



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA TELECOMUNICACIONES**

**“DETERMINACIÓN DEL CAMPO ELÉCTRICO MÁXIMO  
UTILIZANDO UN MODELO MATEMÁTICO EN LAS  
INSTALACIONES DE LA ESPOCH”**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO/A EN TELECOMUNICACIONES**

**AUTORES:**

CARLOS DANIEL MARTÍNEZ MOLLOCANA  
CINTHYA ANABEL QUINTUÑA MONTACHANA

Riobamba – Ecuador

2024



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRONICA**  
**CARRERA TELECOMUNICACIONES**

**“DETERMINACIÓN DEL CAMPO ELÉCTRICO MAXIMO  
UTILIZANDO UN MODELO MATEMÁTICO EN LAS  
INSTALACIONES DE LA ESPOCH”**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO/A EN TELECOMUNICACIONES**

**AUTORES:**

CARLOS DANIEL MARTÍNEZ MOLLOCANA

CINTHYA ANABEL QUINTUÑA MONTACHANA

**DIRECTOR:** ING. PEDRO SEVERO INFANTE MOREIRA, DR.C.

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Carlos Daniel Martínez Mollocana & Cinthya Anabel Quintuña Montachana

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.

Nosotros, Carlos Daniel Martínez Mollocana y Cinthya Anabel Quintuña Montachana, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 04 de abril del 2024



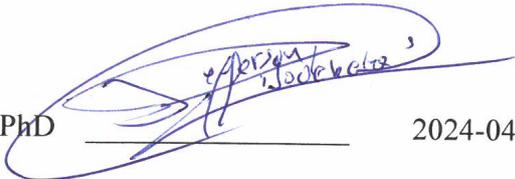
**Carlos Daniel Martínez Mollocana**  
**050390383-3**



**Cinthya Anabel Quintuña Montachana**  
**180541988-2**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA TELECOMUNICACIONES**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Investigación, “**DETERMINACIÓN DEL CAMPO ELÉCTRICO MÁXIMO UTILIZANDO UN MODELO MATEMÁTICO EN LAS INSTALACIONES DE LA ESPOCH**”, realizado por el señor: **CARLOS DANIEL MARTÍNEZ MOLLOCANA** y la señorita **CINTHYA ANABEL QUINTUÑA MONTACHANA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

|  | <b>FIRMA</b>   | <b>FECHA</b> |
|--|--|--------------|
| Ing. Hugo Oswaldo Moreno Avilés<br><b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>                            |  | 2024-04-04   |
| Ing. Pedro Severo Infante Moreira, Dr.C<br><b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>         |  | 2024-04-04   |
| Ing. Jefferson Alexander Ribadeneira Ramírez, PhD<br><b>ASESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b> |  | 2024-04-04   |

## DEDICATORIA

A Dios, fuente de toda sabiduría y entendimiento, quien me ha concedido la salud y la vida para emprender este camino académico. A mis padres, Carlos y Teresa, les dedico este logro con profundo amor y gratitud, su apoyo incondicional, tanto material como emocional, ha sido el faro que ilumina mi camino, quienes, desde la infancia, han sembrado en mí los valores de la humildad, la honestidad y la perseverancia, los cuales han guiado cada uno de mis pasos. A mis queridos hermanos, Israel, Jesenia y Esther, por ser mi sostén y mi motivación constante, recordándome que la perseverancia y la humildad son virtudes inquebrantables, en especial, a mi querida hermana Esther, cuyo ejemplo de fortaleza y valentía me ha inspirado a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles, su fe inquebrantable y su determinación han sido mi guía en esta travesía académica. Y a mis adorados sobrinos, Alejandro, Sofía y Maximiliano, quienes llenan mi vida de alegría y me impulsan a esforzarme cada día, que mi dedicación y esfuerzo inspire en ellos el deseo de perseguir sus sueños y alcanzar grandes metas en la vida.

Daniel

Le dedico el resultado de este trabajo a toda mi familia. Principalmente a mis padres, Enrique y Silvia que siempre estuvieron apoyándome en todo momento durante todo este proceso, en los buenos y malos momentos, y gracias a sus enseñanzas aprendí a no rendirme por más difícil que fuera el camino. A mi hermano Danny, él es la razón detrás de todos mis éxitos, la persona por la que me levanto cada mañana y trabajo incansablemente para hacer realidad nuestros sueños juntos, dedicárselo a él por su amor y su sonrisa, que me inspira a cada día ser mejor. Eres mi ejemplo de valentía y resistencia, por todos los obstáculos que tuviste que atravesar para estar en mi vida y seguir junto a mí, apoyándome y siendo mi luz en la travesía de la vida. Sin ustedes no lo hubiera logrado, son mi familia, el pilar de mi vida, motivo por el cual me esfuerzo todos los días por darles un futuro mejor. Finalmente le quiero dedicar este trabajo a Nayelli. En el momento más crucial de mi vida, cuando todo parecía desmoronarse, tu apoyo y amor fueron fundamentales para que no perdiera el rumbo y siguiera adelante, eres la mejor prima del mundo. Este logro también es tuyo porque me has inspirado a crecer como persona mental y emocionalmente.

Cinthya

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino. Su amor y sabiduría me han inspirado y guiado, permitiéndome superar obstáculos y alcanzar este importante logro. A mis padres y hermanos, quienes son mi razón de ser y mi mayor motivación. Su amor incondicional y apoyo constante me han impulsado a levantarme cada día con determinación y entusiasmo, buscando siempre ser una mejor persona y retribuirles de la mejor manera posible. Al Ingeniero Pedro Infante mi tutor y guía en este viaje académico. Agradezco su paciencia, dedicación y conocimientos compartidos a lo largo de este trabajo de titulación. Su orientación y apoyo fueron fundamentales para alcanzar el éxito en este proyecto. A ti, Cinthya, mi compañera de tesis. Agradezco tu paciencia, colaboración y dedicación en este proyecto compartido. Juntos hemos superado desafíos y hemos alcanzado este importante hito. A mis amigos y compañeros de aulas, en especial a Darío y Luis, con quienes compartí risas, llantos, horas de estudio y momentos de diversión. Su amistad y compañerismo hicieron más ligero el camino y llenaron de alegría cada día de esta travesía académica, la lista es larga pero siempre estarán presentes en mi mente y corazón.

Daniel

A Dios por permitirme culminar mi trabajo de titulación y por la oportunidad de vivir hasta este momento, cuidarme en todo momento y darme la fuerza necesaria para cumplir este sueño. Mi sincero agradecimiento al Ing. Pedro Infante, por su orientación y asesoramiento durante la ejecución de este trabajo de titulación, por sus consejos y paciencia, que han sido fundamentales para alcanzar esta meta de manera óptima. A mi familia que son el motor principal de mi vida que me motivan a continuar, por su apoyo y amor incondicional, todo mi esfuerzo y dedicación son para ustedes. A esa persona especial que formó parte importante de mi vida durante este tiempo. Aunque nuestras vidas tomaron caminos diferentes, su apoyo fue invaluable para mí. Su influencia positiva dejó una marca imborrable en mi camino hacia el logro de esta meta. Gracias por todo. Por último, quiero agradecer a mis amigos Esthefanny, Daniel y Luis, dado que hemos compartido momentos de alegría, tardes de diversión, viajes y hemos estado juntos durante largas horas de estudio a lo largo de nuestra educación, les agradezco profundamente por su apoyo. A mi amiga Anny, que fue parte de grandes momentos compartidos durante este proceso, su amistad es muy valiosa para mí, sin su compañía hubiera sido muy difícil, y espero que podamos seguir juntas a lo largo de esta travesía.

Cinthya

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|                              |      |
|------------------------------|------|
| ÍNDICE DE TABLAS.....        | xi   |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | xii  |
| INDICE DE ECUACIONES .....   | xv   |
| RESUMEN .....                | xvi  |
| SUMMARY .....                | xvii |
| INTRODUCCIÓN .....           | 1    |

### CAPÍTULO I

|   |   |
|---|---|
| 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....           | 2 |
| 1.1 Planteamiento del problema .....        | 2 |
| 1.1.1 <i>Antecedentes</i> .....             | 2 |
| 1.2 Objetivos .....                         | 5 |
| 1.2.1 <i>Objetivo general</i> .....         | 5 |
| 1.2.2 <i>Objetivos específicos</i> .....    | 5 |
| 1.3 Justificación .....                     | 5 |
| 1.3.1 <i>Justificación teórica</i> .....    | 5 |
| 1.3.2 <i>Justificación aplicativa</i> ..... | 6 |
| 1.4 Pregunta de investigación .....         | 7 |

### CAPÍTULO II

|   |    |
|---|----|
| 2. MARCO TEÓRICO.....                       | 8  |
| 2.1 Referencias teóricas.....               | 8  |
| 2.1.1 <i>Señales eléctricas</i> .....       | 8  |
| 2.1.2 <i>Clasificación de señales</i> ..... | 8  |
| 2.1.2.1 <i>Señal discreta</i> .....         | 8  |
| 2.1.2.2 <i>Señal continua</i> .....         | 9  |
| 2.2 Campos electromagnéticos.....           | 10 |
| 2.2.1 <i>Campo eléctrico</i> .....          | 10 |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 2.2.2    | <i>Campo magnético</i> .....   | 11 |
| 2.3      | <b>Radiaciones electromagnéticas</b> .....   | 12 |
| 2.3.1    | <i>Ondas electromagnéticas</i> .....   | 12 |
| 2.3.1.1  | <i>Principales características de una onda electromagnética</i> .....                            | 13 |
| 2.4      | <b>Espectro electromagnético</b> .....   | 13 |
| 2.5      | <b>Espectro radioeléctrico</b> .....   | 14 |
| 2.6      | <b>Tipos de radiación</b> .....  | 16 |
| 2.6.1    | <i>Radiaciones ionizantes</i> .....  | 16 |
| 2.6.2    | <i>Radiaciones no ionizantes</i> .....   | 17 |
| 2.7      | <b>Fuentes generadoras de radiación</b> .....  | 19 |
| 2.7.1    | <i>Radiaciones naturales</i> .....   | 19 |
| 2.7.2    | <i>Radiaciones artificiales</i> .....  | 20 |
| 2.8      | <b>Servicios de telecomunicaciones en el ecuador</b> .....                                       | 20 |
| 2.8.1    | <i>Telefonía móvil celular</i> .....   | 20 |
| 2.9      | <b>Tecnología GSM</b> .....  | 22 |
| 2.9.1    | <i>Arquitectura GSM</i> .....  | 23 |
| 2.9.2    | <i>Beneficios de GSM</i> .....   | 25 |
| 2.9.3    | <i>Canales uplink y downlink</i> .....   | 26 |
| 2.10     | <b>Desviación estándar</b> .....   | 27 |
| 2.11     | <b>Percentiles</b> .....   | 28 |
| 2.12     | <b>Filtros</b> .....   | 29 |
| 2.12.1   | <i>Filtros analógicos</i> .....  | 30 |
| 2.12.2   | <i>Filtros digitales</i> .....   | 31 |
| 2.12.2.1 | <i>Filtro con respuesta finita al impulso (FIR)</i> .....  | 31 |
| 2.12.2.2 | <i>Filtro con respuesta infinita al impulso (IIR)</i> .....                                      | 32 |
| 2.12.2.3 | <i>Media móvil</i> .....   | 32 |
| 2.13     | <b>Métodos de conversión de una señal discreta a continua</b> .....                              | 44 |
| 2.13.1   | <i>Spline cúbico</i> .....   | 44 |
| 2.14     | <b>Normas vigentes nacionales e internacionales</b> .....  | 45 |
| 2.15     | <b>Comisión internacional sobre protección frente a radiaciones no ionizantes (ICNIRP)</b> ..... | 46 |
| 2.15.1   | <i>Tipos de exposición</i> .....   | 46 |
| 2.15.1.1 | <i>Exposición ocupacional</i> .....  | 46 |
| 2.15.1.2 | <i>Exposición poblacional</i> .....  | 46 |
| 2.16     | <b>Unión internacional de telecomunicaciones (UIT)</b> .....                                     | 48 |

|               |  |    |
|---------------|--|----|
| <b>2.16.1</b> | <b>Recomendación UIT-T K.52</b> .....  | 48 |
| 2.16.1.1      | <i>Zona de cumplimiento (compliance zone)</i> .....                              | 48 |
| 2.16.1.2      | <i>Zona ocupacional (occupational zone)</i> .....                                | 48 |
| 2.16.1.3      | <i>Zona de excedencia (exceedance zone)</i> .....                                | 48 |
| <b>2.16.2</b> | <b>Recomendación UIT-T K.61</b> .....  | 49 |
| <b>2.16.3</b> | <b>Recomendación UIT-T K.91</b> .....  | 49 |
| <b>2.17</b>   | <b>Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL)</b> ..... | 50 |
| <b>2.18</b>   | <b>Mediciones temporales</b> .....   | 50 |
| <b>2.19</b>   | <b>Mediciones instantáneas</b> .....   | 51 |
| <b>2.20</b>   | <b>Narda SRM- 3006</b> .....   | 51 |
| 2.20.1        | <i>Antena triaxial</i> .....   | 52 |
| <b>2.21</b>   | <b>Matlab</b> .....  | 53 |
| 2.21.1        | <i>Características de matlab</i> .....   | 53 |
| <b>2.22</b>   | <b>Modelo matemático</b> .....   | 54 |

