



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRONICA

ESCUELA DE INGENIERIA EN ELECTRONICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

ANÁLISIS DE UN CANAL DE TRANSMISIÓN CENTRAL DE LAS BANDAS GSM-850 Y GSM-1900 EN EL INTERIOR DE LA ESPOCH UTILIZANDO EL NARDA SRM-3000, PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO DE LA INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO.

TRABAJO DE TITULACIÓN

**PREVIA OBTENCION DEL TITULO ACADEMICO DE
INGENIERO EN ELECTRONICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES**

AUTORES:

WASHINGTON MOISÉS SANTOS ARMAS

CRISTIAN PATRICIO TARCO GAVILANES

TUTOR:

ING. PEDRO SEVERO INFANTE MOREIRA

Riobamba – Ecuador

2017

©2017, Washington Moisés Santos Armas, Cristian Patricio Tarco Gavilanes

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 INFORMATICA Y ELECTRÓNICA

ESCUELA DE INGENIERIA EN ELECTRONICA TELECOMUNICACIONES Y REDES

El Tribunal del Proyecto de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: **ANÁLISIS DE LAS RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS NO IONIZANTES EN EL INTERIOR DE LA ESPOCH UTILIZANDO EL NARDA SRM-3000, PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO DE LA INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO DURANTE 7 DÍAS CONTINUOS**, de responsabilidad de los Señores Washington Moisés Santos Armas y Cristian Patricio Tarco Gavilanes, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Proyecto de Titulación, quedando autorizada su presentación.

Ing. Washington Luna

DECANO 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, Washington Moisés Santos Armas 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.

WASHINGTON MOISÉS SANTOS ARMAS

Yo, Cristian Patricio Tarco Gavilanes 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.

CRISTIAN PATRICIO TARCO GAVILANES

Agradecemos a Dios, a nuestras familias por su apoyo incondicional en todo momento de nuestra formación como profesionales, a todas las personas que colaboraron con la realización de este trabajo de titulación y un agradecimiento especial al Ing. Pedro Infante por su invaluable ayuda y guía profesional, a todos muchas gracias por su aporte.

Washington – Cristian

Este trabajo está dedicado:

A Dios por haberme dado la vida y las fuerzas para no rendirme en este difícil camino.

A mi madre Margarita por su amor, su incomparable apoyo y su enorme sacrificio para que no me faltara nada en mi formación académica y humana.

A mi papá Jorge por su ejemplo de perseverancia, por sus consejos y por su apoyo cuando mas lo necesité.

A mi hermana Elizabeth por su ayuda incondicional, sus palabras de ánimo en momentos precisos y por ser la mejor hermana mayor.

A mi sobrino Santiago por su incomparable amor.

A mi máxima inspiración, mi pequeña hija Giuliana.

A todos mis familiares que estuvieron pendientes de mi formación académica y personal, mis primos Marcelo, Xavier, Raúl, Stephany, mis tíos Raúl, Nelly, Sixto, Edwin, Alba, Miriam, John, Rosa, mis abuelitas Rosa y Dorita.

A la memoria de mis abuelitos Mario y Julio.

Finalmente a todas las increíbles personas que he conocido en esta etapa de mi vida, Cristian, Paúl, Jhonattan, René, Julio, Diana, Andrea, Gabriela, Damaris y Sula. Su amistad es invaluable.

Washington Santos

Este trabajo está dedicado con mucho cariño a mis padres Hernán, Gloria y a mi familia Sandra, Sofía, Matias quienes me supieron brindar todo su apoyo moral y económico en cada etapa de mi vida como estudiante.

Especialmente a mi hermano Braulio y mi primo Javier que han sido mi guía y un ejemplo a seguir como persona y profesional.

También quiero dedicar este trabajo a la memoria de mi Tío “ñañito Víctor” ya que gracias a sus consejos y apoyo moral, supe afrontar este difícil camino y poder superarlo.

A todas los amigos que estuvieron en este proceso de formación como Washo, Cristian, Freddy, Luis, Jhonattan, Julio, Javier, Jefferson, Denny y a todos los demás que estuvieron brindándome su colaboración en este proceso formativo.

Cristian Tarco

INDICE GENERAL

INDICE DE TABLAS	x
INDICE DE FIGURAS	xii
INDICE DE GRÁFICOS	xiii
RESUMEN	xv
SUMMARY	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1 MARCO TEÓRICO	
1.1 Ondas Electromagnéticas	4
1.1.1 Características de una Onda Electromagnética	4
1.1.2 Campo Eléctrico y Campo Magnético	4
1.1.3 Ecuaciones de Maxwell	5
1.1.4 La propagación de la onda en el espacio libre	6
1.2 Espectro Electromagnético	8
1.2.1 Radiaciones ionizantes	10
1.2.2 Radiaciones no ionizantes.....	10
1.3 Tecnología GSM	11
1.3.1 Arquitectura GSM	12
1.3.1.1 Estación móvil (MS).....	12
1.3.1.2 Subsistema de estación base (BSS).....	12
1.3.1.3 Subsistema de Red.....	13
1.3.2 Beneficios de GSM.....	13
1.3.3 Canales Uplink y Downlink.....	14
1.3.4 Canales ARFCN	14
1.4 NORMAS VIGENTES NACIONALES E INTERNACIONALES.	16
1.5 Comisión internacional sobre protección frente a radiaciones no ionizantes (ICNIRP).....	17
1.5.1 Tipos de Exposición	20
1.5.1.1 Exposición Ocupacional:	20
1.5.1.2 Exposición Poblacional:	20
1.6 Unión internacional de telecomunicaciones (uit).....	20
1.6.1 UIT-T K.52.....	20
1.6.1.1 Zona de Conformidad (Compliance zone)	21
1.6.1.2 Zona Ocupacional (Occupational zone)	21
1.6.1.3 Zona de Rebasamiento (Exceedance zone)	21
1.6.2 UIT-T K.61.....	21
1.6.2.1 Tiempo promedio	22

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLOGICO

2.1	Equipo Utilizado	23
2.1.1	Narda SMR-3000	23
2.1.2	Garmin GPSmap® 60CSx	26
2.2	Software utilizado	27
2.2.1	Software Visual Studio 2013	27
2.2.1.1	Interfaz gráfica de Visual Studio 2013	28
2.2.2	Software Microsoft® SQL Server® 2014	28
2.2.2.1	Versión de Microsoft SQL Server	29
2.2.2.2	Interfaz gráfica de Microsoft SQL Server 2014	30
2.2.2.3	Ediciones de Microsoft SQL Server 2014	30
2.3	Mediciones de las Bandas GSM – 850 Y GSM – 1900	31

CAPITULO III

3 MARCO DE RESULTADOS

3.1	Procedimiento de las mediciones temporales del Canal de Transmisión Central Down Link de las Bandas GSM-850 Y GSM-1900	33
3.1.1	Selección de los lugares para las mediciones temporales.....	33
3.1.2	Mediciones temporales en el punto seleccionado	38
3.1.3	Procesamiento de los datos de las mediciones temporales.....	38
3.2	Desarrollo de la Aplicación	41
3.2.1	Creación de la Base de Datos	41
3.2.2	Creación de la Interfaz Gráfica de la aplicación	42
3.2.3	Funcionamiento de la Aplicación	45
3.3	Análisis del comportamiento de la intensidad de campo eléctrico durante los 7 días consecutivos	49
3.3.1	Primer período de mediciones	50
3.3.2	Segundo período de mediciones	56
3.3.3	Tercer período de mediciones	62
3.3.4	Cuarto período de mediciones	67
3.3.5	Obtención de los valores promedio y la media de los 4 periodos	72
3.4	Tablas comparativas	74

CONCLUSIONES	76
--------------------	----

RECOMENDACIONES	77
-----------------------	----

GLOSARIO	1
----------------	---

BIBLIOGRAFÍA	2
--------------------	---

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Bandas de uso de la Tecnología GSM.....	12
Tabla 1-2	Distribución espectral de canales Uplink y Downlink de GSM.....	14
Tabla 1-3	Asignación de frecuencias para telefonía móvil en la banda de 850 MHz.....	15
Tabla 1-4	Asignación de frecuencias para telefonía móvil en la banda de 1900 MHz.....	16
Tabla 1-5	Regulación Latinoamérica de las Radiaciones No Ionizantes	17
Tabla 1-6	Cantidades eléctricas, magnéticas, electromagnéticas y dosimétricas	18
Tabla 1-7	Límites de Referencia ICNIRP valores eficaces sin perturbaciones	19
Tabla 3-1	Datos Referenciales de la Torre Monopolo	33
Tabla 3-2	Canales centrales de bajada monitoreados con el equipo NARDA SRM-3000.....	35
Tabla 3-3	Datos Referenciales del equipo Narda SRM-3000 en la Escuela de Finanzas.....	37
Tabla 3-4	Presentación de los datos extraídos del equipo NARDA SRM-3000 de la medición 3126,1	39
Tabla 3-4	Continuación.....	40
Tabla 3-5	Períodos de análisis	50
Tabla 3-6	Valores de tendencia media día lunes	55
Tabla 3-7	Valores de tendencia media día miércoles.....	56
Tabla 3-8	Valores de tendencia media día viernes	56
Tabla 3-9	Valores de tendencia media día miércoles, período 2.....	61
Tabla 3-10	Valores de tendencia media día jueves, período 2.....	61
Tabla 3-11	Valores de tendencia media día viernes, período 2.....	62
Tabla 3-12	Valores de tendencia media día lunes, período 3.....	66
Tabla 3-13	Valores de tendencia media día miércoles, período 3.....	67
Tabla 3-14	Valores de tendencia media día viernes, período 3.....	67
Tabla 3-15	Valores de tendencia media día lunes, período 4.....	72
Tabla 3-16	Valores de tendencia media día martes, período 4	72
Tabla 3-17	Valores de tendencia media día miércoles, período 4.....	72
Tabla 3-18	Valores de tendencia media, día lunes, día completo	73
Tabla 3-19	Valores de tendencia media, día miércoles, día completo	73
Tabla 3-20	Valores de tendencia media, día viernes, día completo	73
Tabla 3-21	Cálculo del límite máximo de intensidad de campo eléctrico para canales GSM.	74
Tabla 3-22	Tabla comparativa día Lunes	75

Tabla 3-23 Tabla comparativa día Miércoles	75
Tabla 3-24 Tabla comparativa día Viernes	75

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Propagación de una Onda Electromagnética.....	4
Figura 1-2	Espectro Electromagnético	9
Figura 1-3	Zonas de exposición de la Normativa UIT-T K.52	21
Figura 2-1	Equipo NARDA SRM – 3000	24
Figura 2-2	Narda SRM – 3000 modo Evaluación de Seguridad.....	25
Figura 2-3	Narda SRM - 3000 en modo Análisis de Espectro.....	26
Figura 2-4	GPS Garmin GPSmap® 60CSx.....	27
Figura 2-5	Interfaz gráfica de Microsoft SQL Server 2014	30
Figura 3-1	Ubicación de la Torre Monopolo.....	34
Figura 3-2	Distribución de las antenas de la Radio Base.....	35
Figura 3-3	Frecuencia central 873,4 MHz con el ancho de banda de 200 KHz	36
Figura 3-4	Equipo NARDA SMR-3000 en la Escuela de Finanzas, Campus ESPOCH.....	36
Figura 3-5	Antena GSM en la puerta posterior de la ESPOCH y del Equipo Narda SRM-3000 en la Escuela de Finanzas.....	37
Figura 3-6	Antena GSM en la puerta posterior de la ESPOCH y del Equipo Narda SRM-3000 en la Escuela de Finanzas.....	38
Figura 3-7	Estructura de decisión de la aplicación	42
Figura 3-8	Diagrama de Flujo de la Aplicación	44
Figura 3-9	Diagrama de Flujo de la Aplicación (Continuación).....	45
Figura 3-10	Menú Datos Generales de la aplicación	46
Figura 3-11	Pestaña Frecuencia GSM	46
Figura 3-12	Pestaña Canal Central	47
Figura 3-13	Pestañas Día, Hora Inicio de la Aplicación.....	47
Figura 3-14	Menú general de la aplicación	48
Figura 3-15	Gráfico en la aplicación	48
Figura 3-16	Menú Tabla Comparativa	49
Figura 3-17	Menú Resultados Estadísticos	49

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Miércoles Período 1, 00H00 a 02H00.	51
Gráfico 3-2 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Lunes Período 1, 00H00 a 03H00.	51
Gráfico 3-3 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Martes Período 1, 04H00 a 06H00.	52
Gráfico 3-4 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Jueves Período 1, 00H00 a 01H00.	52
Gráfico 3-5 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Viernes Período 1, 00H00 a 02H00.	53
Gráfico 3-6 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Sábado Período 1, 05H00 a 06H00.	53
Gráfico 3-7 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Domingo Período 1, 02H00 a 05H00.	54
Gráfico 3-8 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del canal central 1 de GSM-850 con el canal central 1 de GSM-1900, día Lunes Período 1, 00H00 a 02H00.	54
Gráfico 3-9 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del canal central 2 de GSM-850 con el canal central 2 de GSM-1900, día Lunes Período 1, 03H00 a 05H00.	55
Gráfico 3-10 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Lunes Período 2, 06H00 a 08H00.	57
Gráfico 3-11 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Martes Período 2, 06H00 a 08H00.	58
Gráfico 3-12 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Miércoles Período 2, 06H00 a 08H00.	58
Gráfico 3-13 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Martes Período 2, 10H00 a 12H00.	59
Gráfico 3-14 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Miércoles Período 2, 10H00 a 12H00.	60
Gráfico 3-15 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Viernes Período 2, 10H00 a 12H00.	60
Gráfico 3-16 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Sábado Período 2, 10H00 a 12H00.	61

Gráfico 3-17 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Lunes Período 3, 12H00 a 14H00.....	63
Gráfico 3-18 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Martes Período 3, 12H00 a 14H00.....	63
Gráfico 3-19 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Miércoles Período 3, 12H00 a 14H00.....	64
Gráfico 3-20 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Miércoles Período 3, 15H00 a 17H00.....	64
Gráfico 3-21 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Lunes Período 3, 15H00 a 17H00.....	65
Gráfico 3-22 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Martes Período 3, 15H00 a 17H00.....	65
Gráfico 3-23 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Viernes Período 3, 14H00 a 17H00.....	66
Gráfico 3-24 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Lunes Período 4, 18H00 a 20H00.....	68
Gráfico 3-25 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Martes Período 4, 18H00 a 20H00.....	68
Gráfico 3-26 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Miércoles Período 4, 18H00 a 20H00.....	69
Gráfico 3-27 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Jueves Período 4, 20H00 a 00H00.....	70
Gráfico 3-28 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Viernes Período 4, 20H00 a 00H00.....	70
Gráfico 3-29 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Sábado Período 4, 20H00 a 00H00.....	71
Gráfico 3-30 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Domingo Período 4, 20H00 a 00H00.....	71

RESUMEN

Se realizó el análisis de un canal de transmisión central del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM), en las bandas de 850 y 1900 MHz, en el interior de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), utilizando el equipo de medición Narda SRM-3000, para determinar el comportamiento de la intensidad del campo eléctrico, para lo cual se recolectaron 1675 mediciones en una ubicación fija, a una distancia de 370 metros desde la base de la torre monopolo hasta el equipo de medición. Los datos obtenidos permitieron verificar el comportamiento que tiene la intensidad de campo eléctrico durante diferentes horas del día, incluyendo horas de tráfico elevado, horas pico, donde las mediciones llegan a valores máximos. Además, se analizaron periodos de tiempo en el que los datos indican valores mínimos, tal es el caso de las primeras horas del día. Posteriormente los datos fueron comparados con los recomendados por organismos competentes como la Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), y los vigentes en nuestro país regulados por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), los cuales están basados en la recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), específicamente las recomendaciones K.52 y la K.61. Luego de recolectar y analizar los datos durante los 7 días continuos, se desarrolló una aplicación en Microsoft Visual Basic 2014 para demostrar gráficamente el comportamiento de la intensidad de campo eléctrico producido por los canales downlink centrales del servicio celular de las bandas de GSM - 850 y GSM - 1900, usándolo como herramienta para la comparación con las recomendaciones vigentes en el país y para identificar los períodos de tiempo en el que los canales centrales de las bandas GSM muestren variaciones considerables. Se determinó que todos los valores monitoreados están debajo de los límites permitidos por las recomendaciones antes mencionadas. Se recomienda realizar un estudio posterior en otra zona del campus.

Palabras Clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO>, <SISTEMA GLOBAL COMUNICACIONES MÓVILES (GSM)>, <GSM 850>, <GSM 1900>, <UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (UIT)>, <NARDA SRM - 3000>

SUMMARY

It was carried out the analysis of a Central transmission channel of the Global System for Mobile communications (GSM), in the bands 850 and 1900 Mhz, in the Escuela Superior Politécnica of Chimborazo (ESPOCH). The measurement equipment Narda SRM-3000 was used to determine the behavior of the electronic field strength, for which 1675 measurements were collected at a fixed location, at a distance of 370 meters from the base of the monopole tower to the measuring equipment. The data obtained allowed to verify the behavior of the electronic field strength during different times of the day, including high traffic hours, rush hour, where the measurements reached maximum values. In addition, periods of time where the data indicate minimum values were analyzed, such is the case of the first hours of the day. Later the data is compared with those recommend by competent agencies such as the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), and the current regulations in our country regulated by the Telecommunications Regulatory and Control Agency (ARCOTEL), which are based on the recommendations of the International Telecommunication Union (ITU), specifically the recommendations K.52 and K.61. After collecting and analyzing data during seven consecutive day, an application was developed by using Microsoft Visual Basic 2014 to graphically demonstrate the behavior of the electric field strength produced by the central downlink channels of the GSM - 850 and GSM - 1900 bands. The application was used as a tool for comparison with the current recommendations in the country and to identify the time spans when the central channels of the GSM bands show considerable variations. It was determined that all monitored values are below the limits permitted by therecommendations mentioned before. Further study is recommended in another area of the campus.

Key Words: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <TELECOMMUNICATIONS>, <ELECTRIC FIELD STRENGTH>, <GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS>, <GSM 850>, <GSM 1900>, <INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU)>, <NARDA SRM - 3000>

INTRODUCCIÓN

El comportamiento de la intensidad de campo eléctrico ha sido una gran interrogante desde hace décadas, desde el desarrollo de radiaciones artificiales generadas por el hombre hasta la aparición de la radio, televisión y el servicio de telefonía móvil.

Es de suma importancia tener presente que la mayoría de servicios de telecomunicaciones van en aumento, incluyendo la telefonía móvil, que es una de las ramas más amplias y progresivas de nuestra época. El hecho de que el número de usuarios de las diferentes operadoras aumente año tras año, obliga a que la infraestructura utilizada para la conexión móvil a nivel nacional vaya creciendo. Decenas de radiobases celulares se instalan en zonas pobladas, lo que hace que mucha gente se alarme de la radiación de las antenas de servicio celular.

Varios organismos internacionales como la ICNIRP y la UIT han presentado normativas y recomendaciones sobre los niveles de radiación máximos que deberían tener las antenas de servicios móvil celular, recomendaciones que han sido adoptadas localmente por los organismos de control que rigen en Ecuador como es el caso de la ARCOTEL.

Dicho esto, en este documento se muestra un análisis del comportamiento de la intensidad de campo eléctrico, irradiada particularmente por las antenas celulares que brindan servicio en las bandas GSM - 850 y GSM - 1900.

La obtención de datos se lleva a cabo mediante mediciones temporales utilizando el equipo NARDA SRM-3000, dentro del campus de la ESPOCH. Se realiza una comparación de los valores obtenidos con el de las recomendaciones internacionales (ICNIRP, UIT-T K.52, UIT-T K.61) y finalmente, se desarrolla una aplicación para el análisis gráfico estadístico de los valores medidos durante el periodo de los 7 días.

ANTECEDENTES

En nuestro medio, todos los días estamos expuestos a campos eléctricos indetectables a la percepción natural humana por efecto de la radiodifusión.

La ONU (Organización de Naciones Unidas), a través de su entidad especializada en tecnologías de información y comunicaciones UIT, ha presentado continuamente documentos a manera de recomendaciones donde se muestran específicamente las características que deberían tener las radiaciones de servicios de telecomunicaciones.

Localmente (Ecuador), la ARCOTEL, es el organismo encargado de monitorear y verificar a nivel nacional que las entidades que utilizan el espectro radioeléctrico se rijan a las normas que esta agencia dicta.

Desde hace varios años, el servicio celular se ha convertido en un servicio indispensable en la vida cotidiana, tanto así que, los usuarios y los territorios de cobertura han crecido a pasos agigantados, siendo necesario instalar innumerables antenas de telefonía móvil en muchos sectores de nuestra localidad (Riobamba).

Para poder brindar servicio al campus de la ESPOCH y a los sectores aledaños, se han instalado antenas muy cerca del espacio ocupado por la institución, sin embargo, no se han realizado análisis de la intensidad de campo eléctrico ni se sabe cuál es el comportamiento de los diferentes canales en las frecuencias dedicadas específicamente al servicio celular GSM-850 y GSM-1900, más estrictamente relacionados a DOWN LINK.

JUSTIFICACIÓN

Con los valores medidos durante los 7 días continuos de la intensidad de campo eléctrico, se realizará un análisis comparativo con los valores límites recomendados por la ICNIRP, UIT y la ARCOTEL, posteriormente se desarrollará una aplicación en VISUAL STUDIO que permita analizar estadísticamente el comportamiento de los canales centrales de bajada de las bandas GSM – 850 y GSM – 1900.

Los datos obtenidos serán utilizados en el completamiento del protocolo de medición en la tesis doctoral en Ciencias Técnicas de la Universidad de Oriente de Santiago de Cuba, que está desarrollando el Ing. Pedro Infante y será publicado mediante un artículo en una revista relacionada con el tema.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo determinar el comportamiento de la intensidad de campo eléctrico generada en las antenas de servicio celular GSM-850 y GSM-1900 específicamente en el canal de DOWN LINK?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo se comporta la intensidad de campo eléctrico del canal de Down Link de GSM-850 y GSM-1900? ¿Cuál es el valor medio de la intensidad de campo eléctrico a la frecuencia central del canal de transmisión Down Link? ¿Qué tanto varían los valores medidos de la intensidad de campo media con los valores sugeridos por organismos reguladores internacionales y la ARCOTEL?

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Analizar un canal de transmisión central de las bandas GSM-850 y GSM-1900 en el interior de la ESPOCH utilizando el NARDA SRM-3000, para determinar el comportamiento de la intensidad del campo eléctrico.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Monitorear continuamente durante 7 días el canal de transmisión central Down link de cada una de las bandas GSM-850 y GSM-1900 en el interior de la ESPOCH utilizando el equipo NARDA SRM-3000, para determinar el valor medio de la intensidad de campo eléctrico.
2. Analizar los datos del monitoreo realizado en el numeral 1 para determinar el comportamiento de la intensidad de campo eléctrico durante 7 días consecutivos en cada una de los canales centrales.
3. Realizar cuadros comparativos del comportamiento del campo eléctrico con las normas vigentes nacionales e internacionales.
4. Realizar un programa o aplicación para presentar el comportamiento de la intensidad del campo eléctrico medido durante los 7 días continuos de cada uno de los canales centrales.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Ondas Electromagnéticas

1.1.1 Características de una Onda Electromagnética

Las ondas electromagnéticas representan la propagación de un estado de perturbación del campo electromagnético, siendo estas caracterizadas por su longitud de onda, por la frecuencia y la energía electromagnética, parámetros que están relacionados entre sí.

La idea principal es que, si se hace oscilar cargas eléctricas entre los extremos de una antena, el campo eléctrico \mathbf{E} en las proximidades se altera bruscamente. Este campo eléctrico variable genera a su vez, en virtud de las leyes de Maxwell, un campo magnético \mathbf{H} , variable. En conclusión, se generan ondas sinusoidales de campo eléctrico y magnético perpendiculares entre sí, tal como se muestra en la Figura 1-1. (Antón, n.d, pp.2)

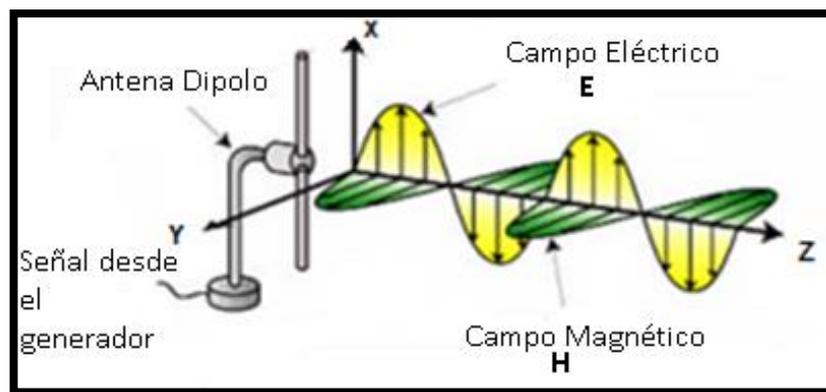


Figura 1-1 Propagación de una Onda Electromagnética

Fuente: http://pendientedemigracion.ucm.es/info/opticaf/OPT_FIS/apuntes_sueltos_prov/pdf/Tema2.pdf

1.1.2 Campo Eléctrico y Campo Magnético

- Campo Eléctrico

El Campo Eléctrico se produce por las cargas en reposo y se define como un campo de fuerza en un punto determinado, creado mediante la atracción o repulsión de cargas eléctricas.

- Campo Magnético

El Campo Magnético se produce por cargas en movimiento o por corrientes variantes en el tiempo. Por lo tanto, toda corriente eléctrica origina un campo magnético asociado.

