.5 ppm/year Thermal Drift < 2.0 ppm (within specified temperature range)
Amplitude	Measurement Range (MR) = upper limit of expected power level	-27 dBm to +23 dBm (in steps of 1 dB)
	Display Range	From noise floor up to +26 dBm
	Maximum RF Power	+30 dBm
	Maximum DC Voltage	50 V
	Intrinsic Noise	-121 dBm for 1 kHz RBW, f > 20 MHz and no RF attenuation
	RF Attenuation	0 to 50 dB in steps of 1 dB (coupled with measurement range)
	2nd Order Intermodulation Products	< -57 dBc for two signals of level 9 dB below MR and a spectral line spacing of more than 100 kHz
	3rd Order Intermodulation Products	< -70 dBc for two signals of level 9 dB below MR and a spectral line spacing of more than 500 kHz
	Level Measurement Uncertainty	< 1.1 dB for the frequency range 20 MHz to 3 GHz (within the temperature range from 15°C to 30°C)
	Spurious Responses (input-related)	< -65 dBc or MR - 71 dB for signals with a level below MR - 6 dB (worst of both) < -60 dBc for a carrier spacing of 72 MHz
	Spurious Responses (residual)	< -104 dBm or MR - 77 dB for frequencies above 20 MHz
RF Input	Units	dBm, dBV, dBmV, dBµV Field strength units available according to measurement antenna used (see under "Measurement Functions")
	Type	N Connector, 50 Ω
Return Loss	Return Loss	< 11 dB for f < 2.4 GHz

Spectrum Analysis Mode	
Resolution Bandwidths (-3 dB)	1 kHz to 5 MHz (in steps of 1, 2, 3, 5, 10) List of available RBWs depends on selected sweep SPAN
Sweep Time	200 ms to 1 s (depending on sweep span)
Filter Type Shape Factor (-3 dB / -60 dB)	Gauss Filter < 3.8 (for RBW < 100 kHz)
Detection	Detection selected by Result Type: [AVG] → RMS value; [MAX] → Peak value
Result Type	ACT (display of current [actual] spectrum) MAX (Max Hold function) AVRG (averaging over a selectable number of spectra [4 to 64]) MAX AVRG (Max Hold function after averaging over the defined number of spectra)
Marker Functions	Highest peak, peak right, peak left, higher peak, lower peak Marker field (frequency, level and service name from selected service table)
Evaluation Functions	Peak Table (list of 50 highest peaks) Integration over a user-specified frequency range
Axis	Isotropic measurement (isotropic result displayed directly) Measurement of X-, Y- or Z-axis (separate measurement of a single axis using the isotropic antenna)
Display Functions	Y-scale range 20, 40, 60, 80 or 100 dB Y-scale reference - 47 dB to 43 dBm Full screen (enlarges the graph window to fill the entire screen area)
Zoom Functions	Zoom Min (adjusts left-hand frequency of zoom window) Zoom Max (adjusts right-hand frequency of zoom window) Move Zoom Area (moves adjusted zoom window over frequency) Reduce/Enlarge Zoom Area (scales zoom window size) Zoom to Marker (moves zoom area to actual marker position) Execute Zoom (sets Zoom Min to F min and Zoom Max to F max)
Safety Evaluation Mode	
Measurement Principle	Spectrum analysis, followed by integration over user-defined frequency bands ("Services")
Resolution Bandwidths (-3 dB)	Automatically set as a function of the narrowest user-defined service
Filter	See Spectrum Analysis mode
Detection	RMS (integration time = $\frac{1}{2 \times RBW}$)
Result Type	See Spectrum Analysis mode
Display	Tabular format with service names, field strength contribution, and frequency band (maximum three columns)