### CAPITULO III

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>3.</b>  | <b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....   | <b>57</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Área y campamento de medición</b> .....  | <b>57</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Análisis y elección de la distribución de frecuencias en la banda GSM 850</b> .....  | <b>59</b> |
| <b>3.3</b> | <b>Equipo de medición NARDA SRM 3006 y su relación con el software</b> .....  | <b>61</b> |
| 3.3.1      | <i>Descarga de paquetes y drivers</i> .....   | 62        |
| 3.3.2      | <i>Interfaz gráfica intuitiva</i> .....   | 62        |
| 3.3.3      | <i>Configuraciones específicas</i> .....  | 63        |
| 3.3.4      | <i>Configuración del procedimiento "PRUEBA 11" en el equipo Narda</i> .....   | 63        |
| 3.3.5      | <i>Rutinas de medición</i> .....  | 64        |
| <b>3.4</b> | <b>Mediciones del campo eléctrico en las instalaciones de la ESPOCH</b> .....   | <b>65</b> |
| 3.4.1      | <i>Mediciones del campo eléctrico durante 28 días consecutivos</i> .....  | 65        |
| 3.4.2      | <i>Programación de la rutina de medición "PRUEBA 11":</i> .....   | 65        |
| <b>3.5</b> | <b>Exportación de los datos del equipo NARDA a una hoja de cálculo</b> .....  | <b>66</b> |
| <b>3.6</b> | <b>Aplicación del modelo matemático para los tres rangos de frecuencia propuestos.<br/>(los seleccionados son: 869 – 870 MHz, 870-880 MHz, 890-891,5 MHz)</b> ..... | <b>69</b> |
| 3.6.1      | <i>Obtención de los valores medio y desviación estándar</i> .....   | 69        |
| 3.6.2      | <i>Aplicación del percentil 25 y 75</i> .....   | 69        |
| 3.6.3      | <i>Aplicación de la media móvil</i> .....   | 70        |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.6.4 | <i>Conversión de la señal discreta a continua</i> .....                            | 71 |
| 3.6.5 | <i>Factores de extrapolación <math>fEEt</math> y <math>f\sigma Et</math></i> ..... | 72 |
| 3.6.6 | <i>Obtención del valor máximo <math>E_{max}</math> de campo eléctrico</i> .....    | 73 |

#### CAPITULO IV

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.    | <b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....   | 78 |
| 4.1   | <b>Análisis del comportamiento de la intensidad de campo eléctrico durante los 28 días consecutivos</b> .....                                   | 80 |
| 4.1.1 | <i>Rango de frecuencia de 869 MHz a 870 MHz.</i> .....  | 81 |
| 4.1.2 | <i>Rango de frecuencia de 870 MHz a 880 MHz.</i> .....  | 84 |
| 4.1.3 | <i>Rango de frecuencia de 890 MHz a 891,5 MHz.</i> .....  | 86 |
| 4.2   | <b>Discusión de resultados de los tres rangos de frecuencia de esta investigación</b> .....   | 88 |
| 4.3   | <b>Análisis comparativo del rango de frecuencia de 869 MHz a 870 MHz con el canal 133 de la GSM 850 obtenidas en el modelo de Infante</b> ..... | 90 |
| 5.    | <b>CONCLUSIONES</b> .....   | 93 |
| 6.    | <b>RECOMENDACIONES</b> .....  | 94 |

#### BIBLIOGRAFÍA

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 2-1:</b> Radiaciones no ionizantes separadas según el tramo del espectro.....                                  | 18 |
| <b>Tabla 2-2:</b> Tipos de radiaciones naturales .....  | 19 |
| <b>Tabla 2-3:</b> Tipos de radiaciones artificiales.....  | 20 |
| <b>Tabla 2-4:</b> Distribución de Frecuencias de Telefonía celular en Ecuador.....                                      | 21 |
| <b>Tabla 2-5:</b> Rango de Frecuencias de Telefonía celular OTECEL y CONECEL de la banda GSM 850 en Ecuador.....        | 21 |
| <b>Tabla 2-6:</b> Rango de Frecuencias de Telefonía celular OTECEL, CONECEL y CNT de la banda GSM 1900 en Ecuador ..... | 22 |
| <b>Tabla 2-7:</b> Banda de Frecuencia y Localización de la Tecnología GSM .....   | 23 |
| <b>Tabla 2-8:</b> Asignación de espectro en tecnología GSM 850 y 1900 para uplink y downlink ....                       | 26 |
| <b>Tabla 2-9:</b> Asignación de espectro en tecnología GSM 850 para uplink y downlink .....                             | 27 |
| <b>Tabla 2-10:</b> Puntos de la señal.....  | 34 |
| <b>Tabla 2-11:</b> Regulación latinoamericana de las radiaciones no ionizantes .....                                    | 45 |
| <b>Tabla 2-12:</b> Límites de referencia ICNIRP valores eficaces sin perturbaciones .....                               | 47 |
| <b>Tabla 3-1:</b> Distribución frecuencial de las tecnologías activas en el sector .....                                | 59 |
| <b>Tabla 3-2:</b> Canales centrales dowlink monitoreados con el equipo NARDA SRM-3006.....                              | 61 |
| <b>Tabla 3-3:</b> Tabla general de indicaciones sobre exportación de archivos de excel y narda tools .....              | 66 |
| <b>Tabla 4-1:</b> Presentación de los datos extraídos del equipo NARDA .....  | 79 |
| <b>Tabla 4-2:</b> Valores medidos asociados con sus respectivas frecuencias .....                                       | 80 |
| <b>Tabla 4-3:</b> Análisis del comportamiento del campo eléctrico en 4 periodos del día .....                           | 80 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|  |    |
|--|----|
| <b>Ilustración 2-1:</b> Ejemplo señal discreta en Matlab .....   | 9  |
| <b>Ilustración 2-2:</b> Ejemplo de Señal en tiempo Continuo .....  | 10 |
| <b>Ilustración 2-3:</b> a) Líneas de campo eléctrico entre dos cargas iguales y de signo opuesto, b)<br>Líneas de campo eléctrico entre dos cargas iguales y del mismo signo ..... | 11 |
| <b>Ilustración 2-4:</b> Líneas de campo magnético de un imán .....   | 12 |
| <b>Ilustración 2-5:</b> Diagrama esquemático de una onda electromagnética .....  | 13 |
| <b>Ilustración 2-6:</b> Diagrama que muestra el espectro electromagnético .....  | 14 |
| <b>Ilustración 2-7:</b> Diagrama que muestra el espectro radioeléctrico .....  | 15 |
| <b>Ilustración 2-8:</b> Estructura de la red GSM [GSM Switching, Services and Protocols] .....   | 25 |
| <b>Ilustración 2-9:</b> Canalización y asignación de bandas de frecuencia SMA .....  | 27 |
| <b>Ilustración 2-10:</b> Localización de los cuartiles .....   | 29 |
| <b>Ilustración 2-11:</b> Código de lectura para archivo en Excel en.....   | 34 |
| <b>Ilustración 2-12:</b> Representación Gráfica de la Señal .....  | 35 |
| <b>Ilustración 2-13:</b> Primera Iteración de la Media Móvil.....  | 36 |
| <b>Ilustración 2-14:</b> Almacenamiento de los valores promedio de la primera iteración en la matriz<br>'reg'.....   | 37 |
| <b>Ilustración 2-15:</b> Comparación visual entre la señal .....   | 37 |
| <b>Ilustración 2-16:</b> Segundo pase del proceso de suavizado: .....  | 38 |
| <b>Ilustración 2-17:</b> Segundo pase del proceso de suavizado .....   | 39 |
| <b>Ilustración 2-18:</b> Tercer pase del proceso de suavizado de .....   | 39 |
| <b>Ilustración 2-19:</b> Cuarto pase del proceso de suavizado: .....   | 40 |
| <b>Ilustración 2-20:</b> Quinto pase del proceso de suavizado: .....   | 40 |
| <b>Ilustración 2-21:</b> Sexto pase del proceso de suavizado: .....  | 41 |
| <b>Ilustración 2-22:</b> Séptimo pase del proceso de suavizado: .....  | 41 |
| <b>Ilustración 2-23:</b> Octavo pase del proceso de suavizado:.....  | 42 |
| <b>Ilustración 2-24:</b> Noveno pase del proceso de suavizado: .....   | 42 |
| <b>Ilustración 2-25:</b> Décimo pase del proceso de suavizado: .....   | 43 |
| <b>Ilustración 2-26:</b> Suavizado completo: señal .....   | 43 |
| <b>Ilustración 2-27:</b> Zonas de exposición de la recomendación .....   | 49 |
| <b>Ilustración 2-28:</b> Módulo del medidor de radiación.....  | 52 |
| <b>Ilustración 2-29:</b> Antena Triaxial complementa .....   | 53 |
| <b>Ilustración 2-30:</b> Niveles de la intensidad del campo eléctrico en el .....  | 55 |
| <b>Ilustración 2-31:</b> a) Factor de extrapolación $f_{EE t}$ y b) Factor de extrapolación $f_{\sigma Et}$<br>obtenidos para las señales GSM estudiadas .....                     | 55 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Ilustración 3-1:</b> Ubicaciones de la estación base y de la bodega perteneciente .....  | 58 |
| <b>Ilustración 3-2:</b> Elementos necesarios para la toma de mediciones de campo eléctrico máximo dentro de la ESPOCH, bodega perteneciente a la facultad de Ciencias Pecuarias .....             | 58 |
| <b>Ilustración 3-3:</b> Diagrama General del Proceso en el Proyecto de Investigación .....  | 59 |
| <b>Ilustración 3-4:</b> Rango de frecuencia de 869 MHz a 870 MHz.....   | 61 |
| <b>Ilustración 3-5:</b> Exploración de la interfaz de usuario .....   | 62 |
| <b>Ilustración 3-6:</b> Personalización de la Tabla de Servicio .....   | 63 |
| <b>Ilustración 3-7:</b> Creación de la configuración llamada PRUEBA 11 .....  | 64 |
| <b>Ilustración 3-8:</b> Creación de Rutina de Mediciones .....  | 65 |
| <b>Ilustración 3-9:</b> Guardado de datos cada ocho horas de una nueva configuración de rutinas de medición.....  | 66 |
| <b>Ilustración 3-10:</b> Formato de Excel en la exportación de datos desde el.....  | 67 |
| <b>Ilustración 3-11:</b> Formato para el almacenamiento y ordenamiento de los datos obtenidos durante las 4 semanas en las 3 frecuencias .....  | 68 |
| <b>Ilustración 3-12:</b> Gráfica de la aplicación de la desviación estándar (color azul y rojo) a los datos discretos de campo eléctrico medio (color negro) .....                                | 69 |
| <b>Ilustración 3-13:</b> Gráfica de la aplicación de los percentiles 25 y 75 a los datos discretos de la desviación estándar (color rojo y azul) .....  | 70 |
| <b>Ilustración 3-14:</b> Gráfica de la aplicación de la media móvil para el suavizado de la señal de los datos discretos del campo eléctrico medio (color azul) .....                             | 70 |
| <b>Ilustración 3-15:</b> Gráfica de la conversión de la señal discreta a continua mediante el método de spline cúbico. ....   | 71 |
| <b>Ilustración 3-16:</b> Gráfica de la aplicación de la media móvil y el método de splines cúbico a las señales del valor medio y sus respectivas desviaciones estándar (869 MHz a 870 MHz) ..... | 71 |
| <b>Ilustración 3-17:</b> Factor de extrapolación del campo eléctrico $fEEt$ para la frecuencia de 869 MHz a 870 MHz.....  | 72 |
| <b>Ilustración 3-18:</b> Factor de extrapolación de la desviación estándar $f\sigma Et$ para la frecuencia de 869 MHz a 870 MHz.....  | 73 |
| <b>Ilustración 3-19:</b> Gráfica de la aplicación de la media móvil y el método de splines cúbico a las señales del valor medio y sus respectivas desviaciones estándar (870 MHz a 880 MHz) ..... | 74 |
| <b>Ilustración 3-20:</b> Factor de extrapolación del campo eléctrico $fEEt$ para la frecuencia de 870 MHz a 880 MHz.....  | 74 |
| <b>Ilustración 3-21:</b> Factor de extrapolación de la desviación estándar $f\sigma Et$ para la frecuencia de 870 MHz a 880 MHz.....  | 75 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Ilustración 3-22:</b> Gráfica de la aplicación de la media móvil y el método de splines cúbico a las señales del valor medio y sus respectivas desviaciones estándar (890 MHz a 891,5 MHz) .....  | 75 |
| <b>Ilustración 3-23:</b> Factor de extrapolación del campo eléctrico $fEEt$ para la frecuencia de 890 MHz a 891,5 MHz.....   | 76 |
| <b>Ilustración 3-24:</b> Factor de extrapolación de la desviación estándar $f\sigma Et$ para la frecuencia de 890 MHz a 891,5 MHz.....   | 76 |
| <b>Ilustración 3-25:</b> Ejemplo o aplicación de la ecuación del.....  | 77 |
| <b>Ilustración 4-1:</b> Gráfica del campo eléctrico medio (color negro) y sus respectivas desviaciones estándar (color rojo y azul) entre las 00h00 y 06h00 (869 MHz a 870 MHz) .  | 82 |
| <b>Ilustración 4-2:</b> Gráfica del campo eléctrico medio (color negro) y sus respectivas desviaciones estándar (color rojo y azul) entre las 06h00 y 12h00 (869 MHz a 870 MHz) .  | 82 |
| <b>Ilustración 4-3:</b> Gráfica del campo eléctrico medio (color negro) y sus respectivas desviaciones estándar (color rojo y azul) entre las 12h00 y 15h00 (869 MHz a 870 MHz) .  | 83 |
| <b>Ilustración 4-4:</b> Gráfica del campo eléctrico medio (color negro) y sus respectivas desviaciones estándar (color rojo y azul) entre las 15h00 y 24h00 (869 MHz a 870 MHz) .  | 84 |
| <b>Ilustración 4-5:</b> Gráfica del campo eléctrico medio (color negro) y sus respectivas desviaciones estándar (color rojo y azul) entre las 00h00 y 24h00 (870 MHz a 880 MHz) .  | 85 |
| <b>Ilustración 4-6:</b> Gráfica del campo eléctrico medio (color negro) y sus respectivas desviaciones estándar (color rojo y azul) entre las 00h00 y 24h00 (890 MHz a 891.5 MHz) .....  | 87 |
| <b>Ilustración 4-7:</b> a) Gráfica de la intensidad de campo eléctrico y la superposición de esta con la desviación estándar para la frecuencia del canal 133 (870.2 MHz) propuesto por Infante b) Resultado de la gráfica del rango de frecuencia de 869 MHz a 870 MHz de la ilustración 3-20. .... | 91 |