1.1.3 Ecuaciones de Maxwell

Las ecuaciones de Maxwell para campos variantes en el tiempo son las siguientes:

$$(1) \quad \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$(2) \quad \nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

$$(3) \quad \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v$$

$$(4) \quad \nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

Siendo:

\mathbf{E} = Intensidad de campo eléctrico

\mathbf{H} = Intensidad de campo magnético

\mathbf{J} = Densidad de corriente eléctrica

\mathbf{D} = Vector de desplazamiento

\mathbf{B} = Densidad volumétrica de cargas

La ecuación (3) esencialmente establece que la densidad de carga es una fuente (o sumidero) de las líneas de flujo eléctrico. Obsérvese que no se puede seguir diciendo que todo flujo eléctrico comienza y termina en una carga porque la parte importante de la ley de Faraday (1) muestra que \mathbf{E} , y también \mathbf{D} , pueden tener circulación si está presente un campo magnético variable. Por ello las líneas de flujo eléctrico pueden formar trayectorias cerradas.

Con la ecuación (4) se reconoce el hecho de que se desconoce la existencia de “cargas magnéticas” o polos. El flujo magnético siempre se encuentra en circuitos cerrados y nunca diverge de una fuente puntual.

Las ecuaciones auxiliares que relacionan \mathbf{D} y \mathbf{E} también son necesarias para definir y relacionar las cantidades que aparecen en las ecuaciones de Maxwell, las cuales son las siguientes:

$$(5) \quad \mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$$

$$(6) \quad \mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$$

Donde:

ϵ = Permitividad del material (medio)

μ = permeabilidad del material (medio)

La ecuación (7), define la densidad de corriente de conducción.

$$(7) \quad \mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$$

La ecuación (8), define la densidad de corriente de convección en términos de la densidad de carga volumétrica ρ_v .

$$(8) \quad \mathbf{J} = \rho_v \mathbf{v}$$

Donde:

σ = conductividad del material

\mathbf{v} = volumen del material (medio)

(Hayt & Buck, 2006, pp.317-318).

1.1.4 La propagación de la onda en el espacio libre

En el espacio libre los campos eléctrico y magnético pueden propagarse con cualquier magnitud y dirección, las cuales van a ser determinadas por el dispositivo que las genere (por ejemplo una antena). Cuando se consideran ondas electromagnéticas en el espacio libre se observa que el medio carece de fuente.

$$\rho_v = 0 \quad \text{y} \quad \mathbf{J} = 0$$

En estas condiciones, las ecuaciones de Maxwell sólo se pueden escribir en términos de \mathbf{E} y \mathbf{H} como se muestra a continuación:

$$(9) \quad \nabla \times \mathbf{E} = -\mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}$$

$$(10) \quad \nabla \times \mathbf{H} = \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

$$(11) \quad \nabla \cdot \mathbf{E} = 0$$

$$(12) \quad \nabla \cdot \mathbf{H} = 0$$

La ecuación (9) establece que, si \mathbf{E} está cambiando con el tiempo en algún punto, entonces \mathbf{H} tiene rotacional en ese punto; por lo tanto, \mathbf{H} varía espacialmente en una dirección normal a su dirección de orientación. Además, si \mathbf{E} cambia con el tiempo, entonces, en general, también \mathbf{H} lo hará, aunque no necesariamente de la misma manera. Después, a partir de la ecuación (10), se observa que un campo \mathbf{H} cambiante produce un campo eléctrico \mathbf{E} , el cual, al tener un rotacional, varía espacialmente en la dirección normal a su orientación.

Se presupone la existencia de una onda plana uniforme en la que ambos campos, \mathbf{E} y \mathbf{H} , se encuentran en el plano transversal, es decir, el plano cuya perpendicular es la dirección de propagación. Además, por definición, ambos campos tienen una magnitud constante en el plano transversal. Por esta razón, dicha onda a menudo se denomina onda electromagnética transversal (TEM, por sus siglas en inglés). La variación espacial que requieren ambos campos en la dirección normal a su orientación ocurrirá, por lo tanto, sólo en la dirección de la propagación de la onda, o perpendicular al plano transversal. Por ejemplo, supóngase que $\mathbf{E} = E_x \mathbf{a}_x$ o que el campo eléctrico está polarizado en la dirección de x . Si además se supone que la propagación de la onda es en la dirección de z , la variación espacial de \mathbf{E} solamente puede ser con z . Al utilizar la ecuación (10) se observa que con estas restricciones el rotacional de \mathbf{E} se reduce a una ecuación con un solo término:

$$(12) \quad \nabla \times \mathbf{E} = \frac{\partial E_x}{\partial z} \mathbf{a}_y = -\mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = -\mu_0 \frac{\partial H_y}{\partial t} \mathbf{a}_y$$

La dirección del rotacional de \mathbf{E} en (12) determina la dirección de \mathbf{H} , la cual se observa que es a lo largo de la dirección y . Por lo tanto, en una onda plana uniforme, las direcciones de \mathbf{E} , \mathbf{H} y la de propagación son mutuamente perpendiculares. Utilizando el campo magnético dirigido hacia y , y el hecho de que éste varía solamente con z , se simplifica la ecuación (10) a:

$$(13) \quad \nabla \times \mathbf{H} = -\frac{\partial H_y}{\partial z} \mathbf{a}_x = \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = \epsilon_0 \frac{\partial E_x}{\partial t} \mathbf{a}_x$$

Las ecuaciones (12) y (13) nos quedarían de la siguiente manera:

$$(14) \quad \frac{\partial E_x}{\partial z} = -\mu_0 \frac{\partial H_y}{\partial t}$$

$$(15) \quad \frac{\partial H_y}{\partial z} = -\epsilon_0 \frac{\partial E_x}{\partial t}$$

En donde a la ecuación (14) se la deriva con respecto a z y la ecuación (15) se deriva con respecto a t quedándonos así:

$$(16) \quad \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} = -\mu_0 \frac{\partial^2 H_y}{\partial t \partial z}$$

$$(17) \quad \frac{\partial^2 H_y}{\partial t \partial z} = -\epsilon_0 \frac{\partial^2 E_x}{\partial t^2}$$

Sustituimos (17) en (16) quedándonos:

$$(18) \quad \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 E_x}{\partial t^2}$$

Obteniendo así la ecuación de onda del campo eléctrico TEM polarizado en x en el espacio libre. Siendo, además:

$$(19) \quad v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3 * 10^8 \text{ m/s} = c$$

Podemos encontrar la velocidad de propagación.

De la misma manera para obtener la onda del campo magnético TEM se procede a derivar la ecuación (14) con respecto a t y (15) con respecto a z dándonos como resultado:

$$(20) \quad \frac{\partial^2 H_y}{\partial z^2} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 H_y}{\partial t^2}$$

(Hayt & Buck, 2006, pp.396-398).

1.2 Espectro Electromagnético

Es el conjunto total de frecuencias, que va desde las subsónicas (unos pocos Hertz) hasta los rayos cósmicos 10^{22} *Herzios*. El espectro electromagnético se subdivide en subsecciones o

bandas, cada una de las cuales tiene un nombre y sus límites. (Tomasi, 2003, pp 5) (véase Figura 1-2).

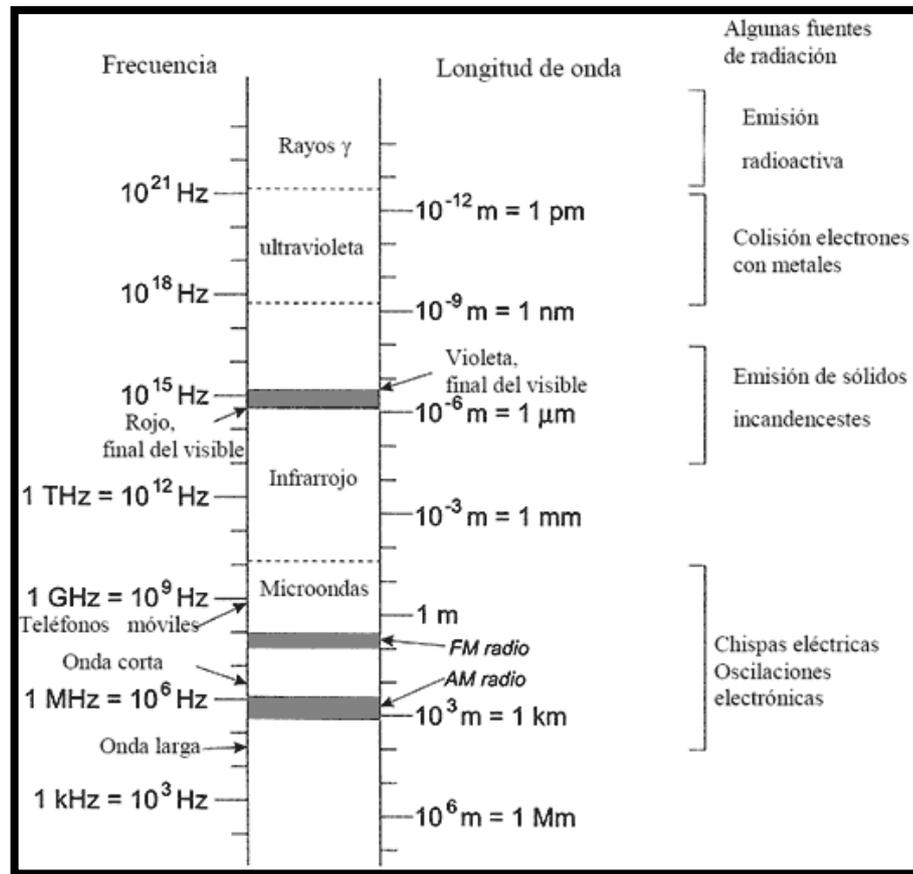


Figura 1-2 Espectro Electromagnético

Fuente: <http://www.mimagnetoterapia.com/espectro-electromagnetico>

La sección utilizada en los servicios de Radio Difusión es conocido como Espectro Radioeléctrico. Este espectro se considera como una parte fundamental y estratégica en el desarrollo de cada país y, Ecuador no es la excepción. Se considera una parte esencial en la tecnología de nuestra era, por el amplio uso de los servicios de radio, televisión y telefonía móvil.

Al ser considerado un sector estratégico, el espectro en nuestro país es monitoreado y controlado por la ARCOTEL, quienes se encargan de que, en particular, el espectro que corresponde a los servicios radioeléctricos, se mantenga bajo un uso adecuado, respetando la distribución espectral asignada.

Otra de las características importantes del Espectro Electromagnético tiene que ver con la clasificación de las ondas según el tipo de radiación. Las radiaciones pueden ser Ionizantes o no Ionizantes.

1.2.1 Radiaciones ionizantes

La radiación ionizante es aquella que tiene la capacidad de desplazar un electrón de un átomo de manera que puede alterar la estructura electrónica de la materia y por tanto sus propiedades. En los tejidos vivos la ionización produce cambios químicos, conocidos como efectos biológicos de la radiación, las cuales producen daños en las estructuras químicas de las células particularmente ADN (Ácido desoxirribonucleico).

El ADN contiene toda la información de la célula y sus funciones como el crecimiento la proliferación o reproducción y la diferenciación. Las lesiones que la radiación ionizante produce en el ADN son muy diversas e incluyen la alteración de la reproducción de las células. Si el ADN es alterado toda la información contenida se transmite a las células hijas de manera que puede afectar tejidos u órganos completos.

Los daños causados por la radiación ionizante pueden ser dos: efecto determinista y efecto estocástico. El efecto determinista es un daño letal y causa la muerte de un número elevado de células de un tejido u órgano, y es causado por dosis elevadas de radiación, mientras que el efecto estocástico es un daño subletal y produce mutación en unas pocas células, y generalmente es producido por dosis de radiación en bajas cantidades. El principal efecto estocástico es el cáncer en el cual las células mutan con daños en el ADN y se reproducen en el organismo. (Real, 2014, pp 2-17)

En resumen, la radiación puede afectar el funcionamiento de órganos y tejidos y producir efectos agudos como enrojecimiento de la piel, caída de cabello y quemaduras por la radiación, pero todo dependerá de la dosis de radiación ionizante absorbida. Por tanto si la dosis de radiación es baja, el riesgo es menor, por lo que hay la probabilidad que se reparen los daños. Sin embargo, existen riesgos de efectos a largo plazo como el cáncer, que puede tardar años o décadas en aparecer. (OMS, 2016, pp 1)

1.2.2 Radiaciones no ionizantes

El término "no-ionizante" hace referencia al hecho de que este tipo de radiación no es capaz de remover electrones o romper enlaces químicos. La radiación electromagnética de radiofrecuencias es una radiación no ionizante. (CONATEL, 2005, pp 9)

Las radiaciones no ionizantes pese a no tener la capacidad de alterar la materia, en muchas ocasiones puede tener la energía suficiente para producir efectos térmicos de calentamiento como los producidos en los microondas, en donde la radiación emitida es capaz de hacer vibrar las moléculas de agua elevando su temperatura considerablemente. Este efecto también puede producirse en los tejidos vivos tanto superficiales como profundos. (ISPCH, n.d, pp 1)

1.3 Tecnología GSM

El Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM por sus siglas en inglés), es una tecnología inalámbrica de prestación de servicios de voz y datos de alta calidad. Está diseñado para trabajar en frecuencias de 850, 900 y, 1800 y 1900 MHz. (Kahabka, n.d. pp. 3)

El estándar GSM fue adoptado por el Instituto Europeo de Estandarización de las Telecomunicaciones “ETSI” (European Telecommunication Standardizations Institute) en 1991, y en la actualidad gracias a todas sus bondades se lo sigue ocupando en más de 135 países.

Además, se adoptó varias bandas de frecuencias para usarse en el servicio móvil; sin embargo, nos centraremos en la modificación que se hizo a dicho estándar para ser usado en América, debido a que existen bandas que no serían aptas para el uso tanto en Europa como en el continente americano.

El Instituto Nacional Americano de Estándares (ANSI por sus siglas en inglés), adopta el estándar GSM y realiza ciertas modificaciones, particularmente en las bandas de funcionamiento, puesto que, si se conservaba la misma distribución frecuencial sugerida por el ETSI, las interferencias con ciertas bandas ya ocupadas habrían dificultado el funcionamiento normal de GSM. La banda GSM - 1800 usada en Europa, se movió para el uso en América del norte a la banda de 1900 MHz., denominándose GSM 1900. (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2001, pp. 10-11)

La primera banda usada en Europa para la red GSM fue la banda de 900 MHz, sin embargo en América tampoco se ha aceptado dicha frecuencia de operación, por el contrario, se utiliza la banda de 850 MHz. Por tanto, las bandas Europeas que operan bajo el estándar GSM son GSM - 900 y GSM - 1800, mientras que en América las bandas son GSM - 850 y GSM - 1900. (Véase la Tabla 1-1).

Tabla 1-1 Bandas de uso de la Tecnología GSM

Banda (MHz)	Nombre	Localización de Uso
850	GSM - 850	América y Asia
900	GSM - 900	Europa, la más extensiva pues fue la primera en entrar en operación.
1800	GSM - 1800	Europa, incompatible en América.
1900	GSM - 1900	América, interferente con la banda GSM - 1800 de Europa

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

1.3.1 Arquitectura GSM

Para facilitar su identificación y estudio, la arquitectura GSM se divide en 3 partes principales:

1.3.1.1 Estación móvil (MS)

Son equipos móviles con la capacidad de interconectarse a la red GSM. Generalmente llevan en su interior la tarjeta SIM o Módulo de Identificación de Suscriptor (Subscriber Identify Module), que es un dispositivo o tarjeta electrónica que contiene toda la información de servicios y permite identificar el usuario en la red a través del IMSI (Identificador de Suscriptor Móvil Internacional), que es un número asignado a ese usuario únicamente. Además viene relacionado con la identificación del dispositivo en la red mediante el IMEI (Identificador de Equipo Móvil Internacional), que no es otra cosa que un número único que permite identificar el Hardware del dispositivo. (Kahabka, n.d. pp. 8)

1.3.1.2 Subsistema de estación base (BSS)

Se compone de los dispositivos que intervienen en los radioenlaces de la red. Está compuesto principalmente por el BTS (Estación Transceptora de Base), que está compuesta por las antenas, conectores y demás elementos del enlace de radio. El BSC (Controlador de Estación Base) se encarga de gestionar la intercomunicación entre diferentes BTS y las conecta a un NSS (Subsistema de Conmutación y Red). (Kahabka, n.d. pp. 8-9)

1.3.1.3 Subsistema de Red

Está compuesto por el MSC (Centro de Conmutación Móvil), el HLR (Registro de Localización Local), el VLR (Registro de Localización Visitante), el AuC (Centro de Autenticación), y el EIR (Registro de Identidad del Equipo), que en conjunto, se encargan entre otras cosas, del registro, la autenticación y las actualizaciones de localización de los suscriptores. En definitiva realiza el proceso de llamada. Otra función importante de esta sección es el mantener un registro de los dispositivos admitidos en la red y permitir la interconexión de la red GSM con otras como Internet, la red Telefónica Convencional, etc. (Kahabka, n.d. pp. 9)

Se puede mencionar además un conjunto de características referentes al funcionamiento de GSM, tales como:

- Sistema TDMA/FDMA (Acceso múltiple por división de tiempo/ Acceso múltiple por división de frecuencia) con FDD (Duplexación por división de frecuencia)
- Separación de canales de 200KHz.
- Separación dúplex 80 MHz.
- Cobertura máxima 35Km
- Dispersión Doppler máxima: 200Km/h

1.3.2 Beneficios de GSM

GSM se popularizó muy rápidamente porque proporcionó una calidad de voz mejorada y, a través de un estándar internacional uniforme, hizo posible utilizar un solo número de teléfono y unidad móvil en todo el mundo. (Kahabka, n.d. pp. 6)

De manera que podemos recalcar los siguientes beneficios que GSM implementa:

- Soporta Roaming internacional, o itinerancia de datos, que es la capacidad de un dispositivo conectado a una red GSM, de cambiar de zona de cobertura sin sufrir caídas de señal.
- Permite distinguir entre el usuario y la identificación que recibe su dispositivo en la red GSM.
- Comparada con tecnologías antecesoras, GSM ofrece una calidad de servicio de voz muy superior.

- De igual manera, GSM incluyó una amplia gama de servicios como los servicios de mensajería de texto (SMS), FAX, video texto, identificación de llamada, buzón de voz.
- Se añadió protocolos de seguridad. (Kahabka, n.d. pp. 6)

1.3.3 Canales Uplink y Downlink

La tecnología GSM requiere para su funcionamiento que exista una porción del espectro dedicada específicamente para la comunicación desde el usuario hasta la radiobase (UPLINK) y desde la radiobase hacia el usuario (DOWNLINK).

Por tanto, tanto para UPLINK como para DOWNLINK se han designado una banda del espectro en la que puede operar las funciones de recepción y transmisión de una radiobase celular sin interferencias ni solapamientos. Sin embargo, GSM – 850 difiere de GSM – 1900 por la separación en MHz de cada banda. (Véase la Tabla 1-2).

Tabla 1-2 Distribución espectral de canales Uplink y Downlink de GSM

Banda	Banda Uplink	Banda Downlink	Separación entre UL y DL
GSM – 850	824,0 – 849,0	869,0 – 894,0	45 MHz
GSM - 1900	1850,0 – 1910,0	1930,0 – 1990,0	80 MHz

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

1.3.4 Canales ARFCN

Los canales ARFCN “Absolute Radio Frequency Channel Number” o Número de Canal de Frecuencia de Radio Absoluta, es un número asignado a cada uno de los canales por los que se puede interconectar un móvil hacia la antena transmisora/receptora de GSM, dicho canal permite identificar por donde se transmite o recibe los datos.

Los canales ARFCN van del 0 al 1023 y se distribuyen en cada una de las frecuencias asignadas para los servicios GSM. Cabe recalcar que el número asignado a un canal va a ser el mismo tanto para UPLINK como para DOWNLINK, sin embargo, ocuparán su rango frecuencial respectivo (frecuencia de subida y bajada diferentes). (MARTIN-ESCALONA I., BARCELO F., PARADELLS J., 2002, pp. 2-3).

Los canales van distribuidos en varias de las bandas GSM utilizadas en Europa, pero debido al estudio requerido para esta investigación, nos centraremos únicamente en las bandas GSM 850 y GSM 1900.

GSM – 850 tiene asignados los canales 128 a 251, iniciando la frecuencia de UPLINK en 824,2 MHz. Como se mencionó anteriormente, existe una separación de 45 MHz entre los canales UPLINK y los canales DOWNLINK, por lo tanto, los canales de bajada estarán situados a partir de los 869,2 MHz. Es importante mencionar que la separación entre canales es de 200KHz, es decir, dado que el canal ARFCN número 128 es el primero de los canales asignados para GSM – 850, el inmediatamente consecutivo, (canal 129), que para UPLINK, iniciará en 824,4 MHz, y su equivalente en DOWNLINK, 45 MHz después, por tanto será en 869,4 MHz. Y así sucesivamente para todos los canales ARFCN de GSM – 850, hasta el canal 251 que concluirá en 848,8 MHz, y su equivalente en DOWNLINK en 893,8 MHz.

Tabla 1-3 Asignación de frecuencias para telefonía móvil en la banda de 850 MHz.

OPERADORA	RANGO DE FRECUENCIA
OTECEL S.A	835 - 845 MHz
	846,5 - 849 MHz
	880 - 890 MHz
	891,5 - 894 MHz
CONECEL S.A	824 - 835 MHz
	845 - 846.5 MHz
	869 a 880 MHz
	890 a 891.5 MHz

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

En el caso específico de GSM-1900, los canales utilizados van del 512 al 810. Al igual que para GSM – 850, el espaciado entre canales es de 200KHz. En cambio, la separación entre UPLINK y DOWNLINK es de 80MHz, así que el primer canal asignado, es decir el 512, empezará en 1850,2 MHz en UPLINK y su correspondiente en DOWNLINK será en 1930,2 MHz. El canal

inmediato consecutivo (513) empezará en 1850,4 para UPLINK y 1930,4 para DOWNLINK, y así sucesivamente.

Finalmente cabe indicar que, para cada operadora en nuestra localidad, la ARCOTEL, ha dividido el espectro de las bandas GSM – 850 y GSM – 1900, para las 3 operadoras existentes. Por lo tanto, cada uno de los canales ARFCN, están concedidos a su respectiva operadora, de manera que ordenadamente, cada radiobase celular, dependiendo su operadora, utilizará su espectro respectivo. (Véase Tablas 1-3, 1-4)

Tabla 1-4 Asignación de frecuencias para telefonía móvil en la banda de 1900 MHz.

OPERADORA	RANGO DE FRECUENCIA
OTECEL S.A	1865 - 1870 MHz
	1945 - 1950 MHz
CONECEL S.A	1870 - 1890 MHz
	1950 - 1970 MHz
CNT EP	1895-1910 MHz
	1975-1990 MHz
	1890 – 1895 MHz
	1970 – 1975 MHz

Fuente: ARCOTEL, 2015, Plan Nacional de Frecuencias

1.4 NORMAS VIGENTES NACIONALES E INTERNACIONALES.

Para la regulación y control de las radiaciones no ionizantes (RNI) en Latinoamérica, cada país acoge las recomendaciones internacionales. (Véase la Tabla 1-5). En nuestro país, la regulación de las Radiaciones No Ionizantes (RNI), se basa en las recomendaciones de la Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) y las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), particularmente la recomendación UIT K.52.

Tabla 1-5 Regulación Latinoamérica de las Radiaciones No Ionizantes

PAÍS	ORGANIZACIÓN	REFERENCIA	RANGO DE FRECUENCIA/ SERVICIOS	FECHA
COLOMBIA	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (NO ESPECÍFICO)	ICNIRP	60 Hz	2007
	MINISTERIO DE COMUNICACIONES	UIT. K52 (ICNIRP)	9 kHz- 300 GHz (trabajadores, público en general)	2005
ECUADOR	NATIONAL TELECOMMUNICATIONS COUNCIL (CONATEL)	UIT.K52 (ICNIRP)	9 kHz- 300 GHz (trabajadores, público en general)	2005
PERÚ	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (NO ESPECÍFICO)	ICNIRP	60 Hz	2006
	CONSEJO NACIONAL DEL AMBIENTE	ICNIRP	0 Hz- 300 GHz (público en general)	2005
	MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES	ICNIRP	9 kHz- 300 GHz (trabajadores, público en general)	2003

Fuente: ITU Workshop on “Human Exposure to Electromagnetic Fields (EMFs)”

1.5 COMISIÓN INTERNACIONAL SOBRE PROTECCIÓN FRENTE A RADIACIONES NO IONIZANTES (ICNIRP)

La ICNIRP es un grupo de expertos que se establece en 1992. Su función principal es elaborar recomendaciones para establecer los límites de la radiación no ionizante y sobre la protección contra la exposición a la radiación no ionizante generado principalmente por las radiaciones ópticas (infrarrojo, láseres, ultravioleta, etc.), por campos electromagnéticos (campo magnético, campo eléctrico), el espectro radioeléctrico (Radiodifusión, TV, Teléfonos Móviles, etc.), brindando asesoramiento y orientación sobre los efectos adversos de la radiación no ionizante para la salud al estar expuesto tanto en el límite ocupacional como en el límite poblacional.

La ICNIRP está asociado a algunas organizaciones en el mundo como la OMS (Organización Mundial de la Salud), OIT (Organización Internacional del Trabajo) el cual es un organismo especializados de las Naciones Unidas, OMM (Organización Meteorológica Mundial), ICOH (Comisión Internacional de Salud Laboral), IEC (Comisión Electrotécnica Internacional), IRPA (Asociación Internacional de Protección Radiológica). Todas estas organizaciones tienen en cuenta las recomendaciones de la ICNIRP. (Vecchia, 2006)

La ICNIRP utiliza en sus recomendaciones referencias a cada una de las Magnitudes eléctricas, magnéticas electromagnéticas y dosimétricas con su respectivo símbolo. (Véase la Tabla 1-6)

Tabla 1-6 Cantidades eléctricas, magnéticas, electromagnéticas y dosimétricas

CANTIDAD	SÍMBOLO	UNIDADES
Conductividad	σ	siemens por metro ($S m^{-1}$)
Corriente	I	amperio (A)
Densidad de Corriente	J	amperio por metro cuadrado ($A m^{-2}$)
Frecuencia	f	Hz (Hz)
Campo eléctrico	E	voltio por metro ($V m^{-1}$)
Campo magnético	H	amperio por metro ($A m^{-1}$)
Densidad de flujo magnético	B	Tesla (T)
Permeabilidad magnética	μ	henrio por metro ($H m^{-1}$)
Permitividad	ϵ	faraday por metro ($F m^{-1}$)
Densidad de potencia	S	vatio por metro cuadrado ($W m^{-2}$)

Fuente: Comisión Internacional sobre protección frente a Radiaciones no ionizantes

La ICNIRP propone niveles máximos de exposición a las radiaciones de acuerdo a la frecuencia. De manera que recomienda los valores máximos tolerables en el límite ocupacional y el límite poblacional. (Véase la Tabla 1-7) (ICNIRP, 1998, pp 511).