Electric and Magnetic Field Measurement

UMTS P-CPICH Demodulation Mode (optional)	
UMTS Channel Selection	By entering the center frequency By entering the channel number
Frequency Setting Resolution	100 kHz (for Foast frequency entry) 0.5 x channel number (for channel entry)
Detection	RMS (integration time = 10 ms)
Filter	Root-Raised Cosine (PRC)
Type	$\alpha = 0.22$
Roll-Off Factor	
Selectable Units for P-CPICH	With Antenna: dBV/m, dBmV/m, dBµV/m, dBµA/m, A/m, mW/cm ² , W/m ² % of selected safety standard (based on power) Without Use of Antenna: dBm, dBµV, dBµV, dBµA
Possible Units for P-CPICH	dBV/m, dBmV/m, dBµV/m, dBµA/m, A/m, mW/cm ² , W/m ² % of selected safety standard (based on power) dBm, dBµV, dBµV, dBµA
Possible Result Types	Actual (ACT) and maximum (MAX) values displayed constantly Averaging selectable (only for actual and max. values) (averaged number selectable between 4 and 54)
Received / Demodulated Signal	P-CPICH
Display	Up to 16 scrambling codes simultaneously Table format with columns for Index, Scr. Code, Value, Max. Value, Cell Name Total sum of all ACT and MAX P-CPICH values Actual and Max. channel power User defined cell names (from cell name tables) Number of runs (sweeps) since last reset
Time Analysis Mode	
Measurement Principle	Selective level measurement at a fixed frequency
Detection	RMS (integration time = 480 ms) Peak
Filter Type	Steep cutoff channel filter
Resolution Bandwidth RBW (-6 dB)	6.4 kHz to 6 MHz
Trace Display (Result Type)	ACT (display of current ["actual"] spectrum) AVG (Time Averaging using RMS detector) MAX (Max Hold function) MAX AVG (Max Hold function after averaging over a defined number of spectra using RMS detector)
Time Averaging	Selectable from 0.96 seconds up to 30 minutes (0.96 s; 1.2 s; 2.4 s; 3.6 s; 6 s; 12 s; 18 s; 30 s; 1 min; 2 min; 3 min; 5 min; 6 min; 10 min; 15 min; 30 min; 30 min)

Electric and Magnetic Field Measurement

MEASUREMENT FUNCTIONS		
Field Strength Measurements	Detection of Narda Measurement Antennas	Automatic consideration of antenna parameters after antenna is plugged in: antenna type, serial number, calibration date, and antenna factors (see below) Automatic limitation of the frequency range according to the frequency range of the connected antenna
	Antenna Factors	Used for display in field strength units Saved in all Narda antennas during calibration Ability to save 20 antenna factor lists for antennas from other manufacturers (these lists defined using the PC configuration software "SRM tools" included in delivery)
	Detection of Narda Cables	Automatic consideration of cable parameters after cable is plugged in: cable type, serial number, calibration date, and loss factors (see below) Automatic limitation of the frequency range according to the frequency range of the connected cable
	Cable Loss Factors	Used for compensation of the power level display Saved in all Narda cables during calibration Ability to save 20 cable loss lists for cables from other manufacturers (these lists defined using the PC configuration software "SRM tools" included in delivery)
	Units	V/m, A/m, W/m ² or mW/cm ² , dBV/m, dBµA/m
RF Personal	Isotropic Measurements	Automatic switching of the antenna axes, when using Narda's triaxial measurement antenna, followed by computation of the isotropic result Support for sequential measurements, using single-axis antennas and computation of the isotropic result Both results are directly displayed as a spectrum curve or as numerical values
	Weighted Display	As % of the standard for the following personal safety standards: ICNIRP, IEEE, FCC, BGV B11, BimSDrv, Safety Code 6 Updates after development of new personal safety standards, using the PC configuration software "SRM tools" included in delivery
	Correlation of Results with Telecom Services	Definition and editing of service tables in the PC configuration software "SRM tools," i.e., lists of frequency bands (upper and lower limit frequency, name for defined frequency band) Storage of up to 50 service tables in the basic unit Use of the service tables for automatic correlation of measurement results with defined services based on frequency (marker functions, peak table evaluation function, Safety Evaluation mode)
Setup		Up to 20 complete device configurations can be saved in the basic unit; up and downloadable using SRM tools software
Memory	Modes	Storage of current result: SPECTRUM in Spectrum Analysis mode, TABLE in Safety Evaluation mode Conditional storage of results when a threshold is violated (in all modes)
	Capacity	16 MB (32 MB from F-Series) (up to 512 spectra in Spectrum Analysis mode or tables in Safety Evaluation Mode)