## INDICE DE ECUACIONES

|  |    |
|--|----|
| <b>Ecuación 2-1:</b> Desviación estándar para datos no agrupados .....                             | 28 |
| <b>Ecuación 2-2:</b> Desviación estándar para datos agrupados .....                                | 28 |
| <b>Ecuación 2-3:</b> Ecuación que expresa la media móvil simple .....                              | 33 |
| <b>Ecuación 2-4:</b> Vector euclidiano para la intensidad de campo eléctrico .....                 | 33 |
| <b>Ecuación 2-5:</b> Ecuación del campo eléctrico de una señal de demostración .....               | 33 |
| <b>Ecuación 2-6:</b> Ecuación general para calcular la media móvil previa .....                    | 35 |
| <b>Ecuación 2-7:</b> Primera pasada de todos los puntos de la señal original .....                 | 36 |
| <b>Ecuación 2-8:</b> Segunda pasada a todos los puntos de la señal de la primera iteración.....    | 38 |
| <b>Ecuación 2-9:</b> Factor de extrapolación del campo eléctrico .....                             | 54 |
| <b>Ecuación 2-10:</b> Factor de extrapolación de la desviación estándar .....                      | 55 |
| <b>Ecuación 2-11:</b> Ecuación para determinar el campo eléctrico máximo .....                     | 56 |
| <b>Ecuación 3-1:</b> Ecuación para determinar la frecuencia central del ancho de banda de un canal | 60 |

## RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se logró determinar el campo eléctrico máximo semanal de tres rangos de frecuencia pertenecientes a la banda GSM 850 (869 MHz - 870 MHz, 870 MHz - 880 MHz y 890 MHz - 891,5 MHz), utilizando un modelo matemático a partir de una medición instantánea en cualquier instante del día en las instalaciones de la ESPOCH. El proceso se inició con la configuración del equipo NARDA SRM -3006 para llevar a cabo las mediciones cada 6 minutos, posicionando la antena del equipo a una altura de 1,5 metros sobre el suelo, durante cuatro semanas consecutivas (28 días). A las señales del valor medio con su respectiva desviación estándar se aplicó el filtro de la media móvil previa para suavizar la señal sin perder la forma original de la señal; y, posteriormente a estas señales discretas se convirtieron a una señal continua del tiempo utilizando el método de spline cúbicos. Seguidamente, se procedió a determinar los factores de extrapolación del campo eléctrico  $f_{EE}(t)$  y su desviación estándar  $f_{\sigma E}(t)$ . Con los factores de extrapolación y la determinación del valor medio instantáneo  $\bar{E}(t)$  se aplicó la ecuación para determinar el campo eléctrico máximo semanal  $E_{max} = \bar{E}(t) [f_{EE}(t) \pm f_{\sigma E}(t)]$  a partir de una medición instantánea. Por último, se realizó la comparación de los resultados obtenidos en la investigación desarrollada en la tesis doctoral de Infante del canal 133 (870.2 MHz), con el rango de frecuencia de 869 MHz - 870 MHz del presente trabajo de titulación, observando una diferencia en el último periodo de análisis de 15h00 a 24h00, además se observó que la curva de la señal de la media semanal de la gráfica de esta investigación decrece rápidamente, mientras que para la curva de la señal del valor medio desarrollado por Infante decrece lentamente. Estos cambios se atribuyen a factores influenciados por la postpandemia.

**Palabras clave:** < CAMPO ELÉCTRICO >, <MEDICIONES TEMPORALES>, <FACTORES DE EXTRAPOLACIÓN >, <MEDIA MÓVIL >, <EQUIPO NARDA SRM 3006> <MEDICIONES INSTANTÁNEAS>, < SOFTWARE MATLAB >.

0346-DBRA-UPT-2024



## SUMMARY

In the present thesis, the maximum weekly electric field of three frequency ranges belonging to the GSM 850 band (869 MHz - 870 MHz, 870 MHz - 880 MHz, and 890 MHz - 891.5 MHz) was determined using a mathematical model based on instantaneous measurements at any time of the day in the ESPOCH facilities. The process began with the NARDA SRM-3006 equipment configuration to perform measurements every 6 minutes, positioning the equipment's antenna at a height of 1.5 meters above the ground for four consecutive weeks (28 days). The median value signals with their respective standard deviation underwent prior moving average filtering to smooth the signal without losing its original shape. Subsequently, these discrete signals were converted into continuous time series using cubic spline methods. Next, the extrapolation factors of the electric field  $f_{EE}(t)$  and its standard deviation  $f_{\sigma E}(t)$  were determined. Using these extrapolation factors and the determination of the instantaneous mean value  $\bar{E}(t)$ , the equation to determine the maximum weekly electric field  $E_{max}$  was applied:  $E_{max} = \bar{E}(t) [f_{EE}(t) \pm f_{\sigma E}(t)]$ , based on an instantaneous measurement. Finally, a comparison was made between the results obtained in the research developed in the doctoral thesis of Infante from channel 133 (870.2 MHz) and the frequency range of 869 MHz - 870 MHz of the present thesis work, observing a difference in the last analysis period from 15:00 to 24:00. Additionally, it was observed that the curve of the weekly mean signal in this research decreases rapidly, while for the curve of the mean value signal developed by Infante, it decreases slowly. These changes are attributed to factors influenced by the post-pandemic scenario.

**Keywords:** <ELECTRIC FIELD>, <TEMPORAL MEASUREMENTS>, <EXTRAPOLATION FACTORS>, <MOVING AVERAGE>, <NARDA SRM-3006 EQUIPMENT>, <INSTANTANEOUS MEASUREMENTS>, <MATLAB SOFTWARE>.



Lic. Maritza Larrea Mg.

0603370784

## **INTRODUCCIÓN**

El modelo matemático desarrollado por Infante, para la predicción de la exposición pública a largo plazo a partir de las mediciones a corto plazo del campo, basado en la media y en la desviación estándar (Infante, 2019), es aplicable a cualquier señal del enlace descendente de la telefonía celular, siempre que se cuente con la base de datos actualizada.

En el interior de la ESPOCH en la ciudad de Riobamba fueron realizadas las mediciones de la intensidad de campo eléctrico en los rangos de frecuencia de 869 MHz a 870 MHz, 870 MHz a 880 MHz y 890 MHz a 891,5 MHz, utilizando el NARDA SRM-3006, donde la información de las mediciones temporales de campo eléctrico está registrada en una base de datos.

En el presente trabajo de titulación tiene como objetivo principal usar la base de datos de las mediciones temporales de campo eléctrico que se obtuvieron durante el monitoreo continuo del día 20 de noviembre del 2023 al 17 de diciembre del 2023, en el interior de la ESPOCH, donde se aplica diferentes técnicas como la media móvil, para suavizar la señal, se utiliza de igual forma el método de splines cúbicos para transformar la señal discreta a continua. A partir de las señales continuas se obtienen los factores de extrapolación de la media con sus respectivas desviaciones estándar, para determinar el valor máximo de una semana a partir de una medición instantánea. Estos procedimientos están incluidos en la aplicación del modelo matemático desarrollado por Infante en el contexto de este trabajo de titulación.

Por lo tanto, este documento mostrará un estudio sobre el funcionamiento de la intensidad del campo eléctrico, centrándose particularmente en la radiación emitida por las antenas de telefonía celular que prestan servicio en la zona correspondiente a la banda GSM 850. Esta investigación será fundamental para poder determinar la tasa de absorción específica (SAR) en futuros trabajos de investigación.

# CAPÍTULO I

## 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El Capítulo I se enfoca en el problema de investigación. En este capítulo se identifica y plantea el problema que se va a investigar, se establecen los objetivos generales y específicos, se justifica la importancia de la investigación y se formula una pregunta de investigación. Es una sección crucial para establecer el contexto y la relevancia de esta investigación.

### 1.1 Planteamiento del problema

En el entorno cotidiano, la exposición a campos eléctricos es una realidad constante, siendo estos imperceptibles para la percepción natural humana debido a la influencia de la radiodifusión. La creciente presencia de dispositivos electrónicos y tecnologías inalámbricas ha generado la necesidad de evaluar y comprender la exposición electromagnética en lugares específicos. La determinación del nivel de exposición es esencial para garantizar la seguridad y bienestar de las personas en dichos entornos. En este contexto, la identificación del campo eléctrico máximo se convierte en un objetivo fundamental. Este estudio busca abordar esta necesidad mediante la aplicación del modelo matemático desarrollado en la tesis doctoral de Pedro Infante, el mismo que comprende un conjunto de técnicas como el procesamiento de señales mediante el filtro de media móvil, la transformación de señales discretas a continuas y factores de extrapolación que permitan cuantificar de manera precisa el campo eléctrico máximo en un área particular dentro de la ESPOCH. Este enfoque contribuirá significativamente al conocimiento y gestión de la exposición electromagnética en nuestro medio.

#### 1.1.1 Antecedentes

La creciente expansión de infraestructuras de telecomunicaciones, como radiobases de telefonía celular, estaciones transmisoras de radio y televisión, ha generado preocupaciones sobre la exposición a campos electromagnéticos no ionizantes. La rápida evolución de la tecnología y su integración en la vida cotidiana ha generado una creciente preocupación global sobre los posibles riesgos asociados a las radiaciones electromagnéticas, especialmente aquellas provenientes de antenas de alta potencia. Este debate ha llevado a una serie de estudios que exploran la percepción de riesgos para la salud de aquellos que residen en proximidad a estas fuentes de radiación.

Hiram Navarrete Andrade con el tema "Percepción de riesgos para la salud de habitantes de lugares cercanos a antenas que generan radiaciones electromagnéticas" realizó un estudio desde la perspectiva sociodemográfica, investigando la percepción de residentes cercanos a Estaciones Base de Telecomunicaciones en la colonia Luis Echeverría Álvarez de Tepic, Nayarit, México. Su estudio destaca el desconocimiento generalizado de los riesgos asociados a las antenas y sugiere una conexión entre la percepción del riesgo y factores como la edad y el tiempo de residencia en la zona. (Navarrete, 2019, pág. 3)

Adicionalmente, el equipo de Paula Benito, Manuel Fernández y Jhonny Tolosa en su paper "Efectos de la radiación electromagnética: Un estudio de caso", realizado en Miami, Florida hace una revisión exhaustiva de los efectos biológicos de las radiaciones electromagnéticas. Su estudio destaca la falta de consenso en la literatura existente sobre si estas radiaciones son perjudiciales o inofensivas para la salud humana, enfatizando la necesidad de precaución y más investigaciones en esta área. (Benito Paula; Fernández Yecid; Tolosa Orlando, 2021, pág. 1)

Además, es importante destacar que existen estudios nacionales previos que abordan la problemática de la radiación electromagnética. Autores como Darío Vladimir Romero y Ana Andrea Zumba han abordado esta temática en su estudio "Estudio del nivel de RF en Cerro Azul y su incidencia en el medio ambiente". Este trabajo destaca la revolución que supone el desarrollo de equipos transmisores de RF, su papel en la modernización de las comunicaciones y la gestión de la información. Se subraya la necesidad de comprender el impacto progresivo de estos sistemas, especialmente en lugares densamente poblados de transmisores, como Cerro Azul en Guayaquil. (Romero y Zumba, 2010, págs. 16-17)

Edwin Amendaño y Romel Inachonta exploran en su investigación "Análisis del campo magnético generado por líneas de distribución cercanas al sector domiciliario" el debate en torno a los campos magnéticos producidos por líneas de distribución eléctrica y su posible influencia en la salud humana en Quito. Este trabajo destaca la importancia de evaluar los posibles riesgos asociados con los campos magnéticos de baja frecuencia. (Amendaño y Inachonta, 2012, págs. 58-59)

En el ámbito local, específicamente en la ciudad de Riobamba, se han llevado a cabo investigaciones de relevancia similar a las mencionadas a nivel nacional e internacional. Estos aportes locales contribuyen a la comprensión integral de la percepción de riesgos en comunidades específicas y enriquecen el marco teórico de la presente investigación.

Luis Ángel Tumalli Naranjo, en su trabajo "Desarrollo de un Modelo Computacional Utilizando el Simulador SimFourLife para Obtener la Distribución de la SAR en el Cuerpo Humano Producida por los Campos Eléctricos de las Antenas Transmisoras de Radio, Televisión y Estaciones Base de Celulares en Diferentes Escenarios Cercanos a las Antenas Transmisoras de Celulares", presentó un modelo que calcula la SAR bajo exposición espacial, validando la efectividad del modelo mediante comparación con los límites de la ICNIRP. (Tumalli Naranjo, 2016, pág. 1)

Washington Santos Armas y Cristian Tarco Gavilanes realizaron un análisis detallado del comportamiento de la intensidad de campo eléctrico en un canal de transmisión central de las bandas GSM 850 y GSM-1900 en el interior de la ESPOCH. Su trabajo, titulado "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," proporcionó información valiosa sobre la conformidad con las regulaciones de la ICNIRP (Comisión Internacional de Protección contra Radiación No Ionizante) y ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones), concluyendo que los valores monitoreados están dentro de los límites permitidos. (Santos Armas y Tarco Gavilanes, 2017, pág. 1)

Considerando los estudios previamente mencionados a nivel nacional e internacional, resulta imperativo realizar una investigación específica en la ciudad de Riobamba, dentro de las instalaciones de la ESPOCH. Esta investigación busca determinar el campo eléctrico máximo mediante un modelo matemático, focalizando en las particularidades locales que puedan influir en la percepción de riesgos y en la futura determinación de la SAR en el cuerpo humano, que es el objetivo del grupo de investigación GICI y GIEM al que pertenece el proyecto de investigación del cual es parte este trabajo de Titulación.

La realización de esta investigación en el contexto de la ESPOCH en Riobamba se plantea como un esfuerzo por comprobar las conclusiones obtenidas en estudios anteriores, adaptando la comprensión global a las dinámicas específicas de esta región. La precisión y validez del modelo matemático usado se verá sometida a la prueba de las condiciones particulares de la ciudad, proporcionando una contribución valiosa al conocimiento existente sobre los posibles riesgos asociados a las radiaciones electromagnéticas. Este enfoque local fortalece la base teórica de la investigación al incorporar elementos específicos de la realidad riobambeña.

## **1.2 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivo general***

Determinar del campo eléctrico máximo utilizando un modelo matemático en las instalaciones de la ESPOCH.