Tabla 1-7 Límites de Referencia ICNIRP valores eficaces sin perturbaciones

Tipo de exposición	Gama de Frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Intensidad de campo magnético (A/m)	Densidad de potencia de onda plana equivalente $S_{eq}(W/m^2)$
<i>Ocupacional</i>	Hasta 1Hz	-	2×10^5	-
	1 - 8 Hz	20 000	$2 \times 10^5 / f^2$	-
	8 - 25 Hz	20 000	$2 \times 10^4 / f$	-
	0,025 - 0,82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	-
	0,82 - 65 kHz	610	24.4	-
	0,065 - 1 MHz	610	$1.6 / f$	-
	1 - 10 MHz	$610 / f$	$1.6 / f$	-
	10 - 400 MHz	61	0.16	10
	400 - 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$f/40$
	2 - 300 GHz	137	0.36	50
<i>Poblacional</i>	Hasta 1Hz	-	2×10^4	-
	1 - 8 Hz	10 000	$2 \times 10^4 / f^2$	-
	8 - 25 Hz	10 000	$5000 / f$	-
	0,025 - 0,8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	-
	0,8 - 3 kHz	$250 / f$	5	-
	3 - 150 kHz	87	5	-
	0,15 - 1 MHz	87	$0.73 / f$	-
	1 - 10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0.73 / f$	-
	10 - 400 MHz	28	0.073	2
	400 - 2000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$f/200$
2 - 300 GHz	61	0.16	10	

NOTA 1: f es la indicada en la columna gama de frecuencias.

NOTA 2: Para las frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz, el tiempo de premedicación es de 6 minutos.

NOTA 3: Para frecuencias de hasta 100 kHz, los valores de cresta pueden obtenerse multiplicando el valor eficaz por $\sqrt{2}$ (* 1.4142). Para impulsos de duración t_p la frecuencia equivalente aplicable debe calcularse como $f = 1/(t_p)$.

NOTA 4: Entre 100 kHz y 10 Mhz, los valores de cresta de las intensidades de campo se obtienen por interpolación desde 1,5 veces la cresta a 100 MHz hasta 32 veces la cresta de 10 MHz. Para valores que sobrepasen 10 MHz, se sugiere que la densidad de potencia de onda plana equivalente de cresta promediada a lo largo de la anchura del impulso, no sobrepase 1000 veces el limite S_{eq} o que la intensidad de campo no sobrepase los niveles de exposición de intensidad de campo indicados en el cuadro.

NOTA 5: Para frecuencias superiores a 10 GHz, en el tiempo de promediación es de $68/f^{1.05}$ minutos (f en GHz).

Fuente: <http://www.scielo.org.co>

1.5.1 Tipos de Exposición

La ICNIRP propone dos tipos de límites de exposición:

1.5.1.1 Exposición Ocupacional:

Este límite se aplica a las personas que se encuentran expuestas a radiaciones electromagnéticas por causa de su trabajo o se encuentran transitoriamente en un lugar donde dichos límites son aplicados, las personas se encuentran enterados de la magnitud de la exposición y de los detalles.

1.5.1.2 Exposición Poblacional:

Son aplicables en situaciones en la cual la población puede estar expuesto a radiaciones de cualquier tipo o en el caso en que las personas estén siendo expuestas como consecuencia de su trabajo, sin conocer la magnitud de la exposición y de los detalles.

1.6 UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (UIT)

1.6.1 UIT-T K.52

La Recomendación UIT-T K.52 vigente es la aprobada el 29 de agosto de 2014 en su versión 3.0 la cual tiene como objetivo ayudar en la orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos (CEM), siendo estos generados por instalaciones de telecomunicaciones y teléfonos móviles u otros dispositivos que emitan radiación electromagnética. La Recomendación UIT-T K.52 presenta una guía general, un método de cálculo y un procedimiento de evaluación de las instalaciones de telecomunicaciones, basado en los límites establecidos por la ICNIRP, la que proporciona ayuda a los usuarios para determinar el cumplimiento en las instalaciones de telecomunicaciones, en función de los criterios de accesibilidad, propiedades de la antena y potencia del transmisor. Esta recomendación se aplica a la exposición debida a los teléfonos móviles u otros dispositivos radiantes, que funcionan en la gama de frecuencias de 300 MHz a 3 GHz. (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015, p.3-8)

La Recomendación UIT-T K.52 propone la clasificación de tres zonas como se muestra en la (Figura 1-3) para realizar la evaluación de la exposición a los CEM siendo estas:

1.6.1.1 Zona de Conformidad (Compliance zone)

En la zona de conformidad, la exposición potencial al CEM está por debajo de los límites aplicables a la exposición controlada (ocupacional) y del público en general (poblacional).

1.6.1.2 Zona Ocupacional (Occupational zone)

En la zona ocupacional, la exposición potencial al CEM está por debajo de los límites aplicables a la exposición controlada (ocupacional), pero excede los límites aplicables para el público en general (poblacional).

1.6.1.3 Zona de Rebasamiento (Exceedance zone)

En la zona de rebasamiento, la exposición potencial al CEM excede los límites aplicables, tanto para la exposición controlada (ocupacional) y la exposición no controlada del público en general (poblacional). (Rugeles Uribe, 2007, pp.149-158.)

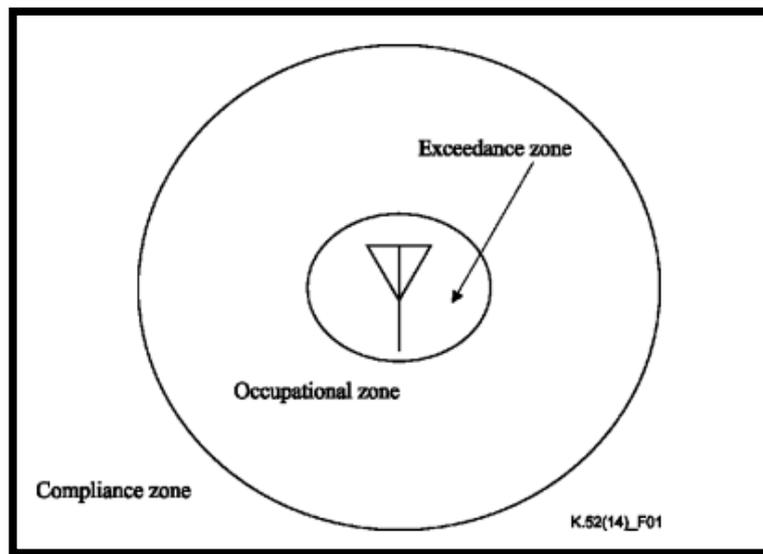


Figura 1-3 Zonas de exposición de la Normativa UIT-T K.52

Fuente: UIT-T K.52 201408

1.6.2 UIT-T K.61

En esta recomendación ITU-T K.61 se ayuda a los operadores de telecomunicaciones para verificar el cumplimiento con la exposición a los campos electromagnéticos CEM, mediante las

normas promulgadas por las autoridades locales o nacionales, para el caso de nuestro país la ARCOTEL acogándose a la Recomendación ITU-T K.52 mencionada en la sección anterior.

En la recomendación ITU-T K.61 se define herramientas, métodos y procedimientos que se pueden utilizar para lograr una evaluación del cumplimiento de las normas de exposición a radiofrecuencia que se puede lograr por la medición de la intensidad de campo electromagnético, siempre que se utilicen los instrumentos calibrados y la medida se exprese correctamente.

La consideración técnica de la recomendación UIT-T K.61 es:

1.6.2.1 Tiempo promedio

Los límites se expresan normalmente como valores RMS de una onda continua como promedio durante un período definido. Por ejemplo, la referencia ICNIRP menciona que la recolección de la medición de campo debe ser a lo largo de un periodo de 6 minutos para frecuencias por debajo de 10 GHz y durante un período de $68 / f^{1.05}$ minutos para frecuencias superiores a 10 GHz (donde f es la frecuencia en GHz) (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015, pp.2-5).

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLOGICO

Para la realización de la parte práctica de esta investigación, se obtuvo información acerca de la distribución frecuencial de las operadoras en nuestra localidad (Riobamba), y de acuerdo a la necesidad, se monitoreo durante 7 días consecutivos los canales centrales de las bandas GSM utilizadas en el país, centrándonos exclusivamente en los canales DOWNLINK. Se toman datos de campo eléctrico, cada 6 minutos las 24 horas del día y durante los 7 días. Se mide en el exterior de la Escuela de Finanzas a una distancia de la antena de 370 m, la antena del NARDA SRM-3000 se encuentra a 1.5 m sobre el piso. Después de lo cual, se elaboró una base de datos con todos los valores medios de campo eléctrico registrados en ese período.

Finalmente, se analiza estadísticamente los valores medidos, mediante la utilización de los softwares SQL Server como gestor de base de datos y Visual Studio para la interfaz de la aplicación y procesamiento estadístico de los datos, el cual permite representar gráficamente los valores de la intensidad de campo eléctrico distribuyendo los datos por períodos de tiempo específico, y así determinar su comportamiento en el campus de la ESPOCH durante 7 días consecutivos. El análisis continúa al verificar los estándares internacionales que adopta nuestro país y los valores sugeridos en dichos documentos para compararlos con los datos obtenidos tras la medición realizada.

A continuación, se describe las características:

2.1 Equipo Utilizado

2.1.1 Narda SMR-3000

Es un equipo diseñado para hacer mediciones de frecuencias específicas, seleccionando los rangos a analizar. En definitiva, es un medidor selectivo de frecuencia. El equipo NARDA tiene la capacidad de analizar el espectro electromagnético a partir de los 75 KHz hasta los 3 GHz, de manera que facilita el análisis de todos los servicios de radiofrecuencia incluyendo la telefonía móvil (Narda Safety Test Solution, 2004, pp.1-3).

El equipo NARDA está diseñado como un equipo portátil, de manera que contiene una batería de duración prolongada y cargable. El equipo también puede funcionar conectado a una fuente

de energía eléctrica. Físicamente está construido para ser portable y para ser usado al aire libre. Consta además de dos partes, la unidad base y la antena. (Véase Figura 2-1)



Figura 2-1 Equipo NARDA SRM – 3000

Fuente: Narda Safety Test Solution, 2013

La unidad base consta de un analizador de espectros para un rango frecuencial a partir de los 100KHz hasta los 3GHz. En la unidad base es básicamente donde se evalúan los datos instantáneamente. Esta unidad base posee compatibilidad con varias antenas de NARDA y de otros fabricantes, las cuales se adaptan de acuerdo a la necesidad del usuario como se muestra en la (Figura 2-1).

La antena triaxial del NARDA SRM – 3000 tiene la capacidad de medir el espectro desde los 75 KHz hasta los 3 GHz. Las mediciones en el equipo NARDA son isotrópicas. En definitiva, se puede monitorear la mayoría de servicios de radiofrecuencia de manera rápida y segura.

La función principal del equipo NARDA SRM - 3000 es la evaluación de campos electromagnéticos, permitiendo la selectividad entre los servicios disponibles de telecomunicaciones, y adaptándose a varias escalas de medición, de acuerdo a las normativas vigentes a nivel mundial.

El equipo NARDA permite hacer mediciones de intensidades de campo y los niveles de potencia, entre otras, lo que lo hace particularmente ideal para la medición de la intensidad de campo eléctrico en las bandas de telefonía móvil como son GSM – 850 y GSM – 1900.

Dentro de las funciones del equipo NARDA, se encuentran dos principalmente, el modo de Evaluación de Seguridad y el modo de Análisis de Espectro.

El modo de Evaluación de Seguridad se puede enlistar las frecuencias a las que se quiere monitorear y lo más importante de este modo es que permite visualizar la intensidad de campo eléctrico de cada uno de los canales monitoreados en V/m, además se puede registrar el campo magnético en A/m y la potencia en mW/cm, y también se puede relacionar cada uno de las mediciones con un estándar predefinido y compararlo de manera porcentual. (Narda STS, 2004, p.7-1). (Ver Figura 2-2)

Battery: ██████████		Ant: 3AX 75M-3G Wireless UK		Thresh. On
Mode: Spectrum Analysis		Cbl: SRM 1.5m		
Meas.Range: 2.8 V/m				
Peak Table:				
Index	Frequency	Level	Service	Set. Thresh.
1	1858.017 MHz	42.71 mV/m	Orange	
2	1860.987 MHz	32.55 mV/m	Orange	
3	1863.847 MHz	8.04 mV/m	Orange	
4	1856.745 MHz	5.797 mV/m	Orange	
5	1867.260 MHz	2.486 mV/m	Orange	
6	1864.839 MHz	1.994 mV/m	Orange	
7	1841.218 MHz	1.916 mV/m	T-Mobile	
8	1855.584 MHz	1.880 mV/m	Orange	
9	1855.170 MHz	1.879 mV/m	Orange	
10	1844.008 MHz	1.823 mV/m	T-Mobile	
11	1873.170 MHz	1.750 mV/m	Orange	
12	1848.211 MHz	1.744 mV/m	Orange	
Fmin:	1.84 GHz	Fcent:	1.86 GHz	Sweep Time: 201 ms
Fmax:	1.88 GHz	Fspan:	40 MHz	No. of Runs: 534
RBW:	200 kHz	Result:	ACT	

Figura 2-2 Narda SRM – 3000 modo Evaluación de Seguridad.

Fuente: <http://w.pic.com.tw/newsdetail.php?id=1123>

Hay cuatro tipos de resultados que NARDA puede mostrar en el modo de Evaluación de Seguridad, de acuerdo a la necesidad se puede obtener un valor Actual, valor máximo, valor promedio y valor promedio máximo. (Narda Safety Test Solution, 2004, p.7-6).

En el modo de Análisis de Espectro, se visualiza gráficamente el espectro seleccionado, se puede verificar anchos de banda y picos máximos. Al igual que el modo de Evaluación de

Seguridad se hace un análisis instantáneo de los valores si es que así se requiere. (Narda Safety Test Solution, 2004, p.8-1). (Figura 2-3).

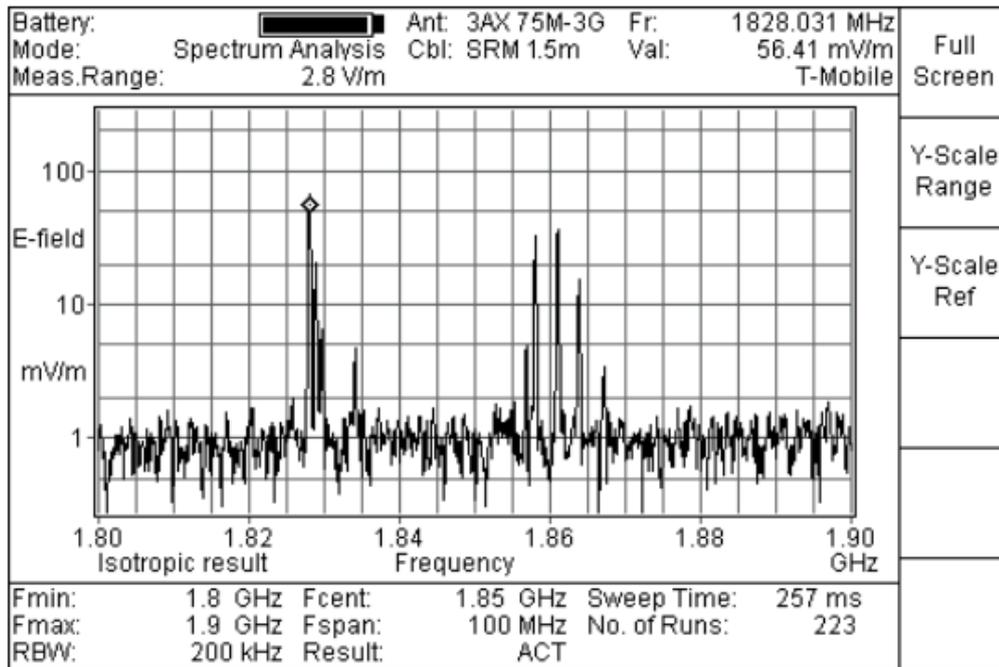


Figura 2-3 Narda SRM - 3000 en modo Análisis de Espectro

Fuente: <http://w.pic.com.tw/newsdetail.php?id=1123>

Finalmente, el equipo NARDA SRM – 3000 permite la visualización de resultados de acuerdo a lo requerido en términos de valores actuales, máximos, promedio, y promedios máximos.

Es importante mencionar que el equipo NARDA puede presentar una unidad de medida relativa a una escala específica o recomendación como la ICNIRP, etc, a manera de porcentajes, es decir, mostrará si los valores medidos llegan a un 100% de la recomendación indicada por la ICNIRP para las diferentes porciones del Espectro Radioeléctrico.

2.1.2 *Garmin GPSmap® 60CSx*

El GPSmap 60CSx es un dispositivo GPS (Global Positioning System) desarrollado por la empresa Garmin de tipo portátil que permite determinar mediante la utilización de satélites las coordenadas geográficas en las que se encuentra ubicado nuestro equipo de medición (Narda SMR-3000) el cual cuenta con una antena externa, una pantalla LCD a color de 3.8 x 5.6 cm, con una resolución de la pantalla de 160 x 240 pixeles, con una precisión de la definición de coordenada de 10 m y además posee las siguientes funciones adicionales barómetro y brújula magnética como se puede apreciar en la ilustración. (Figura 2-4).



Figura 2-4 GPS Garmin GPSmap® 60CSx
Fuente: Garmin

2.2 SOFTWARE UTILIZADO

2.2.1 *Software Visual Studio 2013*

Visual Studio 2013 es un software desarrollado por la empresa Microsoft, el cual es un conjunto completo de herramientas de desarrollo para la generación de aplicaciones ASP.NET, Servicios Web XML, aplicaciones de escritorio y aplicaciones móviles que corren en los dispositivos del ecosistema de Microsoft.

La decisión de usar esta herramienta como la base para la aplicación de análisis estadístico de la intensidad de campo eléctrico, viene dada por asuntos de licencia, puesto que la ESPOCH posee licenciamiento para este software, por convenios con el desarrollador Microsoft, aun así, es importante mencionar que se permite el uso por 180 días del software como versión de prueba.

El lenguaje ideal que se ha decidido utilizar para la programación dentro del entorno IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) de Visual Studio es WPF (Windows Presentation Foundation). Este lenguaje de programación orientado a objetos define dentro de su estructura el código XML (Extensive Markup Language) que tiene la capacidad de definir la estructura gráfica o interfaz de la aplicación.

El lenguaje de programación se ha escogido por su flexibilidad al permitir ocultar, o en su defecto, visualizar elementos en pantalla, lo que no es posible en lenguajes de este mismo entorno como C#, el cual solo se oculta en ejecución, lo que resulta bastante incómodo para el programador.

Otro de los factores a tomar en cuenta para tomar la decisión de utilizar este lenguaje de programación es que, al ser un software bajo licencia, el desarrollador Microsoft se encarga de proveer las librerías necesarias para facilitar el trabajo de programación, lo que no ocurre con los lenguajes libres de licencia, en donde se crean las librerías bajo responsabilidad y necesidad del programador. (Microsoft, 2016)

2.2.1.1 Interfaz gráfica de Visual Studio 2013

Visual Studio 2013 posee una interfaz sencilla en donde se facilita las labores de programación para el desarrollo de las aplicaciones.

Cabe señalar que el Software Visual Studio 2013 es un IDE (Integrated Development Environment) complejo y completo, constituyéndose en un conjunto de herramientas que se desarrolla sobre un editor de código/interfaz que soporta los más variados lenguajes de programación, dentro de la misma IDE de Visual Studio 2013.

Visual Studio 2013 también permite al programador trabajar con los siguientes Frameworks para el desarrollo de las aplicaciones:

- .NET Framework 2.0
- .NET Framework 3.0
- .NET Framework 3.5
- .NET Framework 4.0
- .NET Framework 4.5
- .NET Framework 4.5.1

2.2.2 Software Microsoft® SQL Server® 2014

Debido a la cantidad elevada de datos obtenidos en el monitoreo de las bandas GSM – 850 y GSM- 1900 resulta factible usar esta herramienta puesto que permite la creación de bases de

datos fácilmente, además de que facilita el acceso a dicha información desde herramientas vinculadas como Visual Basic, es decir son herramientas relacionales.

Particularmente, Visual Basic en su entorno del lenguaje WPF consta de librerías que permiten la rápida y eficaz vinculación con SQL Server, de manera que se facilita notablemente el realizar gráficas y análisis de los datos contenidos en la base creada.

Es importante mencionar que SQL Server, al igual que Visual Basic, son softwares desarrollados por Microsoft y poseen licencia, por tanto, los estudiantes de la ESPOCH tienen acceso a licencias de dichos softwares por el convenio existente entre estas dos entidades.

Desde el lanzamiento de SQL Server desarrollado por la empresa Microsoft, han sido de gran aporte para la rama de Informática en especial para la programación, debido a que Microsoft SQL Server es un lenguaje para la administración de datos siendo este fiable y potente en lo relacionado a almacenamiento de datos para aplicaciones de escritorio móviles o web, permitiendo así gran variedad de operaciones. Además, cabe indicar que desde la versión de Microsoft SQL Server 2005 habido una nueva versión casi cada dos años, siendo estas con mejoras en el rendimiento del lenguaje de administración de bases de datos.

En la versión de Microsoft SQL Server 2014 existen varias funcionalidades interesantes, pero sin duda la más importante es la tecnología de almacenamiento de tablas directamente en memoria. Además, tiene una nueva característica a relación de sus antecesores la cual permite una mayor integración con la nube utilizando Microsoft Azure. Puede crear máquinas virtuales completas con SQL Server instalado en Microsoft Azure o simplemente puede almacenar los archivos de base de datos en la nube de Microsoft Azure.

2.2.2.1 Versión de Microsoft SQL Server

Microsoft SQL Server posee diferentes versiones desde su lanzamiento hasta la actualidad para cada uno de ellos se proponen service packs con mejoras y correcciones de bugs, y hotfixes por problemas urgentes en el sistema de seguridad o bugs críticos.

Para el desarrollo de la base de datos de la aplicación, se eligió la versión 12.0 lanzada el año 2014 nombrada SQL Server 2014 y su nombre clave es SQL 14.

2.2.2.2 Interfaz gráfica de Microsoft SQL Server 2014

Microsoft SQL Server 2014 posee una interfaz sencilla en donde se facilita las labores de programación para el desarrollo de las aplicaciones (Véase Figura 2-6)

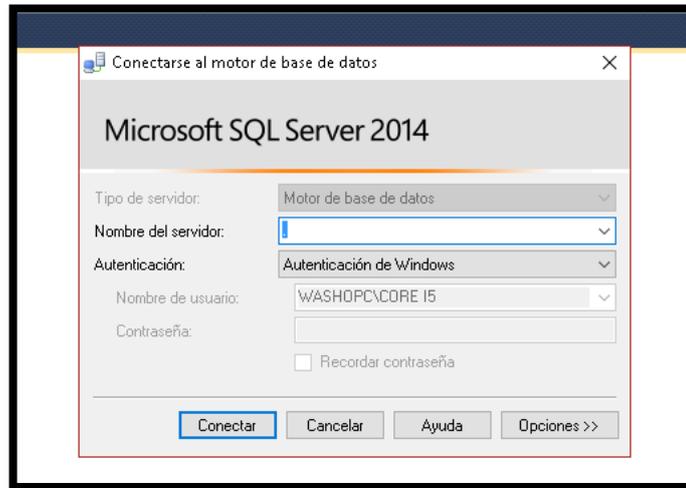


Figura 2-5 Interfaz gráfica de Microsoft SQL Server 2014

Fuente: Microsoft

2.2.2.3 Ediciones de Microsoft SQL Server 2014

Microsoft SQL Server 2014 posee varias ediciones que están diseñadas para diferentes necesidades de almacenamiento que tengan los programadores para desarrollar una base de datos entre las cuales se puede mencionar las siguientes:

1. **Enterprise**

SQL Server Enterprise es un centro de datos completo y de alta gama para satisfacer los requisitos de base de datos y Business Intelligence.

2. **Standard**

SQL Server Standard tiene a disposición las funciones de Business Intelligence y administración de datos básica para cargas de trabajo que no son críticas.

3. **Developer**

SQL Server Developer Edition es una edición gratuita que permite a los programadores descubrir las numerosas capacidades de SQL Server. En donde se pueden realizar tareas de desarrollo y pruebas.

4. Business Intelligence

SQL Server Business Intelligence es una de las herramientas de SQL Server desarrollada para grandes organizaciones con la capacidad de compilar e implementar soluciones BI corporativas.

5. Express

SQL Server Express es una edición gratuita de SQL Server implementada para estudiantes, la cual permite desarrollar aplicaciones de escritorio y web. (Microsoft, 2016)

2.3 Mediciones de las Bandas GSM – 850 Y GSM – 1900

Para la medición correcta de la intensidad de campo eléctrico se tomará en cuenta las recomendaciones de la ITU – T k.52 e ITU – T k.61 donde se recomienda hacer la recolección de datos a una altura de 1,50 metros del suelo cada 6 minutos.

De manera que se seguirá el siguiente procedimiento:

- 1.** Selección de Radiobase ideal para toma de mediciones.
- 2.** Configuración del equipo NARDA SRM – 3000, se incluye los canales DOWNLINK tanto de GSM – 850 y GSM – 1900 para su monitoreo.
- 3.** Ubicación del equipo dentro del campus de la ESPOCH, a una altura de 1,50 metros usando un trípode. El lugar tendrá cerca una fuente de energía para cargar el equipo NARDA.
- 4.** Toma de datos cada 6 minutos, las 24 horas del día, durante 7 días consecutivos, teniendo en cuenta que el equipo no se apague por desgaste de la batería, ni se mueva de su sitio por acción del viento u otros factores.
- 5.** Tomar nota de cada código provisto por el equipo NARDA al guardar las mediciones cada 6 minutos para el posterior procesamiento de datos.
- 6.** Realización de la aplicación para Interpretación de Datos obtenidos en las mediciones. Se procederá de la siguiente manera:

- a) Extracción de datos del equipo NARDA hacia una PC.
- b) Creación de una base de datos mediante la gestión de SQL Server.
- c) Programación en Visual Basic para extraer los datos de la base creada en SQL Server y su procesamiento estadístico.
- d) Visualización e interpretación de los datos mostrados para compararlos con las recomendaciones adoptadas en nuestra localidad.