GENERAL SPECIFICATIONS		
Operating Temperature Range	-10°C to +50°C during normal operation 0°C to +40°C when charging	
Air Humidity (Operating Range)	<29 g/m ³ (<93% at +30°C)	
RF Immunity	200 V/m between 100 kHz and 3 GHz	
Compliance	Climatic Storage Transport Operating	1K3 (IEC 60721-3) extended to -10°C to +50°C 2K4 (IEC 60721-3) 7K2 (IEC 60721-3)
	Mechanical Storage Transport Operating	1M2 (IEC 60721-3) 2M3 (IEC 60721-3) 7M3 (IEC 60721-3)
	ESD and EMC	EN 61326:2004
	Safety	EN 61010-1:2002
CE (European Community)	Yes	
Weight	1.9 kg (including rechargeable cell)	
Dimensions	255 mm x 195 mm x 60 mm	
Display	Type	Monochrome, LCD (transflective) with backlighting for indoor or outdoor use
	Size, Resolution	115 mm x 80 mm, 480 x 320 pixels
Interface	Type	RS-232, electrical or optical (with additional accessory)
	Transfer Rate	115.2 k baud
Power Supply	Rechargeable Cell	Lithium-ion cell / Typical 4 hour cell operating time / Charged using external power supply
	External Power Supply (12 V DC / 2.5 A)	AC/DC adapter Input: 100-240 V / 47-63 Hz / 700 mA
Calibration Interval	24 months (recommended)	

Antenna Specifications

Antenna	Triaxial	Single Axis E-Field 3531/01	Single Axis E-Field 3531/02	Single Axis H-Field 3551/01
Frequency Range The correction factors determined individually during calibration are stored in an EEPROM and are applied automatically when used in conjunction with the SRM basic unit.	75 MHz to 3 GHz	27 MHz to 3 GHz	100 kHz to 300 MHz	100 kHz to 300 MHz
Antenna Type	E-field	E-field	E-field	H-field
Sensor Type	Triaxial design with scanned axes	Single axis passive wide band dipole	Single axis active broadband dipole	Single axis active magnetic loop
Dynamic Range*	0.25 mV/m to 200 V/m	90 µV/m to 80 V/m	125 µV/m to 38 V/m	0.4 µA/m to 71 mA/m
CW Damage Level	435 V/m or 50 mV/cm ²	> 300 V/m or 25 mV/cm ²	> 1000 V/m	> 2.65 A/m above 1 MHz
RF Connector	N connector, 50Ω			
Operating Temperature Range	-10 °C to 50 °C			
Compliance	Climatic Storage ^b Transport Operating	1K3 (IEC 60721-3) 2K4 (IEC 60721-3) 7K2 (IEC 60721-3)		
	Mechanical Storage Transport Operating	1M2 (IEC 60721-3) 2M3 (IEC 60721-3) 7M3 (IEC 60721-3)		
	ESD and EMC	EN 61326:2004		
	Safety	EN 61010-1:2002		
CE (European Community)	Yes			
Air Humidity	< 29 g/m ³ (< 93 % at +30°C)			
Weight	450 g			
Dimensions	450 mm length, 120 mm antenna head diameter	450 mm length, 135 mm x 60 mm antenna head dimension	460 mm length, 135 mm x 60 mm antenna head dimension	460 mm length, 43 mm x 100 mm antenna head dimension
Calibration The SRM applies linear interpolation between reference points.	18 reference points 75, 100, 200, 300, 433, 600, 750, 900 MHz 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2, 2.2, 2.45, 2.7, 3 GHz	24 reference points 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 200, 300, 433, 600, 750, 900 MHz 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2, 2.2, 2.45, 2.6, 2.8, 3 GHz	141 reference points	141 reference points
Calibration Interval	24 months (recommended)			