### ***1.2.2 Objetivos específicos***

- Realizar mediciones temporales de la intensidad de campo eléctrico utilizando el equipo NARDA SRM 3006 en la banda de frecuencia GSM 850 (específicamente en tres canales), durante cuatro semanas continuas para obtener una señal discreta.
- Filtrar las señales discretas de la intensidad de campo eléctrico utilizando la media móvil previa, para obtener la media semanal con su respectiva desviación estándar; y, convertirla a una señal continua del tiempo mediante la selección de un método más adecuado.
- Obtener las funciones de extrapolación de las señales continuas de la media con sus respectivas desviaciones estándar, para determinar el valor máximo semanal a partir de una medición instantánea.
- Realizar la comparación del valor de campo eléctrico máximo usando el modelo matemático desarrollado en esta investigación en un canal específico con uno ya realizado y probado anteriormente.

## **1.3 Justificación**

### ***1.3.1 Justificación teórica***

El campo eléctrico se produce por la presencia de cargas eléctricas. Cuando un objeto se carga eléctricamente, determina fuerzas y movimientos en las cargas que se encuentran a su alcance, ya sea de repulsión cuando son del mismo signo o de atracción en el caso de las cargas de signo opuesto. Estas fuerzas que se generan son la tensión eléctrica o voltaje. (Díaz y Proaño, 2010, pág. 2)

Es por ello, que el campo eléctrico forma parte del proceso de propagación de ondas electromagnéticas que emiten las antenas de TV, telefonía móvil celular y radio.

Estos campos electromagnéticos son una combinación de campos eléctricos y magnéticos que se propagan a través del espacio y transportan la información de la señal. Las emisiones de campos electromagnéticos de las antenas deben estar sujetas a regulaciones y límites establecidos, para proteger la salud pública.

Para la medición de campo eléctrico en las instalaciones de la ESPOCH, se utilizará el equipo NARDA SRM-3006, que es un sistema de prueba completo y fácil de usar, que consta de una unidad base y antenas de medición, para la detección omnidireccional de campos y sus fuentes en el rango de frecuencia de 9 kHz a 6 GHz. (Cnrood, 2022)

Las mediciones de campo eléctrico serán medidas en diferentes rangos de frecuencia en la banda GSM 850. Estas frecuencias son de 869 a 870 MHz, 870 a 880 MHz y 890 a 891,5 MHz, transmitidas por la operadora CONECEL, en la ciudad de Riobamba.

Para el cálculo del campo eléctrico máximo es importante considerar que se utilizará el modelo matemático desarrollado por Infante, en donde los procedimientos estadísticos como la desviación estándar y los percentiles son muy importantes. De igual forma el proceso de la media móvil previa y la conversión de una señal discreta a continua son parte de la aplicación del modelo matemático para poder determinar el valor máximo semanal a partir de una medición instantánea.

### ***1.3.2 Justificación aplicativa***

En el presente proyecto de investigación en primer lugar se realizarán mediciones temporales de la intensidad de campo eléctrico utilizando el equipo NARDA SRM 3006 en la banda de frecuencia GSM 850 (específicamente en tres canales), durante cuatro semanas continuas para obtener una señal discreta. Posteriormente, se filtrará las señales discretas de la intensidad de campo eléctrico utilizando la media móvil previa, para obtener la media semanal con su respectiva desviación estándar; y, convertirla a una señal continua del tiempo mediante la selección de un método más adecuado. A continuación, se obtendrán los factores de extrapolación de las señales continuas de la media con sus respectivas desviaciones estándar, para determinar el valor máximo semanal a partir de una medición instantánea. Finalmente, se realizará la comparación del valor de campo eléctrico máximo usando el modelo matemático desarrollado en la investigación doctoral de Pedro Infante en un canal específico.

No obstante, este trabajo de titulación forma parte del Proyecto de Investigación de los grupos GIEM y GICI, en donde se va a monitorear el campo eléctrico en las bandas de frecuencia de radio, televisión y celulares, para realizar el mapeo electromagnético en el interior de la ESPOCH, y posteriormente en una segunda parte del Proyecto de los Grupos de Investigación se obtendrá la tasa de absorción específica (SAR) en el cuerpo humano.

#### **1.4 Pregunta de investigación**

¿Cómo se puede determinar con precisión el campo eléctrico máximo en las instalaciones de la ESPOCH mediante la utilización de un modelo matemático, considerando mediciones temporales de la intensidad de campo eléctrico, filtrado de señales, transformación de datos discretos a continuos, factores de extrapolación y la comparación con mediciones previas validadas en tres canales específicos?

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo constituye el fundamento conceptual sobre el cual se basa la estructura investigativa. En esta sección, se explorarán diversas fuentes, tales como libros especializados y artículos científicos originales o de revisión, que guardan pertinencia y afinidad con el tema de investigación propuesto.

#### 2.1 Referencias teóricas

##### 2.1.1 *Señales eléctricas*

Una señal es una representación matemática de la evolución de una magnitud física (o una medida) respecto de algún o algunos parámetros; generalmente tiempo o espacio. Esta magnitud física puede ser voltaje, intensidad eléctrica, presión, temperatura, intensidad lumínica, etc. (Artés Rodríguez et al., 2012, pág. 3)

El ser humano siempre ha tenido la tendencia a comprender y representar los fenómenos de su medio a través de abstracciones matemáticas que faciliten la comprensión y el estudio de tales fenómenos. Para su análisis formal una señal se representa como una función matemática de una o varias variables, y debido a que una de las variables de mayor importancia en la existencia humana es el tiempo, la caracterización de las señales y los sistemas están dadas en función del tiempo, es decir, que una función del tiempo representa un modelo de la señal. Algunas veces se utilizan indistintamente los términos de señal y función. Las señales del mundo real por naturaleza son analógicas y se pueden representar en forma de factores continuas, cuyo espectro de frecuencia está dado a través de su transformada de Fourier, que también es continua. (Larry Hipólito, escobar, 2008, pág. 6)

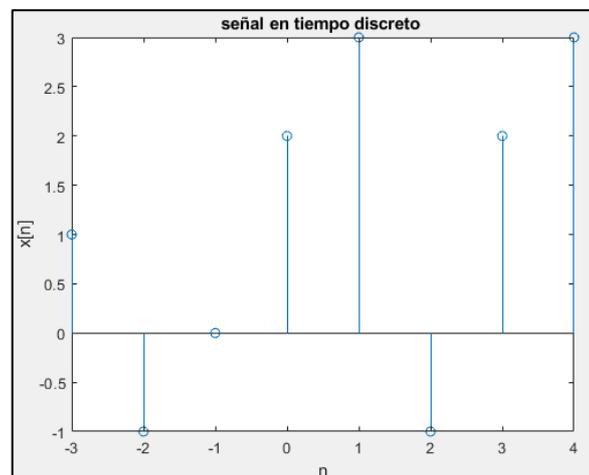
##### 2.1.2 *Clasificación de señales*

###### 2.1.2.1 *Señal discreta*

Si la variable independiente toma solo valor en los números enteros decimos que la señal es en tiempo discreto (también denominada secuencia) y la denotamos como  $x[n]$  ( $n \in \mathbb{Z}$ , siendo  $\mathbb{Z}$  que representa los números enteros). (Artés Rodríguez et al., 2012, pág. 1)

Las señales discretas están definidas sólo para ciertos puntos del dominio de los reales y comúnmente se utiliza el dominio de los enteros, donde estos puntos no necesitan ser equidistantes. Este tipo de señales se presenta por secuencias de números, secuencias discretas o tablas de datos. (Larry Hipólito, escobar, 2008, pág. 7)

Las señales discretas se definen sobre un conjunto contable del tiempo y pueden modelarse como factores con dominio en los enteros,  $f: \mathbb{Z} \rightarrow *$ , con  $*$  representando un conjunto numérico. El valor de una señal de TD (señales de tiempo discreto) solo puede conocerse para tiempos sobre los cuales se encuentra definida. Las señales que se modelan como  $f: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{R}$  se conocen como señales de TD reales debido a que toman solo valores reales. Por otro lado, las señales que se modelan como  $f: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{C}$  se conocen como señales de TD complejas, suponiendo que toman valores con parte imaginaria diferente de cero, como se muestra en la Ilustración 2-1. (Quiroga Sepúlveda, 2018, pág. 15)



**Ilustración 2-1:** Ejemplo señal discreta en Matlab

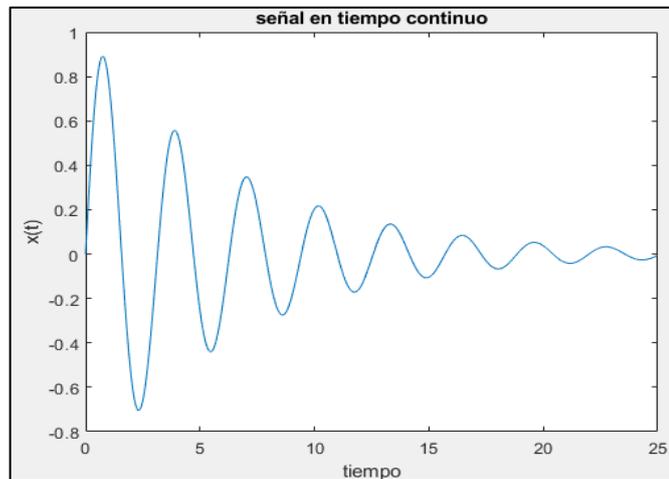
Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

### 2.1.2.2 Señal continua

Si la variable independiente toma cualquier valor real se puede decir que la señal es en tiempo continuo y la denotamos como  $x(t)$  ( $t \in \mathbb{R}$ , siendo  $\mathbb{R}$  el cuerpo de los números reales). (Artés Rodríguez et al., 2012, pág. 1)

Las señales continuas se caracterizan por abarcar cualquier valor dentro del dominio de los números reales y suceden en un rango ininterrumpido. Desde una perspectiva matemática, estas se expresan como factores que operan en una variable continua. (Larry Hipólito, Escobar, 2008, pág. 7)

Las señales continuas se encuentran definidas para todos los instantes de tiempo y pueden modelarse como factores que tienen como dominio los reales,  $f: \mathbb{R} \rightarrow *$ , con  $*$  representando cualquier conjunto numérico. El valor de una señal de TC (señales de tiempo continuo) se puede conocer en cualquier instante. Las señales que se modelan como  $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  se conocen como señales de TC reales, debido a que solo toman valores reales. Por otro lado, las señales que se modelan como  $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}$  se conocen como señales de TC complejas, ya que toman un valor complejo para cada tiempo, como se observa en la Ilustración 2-2. (Quiroga, 2018, pág. 15)



**Ilustración 2-2:** Ejemplo de Señal en tiempo Continuo en Matlab

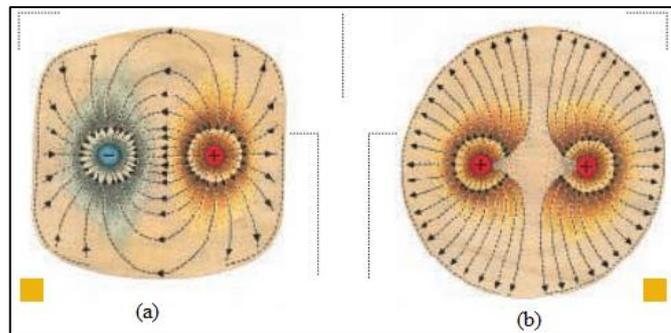
Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

## 2.2 Campos electromagnéticos

### 2.2.1 Campo eléctrico

El campo eléctrico fue introducido en la teoría electromagnética para describir las fuerzas existentes entre cargas eléctricas. El campo eléctrico en un punto del espacio producido por una o varias cargas eléctricas se define en términos de la fuerza que experimenta una unidad de carga estacionaria situada en dicho punto. El campo eléctrico  $E$  se expresa en voltios por metro (V/m). Como cada carga está rodeada de un campo eléctrico, es razonable considerar que las cargas son las fuentes que producen estos campos, por lo que las cargas eléctricas de signos opuestos se atraen entre sí, mientras que las cargas de igual signo se repelen entre sí, como se muestra en la Ilustración 2-3. La intensidad del campo eléctrico creado por una carga es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, lo cual hace que disminuya rápidamente cuando la distancia a la carga aumenta.

El valor del campo eléctrico es función de la tensión del sistema eléctrico; es decir, cuanto mayor sea la tensión del dispositivo más intenso será el campo eléctrico que genere. (S.A., 2001, pág. 13)



**Ilustración 2-3:** a) Líneas de campo eléctrico entre dos cargas iguales y de signo opuesto, b) Líneas de campo eléctrico entre dos cargas iguales y del mismo signo

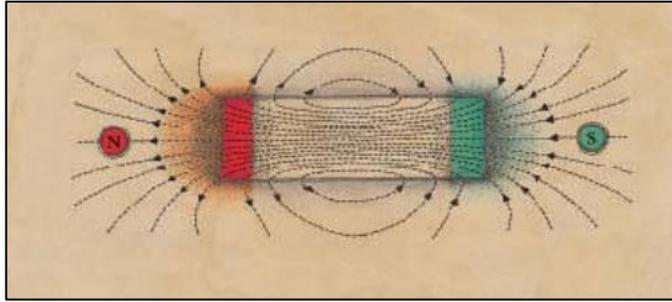
**Fuente:** (S.A., 2001, pág. 14)

Los campos electromagnéticos (CEM) han acompañado la vida del hombre desde sus orígenes, ya que forman parte de la naturaleza terrestre y del cuerpo humano. Toda la población está expuesta a una combinación compleja de campos eléctricos y magnéticos, tanto en el hogar como en el trabajo, desde los que producen la generación y la transmisión de electricidad, en donde los electrodomésticos y los equipos industriales, a los producidos por las telecomunicaciones y la difusión de radio y televisión. (Quinto Vicuña Iván Henry, 2010, págs. 7-8)

### 2.2.2 Campo magnético

El campo magnético es un concepto introducido en la teoría electromagnética para explicar el movimiento de las cargas eléctricas. Los campos magnéticos son producidos por cargas en movimiento, es decir, por corrientes eléctricas; aunque también se pueden producir campos magnéticos con imanes permanentes, se expresa en Amperios por metro (A/m). Es más habitual representar el campo magnético  $\vec{H}$  mediante la inducción magnética o densidad de flujo magnético  $\vec{B}$ .

El campo magnético, al igual que el campo eléctrico, disminuye rápidamente cuando aumenta la distancia respecto de la fuente que lo genera. La unidad de medida del campo magnético  $\vec{B}$  en el Sistema Internacional es el Tesla (T) o sus fracciones, en particular el micro tesla ( $\mu\text{T}$ ). (S.A., 2001, págs. 14-15) .