CAPITULO III

3 MARCO DE RESULTADOS

3.1 Procedimiento de las mediciones temporales del Canal de Transmisión Central Down Link de las Bandas GSM-850 Y GSM-1900

3.1.1 Selección de los lugares para las mediciones temporales

Para realizar las mediciones temporales al interior de la ESPOCH mediante la utilización del equipo de medición NARDA SRM-3000 se eligió a una de las antenas de la banda GSM que se encuentran ubicadas alrededor de la institución para poder realizar la recolección de datos durante los 7 días consecutivos.

La antena que se escogió se encuentra ubicada en la entrada posterior de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la Avenida Canónigo Ramos entre Camilo Egas y Atahualpa Villacres, la cual es propiedad de la empresa telefónica CLARO. Se indica a continuación los datos de referencia de la ubicación de la torre monopolo en donde se encuentra la antena de GSM - 850 y GSM – 1900. (Véase la Tabla 3-1 y la Figura 3-1).

Tabla 3-1 Datos Referenciales de la Torre Monopolo

<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>	<i>Altura del Monopolo para la Antena de GSM (Aprox.)</i>	<i>Altura sobre el nivel del mar</i>	<i>Distancia de la antena transmisora hacia el equipo Narda SRM-3000</i>
1°39'14.21"S	78°40'24.75"O	36 mts.	2818 mts.	370 mts.

Fuente: Garmin GPSmap® 60CSx



Figura 3-1 Ubicación de la Torre Monopolo.
Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Para el caso de la obtención de los valores promedio de la intensidad de campo eléctrico mediante la antena del equipo de medición NARDA SRM-3000 especificado en el capítulo anterior, se ubicará en la Escuela de Finanzas y Comercio Exterior de la Facultad de Administración de Empresas (FADE), debido a que una de las tres antenas de la torre monopolo se encuentra direccionada hacia la edificación de esta Facultad.

De acuerdo a la distribución gradual de las antenas de la radio base se toma como referencia el sector Z a un azimut de 270° que es la dirección hacia el campus de la ESPOCH, concretamente hacia la FADE (Véase Figura 3-2).

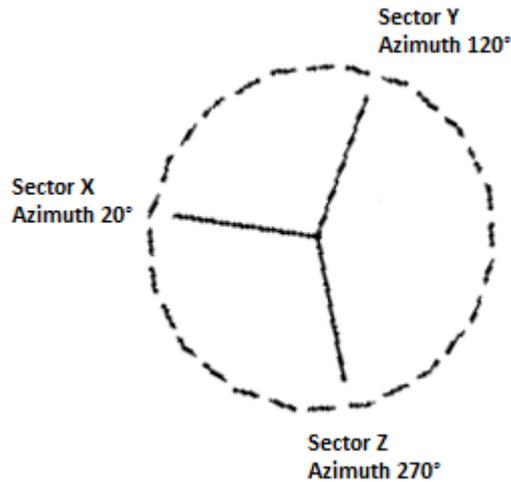


Figura 3-2 Distribución de las antenas de la Radio Base
Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Con respecto de la configuración del equipo de medición NARDA SRM-3000 se ha añadido los anchos de banda correspondientes a los canales centrales de bajada de las bandas GSM - 850 y GSM - 1900 (Véase Tabla 3-2).

Tabla 3-2 Canales centrales de bajada monitoreados con el equipo NARDA SRM-3000

Banda GSM	Ancho de Banda de canal (MHz)	Frecuencia central o de operación del canal (MHz)
GSM - 850	873,3 – 873,5	873,4
	874,7 – 874,9	874,8
GSM - 1900	1962,5 – 1962,7	1962,6
	1962,9 – 1963, 1	1963

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Nótese en la Tabla 3-2 se ha tomado la frecuencia central de cada canal con un ancho de banda de 200 KHz, de manera que se deja un intervalo de 100 kHz antes y después de la frecuencia central como se muestra en la Figura 3-3.

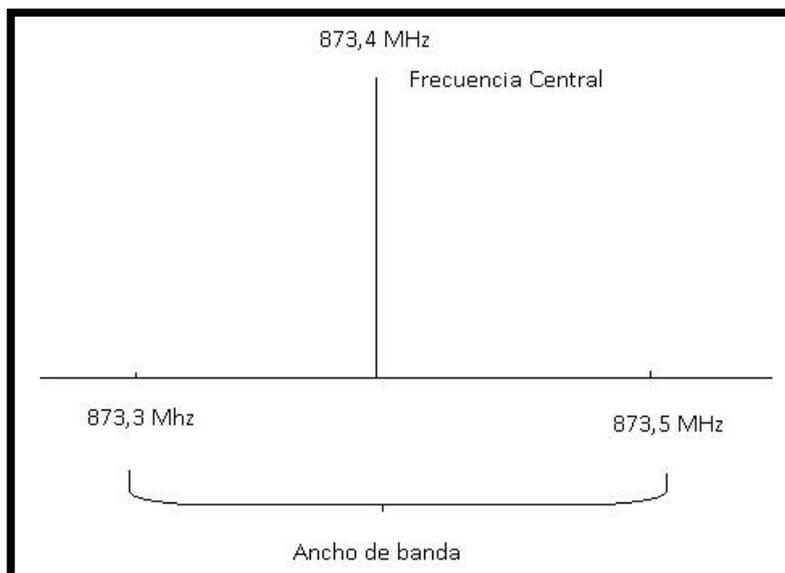


Figura 3-3 Frecuencia central 873,4 MHz con el ancho de banda de 200 KHz
Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

A continuación, en la Figura 3-4 se muestra el equipo realizando el monitoreo de los canales GSM 850 y GSM 1900 y en la Tabla 3-3 se indica los datos de referencia de la ubicación del equipo NARDA SRM-3000.



Figura 3-4 Equipo NARDA SRM-3000 en la Escuela de Finanzas, Campus ESPOCH.
Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Tabla 3-3 Datos Referenciales del equipo Narda SRM-3000 en la Escuela de Finanzas

Latitud	Longitud	Altura de la antena sobre el piso del NARDA SRM-3000.	Altura sobre el nivel del mar	Distancia del equipo Narda SRM-3000 hacia la antena transmisora
1° 39' 26.30" S	78° 40' 27.80" O	1.5 mts.	2818 mts.	370 mts.

Fuente: Garmin GPSmap® 60CSx

La Figura 3-5 muestra mediante la aplicación de escritorio Google Earth, la ubicación de la torre monopolo en donde se encuentra colocada la antena de GSM-850 GSM-1900, la ubicación del equipo NARDA SRM-3000 y la distancia entre los dos puntos de referencia.



Figura 3-5 Antena GSM en la puerta posterior de la ESPOCH y del Equipo Narda SRM-3000 en la Escuela de Finanzas.

Fuente: Google Earth

En la Figura 3-6 se muestra la posición de los dos puntos antes mencionados dentro del campus de la ESPOCH.



Figura 3-6 Antena GSM en la puerta posterior de la ESPOCH y del Equipo Narda SRM-3000 en la Escuela de Finanzas.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Entre los muchos factores que se tomó en cuenta para seleccionar esta ubicación están la directividad de la antena, la disponibilidad de energía para la alimentación del equipo.

3.1.2 Mediciones temporales en el punto seleccionado

Para realizar las mediciones temporales se ha tomado en cuenta las recomendaciones de la UIT –T K.52 y la UIT – T K.61 en donde se menciona realizar la toma de muestras de la intensidad de campo eléctrico en intervalos de 6 minutos a una altura de 1.5 metros de la antena del equipo Narda SRM-3000 y el piso.

El equipo ha estado en una posición fija y se ha procedido a medir el espectro de frecuencias de 76 MHz hasta los 2.686 GHz que se configuro previamente. Cabe indicar que dentro de la configuración del equipo Narda SRM – 3000, se ha añadido las frecuencias correspondientes a los canales centrales seleccionados tanto de la banda GSM – 850 y GSM – 1900.

3.1.3 Procesamiento de los datos de las mediciones temporales

Cuando se finalizó el proceso de medición para la obtención de los valores promedio de la intensidad de campo eléctrico durante los 7 días consecutivos con la utilización del equipo de

medición NARDA SRM-3000, se ha extraído los valores de la base de datos del equipo los cuales fueron en total 1675 datos.

Como el rango de frecuencias que el equipo recolecto en las mediciones temporales estaba en 76 MHz hasta los 2,686 GHz se debe escoger los valores de los canales de transmisión centrales de down link, que nos servirán a posterior para realizar el análisis tanto para la banda de GSM de 850 MHz como para la de 1900 MHz.

Tabla 3-4 Presentación de los datos extraídos del equipo NARDA SRM-3000 de la medición 3126,1

Index	3126,1
Dataset Version	3
Dataset Type	TAB
Store Mode	MAN
Date	15/8/2016
Time	0:01:21
Fmin [Hz]	76000000
Fmax [Hz]	2686000000
RBW [Hz]	50000
Meas. Range [V/m]	2,5
Unit	V/m
Result Type	AVG
Average Type	NUMBER
Average Time [s]	360
Number of Averages	4
Noise Threshold Factor [dB]	0
Noise Threshold	OFF
Threshold [V/m]	2,5E-05
Display	DETAIL
Axis	RSS
Standard Name	
Service Table Name	TESIS_gaby
Device Serial No.	M-0174
Device Calibration Date	24/2/2015
Device Firmware Version	SRM-FW V1.5.6
Cable Name	
Cable Serial No.	
Cable Calibration Date	
Antenna Name	3AX 50M-3G
Antenna Serial No.	H-0344
Antenna Calibration Date	21/4/2015
No. of SAVG:	0
Average Flag	OK
Overdrive Flag	OK
Total Value [V/m]	0,558170021
Total Noise Flag	UNCHECKED
Others Value [V/m]	0,188439995
Other Noise Flag	UNCHECKED

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

El equipo de medición NARDA SRM-3000 nos presenta los datos, con aspectos muy importantes como la fecha de la medición, la hora en que empezó a realizar la medición, el rango de frecuencias, la unidad que para este caso será V/m, el tipo de resultado en este caso es AVG (promedio) y los valores medidos con la frecuencia a la que pertenece como se muestra en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4 Continuación

Value [V/m]	Noise Flag	Service Name	Lower Frequency [Hz]	Upper Frequency [Hz]
0,02317	UNCHECKED	TV_ABERTA_1VHF	76000000	88000000
0,036945	UNCHECKED	RADIOF_FM	88000000	108000000
0,028012	UNCHECKED	AERONAUTICO	108000000	138000000
0,012153	UNCHECKED	F_MOVIL_VHF	138000000	144000000
0,0094009	UNCHECKED	RADIOAFI_VHF	144000000	148000000
0,022713	UNCHECKED	F_MOVIL_VHF	148000000	174000000
0,051463999	UNCHECKED	TV_HVHF	174000000	216000000
0,0068527	UNCHECKED	MARITIMO	216000000	220000000
0,013131	UNCHECKED	ENLACE_AM_FM	220000000	235000000
0,038348999	UNCHECKED	ENLACE_FIJO_M	235000000	417500000
0,0095903	UNCHECKED	ENLACE_AM_FM2	417500000	430000000
0,021519	UNCHECKED	FIJO_MOVIL_UHF	430000000	512000000
0,036927	UNCHECKED	TV_ABIERTA_UHF	512000000	608000000
0,025126001	UNCHECKED	TV_ABIERTA2_UHF	614000000	686000000
0,020663001	UNCHECKED	TV_ABIERTA3_UHF	686000000	806000000
0,007689	UNCHECKED	TRONCALIZA1	806000000	824000000
0,0016385	UNCHECKED	PORTA_A2_UP	824000000	825000000
0,0055215	UNCHECKED	PORTA_A_UP	825000000	835000000
0,0056339	UNCHECKED	MOVI_B_UP	835000000	845000000
0,0023258	UNCHECKED	PORTA_A1_UP	845000000	846500000
0,0027109	UNCHECKED	MOVI_A1_UP	846500000	849000000
0,020675	UNCHECKED	TRONCALIZA2	851000000	869000000
0,014908	UNCHECKED	PORTA_A2_DOWN	869000000	870000000
0,024749	UNCHECKED	CLARO_C81_DOWN	870100000	870300000
0,0051005	UNCHECKED	CLARO_C82_DOUN	873300000	873500000
0,020911001	UNCHECKED	CLARO_C83_DOUN	874700000	874900000
0,286870003	UNCHECKED	XXX	874900000	880000000
0,059796002	UNCHECKED	MOVI_B_DOWN	880000000	890000000
0,058154002	UNCHECKED	CLARO_C84_DOUN	890100000	890300000
0,020436	UNCHECKED	PORTA_A1_DOUN	890300000	891500000
0,041044999	UNCHECKED	MOVI_B_DOWN	891500000	894000000
0,0024346	UNCHECKED	TRONCALIZA3	896000000	898000000
0,0024074	UNCHECKED	TRONCALIZA4	902000000	904000000
0,0025225	UNCHECKED	TRONCALIZA6	935000000	937000000
0,0051737	UNCHECKED	ENLA_FM	944000000	951000000
0,011889	UNCHECKED	ENL_TV	1452000000	1492000000
0,0050756	UNCHECKED	OTECEL_PCS_UP D	1865000000	1870000000
0,0052909	UNCHECKED	PORTA_PCS_UP	1885000000	1890000000
0,0052877	UNCHECKED	TELECSA_PCS_1UP	1890000000	1895000000
0,0093099	UNCHECKED	TELECSA_PCS_UP	1895000000	1910000000
0,087605998	UNCHECKED	MOVI_PCS_DOWN	1945000000	1950000000
0,0010014	UNCHECKED	CLARO_C91_DOUN	1961100000	1961300000
0,0011324	UNCHECKED	CLARO_C92_DOUN	1962500000	1962700000
0,0010166	UNCHECKED	CLARO_C93_DOUN	1962900000	1963100000
0,005282	UNCHECKED	CLARO_C94_DOUN	1963700000	1963900000
0,392349988	UNCHECKED	PORTA_PCS_DOWN	1965000000	1970000000
0,005328	UNCHECKED	TELECSA_PCS_1D	1970000000	1975000000
0,074349999	UNCHECKED		1975000000	1990000000
0,035999998	UNCHECKED	SPREAD SPECTRUM	2400000000	2483500000
0,056812	UNCHECKED	TV_CODIFICADA_M	2500000000	2686000000

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Cabe señalar que el equipo NARDA SRM-3000 entrega los datos en un libro de Excel en donde se ha escogido los valores de frecuencia de 873,3 MHz – 873,5 MHz para el canal central 1 y 874,7 MHz – 874,9 MHz para el canal central 2 de la banda de GSM de 850 MHz, mientras que, para la Banda de GSM de 1900 MHz se ha escogido los valores de frecuencia de 1962,5 MHz – 1962,7 MHz para el canal central 1 y 1962,9 MHz – 1963, 1 MHz para el canal central 2.

3.2 Desarrollo de la Aplicación

La cantidad de datos recolectados durante los 7 días asciende a 1675 mediciones, las cuales incluyen datos de los 4 canales monitoreados, 2 canales centrales de bajada de GSM - 850 y 2 canales centrales de bajada de GSM - 1900, de manera que en general, se maneja 6700 datos.

Es menester, por tanto, diseñar una aplicación que permita realizar un análisis del comportamiento de la intensidad de campo eléctrico de los canales centrales de bajada de las bandas de GSM - 850 y GSM – 1900.

La aplicación se desarrolló en dos etapas:

- Creación de la base de datos.
- Creación de la interfaz gráfica de la aplicación, procesamiento estadístico y cálculos comparativos.

3.2.1 Creación de la Base de Datos

Se extrajo los datos de las mediciones realizadas con el equipo NARDA SRM-3000 a un ordenador provisto por la ARCOTEL, y se transcribió los valores medios de la intensidad de campo eléctrico obtenidos durante los 7 días de mediciones.

Utilizando SQL Server 2014 se construyó una base de datos basada en tablas que relacionan el canal central de bajada de GSM – 850 y GSM – 1900 con el día y la hora en la que se realizó la medición.

De manera que cada canal central tendrá 7 tablas correspondiente a cada día de medición, cuya estructura relaciona la hora exacta en la que se toma la muestra o medición con el valor de la intensidad de campo eléctrico en V/m (Voltios por metro).

En resumen, se obtiene 28 tablas, 7 por cada canal central de bajada, dos canales centrales de la banda de GSM – 850 y dos canales centrales de la banda GSM – 1900.

3.2.2 Creación de la Interfaz Gráfica de la aplicación

Se procede a diseñar la interfaz para el usuario en Visual Studio 2013 utilizando el lenguaje WPF, en donde, se crea un menú que permite especificar los parámetros a ser analizados.

La primera función creada permite la conexión entre la base de datos diseñada en SQL Server 2014 y Visual Studio 2013, de manera que el funcionamiento de la aplicación depende de la comunicación entre los dos softwares.

El siguiente paso consiste en el diseño de niveles de selección basados en estructuras de decisión de tipo “case” sucesivas, es decir, la primera selección abrirá las siguientes posibilidades (Véase Figura 3-7).

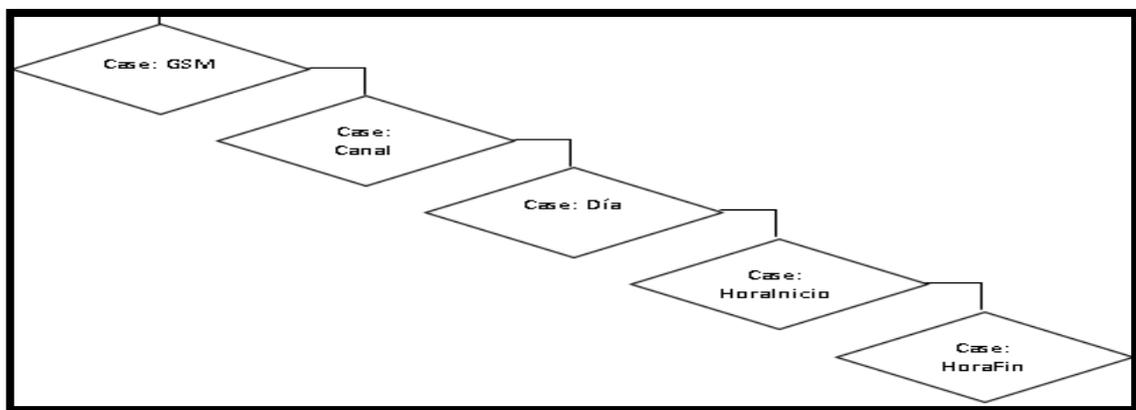


Figura 3-7 Estructura de decisión de la aplicación

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

De manera que la primera estructura de decisión permite seleccionar entre la banda GSM – 850 y GSM – 1900, la siguiente permite escoger el canal central de bajada 1 o 2, posteriormente el día de medición y por último la hora de inicio y final del periodo por analizar.

Al haber escogido todos los parámetros, se procede mediante la función “Graficar” a proyectar en una nueva ventana el grafico de todos los puntos del periodo en un plano que relaciona el valor de la intensidad de campo eléctrico en V/m (eje Y) y la hora de cada medición (eje X).

Para la comparación entre varios canales centrales de bajada diferentes, se requiere regresar al menú principal y seleccionar todos los parámetros de un canal diferente para su respectivo

análisis comparativo, de manera que en la ventana de la gráfica se podrá observar todos los canales analizados. Es importante mencionar que el programa está diseñado para realizar cuatro comparaciones en el mismo gráfico.

Para la ventana “Tablas Comparativas” se procede a seleccionar mediante un algoritmo el valor máximo y mínimo de la intensidad de campo eléctrico medido en cada periodo analizado, por cada uno de las opciones seleccionadas para el análisis y, se realiza el cálculo de los valores máximos permitidos por la ICNIRP y la UIT acogidos por la ARCOTEL (Véase la sección 3.4). Además, se mostrará la frecuencia en MHz de cada uno de los canales centrales de bajada de los que se hizo el cálculo correspondiente.

Para la ventana “Resultados Estadísticos”, de igual manera se mostrará la frecuencia en MHz de cada uno de los canales centrales de bajada y se procederá a calcular la media aritmética de los datos del período seleccionado mediante la siguiente formula:

$$MA = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Donde:

x = datos

n = número total de datos

También se procederá a calcular la mediana de los datos del período seleccionado de la siguiente forma:

$$Me = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{X_{\frac{n+1}{2}}}{2} & \text{Si } n \text{ es impar} \\ \left[\frac{X_{\frac{n}{2}} + X_{\frac{n}{2} + 1}}{2} \right] \frac{1}{2} & \text{Si } n \text{ es par} \end{array} \right\}$$

Donde:

x = datos

n = número total de datos

De manera que la mediana en el caso de que el número total de datos sea impar escogerá el valor ubicado en la posición central, mientras que si el número total de datos es par seleccionara los dos valores en las posiciones centrales y los promediará.

El diagrama de funcionamiento de la aplicación se muestra a continuación (Figura 3-8, 3-9).

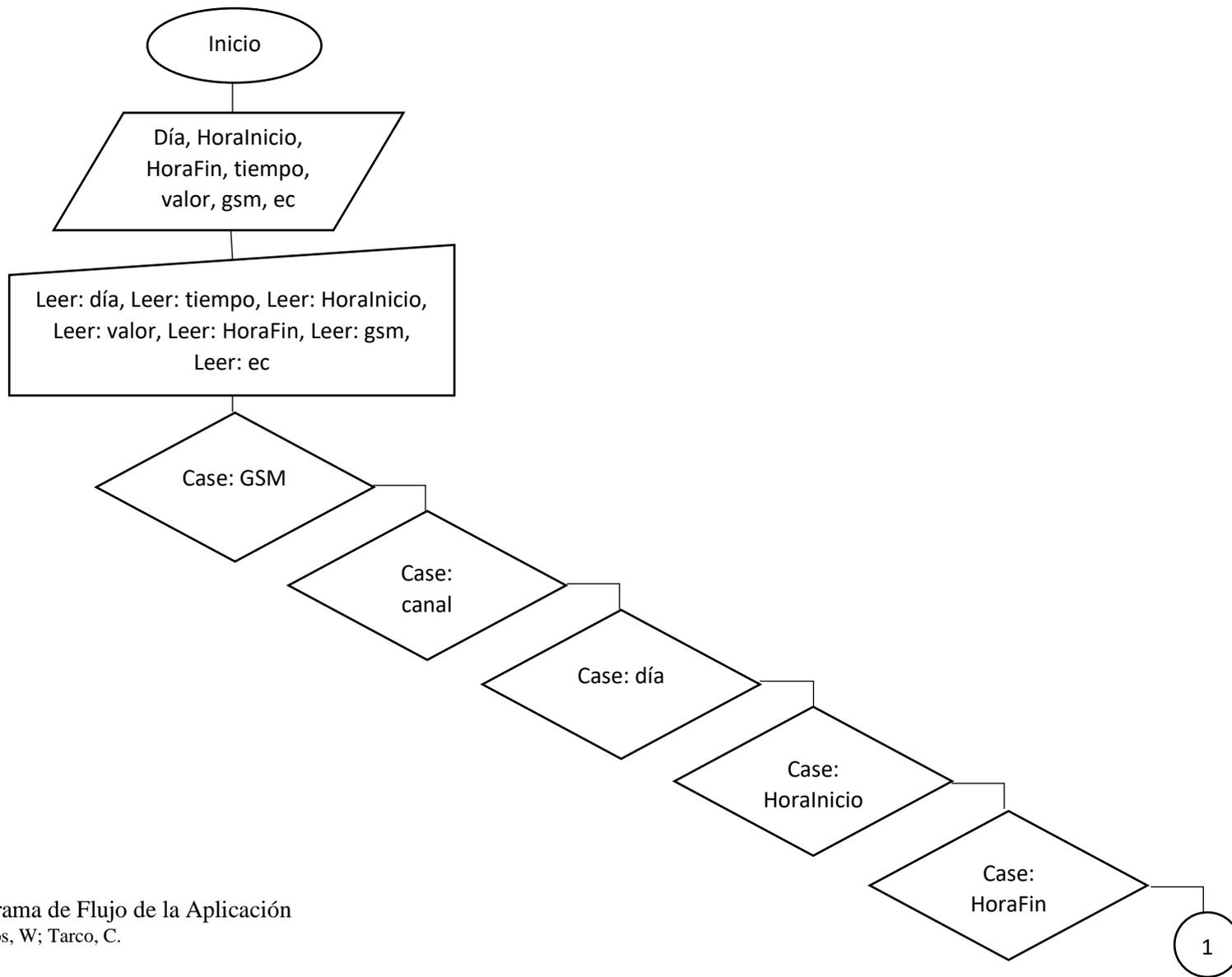


Figura 3-8 Diagrama de Flujo de la Aplicación
 Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

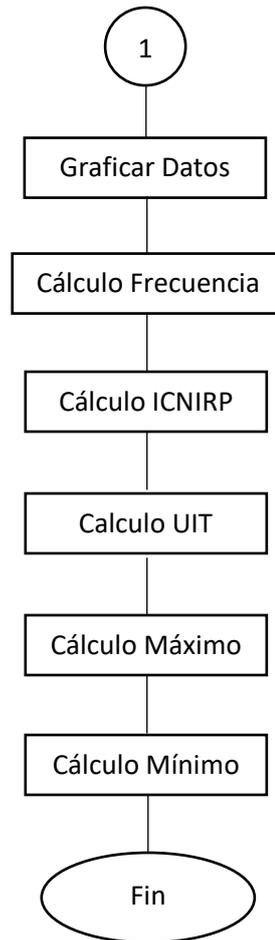


Figura 3-9 Diagrama de Flujo de la Aplicación (Continuación)
Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

3.2.3 *Funcionamiento de la Aplicación*

La aplicación ha sido diseñada como una herramienta para el análisis gráfico de los datos obtenidos en las mediciones, así como también, como una herramienta estadística que permita hacer una interpretación más acertada del comportamiento de la intensidad de campo detectada en los canales centrales de bajada de las bandas GSM – 850 y GSM – 1900.