Notes

* Characteristic measurement dynamic range for 10 dB signal to noise ratio (RBW=1 kHz)

^b Extended to -10°C to +50°C

Antenna Uncertainty*

Triaxial Antenna			
Intrinsic Noise Display in conjunction with the SRM basic unit (separate measurement of a single axis)	50 µV/m at 900 MHz with 1 kHz resolution bandwidth 70 µV/m at 2.1 GHz with 1 kHz resolution bandwidth		
Intrinsic Noise Display in conjunction with the SRM basic unit (for isotropic result)	87 µV/m at 900 MHz with 1 kHz resolution bandwidth 120 µV/m at 2.1 GHz with 1 kHz resolution bandwidth		
Measurement Range Limit (for single CW signal)	300 V/m, 1000 V/m for f < 110 MHz		
Max. Measurement Range (in conjunction with the SRM basic unit)	200 V/m (without restrictions for total span of 75 MHz to 3 GHz)		
Damage / Overload Level	≥ 1000 V/m		
Extended Measurement Uncertainty [†] (in conjunction with SRM basic unit and 1.5m RF cable)	Frequency Range	Single Axis Measurement with Isotropic Antenna	Isotropic Measurement
	75-900 MHz	+2.4 / -3.4 dB	+2.4 / -3.3 dB
	901-1400 MHz	+2.3 / -3.1 dB	+2.4 / -3.3 dB
	1401-1600 MHz	+2.2 / -3.1 dB	+2.6 / -3.7 dB
	1601-1800 MHz	+1.8 / -2.2 dB	+2.2 / -3.0 dB
	1801-2200 MHz	+1.8 / -2.2 dB	+2.4 / -3.3 dB
	2201-2700 MHz	+1.8 / -2.3 dB	+2.6 / -3.6 dB
2701-3000 MHz	+1.9 / -2.4 dB	+3.2 / -5.3 dB	
Calibration Uncertainty	< 1.5 dB		
Single Axis E-Field Antenna 3531/01			
Intrinsic Noise Display in conjunction with the SRM basic unit [‡]	30 µV/m from 100 MHz to 2.1 GHz with 1 kHz resolution bandwidth		
Measurement Range Limit (for single CW signal)	100 V/m		
Extended Measurement Uncertainty [†] (in conjunction with SRM basic unit and 1.5m RF cable)	Frequency Range	Single Axis Measurement	
	98-300 MHz	2.1 dB	
	301-433 MHz	2.3 dB	
	434-1600 MHz	2.1 dB	
1601-3000 MHz	1.8 dB		
Calibration Uncertainty	< 1.5 dB		
Single Axis E-Field Antenna 3531/02			
Intrinsic Noise Display in conjunction with the SRM basic unit	40 µV/m in the range from 100 MHz to 300 MHz with 1 kHz resolution bandwidth RSW		
Measurement Range Limit (for single CW signal)	50 V/m		
Extended Measurement Uncertainty [†] (in conjunction with SRM basic unit and 1.5m RF cable)	Frequency Range	Single Axis Measurement	
	0.1-20 MHz	2.7 dB	
20.1-300 MHz	2.0 dB		
Calibration Uncertainty	< 1.2 dB		
Single Axis H-Field Antenna 3551/01			
Intrinsic Noise Display in conjunction with the SRM basic unit	0.17 µA/m for each frequency > 20 MHz with 1 kHz resolution bandwidth RSW		
Measurement Range Limit (for single CW signal)	100 mA/m		
Extended Measurement Uncertainty [†] (in conjunction with SRM basic unit and 1.5m RF cable)	Frequency Range	Single Axis Measurement	
	0.1-20 MHz	2.7 dB	
20.1-300 MHz	2.0 dB		
Calibration Uncertainty	< 1.2 dB		

* Characteristic Values

[†] Intrinsic noise increases by 0.5 dB per 100 MHz above 2 GHz

[‡] n = 2 (n = extrapolation or correction factor for determining the assessment value); +15°C to +30°C