**Ilustración 2-4:** Líneas de campo magnético de un imán en Forma de barra

Fuente: (S.A., 2001, pág. 14)

Los campos magnéticos se originan cuando se pone en marcha un aparato eléctrico y fluye corriente. Las líneas de campo magnético de un imán en forma de barra se observan en la Ilustración 2-4. La mayoría de los materiales no atenúan los campos magnéticos, es decir los materiales de construcción de los edificios y la vegetación no constituyen una barrera para los campos magnéticos, que los atraviesan fácilmente. Razón por la cual se han estudiado más los campos magnéticos que los eléctricos en la mayoría de los estudios epidemiológicos. (Quinto Vicuña, 2010, págs. 10-11)

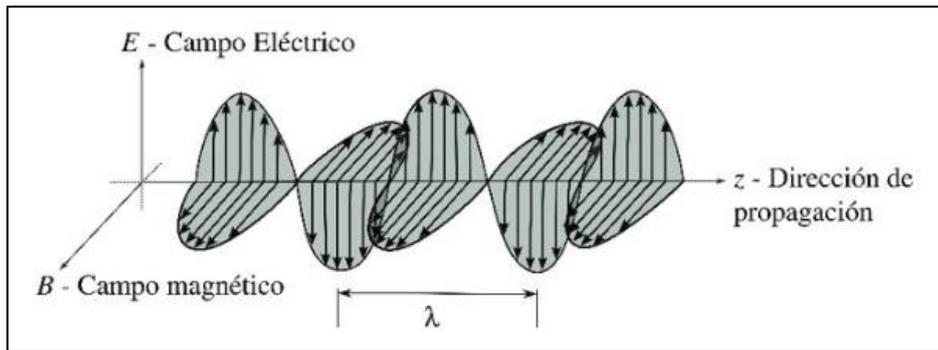
## 2.3 Radiaciones electromagnéticas

### 2.3.1 Ondas electromagnéticas

Una onda es una propagación de una perturbación de alguna propiedad en un medio determinado. Una onda electromagnética es la propagación simultánea de los campos eléctrico y magnético producidos por una carga eléctrica en movimiento. (Ordóñez, 2012, pág. 17)

Las ondas electromagnéticas también se pueden definir como una perturbación de energía que se propaga en un medio, teniendo una característica fundamental que la distingue del resto de ondas, esto es, que se propagan a lo largo del espacio con dos niveles energéticos perpendiculares entre sí. Estos niveles son el vector campo eléctrico ( $\vec{E}$ ) y el vector campo magnético ( $\vec{B}$ ). Son considerados vectores porque tienen módulo, dirección y sentido, tal como se muestra en la Ilustración 2-5. El módulo de esos vectores (su longitud) en un punto del espacio es el que va a indicar el nivel o valor del campo eléctrico o magnético. (Jáuregui Cantón, 2012, pág. 7)

Las ondas electromagnéticas se pueden clasificar según su frecuencia, cubriendo una amplia gama de frecuencias o longitudes de onda. Esta clasificación no tiene límites precisos y puede verse en el conocido espectro electromagnético. (Jáuregui Cantón, 2012, pág. 7)



**Ilustración 2-5:** Diagrama esquemático de una onda electromagnética

**Fuente:** (Ordoñez Nogales, 2016, pág. 8)

### 2.3.1.1 Principales características de una onda electromagnética

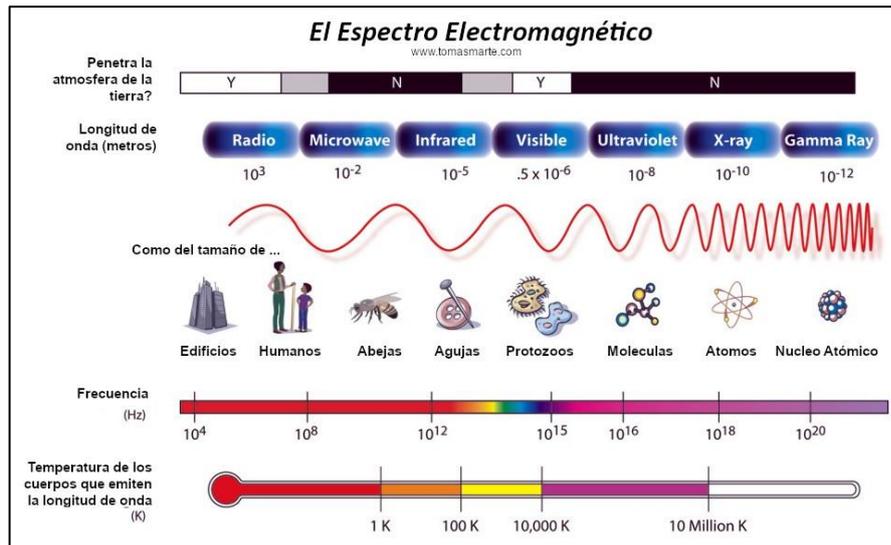
Según (Ordoñez, 2012, pág. 17), las principales características de las ondas electromagnéticas son las siguientes:

- No necesitan un medio para propagarse: pueden propagarse en el vacío o en cualquier otro medio.
- Son tridimensionales: se propagan en las tres direcciones del espacio.
- Son transversales: la perturbación se produce perpendicularmente a la dirección de propagación. (Ordoñez, 2012, pág. 17)

## 2.4 Espectro electromagnético

Al flujo saliente de energía de una fuente en forma de ondas electromagnéticas se le denomina radiación electromagnética. Esta radiación puede ser de origen natural o artificial. El espectro electromagnético es el conjunto de todas las frecuencias (número de ciclos de la onda por unidad de tiempo) posibles a las que se produce radiación electromagnética. (Ordoñez, 2012, pág. 18)

Así, el límite teórico inferior del espectro electromagnético es 0 (ya que no existen frecuencias negativas) y el teórico superior es infinito. Con los medios técnicos actuales, se han detectado frecuencias electromagnéticas inferiores a 30 Hz y superiores a  $2,9 \times 10^{27}$  Hz. (Ordoñez, 2012, pág. 18)



**Ilustración 2-6:** Diagrama que muestra el espectro electromagnético

**Realizado por:** (Marte, 2020)

El espectro electromagnético es el conjunto de radiaciones electromagnéticas que se propagan a través del espacio en forma de ondas, como se observa en la Ilustración 2-6. Lo que identifica a cada tipo de radiación es su frecuencia, que es el número de ciclos que presenta en un tiempo determinado. La energía asociada a la longitud de onda se expresa en electronvoltios. Cada rango de frecuencias del espectro electromagnético tiene propiedades diferentes que pueden aprovecharse en numerosas aplicaciones gracias a las cuales es posible disfrutar de las comodidades de la vida actual, sin embargo, existen frecuencias que pueden afectar la salud humana y la longevidad. (Consejo de Seguridad Nuclear, 2017, pág. 1)

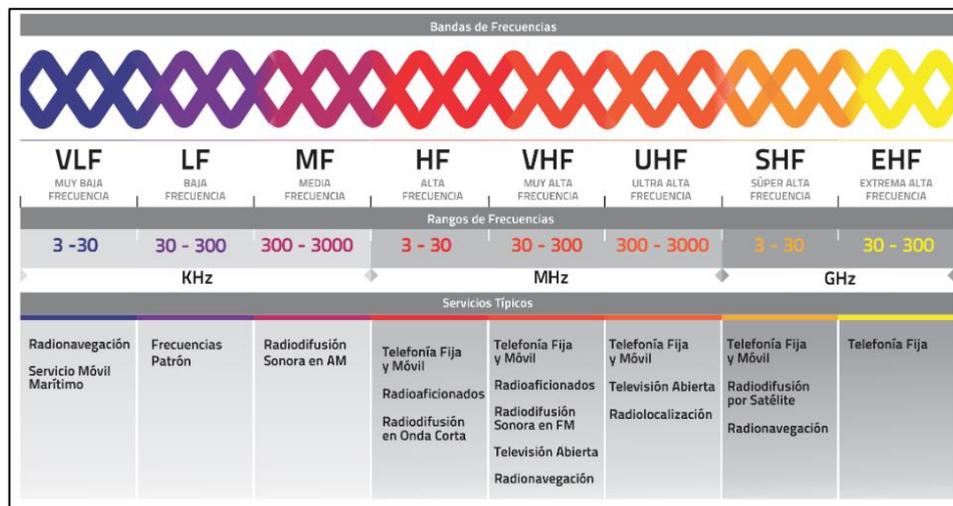
Así, las ondas electromagnéticas, convenientemente tratadas y moduladas (normalmente, variando de forma controlada la amplitud, fase y/o frecuencia de la onda original), pueden emplearse para la transmisión de información, dando lugar a una forma de telecomunicación. Hoy día se utilizan masivamente ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias para la transmisión de información por medios guiados (par trenzado, cable coaxial, fibra óptica, etc.) y por medios no guiados (normalmente el aire o el vacío). Las frecuencias utilizadas en cada caso dependen del comportamiento de las mismas en los diferentes materiales utilizados como medios de transmisión, así como de la velocidad de transmisión deseada. (Ordóñez, 2012, pág. 18)

## 2.5 Espectro radioeléctrico

El espectro u ondas radioeléctricos, cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 3.000 GHz, dentro del cual se generan las ondas, que a través de un dispositivo llamado antena, son transmitidas y recibidas.

El espectro radioeléctrico se propaga por el espacio sin guía artificial, y se encuentra atribuido a diferentes servicios de radiocomunicaciones. El espectro radioeléctrico se ha convertido en un recurso esencial para la provisión de servicios y operación de redes, que en el tiempo, desde el inicio y en sentido cronológico, ha sido objeto de regulación, para ordenar las emisiones de radiodifusión y, posteriormente, como parte de redes de telecomunicaciones, para la prestación de servicios de interés público, debido a que el espectro radioeléctrico, hoy es utilizado con fines públicos y privados y es parte de las comunicaciones de distinta naturaleza, gracias al perfeccionamiento de la tecnología, que utiliza el espectro radioeléctrico más eficientemente, volviéndolo un recurso natural limitado, en contraposición a la concepción tradicional, de recurso natural escaso. El espectro radioeléctrico está dividido en bandas de frecuencias, cada una de ellas presenta características propias, relativas a la propagación y respuesta frente al ruido e interferencia, además de las consideraciones tecnológicas y costos involucrados para su aprovechamiento. (Llanos, 2013, pág. 13)

El espectro radioeléctrico se ha segmentado en bandas y sub-bandas de frecuencias, considerando sus propiedades de propagación., tal como se muestra en la Ilustración 2-7:



**Ilustración 2-7:** Diagrama que muestra el espectro radioeléctrico

**Fuente:** (CONATEL, 2014)

Como se ha visto, el espectro radioeléctrico es la porción o subconjunto del espectro electromagnético que se distingue por sus posibilidades para las radiocomunicaciones, es decir, para la transmisión de información por medios no guiados. Este subconjunto viene determinado por dos factores: las características de propagación de las ondas electromagnéticas a las diferentes frecuencias, y los avances tecnológicos producidos por el ser humano. (Ordóñez, 2012, pág. 20)

## 2.6 Tipos de radiación

Radiación es cualquier forma de energía o materia que se irradia por el espacio en distintas direcciones. Dependiendo de su naturaleza, se puede considerar dos tipos principales: radiación ionizante y radiación no ionizante. La radiación electromagnética consiste en campos eléctricos y magnéticos oscilantes que se propagan como ondas a la velocidad de la luz (en el vacío). La luz visible es un tipo de radiación electromagnética. Los distintos tipos de radiación electromagnética se clasifican por sus frecuencias. En orden creciente de frecuencias tendríamos las ondas de radio, microondas, infrarrojo, luz visible, ultravioleta, rayos X y rayos gamma ( $\gamma$ ). (Departamento de física atómica, sin fecha, pág. 1)

### 2.6.1 Radiaciones ionizantes

Todas las partículas o fotones que tienen suficiente energía como para producir una ionización se llaman radiaciones ionizantes. Las radiaciones ionizantes pueden llegar a ionizar o romper ligaduras en átomos o moléculas millones de veces antes de perder toda su energía. Esta es la razón central por la que pueden tener importantes efectos biológicos y sobre la salud. (González Sprinberg y Rabin Lema, 2013, pág. 16)

La radiación ionizante consiste en partículas, incluidos los fotones, que causan la separación de electrones de átomos y moléculas. Aunque los seres humanos expuestos a dosis pequeñas de radiación pueden no presentar de inmediato ningún efecto biológico aparente, no hay duda de que la radiación ionizante, cuando se administra en cantidades suficientes, puede causar daños. (Pantoja, 2021, pág. 19), El tipo y el grado de estos efectos son bien conocidos. (Tiburcio, Chacaltana y Mori, 2010, pág. 1)

Las radiaciones ionizantes son peligrosas porque alteran la naturaleza molecular del organismo produciendo iones. Para ser más específicos, se puede definir a la radiación ionizante de la siguiente manera: son las radiaciones electromagnéticas capaces de crear iones, de forma directa o de forma indirecta, a su paso a través de la materia. Las radiaciones ionizantes son peligrosas ya que alteran al organismo, por lo tanto, es recomendable mantenerlas lejos del cuerpo humano. (Cortez et al., 2014, pág. 25)

Según (González Sprinberg y Rabin Lema, 2013, pág. 18), las radiaciones ionizantes se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Radiación  $\alpha$  (alfa):** un núcleo inestable emite un núcleo de helio (formado por dos protones y dos neutrones); el núcleo original se transforma en otro.
- **Radiación  $\beta$  (beta):** existen dos tipos de esta radiación: si un núcleo inestable emite un electrón, se llama beta menos ( $\beta^-$ ), y si emite un positrón se llama beta más ( $\beta^+$ ); el núcleo original se transforma en otro.
- **Radiación  $\gamma$  (gamma):** son fotones usualmente de muy alta energía, emitidos por núcleos inestables u otros procesos. El núcleo no cambia su identidad, sino que únicamente pierde energía.
- **Rayos X:** son fotones de alta energía que se producen cuando los electrones atómicos cambian de órbita o cuando inciden electrones sobre un material y son frenados. (González Sprinberg y Rabin Lema, 2013, pág. 18)

### 2.6.2 Radiaciones no ionizantes

Las radiaciones no ionizantes (RNI) son ondas electromagnéticas de baja y media frecuencia y con una mayor longitud de onda que no tienen suficiente energía en sus fotones para causar ionización en átomos y moléculas. Las podemos encontrar en el rango de frecuencia de 0 Hz hasta aproximadamente  $3 \times 10^{15}$  Hz, en este intervalo la energía del fotón iguala a  $2 \times 10^{18}$  J, la energía de las ondas electromagnéticas es similar a la energía de unión de los electrones a los átomos, lo que significa que estas ondas no poseen la energía necesaria para romper los enlaces atómicos. (Guevara, 2018, pág. 14)

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, (Guevara, 2018, pág. 15) cita que las radiaciones no ionizantes de las ondas electromagnéticas se clasifican de la siguiente manera:

- a) **Campos estáticos 0 Hz:** son campos que no cambian en dirección o intensidad en el tiempo (dispositivos de resonancia magnética, como por ejemplo el Siemens magnetom que es utilizado para realizar estudios de diagnósticos por imágenes para evaluar trastornos cerebrales entre otras enfermedades).
- b) **Campos de frecuencia bajas 1 Hz - 300 Hz:** son campos eléctricos y magnéticos que varían en el tiempo. Está conformado por un campo eléctrico debido a una carga eléctrica y un campo magnético. (Aparatos eléctricos, dispositivos electrónicos, líneas eléctricas, entre otros).