El menú principal como se muestra en la Figura 3-10, donde se escogerá los canales, el día y período de tiempo en el que se efectuará el análisis. La opción graficar procesará los datos inmediatamente y mostrará los resultados.

Datos Generales

Frecuencia GSM:

Canal Central:

Día:

Hora Inicio:

Hora Fin:

Nombre Del Gráfico:

Figura 3-10 Menú Datos Generales de la aplicación

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Al desplegar la pestaña correspondiente a Frecuencia GSM, se escogerá la banda que se necesita analizar. Las opciones son GSM – 850 y GSM – 1900. (Véase Figura 3-11).

Datos Generales

Frecuencia GSM:

Canal Central:

Día:

Hora Inicio:

Hora Fin:

Nombre Del Gráfico:

Figura 3-11 Pestaña Frecuencia GSM

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

La siguiente pestaña corresponde a los canales centrales. Dependiendo de la frecuencia seleccionada en Frecuencia GSM, tendremos 873,3 – 873,5 y 874,7 – 874,9 para la banda de

850 MHz, y para la banda de 1900 MHz se tendrá 1962,5 – 1962,7 y 1962,9 – 1963,1 MHz. (Véase Figura 3-12).

The image shows two side-by-side screenshots of a web application interface titled "Datos Generales".

Left Screenshot (850 MHz):

- Frecuencia GSM: 850
- Canal Central: [Empty]
- Día: 873,3 - 873,5
- Hora Inicio: 874,7 - 874,9
- Hora Fin: [Empty]
- Nombre Del Gráfico: [Empty]
- Buttons: Nuevo Gráfico, Graficar

Right Screenshot (1900 MHz):

- Frecuencia GSM: 1900
- Canal Central: [Empty]
- Día: 1962,5 - 1962,7
- Hora Inicio: 1962,9 - 1963,1
- Hora Fin: [Empty]
- Nombre Del Gráfico: [Empty]
- Buttons: Nuevo Gráfico, Graficar

Figura 3-12 Pestaña Canal Central
Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Finalmente, la pestaña Día muestra los días de medición, de lunes a domingo, mientras que las pestañas Hora Inicio y Hora Fin permite seleccionar entre las 24 horas de cada día para la selección del período de análisis. (Véase Figura 3-13).

The image shows two side-by-side screenshots of the "Datos Generales" form.

Left Screenshot (Día dropdown):

- Frecuencia GSM: 850
- Canal Central: 873,3 - 873,5
- Día: [Dropdown menu open showing: Lunes, Martes, Miercoles, Jueves, Viernes, Sabado, Domingo]
- Hora Inicio: [Empty]
- Hora Fin: [Empty]
- Nombre Del Gráfico: [Empty]
- Buttons: Nuevo Gráfico

Right Screenshot (Hora Fin dropdown):

- Frecuencia GSM: 850
- Canal Central: 873,3 - 873,5
- Día: Lunes
- Hora Inicio: [Empty]
- Hora Fin: [Dropdown menu open showing: 00:00, 01:00, 02:00, 03:00, 04:00, 05:00, 06:00, 07:00]
- Nombre Del Gráfico: [Empty]
- Buttons: Nuevo Gráfico

Figura 3-13 Pestañas Día, Hora Inicio de la Aplicación
Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Al presionar el botón Graficar, el programa procesará los datos. El menú superior muestra 4 opciones como se indica en la Figura 3-14

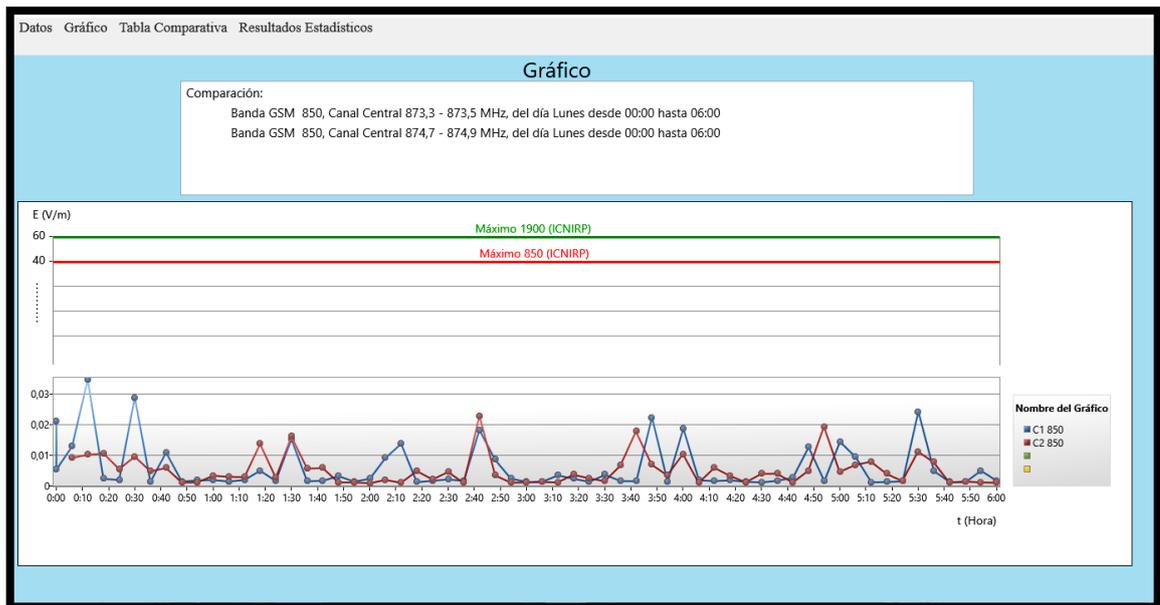


Figura 3-14 Menú general de la aplicación

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

La opción gráfica muestra un plano que relaciona el valor medido y el tiempo en el que se tomó el dato, dando lugar también a un identificador gráfico que permite determinar si los valores llegan al límite máximo establecido para estas frecuencias según la ICNIRP. (Véase Figura 3-12)

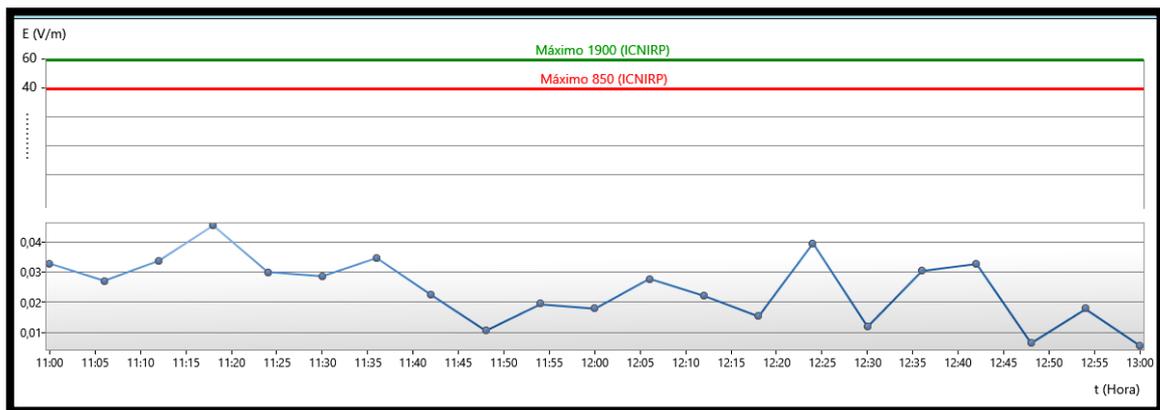


Figura 3-15 Gráfico en la aplicación

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

En la barra de tareas de la Figura 3-14 se selecciona Tabla comparativa y, Resultados Estadísticos donde se procesan los datos obteniendo los máximos, mínimos, el valor promedio y el valor correspondiente a la mediana de cada período de tiempo establecido. Dichas

herramientas permiten hacer un análisis más práctico y acertado de los canales monitoreados tal como se muestran en las Figura 3-16 y Figura 3-17.

Tabla Comparativa				
Frecuencia (MHz)	ICNIRP (V/m)	UIT T - K 52 ARCOTEL (V/m)	Máximo (V/m)	Mínimo (V/m)
873,3 - 873,5	41	41	0,03419	0,00098
1962,5 - 1962,7	61	61	0,00787	0,00095
874,7 - 874,9	41	41	0,02251	0,00071

Figura 3-16 Menú Tabla Comparativa
Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Resultados Estadísticos			
Frecuencia (MHz)	Promedio (V/m)	Mediana (V/m)	
873,3 - 873,5	0,00573	0,00173	
1962,5 - 1962,7	0,00124	0,00113	
874,7 - 874,9	0,00489	0,00357	

Figura 3-17 Menú Resultados Estadísticos
Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

3.3 Análisis del comportamiento de la intensidad de campo eléctrico durante los 7 días consecutivos

La aplicación tiene la capacidad de hacer comparaciones del comportamiento de la intensidad de campo eléctrico entre diversas horas del día, entre diferentes días de medición y entre los cuatro canales centrales de bajada, los dos canales centrales de la banda GSM – 850 y los dos canales centrales de la banda GSM – 1900, de modo que se realizará un ejemplo de análisis, tomando períodos de tiempo reducidos de cada día de medición.

Durante el período de medición se han logrado identificar diversas porciones de tiempo en las que la intensidad de campo eléctrico llega a picos máximos y mínimos, de tal manera que resulta prudente dividir en intervalos de tiempo reducidos para hacer una más acertada interpretación de los datos.

Ejemplo:

Se dividirá el día en 4 intervalos, de 00h00 a 06h00 el primer período, de 06h00 a 12h00 el segundo período, de 12h00 a 18h00 el tercer período y finalmente de 18 a 24h00 el último período. (Véase Tabla 3-5).

Tabla 3-5 Períodos de análisis

Período del Día	Horas
Período 1	00h00 a 06h00
Período 2	06h00 a 12h00
Período 3	12h00 a 18h00
Período 4	18h00 a 24h00

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

3.3.1 *Primer período de mediciones*

Se procede a hacer el análisis de los diferentes períodos con la herramienta gráfica de la aplicación realizada y a obtener los valores de la media aritmética y la mediana. Se muestra días específicos donde se localiza el comportamiento de la intensidad de campo más variable.

Con lo que respecta a los canales centrales de bajada de GSM – 1900, en la gráfica se representa la banda del canal central de bajada correspondiente a la frecuencia de 1962,5 – 1962,7 MHz en color azul mientras que la banda del canal central de bajada en las frecuencias de 1962,9 – 1963,1 MHz se muestra en color rojo.

Se puede notar por tanto, que la mayor parte del tiempo, la intensidad de campo eléctrico medida en estos canales centrales de bajada está por debajo de 10 mV/m existiendo excepciones marcadas donde el valor de la intensidad de campo eléctrico puede llegar hasta 30 mV/m como en el caso específico del día miércoles donde, en el periodo comprendido entre las 00H00 y la 01H10, los valores fluctúan entre 10 y 30 mV/m (Véase Gráfico 3-1).

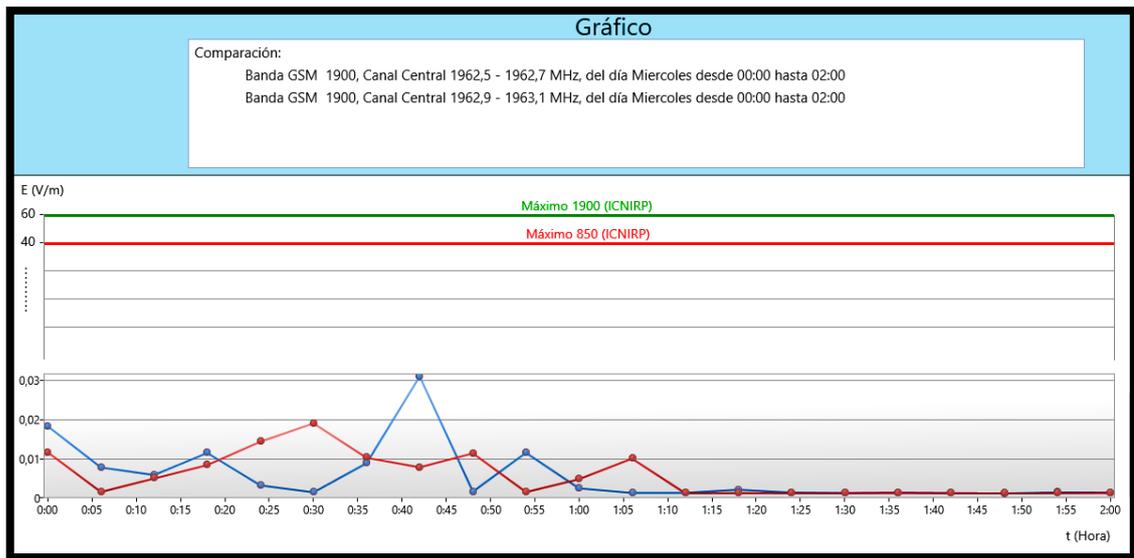


Gráfico 3-1 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Miércoles Período 1, 00H00 a 02H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Se ha tomado a manera de ejemplos, ciertos períodos destacables de cada día de medición dentro del período comprendido entre las 00h00 y las 06h00. En el día Lunes, se observa que los valores están por debajo de los 10 mV/m , sin embargo, existe una alteración donde la intensidad llega a los 11 mV/m a las 00h06 y otro ligero incremento a las 02h42 donde el valor medido llega a los 8 mV/m . El resto de tiempo, los valores se sitúan alrededor de 1 mV/m (Véase Gráfico 3-2).

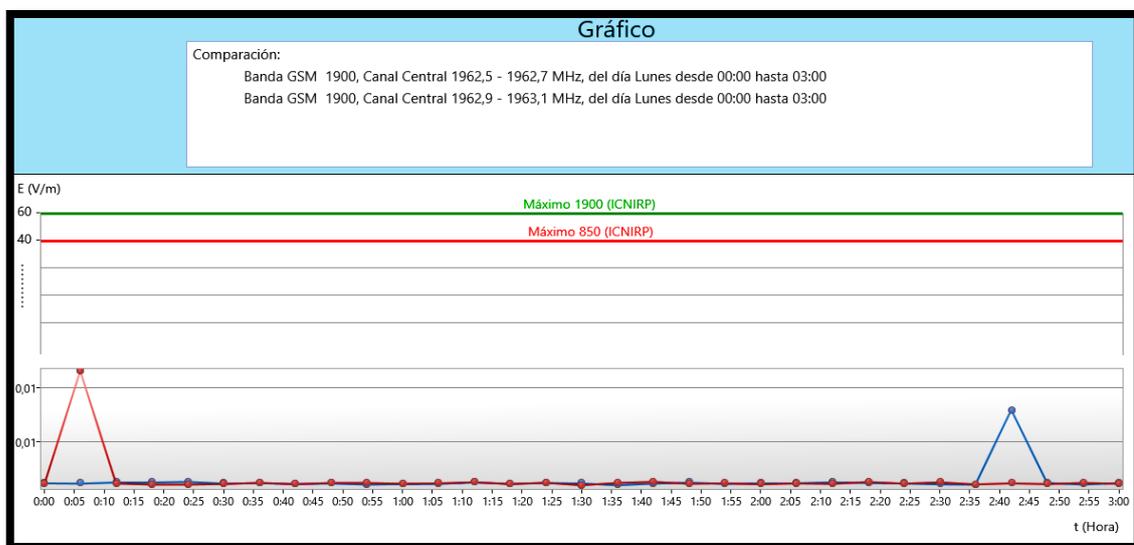


Gráfico 3-2 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Lunes Período 1, 00H00 a 03H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

El día martes presenta un comportamiento bajo de la intensidad de campo eléctrico medido en todo el período, sin embargo, al aproximarse a las 06h00 el valor empieza a incrementarse llegando a superar ligeramente los 10 mV/m (Véase Gráfico 3-3).

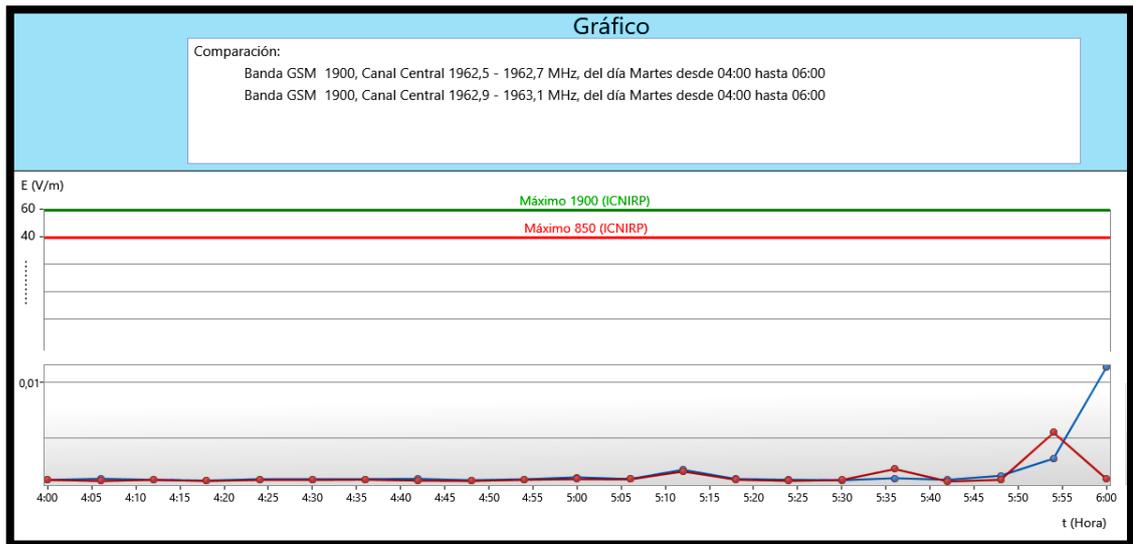


Gráfico 3-3 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Martes Período 1, 04H00 a 06H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Se ha detectado valores en el día Jueves donde las mediciones de intensidad de campo eléctrico sobrepasan los 20 mV/m entre las 00h00 y las 00h20. Pero después los valores continúan en un comportamiento bajo (Véase Gráfico 3-4).

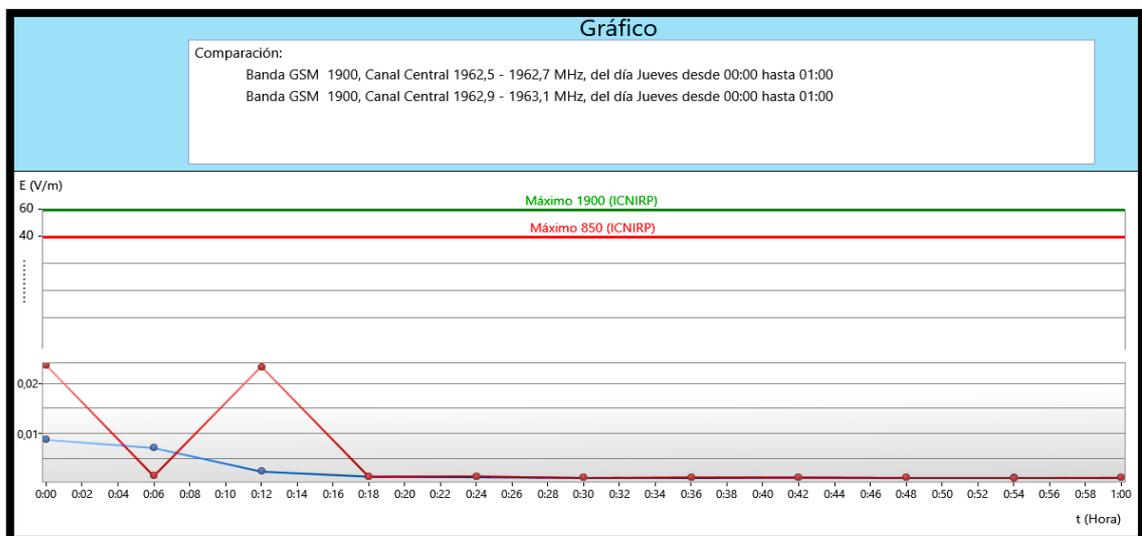


Gráfico 3-4 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Jueves Período 1, 00H00 a 01H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

El día Viernes presenta un comportamiento variante puesto que el canal central de bajada correspondiente a la frecuencia de 1962,9 – 1963,1 MHz representado en color rojo muestra un pico de 18 mV/m , mientras que el canal central de bajada correspondiente a las frecuencias entre los 1962,5 y 1962,7 MHz, representado en color azul, llega a un máximo de 13 mV/m (Véase Gráfico 3-5).

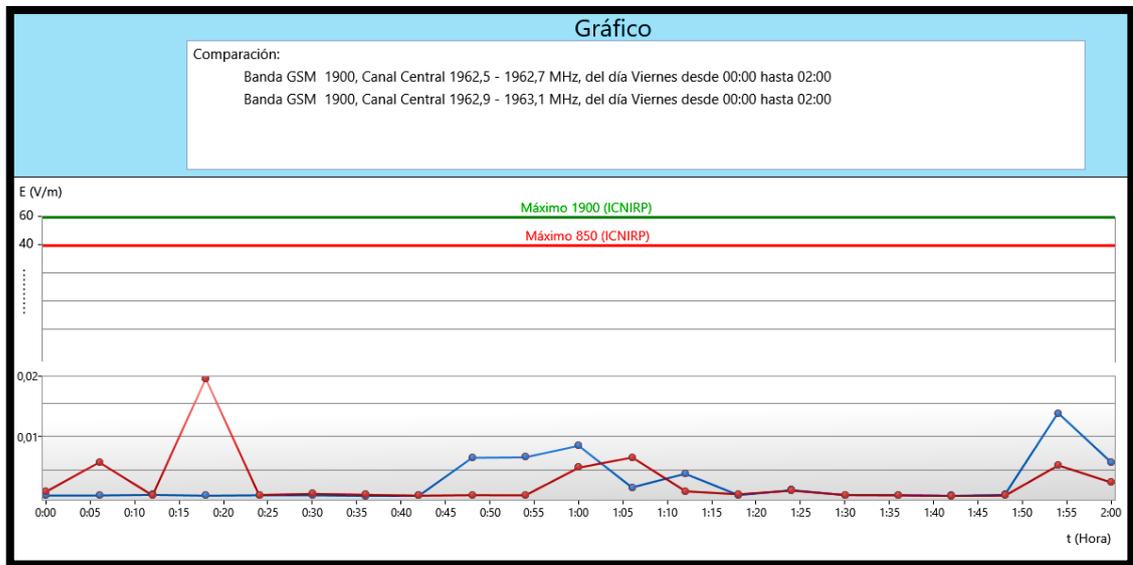


Gráfico 3-5 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Viernes Período 1, 00H00 a 02H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Finalmente, los días Sábado y Domingo, presentan un comportamiento bajo de la intensidad de campo eléctrico, donde la gran mayoría de datos están bajo los 10 mV/m , presentando escasos picos máximos que no superan este valor (Véase Gráficos 3-6 y 3-7).

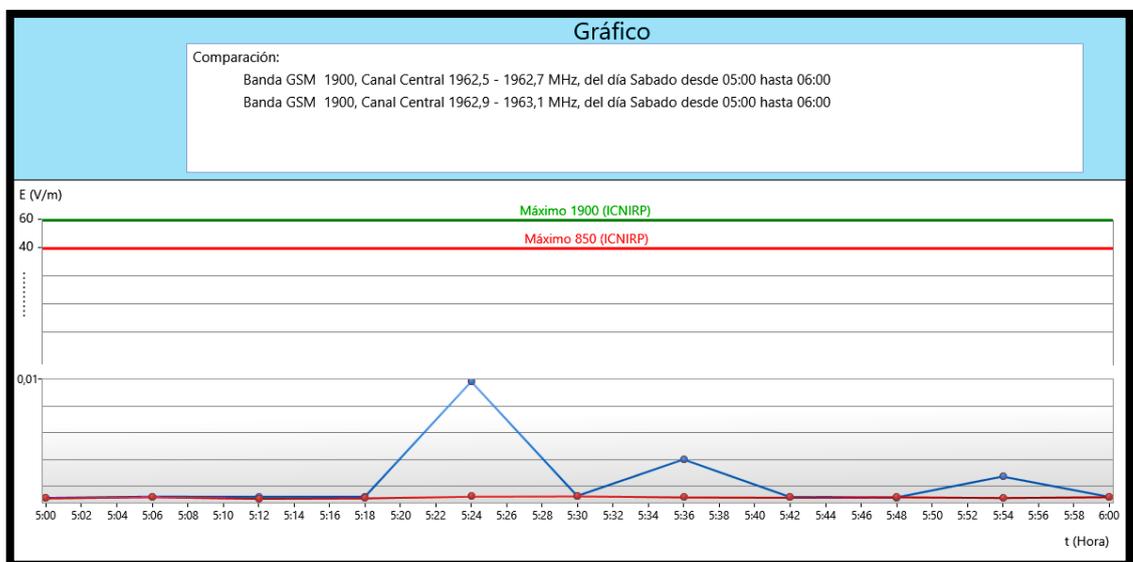


Gráfico 3-6 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Sábado Período 1, 05H00 a 06H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

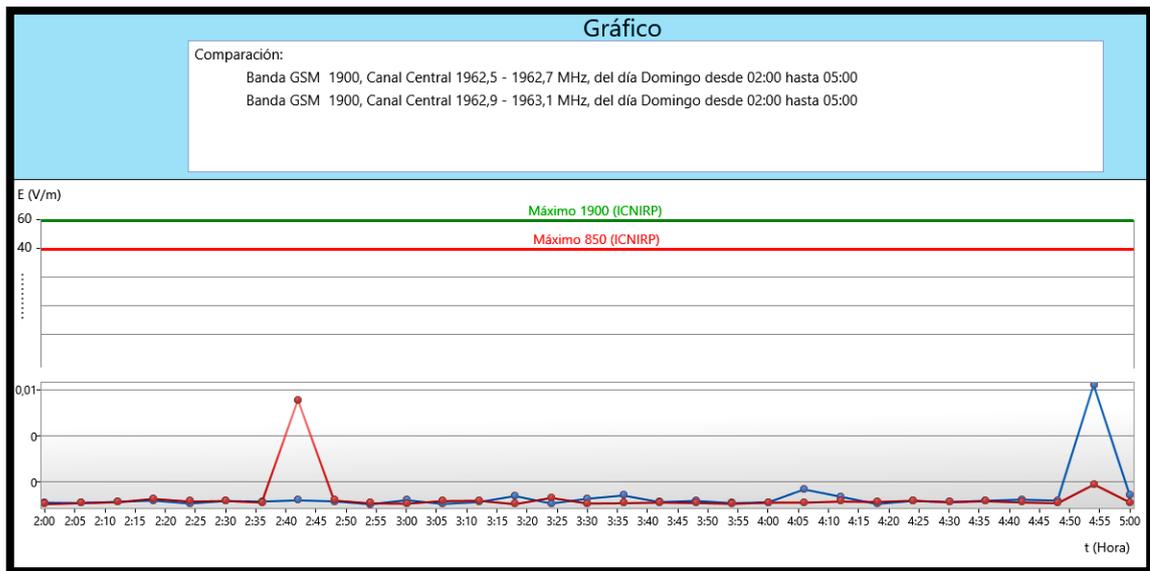


Gráfico 3-7 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Domingo Período 1, 02H00 a 05H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Otro de los comportamientos de la intensidad de campo eléctrico notados en este periodo, se produce en los canales de GSM-850, los cuales son siempre mayores que los de GSM-1900 llegando a un máximo de 36 mV/m . De igual manera, a manera de ejemplo, se compara el canal central de GSM-850 en las frecuencias de 873,3 MHz a 873,5 Mhz, representado en color azul, con el canal central de GSM-1900 en las frecuencias de 1962,5 Mhz a 1962,7 MHz, representado con color rojo, donde gráficamente se puede observar que los picos de la banda del canal central GSM – 850 son mayores que el canal central GSM – 1900 (Véase Gráfico 3-8).