USA TEL: (1) 801 231-1700 • FAX: (1) 801 231-1711 • E-MAIL: NardaST@aol.com • www.narda-its.com
GERMANY TEL: 49-7121-4752-77 • FAX: 49-7121-5752-750 • E-MAIL: support@narda-its.de • www.narda-its.de



Ordering Information

SRM-3000	Order Number
Set comprising: Selective Radiation Meter SRM, basic unit, calibrated (3001/03) Spatial Averaging (3701/03) Triaxial antenna, E-field, 75 MHz to 3 GHz, calibrated (3501/01) RF cable, 100 kHz to 3 GHz, 1.5 m, calibrated (3601/01) Carry strap for basic unit SRM-3000 (3601/90.02) Operating manual (3001/98.X1) Power supply 12.0 VDC, 100 - 240 VAC, with various line connectors (2259/92.04) SRM-TS PC evaluation and remote control software for SRM (3001/93.10) USB 2.0 cable (2260/90.54) DBG / DB9 cable for serial interface (2260/90.52) Transport Case (3001/90.03)	3001/101/USA
Options	Order Number
UMTS P-CPICH Demodulator: Option for demodulating P-CPICH pilot channels of UMTS signals	3701/02
Optional Antennas	Order Number
Single-axis Antenna (E-field) 27 MHz to 3 GHz	3531/01
Single-axis Antenna (E-field) 100 kHz to 300 MHz	3531/02
Single-axis Antenna (H-field) 100 kHz to 300 MHz	3551/01
Optional Accessories	Order Number
RF cable, 100 kHz to 3 GHz, 5 m, calibrated	3601/02
Antenna holder for single axis and triaxial antennas	3501/90.01
Antenna holder for triaxial antennas (horizontal/vertical)	3501/90.02
Additional battery pack for SRM, rechargeable	3001/90.01
Basic unit tripod adapter	3001/90.06
External charger set for SRM battery packs	3001/90.07
Tripod, non-conductive, 1.65 m, with carrying bag	2244/90.31
Adapter USB to serial interface / USB 2.0 to DBG	2260/90.53
Softcase with wheels	3001/90.05
Optical / electric converter	2260/90.05
Optical cable, length 10 m	2260/90.42
Optical cable, length 30 m	2260/90.44
Optical cable, length 50 m	2260/90.46
Optical cable, length 100 m	2260/90.48