- c) **Campos de frecuencia intermedia 300 Hz-10 MHz:** producen efectos térmicos e inducen a excitaciones nerviosas y musculares (transmisores de radio AM, sistemas antirrobo, sistemas de seguridad, pantallas de ordenador).
- d) **Campos de alta frecuencia o radiofrecuencia 10 MHz-300 GHz:** la exposición de la intensidad del campo de radiofrecuencia se mide en vatios por metro cuadrado ( $W / m^2$ ). Ejerce cierto calentamiento sobre el tejido expuesto, puede causar cierta vibración sobre las moléculas del cuerpo humano y por lo tanto producir calor. Se utilizan en su mayoría con fines de comunicación (teléfonos móviles, Wi-fi, bluetooth, televisión, radios, estaciones base, dispositivos de seguridad, hornos microondas y en medicina como equipos de resonancia magnética).

**Tabla 2-1:** Radiaciones no ionizantes separadas según el tramo del espectro

| <b>FRECUENCIA Y LONGITUD DE ONDA</b>       | <b>ZONA DE RADIACION NO IONIZANTE</b>                                      | <b>APLICACIONES</b>   |
|--|--|---|
| 1 Hz a 300 KHz                             | LF (Radiación de baja frecuencia) y ELF (Radiación de muy baja frecuencia) | Campos eléctricos de aparatos domésticos, tramos de radio AM  |
| 300 KHz a 300 MHz                          | RF (Radiofrecuencias)  | Radio AM y FM, onda corta Médica, RMN para campo magnético de 1T  |
| 300 MHz a 300 GHz                          | M.O (Microondas)   | Telefonía Móvil, Microondas para Fisioterapia Médica.   |
| 300 GHz a 384,34 THz (780 nm)              | IR (Infrarrojo)  | Luz solar, Dispositivos para Terapia de Calor, Láser  |
| 384,34 THz (780 nm) a 749,48 THz (400 nm)  | Luz Visible  | Fototerapia, Láser  |
| 749,48 THz (400 nm) a 2997,92 THz (100 nm) | UV (Ultravioleta)  | Tubos Fluorescentes, Radioterapia, Luz Solar, Esterilización de comida y aire, Materiales por encima de los 2700K |

**Fuente:** (Rodríguez, 2003, pág. 5)

En la Tabla 2-1 se puede observar el tramo del Espectro Electromagnético comprendido para la Radiación no Ionizante y sus diferentes aplicaciones.

## 2.7 Fuentes generadoras de radiación

### 2.7.1 Radiaciones naturales

Se denomina radiación natural, a toda radiación electromagnética que existe alrededor de toda la naturaleza y que no cuenta con la intervención del ser humano para su generación. Su descubrimiento se produjo en el año de 1896 por el físico francés Henri Becquerel.

Las radiaciones naturales pueden provenir por 2 razones: los componentes y materiales que emiten dicha radiación que existen en la Tierra desde el momento de su formación o también llamados primigenios, además, se considera cualquier material radiactivo que haya sido generado por la interacción de rayos cósmicos con materiales terrestres que originalmente no eran radiactivos, conocidos como materiales cosmogénicos. Su rango de frecuencias oscila entre 0 y 30 Hz con un E máximo de 150 V/m. En la tabla 2-2 se detalla, que el 14% del porcentaje de la radiación anual cosmogénicos pertenece la radiación cósmica, el 18% corresponde a la radiación terrestre, el 11% a la radiación interna y por último el radón con un 43% como fuente natural, con un total del 86% de fuentes naturales utilizadas. (Logroño, 2017, págs. 10-11)

**Tabla 2-2:** Tipos de radiaciones naturales

| <b>Fuentes Naturales</b> | <b>Porcentaje de la radiación anual</b> |
|--------------------------|---|
| Radiación cósmica        | 14%                                     |
| Radiación terrestre      | 18%                                     |
| Radiación interna        | 11%                                     |
| Radón                    | 43%                                     |
| <b>Total</b>             | <b>86%</b>                              |

**Fuente:** (González y Rabin , 2013, pág. 22)

Gran parte de la radiación que reciben los seres humanos surgen de los pisos y paredes de los recintos que son habitados por la población, dado que los materiales de construcción se derivan de elementos naturales que contienen radionucleidos, aproximadamente la mitad de la radiación natural que se recibe proviene del radón, un gas noble que es químicamente muy inerte. Todos los seres humanos están expuestos a radiación tanto externa como interna al cuerpo humano, y la especie ha evolucionado en presencia de la radiación y probablemente también gracias a ella. (González y Rabin, 2013, págs. 22-23)

### 2.7.2 Radiaciones artificiales

La radiación artificial es aquella producida por el hombre en diversas actividades: medicina, industria, minería, pruebas de armas nucleares, generación de energía y accidentes nucleares, entre otras. Es importante destacar que los usos relacionados con la medicina, ampliamente beneficiosos, son los que constituyen casi la totalidad de la radiación artificial. (González y Rabin, 2013, pág. 24)

En la actualidad se cuenta con una amplia gama de dispositivos y servicios de comunicación que utilizan como medio de propagación el espacio libre, dentro de las que encontramos electrodomésticos, antenas y sistemas de alta potencia, que aportan con la generación de radiaciones no ionizantes al ambiente, siendo las ondas producidas en antenas de radiodifusión, televisión y estaciones base de sistemas celulares aquellas que presentan un mayor índice de absorción por parte de los seres humanos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que la radiación artificial no genera afección alguna en los seres vivos que están expuestos a estas ondas, al contrario, se debe considerar que estas tienden a sumarse, y de darse este caso generan un efecto de calentamiento de los cuerpos. En la tabla 2-3 se muestra el porcentaje anual de las fuentes artificiales. Con un 14% corresponde al ámbito médico, el 0,2% a los ensayos nucleares, el 0,07% a la fuente de Chernobyl y finalmente el 0,001% pertenece a las centrales nucleares, dando un total del 14% utilizado por la radiación artificial anualmente. (Logroño, 2017, pág. 11)

**Tabla 2-3:** Tipos de radiaciones artificiales

| Fuentes artificiales | Porcentaje de la radiación anual |
|----------------------|----------------------------------|
| Medicas              | 14%                              |
| Ensayos nucleares    | 0,2%                             |
| Chernobyl            | 0,07%                            |
| Centrales nucleares  | 0,01%                            |
| <b>Total</b>         | <b>14%</b>                       |

Fuente: (González y Rabin, 2013, pág. 24)

## 2.8 Servicios de telecomunicaciones en el Ecuador

### 2.8.1 Telefonía móvil celular

La telefonía móvil celular es un sistema de comunicación que funciona inalámbricamente por la transmisión de ondas electromagnéticas a través del aire, la misma que trabaja con dos elementos importantes: la red de telefonía y los teléfonos celulares o terminales.

La telefonía móvil en el Ecuador se inauguró en 1994 desde ese entonces ha sido el medio de comunicación con mayor crecimiento hasta la actualidad, ya no solo limitándose para el uso de llamadas o mensajes de texto, por lo contrario, con la inclusión de acceder a internet su utilidad se ha ampliado más convirtiéndose en una herramienta indispensable de comunicación como de trabajo. ARCOTEL como el organismo encargado de regular la asignación de frecuencias, estas se han distribuido para la telefonía móvil que operan en su mayoría con tecnología 2G, 3G y en los últimos años se ha comenzado a implementar la tecnología a 4G en tres empresas las cuales son: CONECEL S.A, OTECEL S.A y CNT E.P. (Paca Lloay y Tobar Rogel, 2018, pág. 19-20)

- Banda de 850 MHz

Esta banda utiliza en total 50 MHz (25 MHz para transmisión y 25 MHz para recepción). (Paca Lloay y Tobar Rogel, 2018, pág. 20), en la Tabla 2-4 se muestra la asignación del espectro de frecuencias para cada una de las empresas que presta el servicio móvil en la banda de 850 MHz. (Paca y Tobar, 2018, pág. 20)

**Tabla 2-4:** Distribución de Frecuencias de Telefonía celular en Ecuador

| EMPRESA               | CONECEL S. A |     | OTECCEL S. A |     | CNT E. P |      |     |
|-----------------------|--------------|-----|--------------|-----|----------|------|-----|
|                       | (MHz)        |     | (MHz)        |     | (MHz)    |      |     |
| <b>BANDA</b>          | 1900         | 850 | 1900         | 850 | 1900     | 1700 | 700 |
| <b>ANCHO DE BANDA</b> | 10           | 25  | 10           | 25  | 40       | 40   | 30  |

**Fuente:** (Paca y Tobar, 2018, pág. 20)

**Tabla 2-5:** Rango de Frecuencias de Telefonía celular OTECEL y CONECEL de la banda GSM 850 en Ecuador

| EMPRESA                     | OTECCEL S. A  | CONECEL S. A  |
|-----------------------------|---------------|---------------|
| <b>RANGO DE FRECUENCIAS</b> | 835-845 MHz   | 824-835 MHz   |
|                             | 846,5-849 MHz | 845-846,5 MHz |
|                             | 880-890 MHz   | 869-880 MHz   |
|                             | 891,5-894 MHz | 890-891,5 MHz |

**Fuente:** (Paca y Tobar, 2018, pág. 20)

- Banda de 1900 MHz

En esta banda se asigna 120 MHz (60 MHz de transmisión y 60 MHz de recepción). En la Tabla 2-6 se muestra la asignación del espectro de frecuencias para las cuatro empresas que presta el servicio móvil en la banda de 1900 MHz. (Paca y Tobar, 2018, pág. 21)

**Tabla 2-6:** Rango de Frecuencias de Telefonía celular OTECEL, CONECEL y CNT de la banda GSM 1900 en Ecuador

| EMPRESA                     | CONECEL S. A  | OTECCEL S. A  | CNT E. P      |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>RANGO DE FRECUENCIAS</b> | 1865-1870 MHz | 1885-1890 MHz | 1895-1910 MHz |
|                             |               |               | 1975-1990 MHz |
|                             | 1945-1950 MHz | 1965-1970 MHz | 1890-1895 MHz |
|                             |               |               | 1970-1975 MHz |

**Fuente:** (Paca y Tobar, 2018, pág. 21)

## 2.9 Tecnología GSM

La tecnología GSM (Global System for Mobile Communications), es el protocolo móvil que opera en la banda de frecuencia entre 900 y 1800 MHz. Es el estándar móvil prevalente en Europa, Iberoamérica y la mayor parte del Pacífico asiático. GSM es el sistema de telefonía móvil más utilizado en el mundo. El desarrollo de GSM se ha basado de forma casi exclusiva en la provisión de servicios de voz y en sus servicios suplementarios: buzón de voz, desvío de llamadas, grupo cerrado de usuarios, etc. (Arcadi Segura i Navarro y Enrique Miguel Tébar Martínez, 2019, pág. 13)

GSM es una tecnología inalámbrica de segunda generación (2G) que presta servicios de voz de alta calidad, así como servicios de datos conmutados por circuitos en una amplia gama de bandas de espectro, entre ellas las de 850, 900, 1800 y 1900 MHz. GSM es una tecnología digital o "PCS" (Servicio de Comunicación Personal o PCS por sus siglas en inglés), además de utilizarse "GSM" para denominar a una familia de tecnologías que incluye GPRS, EDGE y UMTS/HSDPA, que provee una evolución fluida y costo-efectiva a la tercera generación (3G). (Quilca y Montalvo Huanca, sin fecha, pág.2), Se estima que GSM alcanzará aproximadamente el 85% de la demanda de clientes a nivel mundial, según el UMTS Forum. GSM permite que varios usuarios compartan un mismo canal de radio merced a una técnica llamada multiplexado por división de tiempo (TDM), mediante la cual un canal se divide en seis ranuras de tiempo. Para la transmisión, a cada llamada se le asigna una ranura de tiempo específica, lo que permite que múltiples llamadas compartan un mismo canal simultáneamente sin interferir con las demás. (Quilca y Montalvo Huanca, sin fecha, pág.2)

El sistema GSM ha incorporado nuevas bandas de frecuencia y ha sido capaz de realizar los cambios oportunos en el estándar para adaptarse a los cambios en el espectro. Entre las nuevas bandas adicionales al espectro original reservado para GSM, se menciona los 10 MHz que se destinaron para la creación del GSM extendido (E-GSM, “Extended GSM”) y las bandas situadas en los 1800 MHz y 1900 MHz. (Pascual García, Molina García-Pardo y Llácer, 2022, pág. 31)

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, como se observa en la Tabla 2-7. (Santos Armas y Tarco Gavilanes, 2017, pág. 11)

**Tabla 2-7:** Banda de Frecuencia y Localización 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              |

**Fuente:** (Santos Armas y Tarco Gavilanes, 2017, pág.12)

### 2.9.1 *Arquitectura GSM*

La estructura de la red del sistema GSM es una estructura de tipo jerárquico en la que los diferentes elementos están conectados mediante interfaces definidos en el estándar. (Pascual García, Molina García-Pardo y Llácer, 2022, págs. 32-33)