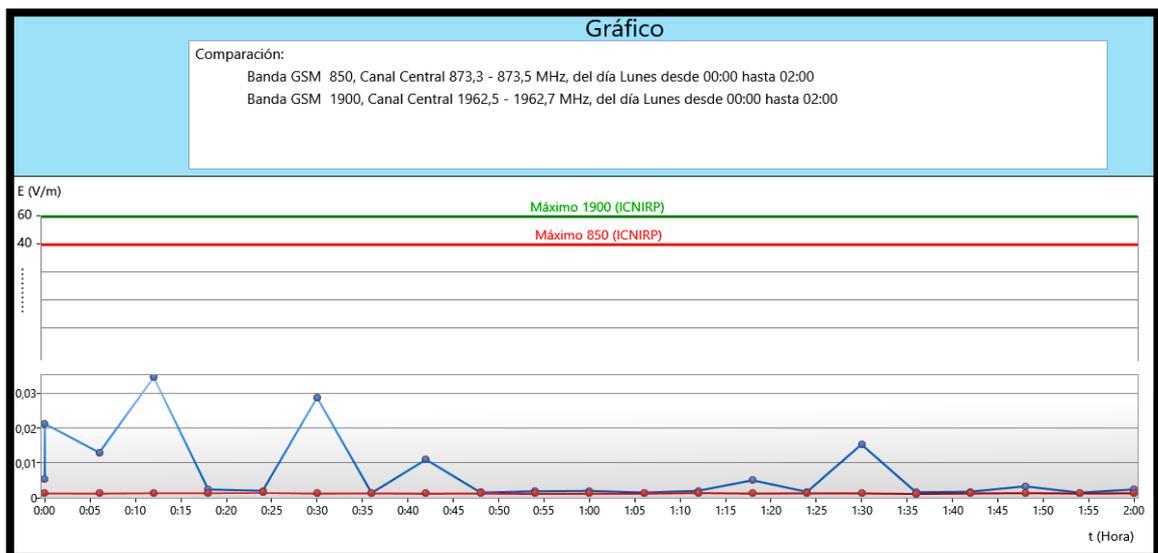


Gráfico 3-8 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del canal central 1 de GSM-850 con el canal central 1 de GSM-1900, día Lunes Período 1, 00H00 a 02H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

En el Gráfico 3-9 se compara el canal central de GSM-850 en las frecuencias de 874,7 MHz a 874,9 Mhz, color azul, con el canal central de GSM-1900 en las frecuencias de 1962,9 MHz a 1963, 1 MHz, color rojo, donde de igual manera que en el caso anterior, la actividad del canal central de bajada de GSM – 850 es mayor que el canal central de GSM – 1900.

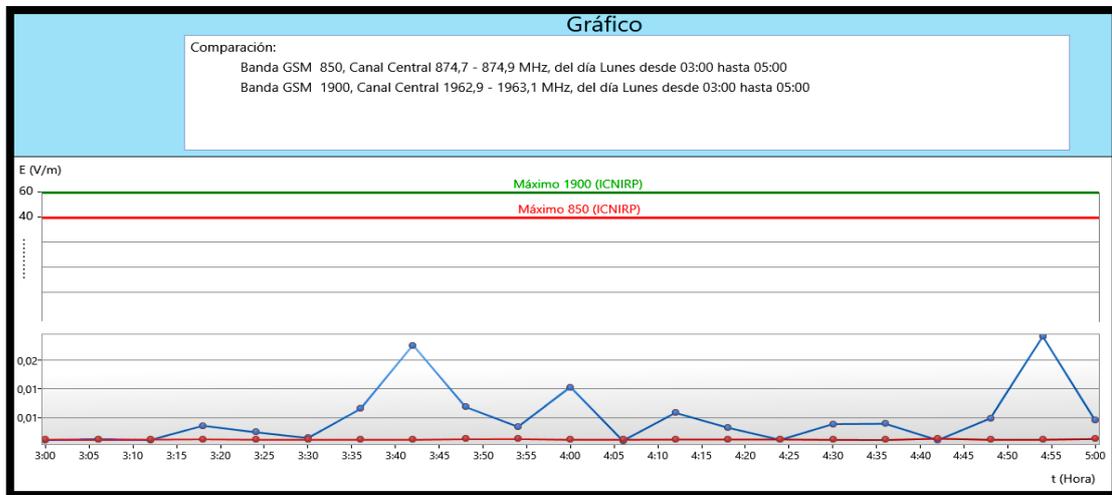


Gráfico 3-9 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del canal central 2 de GSM-850 con el canal central 2 de GSM-1900, día Lunes Período 1, 03H00 a 05H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Es importante mencionar que el comportamiento de la intensidad de campo eléctrico se repite de similar manera para todos los casos en el período 1 durante los 7 días.

Con respecto a los valores de tendencia media, se obtiene las siguientes tablas con los valores promedio y de la mediana (Véase Tabla 3-6 a Tabla 3-8).

Tabla 3-6 Valores de tendencia media día lunes

Frecuencia (MHz)	Promedio (V/m)	Mediana (V/m)
873,3 – 873,5	0,00573	0,00173
874,7 – 874,9	0,00489	0,00357
1962,5 – 1962,7	0,00124	0,00113
1962,9 – 1963,1	0,00129	0,00107

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Tabla 3-7 Valores de tendencia media día miércoles

Frecuencia (MHz)	Promedio (V/m)	Mediana (V/m)
873,3 – 873,5	0,00715	0,00187
874,7 – 874,9	0,00553	0,00365
1962,5 – 1962,7	0,00259	0,00114
1962,9 – 1963,1	0,00262	0,00112

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Tabla 3-8 Valores de tendencia media día viernes

Frecuencia (MHz)	Promedio (V/m)	Mediana (V/m)
873,3 – 873,5	0,0093	0,00514
874,7 – 874,9	0,00817	0,00691
1962,5 – 1962,7	0,00185	0,00111
1962,9 – 1963,1	0,00177	0,0011

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

De acuerdo a lo observado, se define al día viernes como el día en el que más altos valores se presentan, dando como resultado un promedio de 9 mV/m , mientras que la mediana mas alta de los canales en este período es 6 mV/m .

3.3.2 Segundo período de mediciones

Para el período 2, el cual comprende desde las 06H00 hasta las 12H00, de igual manera que en el caso anterior, se tomará a manera de ejemplo, algunas horas donde el comportamiento de los canales centrales de bajada de las bandas GSM – 850 y GSM – 1900 muestran actividad destacable.

Además, se puede notar un leve incremento en los valores de intensidad de campo eléctrico en los canales de GSM-850 a partir de las 06H30 hasta las 08H00 en la mayoría de los días llegando a rodear los 40 mV/m con un máximo de 45 mV/m .

A continuación, se toma por ejemplo el día Lunes, donde se compara la intensidad de campo eléctrico detectado en los canales centrales de bajada correspondientes a las frecuencias de 873,3 a 873,5 Mhz, representado en color azul y de 1962,5 a 1962,7, representado en color rojo.

Es importante notar que en este período, al igual que en este caso, la intensidad de campo eléctrico de los canales de GSM-1900 presenta valores promedio inferiores a los canales de GSM-850 (Véase Gráfico 3-10).

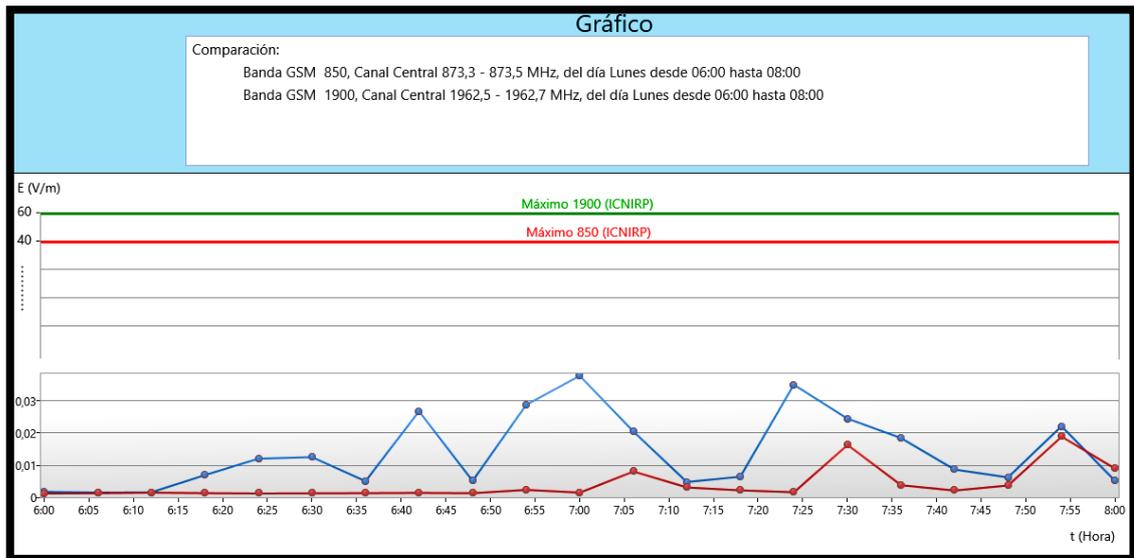


Gráfico 3-10 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Lunes Período 2, 06H00 a 08H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

En el caso del día martes, se puede apreciar que el pico más alto detectado en el canal central de bajada de la banda GSM – 850 correspondiente a la frecuencia 873,3 a 873,5 MHz, representado en color azul llega a los 45 mV/m , mientras que el pico más alto en el canal central de bajada de la banda GSM – 1900 correspondiente a la frecuencia 1962,5 a 1962,7 MHz, representado en color rojo llega a los 34,4 mV/m , de manera que se mantiene lo dicho, que GSM – 1900 muestra un comportamiento bajo en comparación con el canal GSM – 850 (Véase Gráfico 3-11).

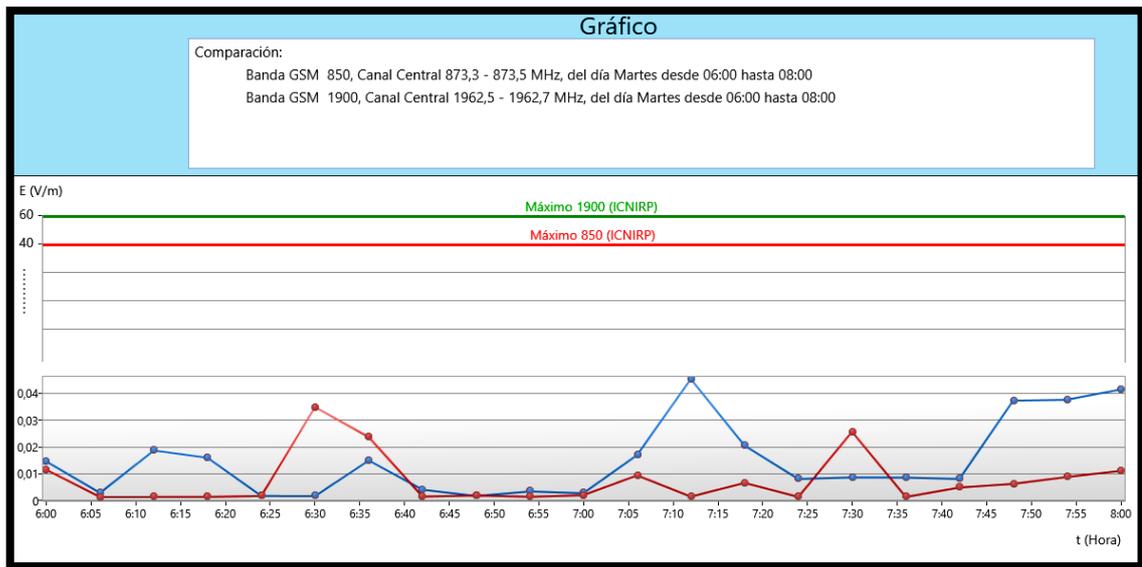


Gráfico 3-11 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Martes Período 2, 06H00 a 08H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

En el día Miércoles, se puede notar que la actividad del canal central de bajada de la banda GSM – 1900 en particular en la frecuencia 1962,9 MHz a 1963, 1 MHz, representado en color rojo, presenta un pico máximo que llega a los 30 mV/m , superando los picos del canal central de bajada de la banda GSM – 850 correspondiente a la frecuencia de 874,7 MHz a 874,9 Mhz, representado en color azul, sin embargo, la gráfica muestra que la mayoría del tiempo, los valores de la banda GSM – 850 son mayores, por tanto en promedio, los canales centrales de la banda GSM – 850 tienen una actividad mayor que los canales centrales de la banda GSM – 1900 (Véase Gráfico 3-12).

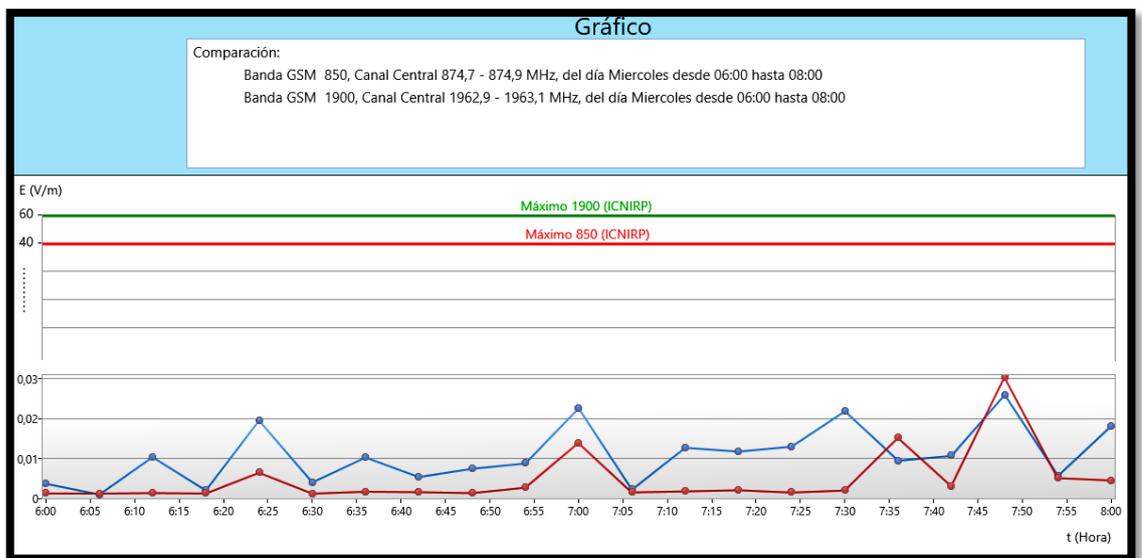


Gráfico 3-12 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Miércoles Período 2, 06H00 a 08H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Otro período en el que se nota incrementos importantes de la intensidad de campo eléctrico es a partir de las 10H30 en donde todos los días se registra una actividad importante en ascenso de los valores medidos llegándose a un máximo de 53 mV/m .

En el caso de los días martes, miércoles y viernes, se puede apreciar un ejemplo de esta actividad, y como ha sido común en el comportamiento de los canales centrales de bajada de la banda GSM – 1900, presentan valores de la intensidad de campo eléctrico bajos en comparación con los canales centrales de bajada de la banda GSM – 850.

Las figuras presentadas a continuación, representan en color azul el canal central de bajada de la banda GSM – 850, en la frecuencia 873,3 a 873,5 MHz, mientras que el color rojo representa el canal central de bajada en las frecuencias 1962,5 a 1962,7 MHz de la banda GSM – 1900 (Véase Gráficos 3-13 a 3-15)

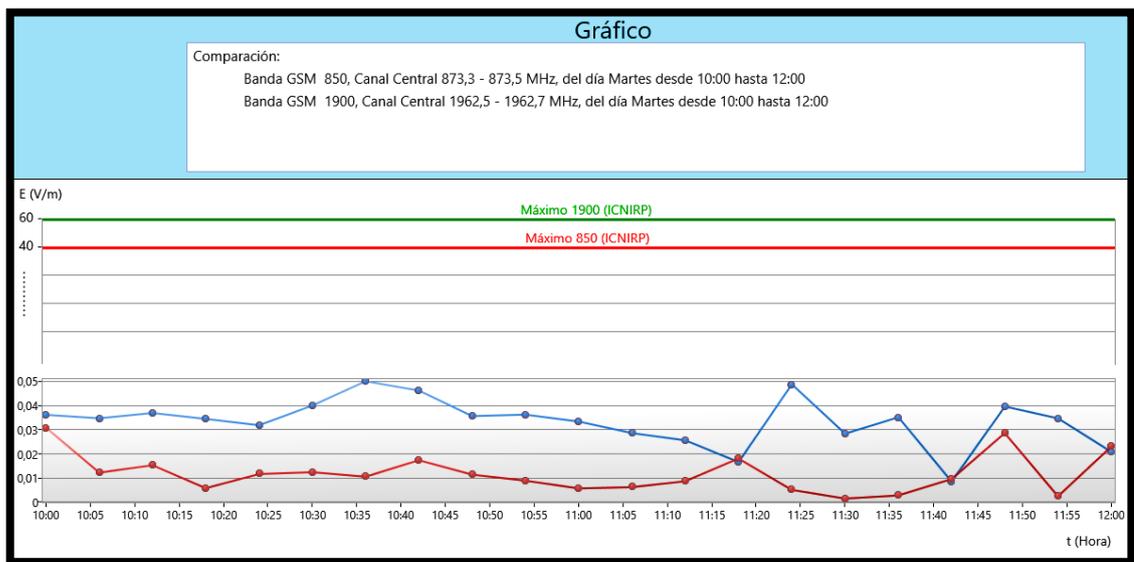


Gráfico 3-13 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Martes Período 2, 10H00 a 12H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

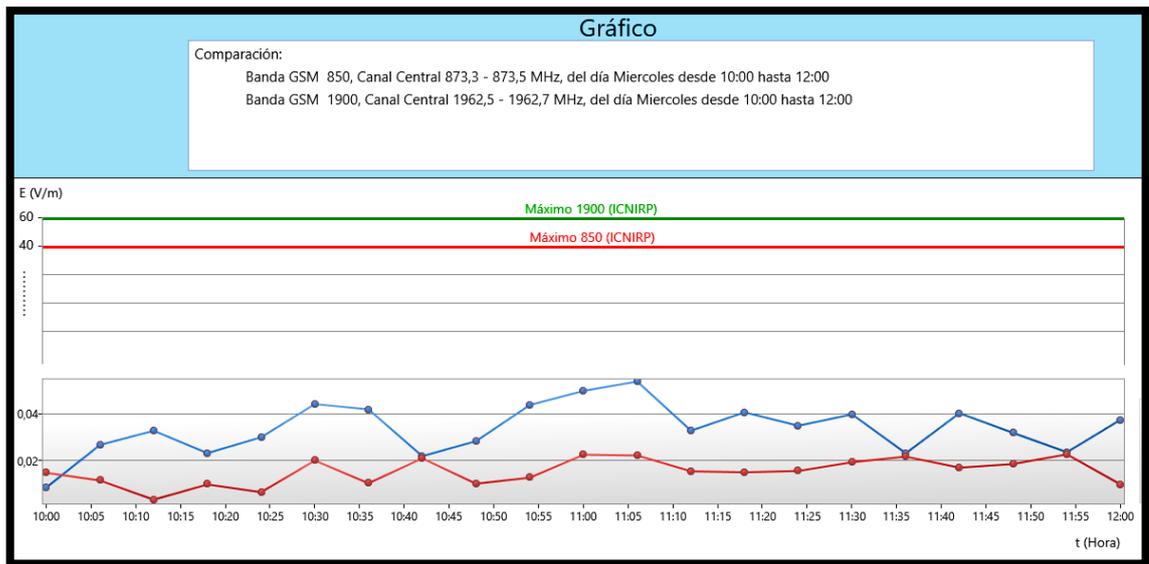


Gráfico 3-14 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Miércoles Período 2, 10H00 a 12H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

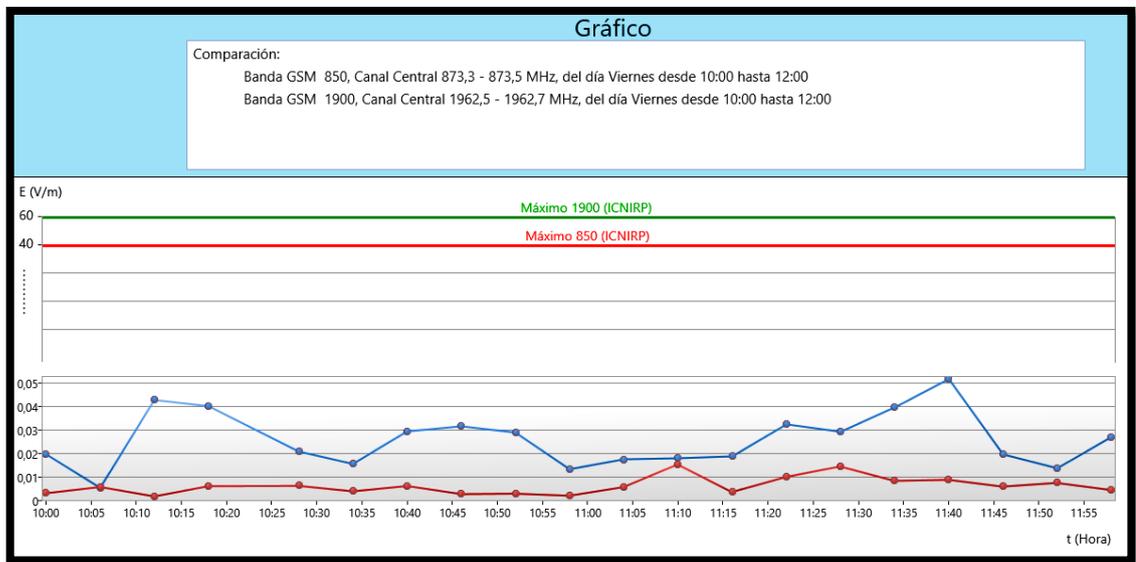


Gráfico 3-15 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Viernes Período 2, 10H00 a 12H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Con respecto a los fines de semana, se nota una reducción considerable de los valores máximos detectados, por ejemplo, una muestra clara es el día sábado donde los valores no sobrepasan los 37 mV/m, en el canal central de bajada correspondiente a la frecuencia de 873,3 a 873,5 MHz, representado en color azul, mientras que el color rojo representa el canal central de bajada en las frecuencias 1962,5 a 1962,7 MHz de la banda GSM – 1900 (Véase Gráfico 3-16).