ANEXO B. PROGRAMACIÓN DEL MODELO COMPUTACIONAL

```
// CARACTERISTICAS Y VERSION DE LA APLICACION
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<configuration>
  <startup>
    <supportedRuntime
version="v4.0"
sku=".NETFramework,Version=v4.5.2" />
  </startup>
</configuration>

using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

// FORMULARIO PRINCIPAL
namespace tesis
{
  public partial class Form1 : Form
  {
    public Form1()
    {
      InitializeComponent();

      private void
button1_Click(object sender,
EventArgs e)
      {
        InitializeComponent();

        private void
button1_Click(object sender,
EventArgs e)
        {
          Form3 frm3 = new Form3();
          frm3.Show();
          this.Hide();
        }

        private void
button2_Click(object sender,
EventArgs e)
        {
          Form4 frm4 = new Form4();
          frm4.Show();
          this.Hide();
        }

        private void
button3_Click(object sender,
EventArgs e)
        {
          Form5 frm5 = new Form5();
          frm5.Show();

          {
            Form2 frm2 = new Form2();
            frm2.Show();
            this.Hide();
          }
        }
      }
    }
  }

// FORMULARIO MODELOS COMPUTACIONALES
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace tesis
{
  public partial class Form2 : Form
  {
    public Form2()
    {
      this.Hide();

      private void
button4_Click(object sender,
EventArgs e)
      {
        Form6 frm6 = new Form6();
        frm6.Show();
        this.Hide();
      }
    }
  }

// PRESENTACIÓN DE VALORES SIMULADOS
// Y MEDIDOS EN 10 ESCENARIOS
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace tesis
{
```

```

public partial class Form3 : Form
{
    public Form3()
    {
        InitializeComponent();
        label14.Text = "2.69e-9";
        label15.Text = "7.40e-9";
        label16.Text = "4.65e-9";
        break;
        case 1:
        label24.Text = "0.0961";
        label12.Text = "4.859e-9";
        label13.Text = "6.65e-10";
        label14.Text = "5.94e-10";
        label15.Text = "1.66e-9";
        label16.Text = "1.09e-9";
        break;
    }
}

private void
button6_Click(object sender,
EventArgs e)
{
    Form2 frm2 = new Form2();
    frm2.Show();
    this.Hide();
}

private void
button7_Click(object sender,
EventArgs e)
{
    switch(comboBox1.SelectedIndex)
    {
        case 0:
            label24.Text = "0.2027";
            label12.Text = "2.162e-8";
            label13.Text = "2.96e-9";

            double i, sum, sumcuad,
            mcuad, asum = 0, clic = 0, cuad = 0,
            ameda, meda = 0, rmeda;
            double elim = 0, relim, elimp
            = 0, relimp;

            double asmce = 0, smce, ascg
            = 0, scg, astg = 0, stg, asbg = 0,
            sbg, aspg = 0, spg;

            double apsmce = 0, psmce,
            apscg = 0, pscg, apstg = 0, pstg,
            apsbg = 0, psbg, apspg = 0, pspg;

            private void
            Form27_Load_1(object sender,
            EventArgs e)
            {
                double[] total = new
                double[18];
                double[] media = new
                double[18] { 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
                0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 };
                double filas = 10;
                double ma = -10;
                double MAX = 0;
                double maxi1 = -10;
            }

// DECLARACIÓN DE VECTORES PARA EL
// INGRESO DE N VALORES PARA 18
// PUNTOS DE LOS MODELOS
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using Microsoft.VisualBasic;
using System.Windows.Forms;

// DETERMINACIÓN DE MÁXIMOS
if (c1 >= c2 & c1 >= c3 & c1 >= c4 &
c1 >= c5 & c1 >= c6 & c1 >= c7 & c1
>= c8 & c1 >= c9 & c1 >= c10 & c1 >=
c11 & c1 >= c12 & c1 >= c13 & c1 >=
c14 & c1 >= c15 & c1 >= c16 & c1 >=
c17 & c1 >= c18)
{
    maxi1 = c1;
}

// DETERMINACIÓN DE MEDIAS
// ARITMÉTICAS Y CUADRÁTICAS
sum = (c1 * c1) + (c2 * c2) + (c3 *
c3) + (c4 * c4) + (c5 * c5) + (c6 *
c6) + (c7 * c7) + (c8 * c8) + (c9 *
c9) + (c10 * c10) + (c11 * c11) +
(c12 * c12) + (c13 * c13) + (c14 *
c14) + (c15 * c15) + (c16 * c16) +
(c17 * c17) + (c18 * c18);

sumcuad = Math.Sqrt(sum / 18);

dataGridView3.Rows.Add(sumcuad.ToStri
ng());

```

```

asum = sumcuad;
clic = clic + 1;

cuad = (cuad) + (asum * asum);
mcuad = Math.Sqrt(cuad / clic);
// DETERMINACIÓN DE PORCENTAJES Y
// NIVELES DE SAR

private void button2_Click(object
sender, EventArgs e)
{
double emax;
emax = rmeda * 100 / 61;
textBox31.Text =
Convert.ToString(emax);

if (emax < 30)
{
textBox5.BackColor=Color.GreenYellow;
textBox32.BackColor = Color.White;
textBox33.BackColor = Color.White;
}
else if (emax < 75)
{
textBox5.BackColor=Color.GreenYellow;
textBox32.BackColor = Color.Yellow;
textBox33.BackColor = Color.White;
}
else
{
textBox5.BackColor=Color.GreenYellow;
textBox32.BackColor = Color.Yellow;
textBox33.BackColor = Color.Red;
}
}
}

```