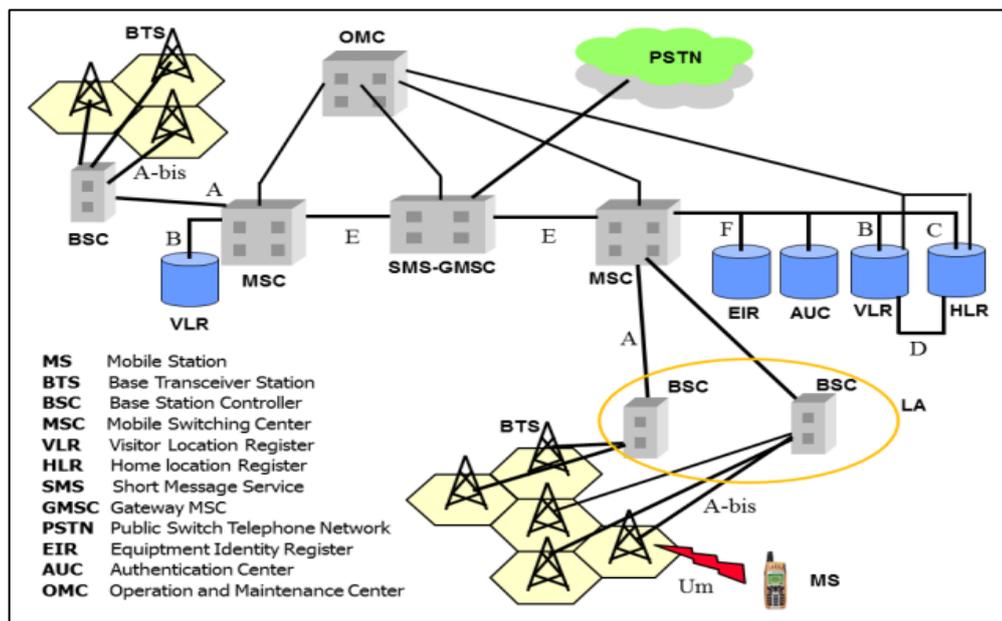
A continuación, se enumeran los elementos de la estructura de una red GSM:

- **Estación móvil** (MS, “Mobile Station Equipment”): es el dispositivo móvil con el que el usuario se conecta a la red a través del interfaz Um. Esta interfaz Um describe el enlace radio entre la MS y el siguiente elemento de la red, el BTS.
- **Estación Base** (BTS, “Base Transceiver Station”): son los equipos de radiofrecuencia, antenas y los equipos electrónicos que dan servicio a una célula o a varias células (célula sectorizada).

La palabra “transceiver” hace referencia a la capacidad de la BTS de transmitir y de recibir. Se conecta con el interfaz Um con la MS y mediante el interfaz A-bis con el BSC.

- **Controlador de estaciones base (BSC, “Base Station Controller”):** como su propio nombre indica controla varias estaciones base. Se conecta a sus BTS mediante el interfaz A-bis y su MSC a través del interfaz A.
- **Área de localización (LA, “Location Area”):** no es propiamente un elemento sino una agrupación de BSC, pero lo mencionamos debido a su importancia en la búsqueda de MS.
- **Centro de conmutación de servicios móviles (MSC, “Mobile Service Switching Center”):** es el encargado de realizar casi todas las funciones de conmutación. Es un elemento con múltiples conexiones. Se conecta con sus BSC a través del interfaz A. Además, se conecta con el SMS-GMSC (Gateway Mobile Service Switching Center) a través del interfaz E, al HLR (si posee uno) mediante el interfaz C y a su VLR mediante el interfaz B.
- **Registro de localización local (HLR, “Home Location Register”):** es una base de datos que contiene información de todos los usuarios abonados de la red móvil. Se conecta mediante el interfaz D al VLR y mediante el interfaz C al SMS-GMSC. Puede existir uno o varios HLR en una red GSM.
- **Registro de localización de visitantes (VLR, “Visited o Visitor Location Register”):** es una base de datos que contiene información sobre los abonados que se encuentran actualmente en alguna de las LA que forman parte del MSC al que está asociado el VLR. Se conecta con otros VLR mediante el interfaz G y con su MSC mediante el interfaz B.
- **Puerta de enlace o pasarela-centro de conmutación de servicios móviles (“SMS-GMSC” Gateway Mobile Service Switching Center):** es un MSC especial que se encarga de la comunicación con la red de telefonía fija (PSTN “Public Switching Telephone Network”). También se encarga de la gestión de los SMS. Se conecta a los MSC a través del interfaz E.
- **Centro de operación y mantenimiento (OMC, “Operation and Maintenance Center”):** se encarga de las operaciones de mantenimiento y realiza tareas de gestión. Posee conexiones con todos los elementos de la red jerárquica.

- **Registro de identificación de registros (EIR, “Equipment Identity Register”):** es una base de datos que guarda información sobre los equipos móviles de los abonados a la red.
- **Centro de autenticación (AUC, “Authentication Center”):** es una base de datos que también posee equipos para realizar cálculos de autenticación de los usuarios abonados a la red. (Pascual García, Molina García-Pardo y Llácer, 2022, págs. 32-33), toda la estructura de la red GSM se observa en la Ilustración 2-8.



**Ilustración 2-8:** Estructura de la red GSM [GSM Switching, Services and Protocols]

Fuente: (Pascual García, Molina García-Pardo y Llácer, 2022, pág. 33)

### 2.9.2 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. (Santos Armas y Tarco Gavilanes, 2017, págs. 13-14)

De manera que se pueden resaltar 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 vos muy superior.
- De igual manera, GSM incluyo una amplia gama de servicios como los servicios de mensajería de texto (SMS), FAX, video texto, identificación de llamada, buzón de vos.
- Se añadió protocolos de seguridad. (Santos Armas y Tarco Gavilanes, 2017, págs. 13-14)

### 2.9.3 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 (DOWLINK). (Santos Armas y Tarco Gavilanes, 2017, pág. 14)

Tanto para UPLINK como para DOWLINK 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, como se indica en la Tabla 2-8. (Santos Armas y Tarco Gavilanes, 2017, pág. 14)

**Tabla 2-8:** Asignación de espectro en tecnología GSM 850 y 1900 para uplink y downlink

| <b>Banda</b> | <b>Banda Uplink<br/>(MHz)</b> | <b>Banda Downlink<br/>(MHz)</b> | <b>Separación entre UL y DL</b> |
|--------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| GSM – 850    | 824,0 – 849,0                 | 869,0 – 894,0                   | 45 MHz                          |
| GSM - 1900   | 1850,0 – 1910,0               | 1930,0 – 1990,0                 | 80 MHz                          |

**Fuente:** (Santos Armas y Tarco Gavilanes, 2017, pág. 14)

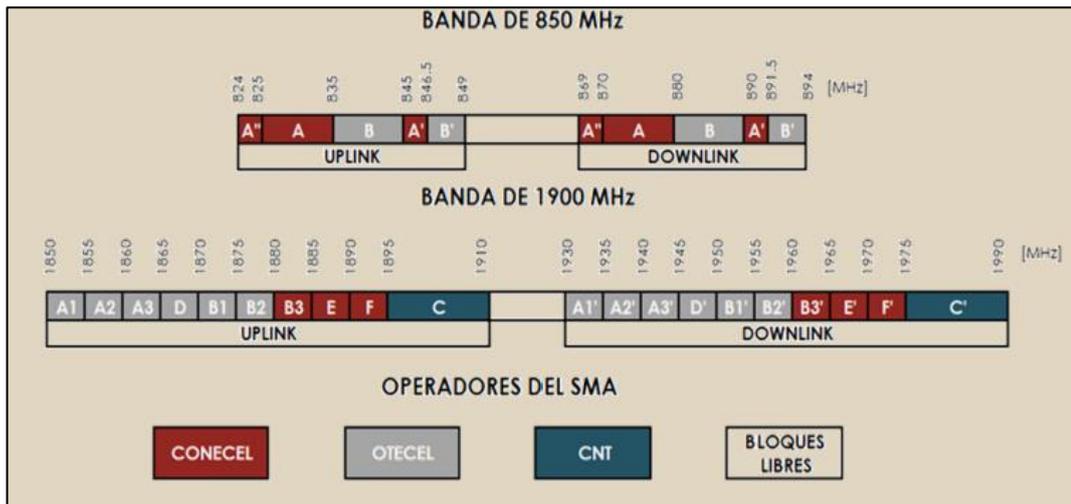
Para la banda de frecuencia en 850 MHz, fue asignada para GSM, la cual utiliza un ancho de banda de 25 MHz (**UL:** 824 – 849 MHz; **DL:** 869 – 894 MHz) y un ancho de banda de canal de 200 KHz. Cabe señalar que para UL y DL existe una banda de guarda de 45 MHz para un sistema FDD. Dentro del ancho de banda de 25 MHz, resultan 124 pares de canales UL/DL de 200 KHz, los mismos que se identifican del 128 al 251 y se denominan GARFCN (Número de Canal Absoluto de Radio Frecuencia GSM), tal como se indica en la Tabla 2-9. (Keyyb Rene, 2019, pág. 15)

**Tabla 2-9:** Asignación de espectro en tecnología GSM 850 para uplink y downlink

| Sistema | Banda (MHz)                | Ancho de Banda (MHz) | GARFCN  | Numero de Portadoras |
|---------|----------------------------|----------------------|---------|----------------------|
| GSM850  | UL: 824-849<br>DL: 869-894 | 25                   | 128-251 | 124                  |

Fuente: (Kevyb Rene, 2019, pág. 15)

Cabe considerar, que cada operadora en el Ecuador la ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones), ha dividido el espectro de las bandas GSM – 850 y GSM – 1900 para el servicio móvil avanzado (SMA), para las 3 operadoras existentes están concedidos a su respectiva operadora, de manera que ordenadamente, cada radio base celular según su operadora hace uso del espectro respectivamente, tal como se indica en la Ilustración 2-9.



**Ilustración 2-9:** Canalización y asignación de bandas de frecuencia SMA

Fuente: (ARCOTEL, 2018, pág., 11)

## 2.10 Desviación estándar

La desviación estándar de un conjunto de valores muestrales es la medida de variación de los valores con respecto a la media. Es un tipo de desviación promedio de los valores con respecto a la media. (Triola, 2015, pág. 94)

El valor de la desviación estándar es mayor o igual a cero, un valor cero indica que los datos de la muestra están concentrados en un mismo punto (no hay variabilidad o dispersión), un valor mayor a cero indica la presencia de variabilidad o dispersión de los datos con respecto a la media aritmética. (Matos, Contreras y Olaya, 2020, pág. 132)

Las fórmulas para la desviación estándar para datos no agrupados son:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X-\mu)^2}{N}} \quad \text{O} \quad S = \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{n-1}}$$

**Ecuación 2-1:** Desviación estándar para datos no agrupados

Donde:

$\sigma$ = desviación estándar para el caso de una población

$N$ = tamaño de la población

$\mu$ = la media poblacional

$X$ = el valor de cada dato de la serie

$S$ = desviación estándar en el caso de una muestra

$\bar{X}$ = la media muestral

Cuando se trabaja con datos agrupados, la desviación estándar también se calcula sacando la raíz cuadrada, pero empleando las fórmulas respectivas de la varianza para datos agrupados:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum[(m_j-\mu)^2 f_j]}{N}} \quad \text{O} \quad S = \sqrt{\frac{\sum[(m_j-\bar{X})^2 f_j]}{n-1}}$$

**Ecuación 2-2:** Desviación estándar para datos agrupados

Donde:

$m_j$ = punto medio de clase

$f_j$ = frecuencia de la clase

$N$ = tamaño de la población

$n$ = tamaño de la muestra

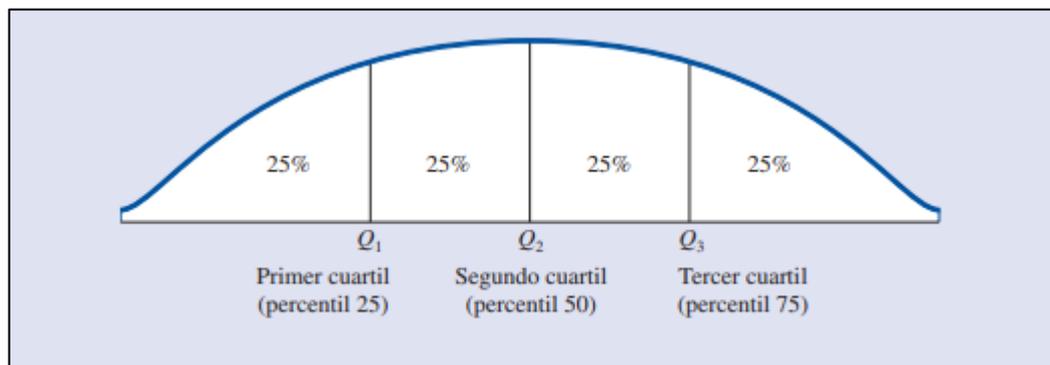
## 2.11 Percentiles

Un percentil aporta información acerca de la dispersión de los datos en el intervalo que va del menor al mayor valor de los datos. En los conjuntos de datos que no tienen muchos valores repetidos, el percentil  $\rho$  divide a los datos en dos partes.

Cerca de  $\rho$  por ciento de las observaciones tienen valores menores que el percentil  $\rho$  y aproximadamente  $(100 - \rho)$  por ciento de las observaciones tienen valores mayores que el percentil  $\rho$ . (Anderson, Sweeney y Williams, 2008, pág. 86)

Los percentiles se utilizan para determinar la posición relativa, en porcentaje, de la posición que ocupa un valor dado, de una variable, en relación a todos los valores de la misma en un grupo o en una población. (Kelmansky, 2014, pág. 138)

Según (Kelmansky, 2014, pág. 86) un claro ejemplo es en las puntuaciones en los exámenes de admisión de escuelas y universidades se suelen dar en términos de percentiles. Por ejemplo, suponga que un estudiante obtiene 54 puntos en la parte verbal del examen de admisión. Esto no dice mucho acerca de este estudiante en relación con los demás estudiantes que realizaron el examen. Sin embargo, si esta puntuación corresponde al percentil 70, entonces 70% de los estudiantes obtuvieron una puntuación menor a la de dicho estudiante y 30% de los estudiantes obtuvieron una puntuación mayor. Con frecuencia es conveniente dividir los datos en cuatro partes; así, cada parte contiene una cuarta parte o 25% de las observaciones. En la Ilustración 2-10 se muestra una distribución de datos dividida en cuatro partes. A los puntos de división se les conoce como cuartiles y están definidos por:  $Q_1$  = primer cuartil, o percentil 25,  $Q_2$  = segundo cuartil, o percentil 50 y el  $Q_3$  =tercer cuartil, o percentil 75.