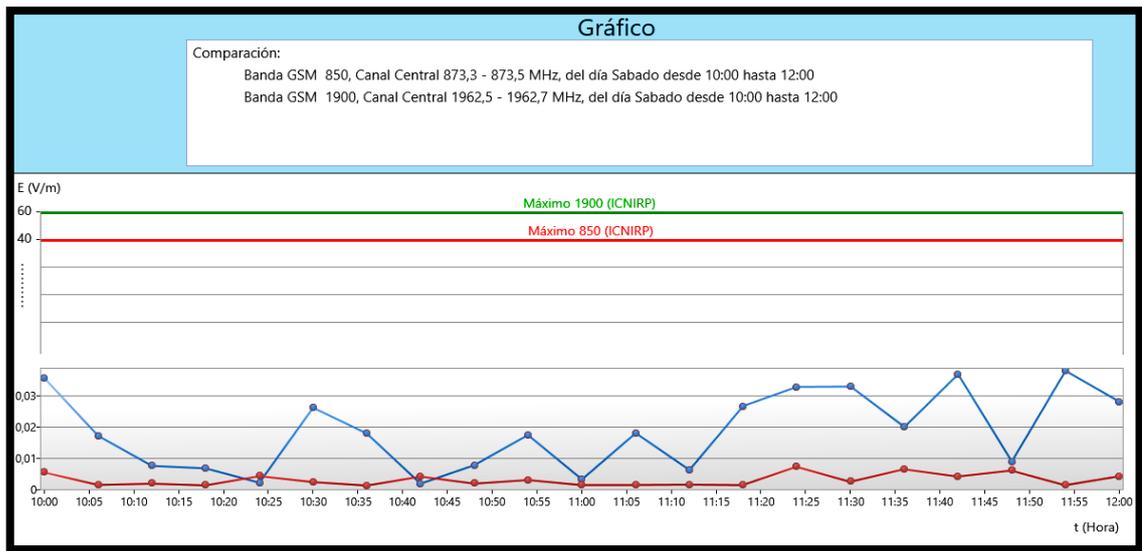


Gráfico 3-16 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Sábado Período 2, 10H00 a 12H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Con respecto a los valores de tendencia media en el segundo período obtenemos (Véase Tabla 3-9 a Tabla 3-11):

Tabla 3-9 Valores de tendencia media día miércoles, período 2

Frecuencia (MHz)	Promedio (V/m)	Mediana (V/m)
873,3 – 873,5	0,02257	0,0218
874,7 – 874,9	0,01657	0,01681
1962,5 – 1962,7	0,00935	0,00883
1962,9 – 1963,1	0,00875	0,00617

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Tabla 3-10 Valores de tendencia media día jueves, período 2

Frecuencia (MHz)	Promedio (V/m)	Mediana (V/m)
873,3 – 873,5	0,0243	0,02634
874,7 – 874,9	0,01598	0,01727
1962,5 – 1962,7	0,00973	0,0096
1962,9 – 1963,1	0,001021	0,00844

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Tabla 3-11 Valores de tendencia media día viernes, período 2

Frecuencia (MHz)	Promedio (V/m)	Mediana (V/m)
873,3 – 873,5	0,02025	0,00194
874,7 – 874,9	0,01681	0,01685
1962,5 – 1962,7	0,00575	0,00555
1962,9 – 1963,1	0,00796	0,00471

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

De acuerdo al análisis de tendencia media, el día con valores más elevados es el jueves, donde el promedio llega a 24 mV/m como valor más elevado, mientras que en la mediana el valor asciende a 26 mV/m .

Cabe recalcar que los valores de tendencia media más elevados se presentan en el canal GSM – 850 correspondiente al ancho de banda de 873,3 a 873,5 MHz.

3.3.3 Tercer período de mediciones

Para el período 3 de mediciones correspondiente a los horarios de 12H00 a 18H00 se nota una actividad bastante irregular.

Al igual que en los períodos anteriores, se toma a manera de ejemplos ciertos días con actividad irregular, y se compara el canal central de bajada de la banda GSM – 850, en la frecuencia de 873,3 a 873,5 MHz, representado en todas las figuras con color azul, con el canal central de bajada de la banda GSM – 1900, correspondiente a la frecuencia de 1962,5 a 1962,7 MHz de la banda GSM – 1900, representada en color rojo.

Se destaca el periodo entre las 12H30 a 13H30 donde se detecta un valor máximo de 57 mV/m , en el canal central de bajada de la banda GSM – 850, mientras que los valores registrados para la banda GSM-1900 se mantiene sin alteración destacable. (Véase Figuras 3-17 a 3-19)

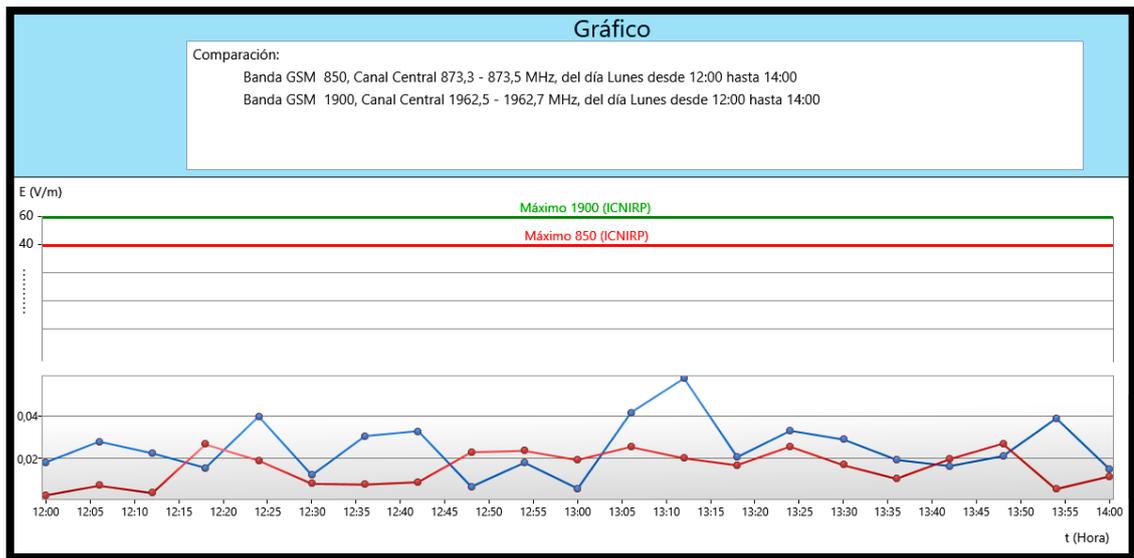


Gráfico 3-17 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Lunes Período 3, 12H00 a 14H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

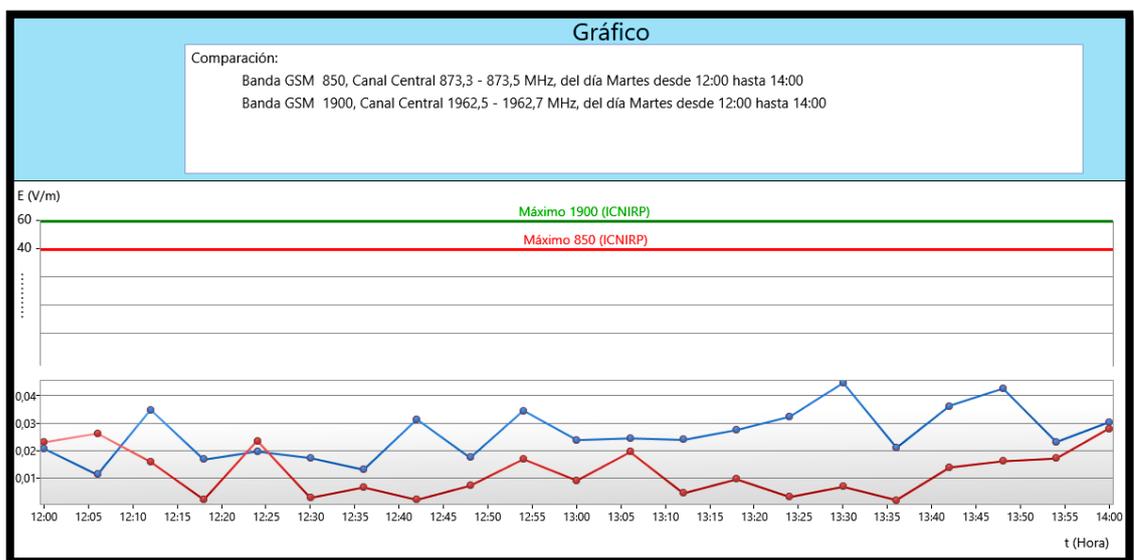


Gráfico 3-18 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Martes Período 3, 12H00 a 14H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

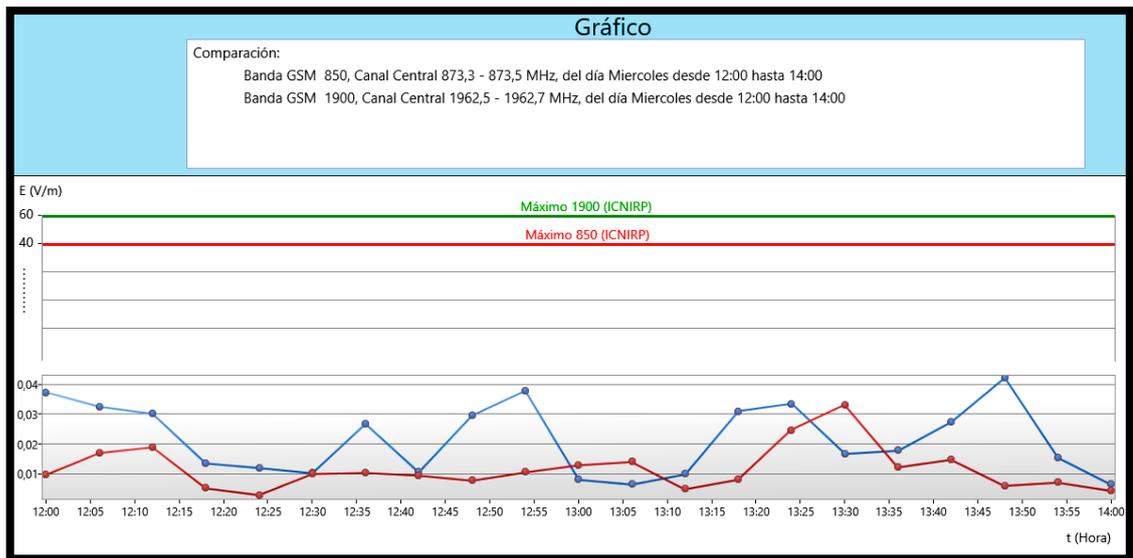


Gráfico 3-19 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Miércoles Período 3, 12H00 a 14H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

El período comprendido entre las 15H00 a 16H30 muestra el valor medido más alto de todas las mediciones llegando a los 60 mV/m , del canal central de bajada de la banda GSM-850 en las frecuencias de 873,3 MHz a 873,5 MHz. El valor fue registrado el día miércoles a las 15h06 (Véase Gráfico 3-20).

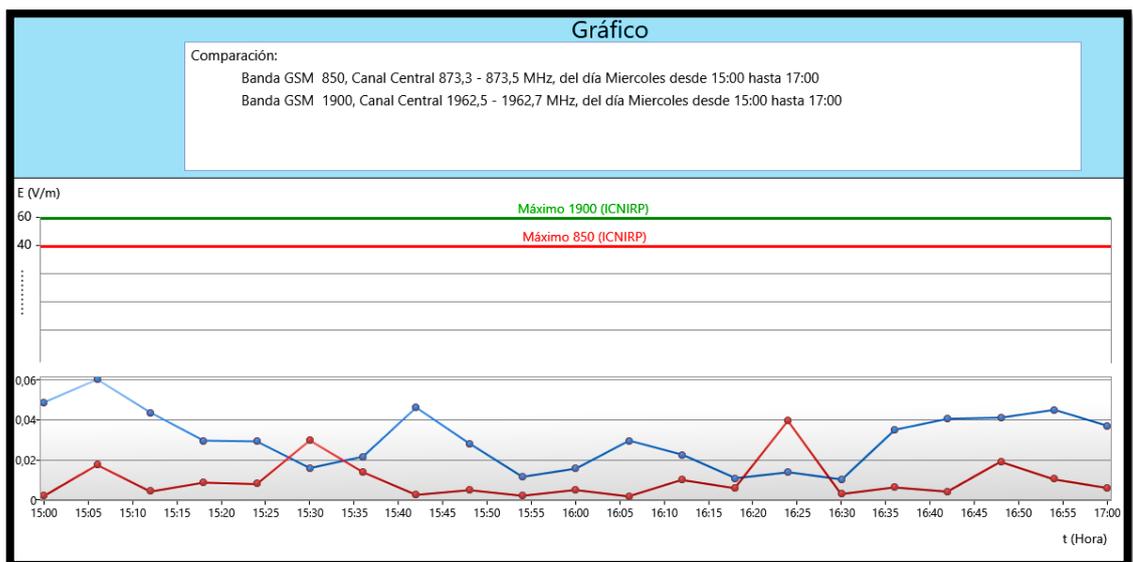


Gráfico 3-20 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Miércoles Período 3, 15H00 a 17H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Se presenta a continuación la actividad de la intensidad de campo eléctrico en este mismo período de tiempo de los días Lunes y Martes, donde al igual que en casos anteriores, la actividad del canal central de bajada de la banda 1900 se mantiene bajo en comparación al canal central de bajada de GSM – 850, del cual, los valores de los picos máximos rodean los 50 mV/m (Véase Gráficos 3-21 a 3-22).

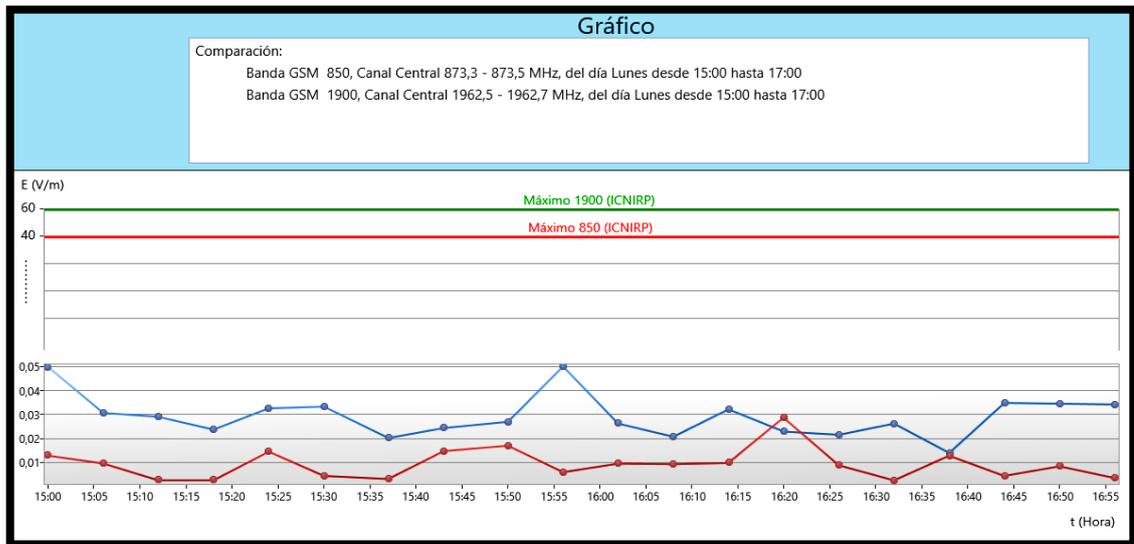


Gráfico 3-21 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Lunes Período 3, 15H00 a 17H00

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

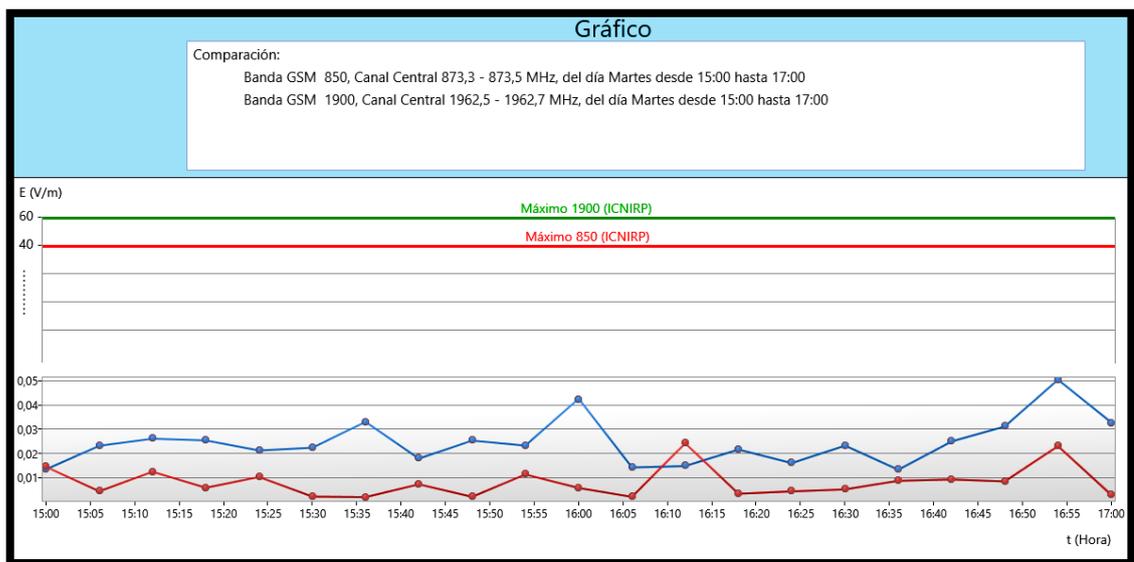


Gráfico 3-22 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Martes Período 3, 15H00 a 17H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Es importante notar que el día con mayor actividad referente a los canales de bajada de la banda GSM – 1900 es el día viernes, tanto de la frecuencia de 1962,5 a 1962,7 MHz, representado en color azul, y en la frecuencia de 1962,9 a 1963,1 MHz, representado en color rojo, donde los valores de la intensidad de campo rodean los 40 mV/m , en el horario de 14h00 a 17h00 (Véase Gráfico 3-23).

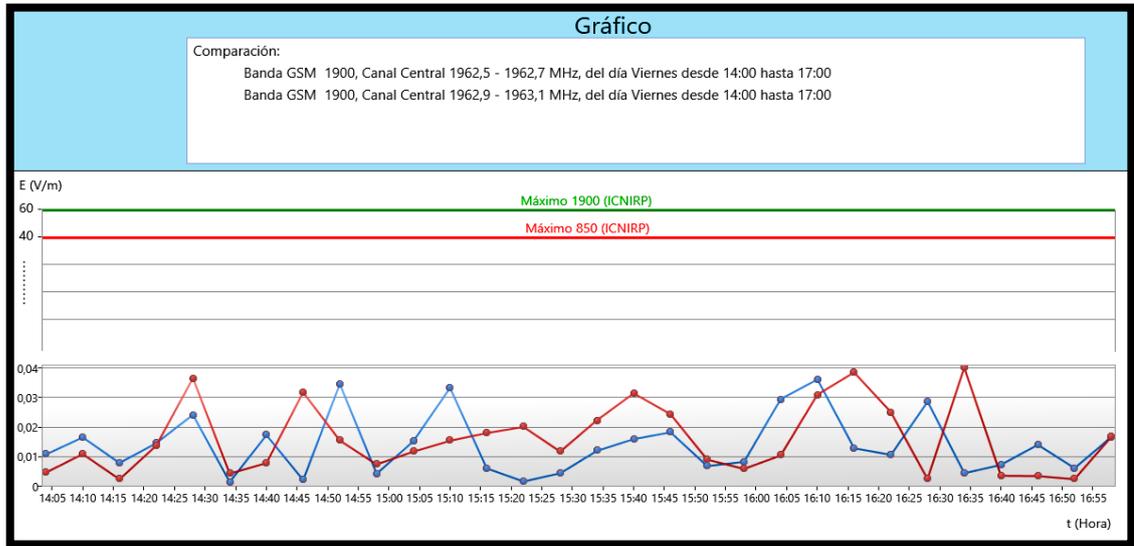


Gráfico 3-23 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Viernes Período 3, 14H00 a 17H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Con referencia a los valores de tendencia media en este período, se tiene que los días con actividades elevadas son Lunes, Miércoles y Viernes. Las Tablas 3-12 a la Tabla 3-14 muestran tal actividad.

Tabla 3-12 Valores de tendencia media día lunes, período 3

Frecuencia (MHz)	Promedio (V/m)	Mediana (V/m)
873,3 – 873,5	0,02472	0,024
874,7 – 874,9	0,01859	0,01875
1962,5 – 1962,7	0,01172	0,00962
1962,9 – 1963,1	0,01246	0,01156

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Tabla 3-13 Valores de tendencia media día miércoles, período 3

Frecuencia (MHz)	Promedio (V/m)	Mediana (V/m)
873,3 – 873,5	0,02429	0,02202
874,7 – 874,9	0,01764	0,01713
1962,5 – 1962,7	0,00969	0,00831
1962,9 – 1963,1	0,01038	0,00856

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Tabla 3-14 Valores de tendencia media día viernes, período 3

Frecuencia (MHz)	Promedio (V/m)	Mediana (V/m)
873,3 – 873,5	0,01447	0,01427
874,7 – 874,9	0,01489	0,01369
1962,5 – 1962,7	0,01179	0,00871
1962,9 – 1963,1	0,01442	0,01459

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Es destacable que el día viernes, el canal de GSM - 1900 correspondiente al ancho de banda entre 1962,9 a 1963,1 presenta el promedio más alto en cuanto al monitoreo de la banda GSM – 1900, llegando incluso a superar el promedio de la banda GSM – 850, de hecho, la mediana llega a 14,59 *mV/m* superando la mediana de la banda GSM – 850.

3.3.4 Cuarto período de mediciones

Dentro de las mediciones correspondientes al período 4, el cual va comprendido entre las 18H00 y las 24H00, se han evaluado los valores de la intensidad de campo eléctrico presentada en los canales de bajada de las bandas GSM 850 y GSM – 1900 a manera de ejemplo.

Se representa en color azul el canal central de bajada correspondiente a las frecuencias de 873,3 a 873,5 MHz, y en color rojo el canal central de bajada correspondiente a la frecuencia de 1962,5 a 1962,7 MHz.

Entre los días lunes y miércoles no se nota un cambio significativo en los valores medidos de la banda GSM-850, en donde los valores oscilan entre los 20 *mV/m* y 50 *mV/m*, sin embargo, es importante mencionar que durante este período se detectó el valor más alto medido en la banda de GSM-1900 que corresponde a 46 *mV/m*, valor detectado en el horario comprendido entre las 18H00 y 19H00. (Véase Gráficos 3-24 a 3-26).

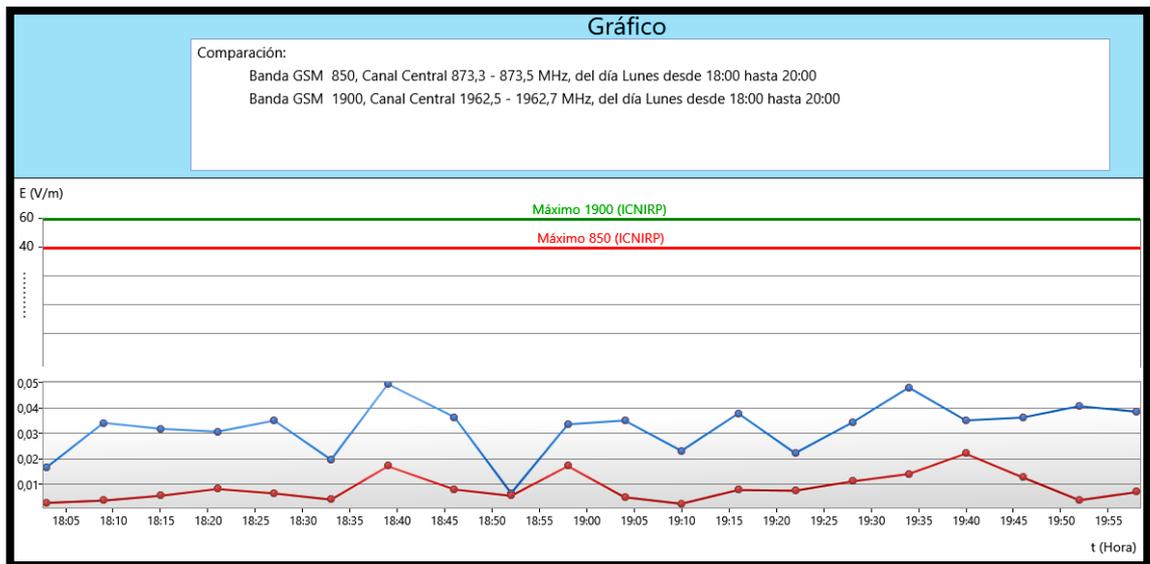


Gráfico 3-24 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Lunes Período 4, 18H00 a 20H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

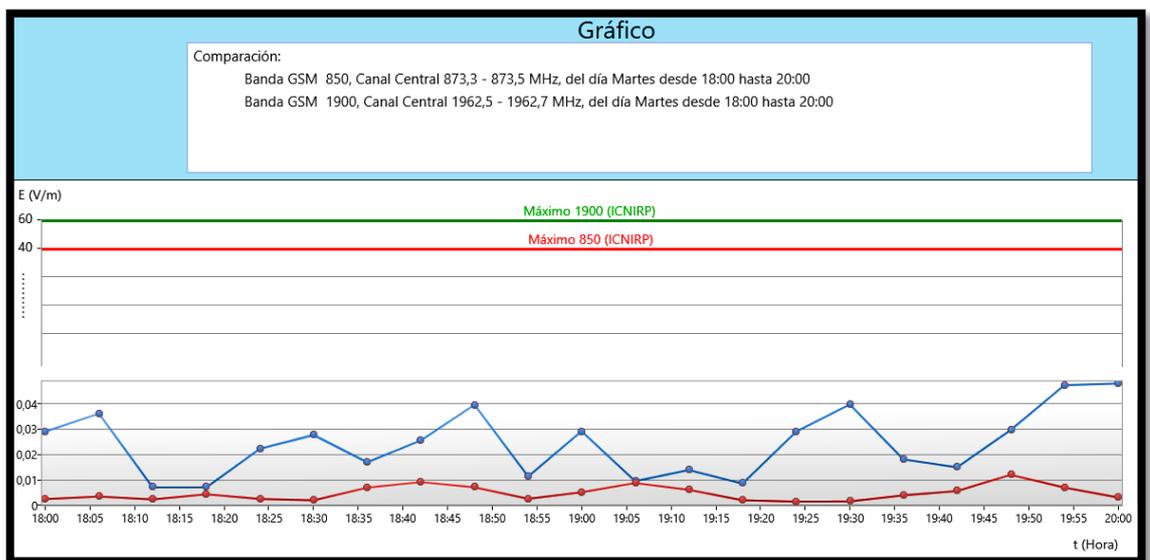


Gráfico 3-25 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Martes Período 4, 18H00 a 20H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

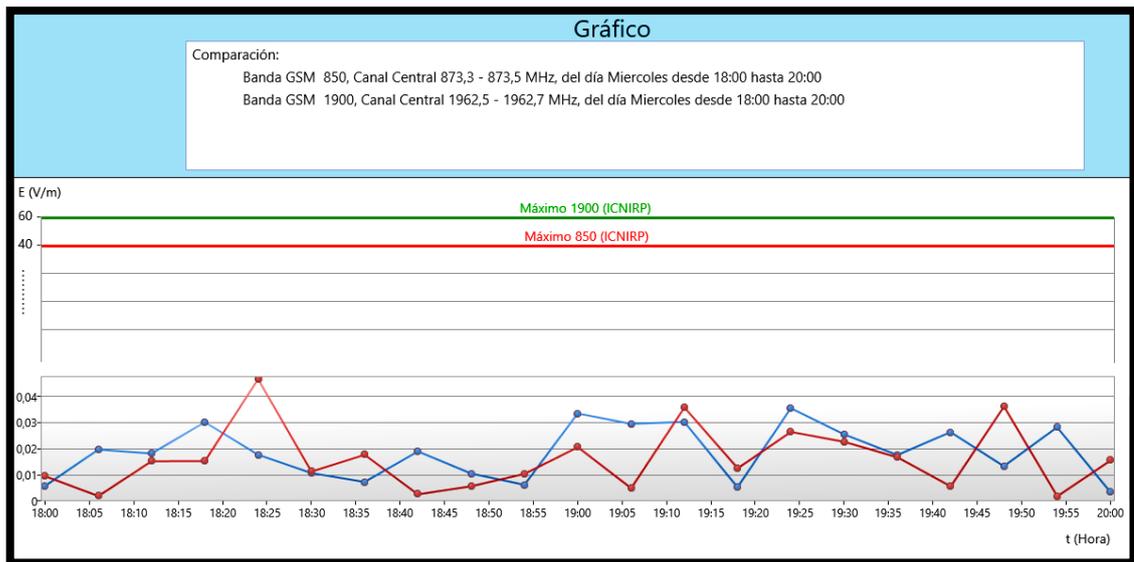


Gráfico 3-26 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Miércoles Período 4, 18H00 a 20H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Se puede notar también un ligero decremento de los valores medidos en los días jueves a domingo donde los valores no superan los 40 mV/m .

Nótese que independientemente del valor máximo medido en la banda GSM-1900 bajo ninguna circunstancia supera los valores máximos medidos en la banda GSM-850 mostrándose un comportamiento con menor actividad asemejándose al detectado en el período 1, monitoreando valores bajos a partir de las 20H00.

A continuación, en las Figuras 3-27 a 3-30 se muestra dicha actividad.

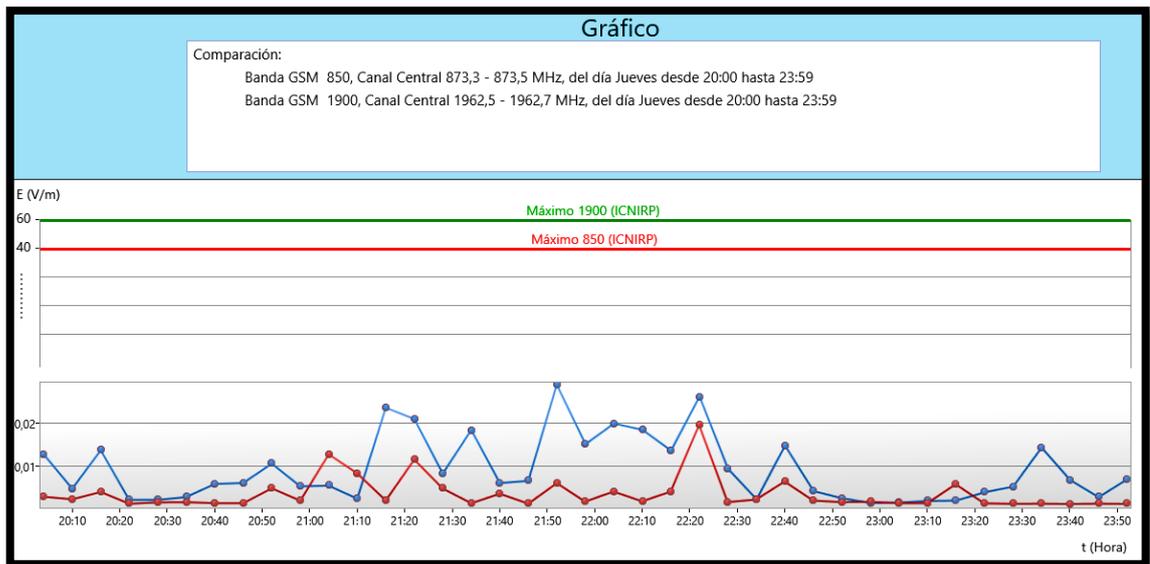


Gráfico 3-27 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Jueves Período 4, 20H00 a 00H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

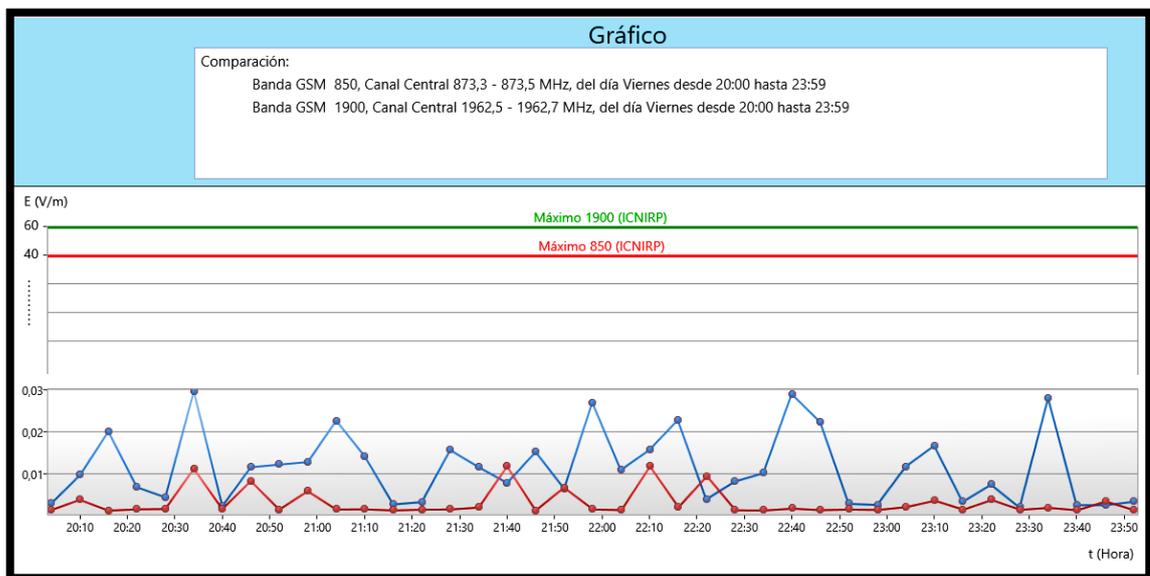


Gráfico 3-28 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Viernes Período 4, 20H00 a 00H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

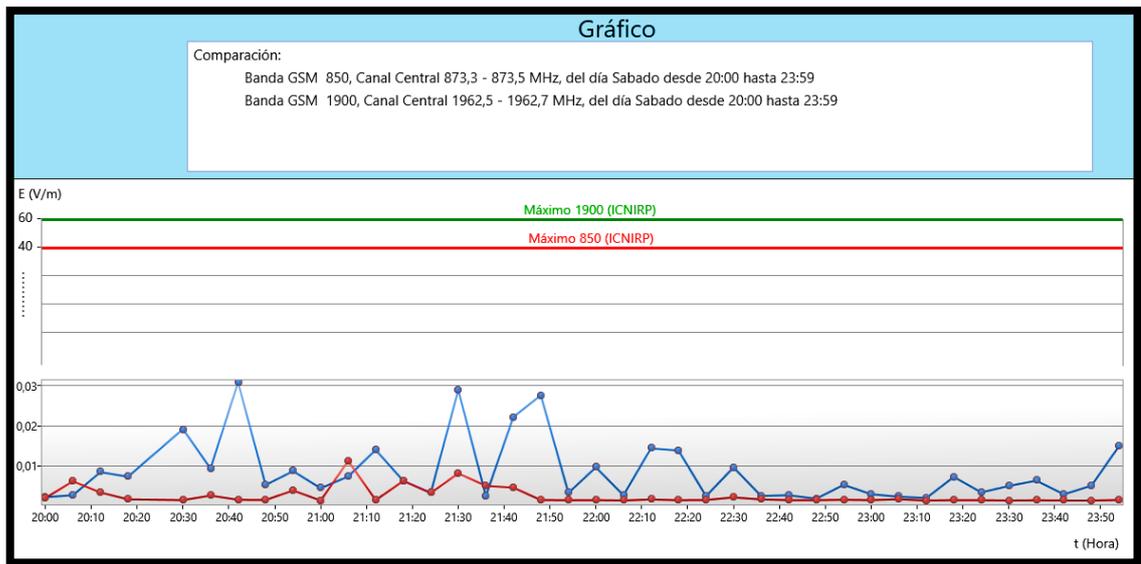


Gráfico 3-29 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Sábado Período 4, 20H00 a 00H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

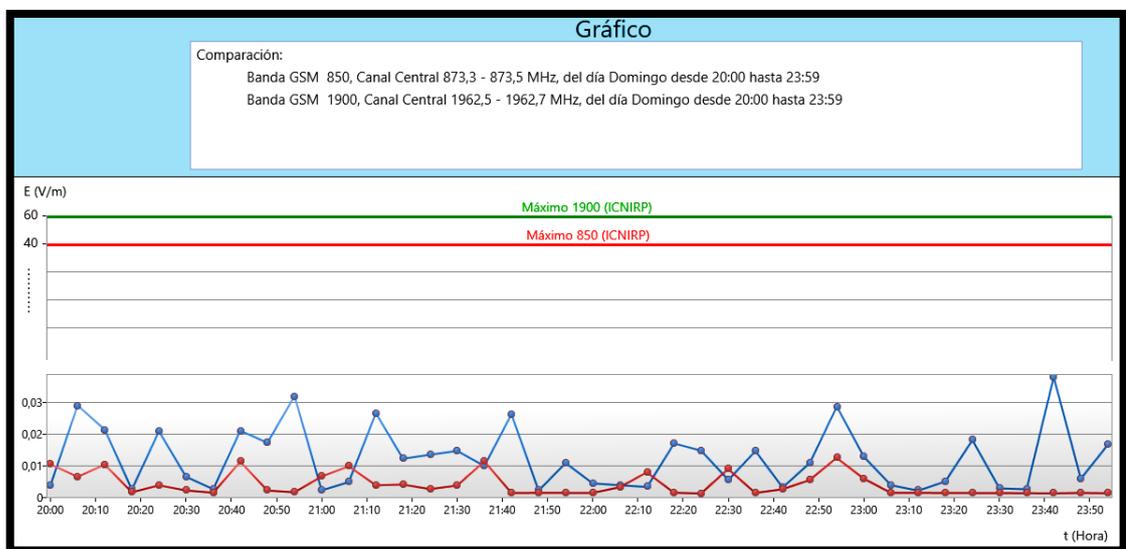


Gráfico 3-30 E vs t. Comportamiento de la intensidad de campo del día Domingo Período 4, 20H00 a 00H00.

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Los valores de tendencia media en el período 4 muestran la siguiente actividad. (Véase Tabla 3-15 a Tabla 3-17).

Tabla 3-15 Valores de tendencia media día lunes, período 4

Frecuencia (MHz)	Promedio (V/m)	Mediana (V/m)
873,3 – 873,5	0,02453	0,02381
874,7 – 874,9	0,02262	0,02107
1962,5 – 1962,7	0,00824	0,00725
1962,9 – 1963,1	0,00832	0,00689

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Tabla 3-16 Valores de tendencia media día martes, período 4

Frecuencia (MHz)	Promedio (V/m)	Mediana (V/m)
873,3 – 873,5	0,01958	0,02169
874,7 – 874,9	0,01531	0,01551
1962,5 – 1962,7	0,00497	0,00352
1962,9 – 1963,1	0,00572	0,00302

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Tabla 3-17 Valores de tendencia media día miércoles, período 4

Frecuencia (MHz)	Promedio (V/m)	Mediana (V/m)
873,3 – 873,5	0,01589	0,01413
874,7 – 874,9	0,01469	0,01406
1962,5 – 1962,7	0,01104	0,00867
1962,9 – 1963,1	0,0112	0,00936

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

3.3.5 Obtención de los valores promedio y la media de los 4 periodos

A partir de los datos obtenidos y el análisis realizado podemos definir el valor medio de la intensidad de campo eléctrico durante los días de medición. Para este análisis utilizaremos los todos los datos obtenidos en los períodos. Sin embargo dada la posibilidad de la aplicación, se puede obtener un dato general por cada día completo, cada 24 horas de medición.

El valor promedio o la media aritmética se aplica a cada canal, de manera que, las Tablas 3-19 a 3-20, muestran el valor correspondiente a la media aritmética y la mediana de 24 horas de medición continuas.

Tabla 3-18 Valores de tendencia media, día lunes, día completo

Frecuencia (MHz)	Promedio (V/m)	Mediana (V/m)
873,3 – 873,5	0,01903	0,01864
874,7 – 874,9	0,0159	0,0157
1962,5 – 1962,7	0,00669	0,00371
1962,9 – 1963,1	0,00695	0,0045

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Tabla 3-19 Valores de tendencia media, día miércoles, día completo

Frecuencia (MHz)	Promedio (V/m)	Mediana (V/m)
873,3 – 873,5	0,01746	0,01518
874,7 – 874,9	0,01356	0,01246
1962,5 – 1962,7	0,00818	0,00519
1962,9 – 1963,1	0,00826	0,00482

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Tabla 3-20 Valores de tendencia media, día viernes, día completo

Frecuencia (MHz)	Promedio (V/m)	Mediana (V/m)
873,3 – 873,5	0,01409	0,01295
874,7 – 874,9	0,01281	0,01236
1962,5 – 1962,7	0,00592	0,00326
1962,9 – 1963,1	0,00737	0,00316

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Nótese que se han obtenido dos datos, el valor de la media aritmética y el valor de la mediana. El valor de la media aritmética es el centro de gravedad de todos los datos, es decir un promedio de cada período de tiempo, sin embargo, la mediana, se aplica como un método más acertado, puesto que muestra un valor más realista estadísticamente hablando, es decir, es más robusta que la media debido a que corresponde exactamente al centro de los datos. (Sáez A. 2012, pp. 29)

De acuerdo al análisis realizado, el canal GSM – 850 con valor promedio más alto y con la mediana más alta es el correspondiente a la banda 873,3 a 873,5, que llega a un máximo de 19 mV/m , mientras que con respecto a la banda GSM – 1900, el canal con valores mas elevados es el correspondiente a la banda 1962,9 a 1963,1 con un valor de $8,3\text{ mV/m}$.

3.4 TABLAS COMPARATIVAS

La norma a la que se hará referencia para la comparación es la adoptada en Ecuador por la ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones), a saber, la ICNIRP y su estudio publicado en 1999 bajo el título, GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC, MAGNETIC, AND ELECTROMAGNETIC FIELDS (UP TO 300 GHz), “Directrices para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz)”, donde según el análisis realizado, para la frecuencia comprendida entre los 400 y 2000 MHz, y dentro del tipo de exposición en la zona poblacional, se aplicará la fórmula: (ICNIRP, 1998, pp 511).

$$E = 1,375 f^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

E = Intensidad de campo eléctrico Campo eléctrico (V/m)

f = Frecuencia en MHz.

De manera que, si aplicamos dentro de esta fórmula las frecuencias de funcionamiento de los anchos de banda de los dos (2) canales monitoreados en GSM – 850 y los dos (2) canales monitoreados de GSM – 1900, obtendremos:

Tabla 3-21 Cálculo del límite máximo de intensidad de campo eléctrico para canales GSM.

Banda GSM	Ancho de Banda de canal (MHz)	Frecuencia central o de operación del canal (MHz)	Límite máximo Intensidad de campo eléctrico según la ICNIRP (V/m)
GSM - 850	873,3 – 873,5	873,4	40,64 ≈ 41
	874,7 – 874,9	874,8	40,66 ≈ 41
GSM - 1900	1962,5 – 1962,7	1962,6	60,91 ≈ 61
	1962,9 – 1963, 1	1963	60,92 ≈ 61

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Si se hace el cálculo correspondiente desde la frecuencia inicial hasta la final del ancho de banda, se observa que el valor calculado como límite máximo varía en centésimas, por tanto se ha aproximado al inmediato superior, de manera que el límite máximo para los canales centrales

en GSM – 850 es 41 V/m y para GSM – 1900, 61 V/m, obtenidos a partir de la frecuencia central de cada canal.

Se analizará los días con los valores máximos más altos para demostrar que bajo ninguna circunstancia, los valores llegan al máximo permitido en las normas internacionales. Véase la Tabla 3-22 a Tabla 3-24.

Tabla 3-22 Tabla comparativa día Lunes

Frecuencia (MHz)	ICNIRP (V/m)	UIT T–K 52 ARCOTEL(V/m)	Máximo (V/m)	Mínimo (V/m)
873,3 – 873,5	41	41	0,05694	0,00098
874,7 – 874,9	41	41	0,04804	0,00071
1962,5 – 1962,7	61	61	0,03165	0,00095
1962,9 – 1963,1	61	61	0,0397	0,00092

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Tabla 3-23 Tabla comparativa día Miércoles

Frecuencia (MHz)	ICNIRP (V/m)	UIT T–K 52 ARCOTEL(V/m)	Máximo (V/m)	Mínimo (V/m)
873,3 – 873,5	41	41	0,05964	0,00089
874,7 – 874,9	41	41	0,03621	0,00074
1962,5 – 1962,7	61	61	0,04612	0,00099
1962,9 – 1963,1	61	61	0,03795	0,00093

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Tabla 3-24 Tabla comparativa día Viernes

Frecuencia (MHz)	ICNIRP (V/m)	UIT T–K 52 ARCOTEL(V/m)	Máximo (V/m)	Mínimo (V/m)
873,3 – 873,5	41	41	0,05126	0,00093
874,7 – 874,9	41	41	0,03896	0,00076
1962,5 – 1962,7	61	61	0,03572	0,00099
1962,9 – 1963,1	61	61	0,03969	0,00091

Realizado por: Santos, W; Tarco, C.

Se determina de esta manera, que el valor más alto obtenido en todos los días de medición corresponde a 59,64 mV/m ,y que pese a ser el más alto detectado, bajo ninguna circunstancia llega al valor máximo permitido de 61 V/m.

CONCLUSIONES

1. Al realizar el monitoreo de los canales centrales de bajada de las bandas GSM–850 y GSM–1900, durante los 7 días continuos dentro del campus de la ESPOCH, se puede determinar que los niveles de intensidad de campo eléctrico están en su totalidad por debajo del máximo sugerido por la ICNIRP, y la ARCOTEL que se basa en la recomendación UIT-T K.52 y, UIT-T K.61.
2. Para determinar el comportamiento de los canales centrales de bajada de las bandas GSM - 850 y GSM – 1900, se requiere de una herramienta computacional por la cantidad elevada de datos que se debe procesar.
3. Se concluye que la intensidad de campo eléctrico de los canales centrales de bajada de la banda GSM–850, en general, presenta valores máximos más altos al compararlos con los canales centrales de bajada de la banda GSM–1900.
4. Se establece que los valores de la intensidad de campo eléctrico medidos en los canales centrales de la banda GSM – 1900, durante el horario comprendido entre las 00h00 y las 06h00, son los más bajos registrados en todo el período de medición.
5. Al realizar cálculos estadísticos de tendencia media en los valores medidos de intensidad de campo eléctrico, se estipula que la mediana da resultados más acertados sobre el comportamiento de cada porción del espectro monitoreado que la media aritmética.
6. Se comprueba que el canal correspondiente al ancho de banda de 873,3 a 873,5 MHz presenta valores más elevados que los demás canales centrales de bajada tanto de GSM-850 como de GSM-1900, mientras que el canal central de bajada que presenta valores más bajos es el canal correspondiente al ancho de banda de 1962,5 a 1962,7 MHz.
7. Los datos medidos de la intensidad de campo eléctrico en los canales centrales de bajada de la banda GSM-850 y GSM-1900, serán utilizados para proponer un protocolo de medición, uno de los objetivos en la Tesis Doctoral del Ing. Pedro Infante y que además serán publicados mediante un artículo en una revista relacionada al tema.

RECOMENDACIONES

- 1.** Es trascendental verificar que el equipo de medición Narda SRM – 3000 esté correctamente calibrado, y configurado para poder monitorear las bandas de frecuencia correctas.
- 2.** Es de suma importancia tener acceso a la configuración de una radio base, para saber que porción del espectro monitorear y en qué lugar sería más beneficioso para la investigación, además de manejar dicha información con discreción.
- 3.** Es importante que la ESPOCH adquiera equipos de monitoreo y medición de radiación para que se realicen más proyectos de investigación referente a los servicios de telecomunicaciones más comunes.
- 4.** Se recomienda utilizar herramientas vinculadas en caso de realizar aplicaciones que extraigan datos de una base de datos predeterminada, puesto que permiten la relación bidireccional de los softwares por protocolos y librerías comunes o provistas por el desarrollador.
- 5.** La ESPOCH tiene un campus extenso, de tal manera que sería conveniente realizar monitoreo de los servicios de telecomunicaciones existentes en diversos puntos, para determinar si se requiere mejorar la calidad de dichos servicios.

GLOSARIO

ANCHO DE BANDA: El ancho de banda se denomina al margen que existe entre dos frecuencias, una frecuencia superior y una frecuencia inferior.

CAMPO ELECTRICO: El Campo Eléctrico se produce por las cargas en reposo y se define como un campo de fuerza en un punto determinado, creado mediante la atracción o repulsión de cargas eléctricas.

CAMPO MAGNETICO: El Campo Magnético se produce por cargas en movimiento o por corrientes variantes en el tiempo. Por lo tanto, toda corriente eléctrica origina un campo magnético asociado.

ELECTROMAGNETISMO: El electromagnetismo es el estudio de los fenómenos eléctricos y magnéticos causados por cargas eléctricas en reposo o en movimiento.

HERTZ (Hz): Unidad de frecuencia expresada en ciclos por segundo.

IÓN: Se considera un ión a un átomo que ha perdido o ganado electrones en su última capa.

TORRE MONOPOLO: Se trata de torres de telecomunicaciones, son generalmente de acero de alta resistencia.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ANTÓN, M.** “Tema 2”. *Ondas Electromagnéticas*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, (n.d), pp. 2-5
2. **BITTER, FRANCIS.** *Corrientes, campos y partículas* [en línea]. Massachusetts-USA: Reverte,1964. [Consulta: 25 octubre 2016]. Disponible en:
<https://books.google.com.ec/books?id=9MdfbGB6L6cC>
3. **HAYT, W; & BUCK, J.** *Teoría Electromagnética*. 7ma ed. México: McGraw-Hill. (2006), pp. 317-318, 396-398
4. **ICNIRP;** International Commission On Non Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz) [en línea]. (1998). [Consulta: 07 noviembre 2016]. Disponible en:
<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>
5. **INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION.** 3g mobile licensing policy: from gsm to imt-2000 - a comparative analysis. [en línea]. (2001), pp.4-12. [Consulta: 07 noviembre 2016]. Disponible en: <https://www.itu.int/osg/spu/ni/3G/casestudies/GSM-FINAL.pdf>
6. **INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION.** Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields [en línea]. 3ra ed. (2014), pp.3-8. [Consulta: 07 noviembre 2016]. Disponible en:
<https://www.itu.int/rec/T-REC-K.52/es>
7. **INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION.** Guidance to measurement and numerical prediction of electromagnetic fields for compliance with human exposure limits for telecommunication installations [en línea]. (2008), pp.2-5. [Consulta: 07 noviembre 2016]. Disponible en:
<https://www.itu.int/rec/T-REC-K.61/es>
8. **INSTITUTO DE SALUD PUBLICA CHILE.** Sección Radiaciones ionizantes y no ionizantes [en línea]. Chile-Santiago, (n.d). [Consulta: 05 noviembre 2016]. Disponible en:
http://www.ispch.cl/saludocupacional/subdebtto_ambientes_laborales/secciones/radiaciones

9. **KAHABKA, M.** *Pocket Guide for Fundamentals and GSM Testing*. Germany: Wandel&GoltermannGmbH&Co, (1998), pp.3 a 10.
10. **MARTIN-ESCALONA I., BARCELO F., PARADELLS J.,** *Delivery of Non-Standardized Assistance Data in E-OTD/GNSS Hybrid Location Systems*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, (2002), pp. 2,3
11. **NARDA SAFETY TEST SOLUTION, SRM-3000 Selective Radiation Meter (Manual)**. Alemania, (2004), Pp. 1-17
12. **ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.** *Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección* [en línea]. 2016. [Consulta: 27 octubre 2016]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs371/es/>
13. **PANADERO, G; & RUPÉREZ, M.** *La exposición laboral a campos eléctricos y magnéticos estáticos*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, (2004), pp. 11-13
14. **REAL, ALMUDENA.** *Efectos Biológicos de las Radiaciones no ionizantes* [en línea]. España-Madrid, (2014). [Consulta: 05 noviembre 2016]. Disponible en: [http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pack-19202/efectos d las RI_UCM_27 nov 2014_A Real_pdf.pdf](http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pack-19202/efectos_d_las_RI_UCM_27_nov_2014_A_Real_pdf.pdf)
15. **RUGELES URIBE, José de Jesús.** “Análisis de los límites de exposición humana a campos electromagnéticos de acuerdo a la norma UIT-K.52 para frecuencias entre 10 kHz y 3 GHz en áreas urbanas de Bucaramanga”. *Ing. Investig.* [en línea]. (2007), vol.27, n.3. [Consulta: 05 noviembre 2016], pp.149-158. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012056092007000300017&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0120-5609.
16. **SÁEZ A.** *Apuntes de Estadística para ingenieros*. Jaén, Universidad de Jaén, (2012), pp. 29
17. **VECCHIA, PAOLO.** *Protección de la salud contra los EMF: Principios y Prácticas* [en línea]. Lima-Perú, (2006). [Consulta: 29 octubre 2016]. Disponible en: http://www.oas.org/citel/project/taller_lima/Paolo_Vecchia_e.pdf