**Ilustración 2-10:** Localización de los cuartiles

**Fuente:** (Kelmansky, 2014, pág. 87 )

## 2.12 Filtros

Un filtro se define como cualquier dispositivo que modifica de un modo determinado una señal que pasa a través de él. Algunos autores reservan la denominación de filtros para los dispositivos selectores de frecuencia, es decir, aquellos que “dejan pasar” las señales presentes en ciertas bandas de frecuencia y “bloquean” las señales de otras bandas. (Miyara, 2004, pág. 4)

La banda de paso de un filtro es el intervalo de frecuencias que el filtro deja pasar con atenuación mínima (casi siempre definida como menor de -3 dB de atenuación).

La frecuencia crítica,  $f_c$  (también llamada frecuencia de corte) define el final de la banda de paso y normalmente se especifica en el punto donde la respuesta reduce -3 dB (70.7%) con respecto a la respuesta en la banda de paso. (Floyd, 2008, pág. 756)

Hay diversas clasificaciones de los filtros. Cuando la señal es una magnitud eléctrica (corriente o tensión), es un filtro eléctrico. Existen también filtros mecánicos, filtros acústicos, filtros ópticos, etc. Los filtros también pueden clasificarse en filtros activos o filtros pasivos según empleen o no fuentes controladas (elementos activos, tales como amplificadores y sus derivados). (Miyara, 2004, pág. 1), los filtros eléctricos pasivos se implementan en general con inductores y capacitores. Dado que los inductores son elementos, grandes, pesados y de alto costo, el empleo de filtros pasivos es poco conveniente excepto en frecuencias bastante altas. Los inductores pueden eliminarse mediante el uso de amplificadores y técnicas de realimentación. Finalmente, otra clasificación es en filtros analógicos y filtros digitales. Los filtros analógicos son aquellos en los cuales la señal puede tomar cualquier valor dentro de un intervalo, y los digitales corresponden al caso en que la señal toma sólo valores discretos. (Miyara, 2004, pág. 1)

### ***2.12.1 Filtros analógicos***

Los filtros analógicos eliminarán todo lo que esté por encima o por debajo de una frecuencia de corte elegida. Los filtros analógicos son circuitos hechos de componentes analógicos como resistencias, capacitores, inductores y amplificadores. Los filtros analógicos son bastante simples, pero aumentan en complejidad si desea una atenuación más precisa; es decir, hacer que el resultado filtrado sea "escalonado" de manera más precisa en el roll-off requiere sucesivamente más componentes. (TIPS, 2016)

Existen cuatro tipos de filtros, entre los más utilizados están: el filtro pasa bajo, el filtro pasa alto, el filtro pasa banda y el filtro rechazo de banda. (Floyd, 2008, págs. 756-760)

- **Filtro pasa bajo:** un filtro pasa baja deja pasar frecuencias más bajas, y atenúa significativamente a todas las frecuencias más altas. El filtro pasa bajo más básico es un circuito RC (resistor - capacitor) sencillo compuesto por un solo resistor y capacitor; la salida se toma a través del capacitor.
- **Filtro pasa alto:** el filtro pasa alto atenúa o rechaza significativamente todas las frecuencias por debajo de  $f_c$  (frecuencia crítica) y deja pasar todas las frecuencias por

encima de  $f_c$ . Un circuito RC sencillo que consta de un solo resistor y un capacitor puede ser configurado como un filtro pasa alto tomando la salida a través del resistor.

- **Filtro pasa banda:** un filtro pasa banda deja pasar todas las señales situadas dentro de una banda entre un límite inferior de frecuencia y un límite superior de frecuencia y, en esencia, rechaza todas las frecuencias que quedan fuera de esta banda especificada.
- **Filtro rechazo de banda:** es el filtro supresor de banda, también conocido como filtro muesca, rechaza bandas o de eliminación de bandas. Se puede pensar en su operación como opuesta a la del filtro pasa banda porque las frecuencias dentro de un cierto ancho de banda son rechazadas y a las frecuencias afuera del ancho de banda se les permite pasar.

### 2.12.2 Filtros digitales

Los filtros digitales son sistemas que operan sobre señales en tiempo discreto con el propósito de modificar el comportamiento en frecuencia de la señal. A diferencia de los filtros analógicos, los filtros digitales son fácilmente ajustables, y funcionan como soluciones software en un PC o hardware en dispositivos como DSPs (Digital Signal Processor) o FPGAs (Field Programmable Gate Array). (Ballesteros y Renza, 2018, pág. 41)

Un filtro digital es un sistema que, dependiendo de las variaciones de las señales de entrada en el tiempo y amplitud, se realiza un procesamiento matemático sobre dicha señal; generalmente mediante el uso de la Transformada rápida de Fourier; obteniéndose en la salida el resultado del procesamiento matemático o la señal de salida. (LA TRANSFORMADA RAPIDA DE FOURIER SUS USOS , sin fecha, pág.8)

El procesamiento interno y la entrada del filtro serán digitales, por lo que puede ser necesario una conversión analógica-digital o digital-analógica para uso de filtros digitales con señales analógicas. El filtrado digital consiste en la realización interna de un procesado de datos de entrada. (LA TRANSFORMADA RAPIDA DE FOURIER SUS USOS , sin fecha, pág. 8)

#### 2.12.2.1 Filtro con respuesta finita al impulso (FIR)

Los filtros digitales de Respuesta Finita al impulso o filtros FIR (por sus siglas en inglés, Finite Impulse Response), se trata de un tipo de filtros digitales en el que, como su nombre indica, si la entrada es una señal impulso, la salida tendrá un número finito de términos no nulos.

La estructura de la señal a la salida del filtro se basa solamente en la combinación lineal de las entradas actuales y anteriores (finaliza cuando la señal de entrada lo hace). Se trata de un tipo de filtro digital que no tienen retroalimentación en sus estructuras. (WATANABE RUIZ, 2012, pág. 13)

#### 2.12.2.2 Filtro con respuesta infinita al impulso (IIR)

Los filtros digitales de Respuesta Infinita al Impulso o filtros IIR (por sus siglas en inglés, Infinite Impulse Response), se trata de un tipo de filtros digitales en el que, como su nombre indica, si la entrada es una señal impulso la salida tendrá un número infinito de términos no nulos. (WATANABE RUIZ, 2012, pág. 15)

#### 2.12.2.3 Media móvil

La Media Móvil (Moving Average) es un cálculo que se utiliza para analizar un conjunto de datos en un modo de puntos para crear una serie de promedios. La MA contiene una serie de valores, cada valor es el promedio del subconjunto de datos original, si el subconjunto de datos es cinco, el promedio de datos de cada cinco puntos o muestras se mostrará de acuerdo con dos factores, a saber, el promedio y el rango de tiempo. Se puede calcular una media móvil para cualquier conjunto de datos que cambie con el tiempo, y la parte móvil del nombre está en él, porque a medida que avanza cada período de tiempo, se calcula un nuevo valor, de modo que se puedan pasar los cambios en la señal original. La media móvil ayuda a suavizar y filtrar el ruido en una señal específica o un conjunto de valores. (Nieto Moreno, 2015, pág. 35)

- Media móvil previa

La media móvil previa o media móvil simple (Simple Moving Average) es la media aritmética de los primeros  $n$  datos. En esta técnica básica de pronóstico, cuanto mayor sea la  $n$ , mayor será la influencia de los datos antiguos. Por otro lado, si se elige una  $n$  baja, el proceso de suavizado considerará datos más nuevos. Con base en lo anterior, se concluye que la elección de  $n$  afectará de manera decisiva la suavidad de la señal.

De acuerdo con la señal analizada, se podrá adaptar eficazmente los pronósticos, si se selecciona un  $n$  bajo, los pronósticos tendrán una mayor capacidad para responder rápidamente a fluctuaciones de datos o cambios obvios de un ciclo a otro. Sin embargo, la predicción en este caso se verá muy afectada por efectos aleatorios. (Nieto Moreno, 2015, pág. 35)

La ecuación, expresa la fórmula de la media móvil simple es:

$$SMA = \frac{p1 + p2 + p3 + p4 \dots p_n}{n}$$

**Ecuación 2-3:** Ecuación que expresa la media móvil simple

Donde:

p = puntos o muestras.

n = número de períodos de tiempo.

Para el ejemplo de la aplicación de la media móvil previa, se eligen de manera aleatoria 12 puntos o muestras con el propósito de demostrar el funcionamiento del algoritmo utilizado en la implementación de la media móvil previo con n=2. Como primer paso, se inicia la formación del vector que representa la intensidad del campo eléctrico, dado que este vector  $E_d$  es euclidiano, su descripción matemática se expresa mediante la Ecuación 2-4:

$$E_d = \{[E_d]_1 [E_d]_2 \dots [E_d]_N\}$$

**Ecuación 2-4:** Vector euclidiano para la intensidad de campo eléctrico

Donde:

$$i = 1,2, \dots N$$

Después de haber establecido la representación matemática de este vector según la Ecuación 2-4, se procede a construir el vector correspondiente a los 12 puntos (N=12), como se detalla en la Tabla 2-10. Estos puntos, numerados del 0 al 11 ( $i = 0,1,2,3,4,5 \dots,11$ ) se utilizan como puntos de referencia para la demostración del proceso de suavizado de la señal. En este contexto, el vector  $E_{dem}$  se forma a partir de los siguientes puntos:

$$E_{dem} = \{[1.5]_1 [2.5]_2 [7.5]_3 [9.5]_4 [3.5]_5 \dots [E_d]_{12}\}$$

**Ecuación 2-5:** Ecuación del campo eléctrico de una señal de demostración

Donde:

$E_{dem}$  = Campo Eléctrico de la señal de demostración.

El vector que se presentó previamente debe ser construido considerando todos los datos que se encuentran en la Tabla 2-11, donde se seleccionaron de manera aleatoria con el propósito de demostrar el funcionamiento del algoritmo.

**Tabla 2-10:** Puntos de la señal discreta

| Punto | V/m |
|-------|-----|
| 0     | 1.5 |
| 1     | 2.5 |
| 2     | 7.5 |
| 3     | 9.5 |
| 4     | 3.5 |
| 5     | 2.5 |
| 6     | 7.5 |
| 7     | 3.5 |
| 8     | 2.5 |
| 9     | 5.5 |
| 10    | 0   |
| 11    | 3.5 |

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

Una vez que se han recopilado los datos necesarios de la señal discreta, que en este caso corresponde a la información del campo eléctrico contenida en la Tabla 2-11, estos datos son registrados en una hoja de Excel para posteriormente ser procesados en el software Matlab.

```
1 - clear all
2 - clc
3 - close all
4 - Datos = xlsread('ejemplo.xlsx');
5 - ndatos=12;
6 - muestra=Datos((1:ndatos),2)';
7
```

**Ilustración 2-11:** Código de lectura para archivo en Excel en Matlab

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

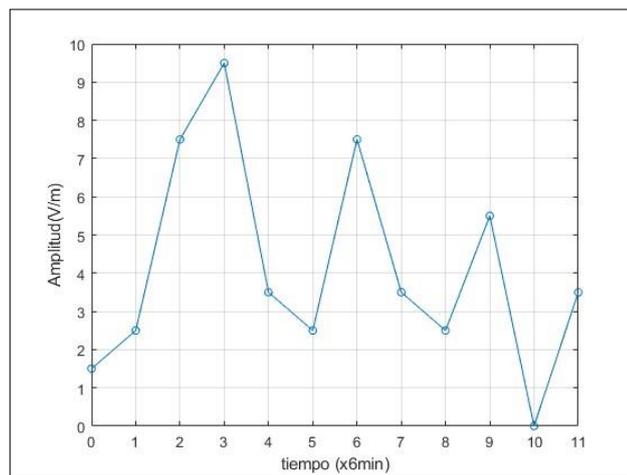
En la Ilustración 2-11 se utilizó el comando `xlsread`, resaltado dentro del recuadro rojo, el cual permite leer un archivo de Microsoft Excel.

En este contexto, se ha establecido la variable denominada "Datos" para almacenar la información contenida en la hoja de cálculo de Excel titulada "ejemplo". Los valores correspondientes a esta información están presentes en la tabla 2-11.

Luego de haber importado la información de la señal discreta a Matlab, se inicia la programación del algoritmo destinado al suavizado. Este proceso se detallará paso a paso, acompañado de su correspondiente ilustración.

Primero se representa gráficamente la señal original que se desea suavizar, utilizando los 12 puntos discretos previamente detallados en la Tabla 2-11.

En la Ilustración 2-12 se observa la señal que se grafica con los puntos que se importaron desde el Excel, esta señal es la que se va a realizar el suavizado mediante la media móvil con una ventana de  $n=2$ .



**Ilustración 2-12:** Representación Gráfica de la Señal Original y sus 12 Puntos Discretos  
**Realizado por:** Martínez y Quintuña, 2024

Dada la señal discreta mostrada anteriormente se procede a aplicarle la media móvil previa a los puntos seleccionados de la señal original de la Ilustración 2-12, de esta manera se obtiene la primera iteración o pasada, mediante la aplicación de la ecuación 2-6, correspondiente a la media móvil:

$$y[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x(i+j)$$

**Ecuación 2-6:** Ecuación general para calcular la media móvil previa

- Pasada 1

$$y[0] = \frac{x[0] + x[1]}{2} = \frac{1.5 + 2.5}{2} = 2$$

$$y[1] = \frac{x[1] + x[2]}{2} = \frac{2.5 + 7.5}{2} = 5$$

$$y[2] = \frac{x[2] + x[3]}{2} = \frac{7.5 + 9.5}{2} = 8.5$$

$$y[3] = \frac{x[3] + x[4]}{2} = \frac{9.5 + 3.5}{2} = 6.5$$

.

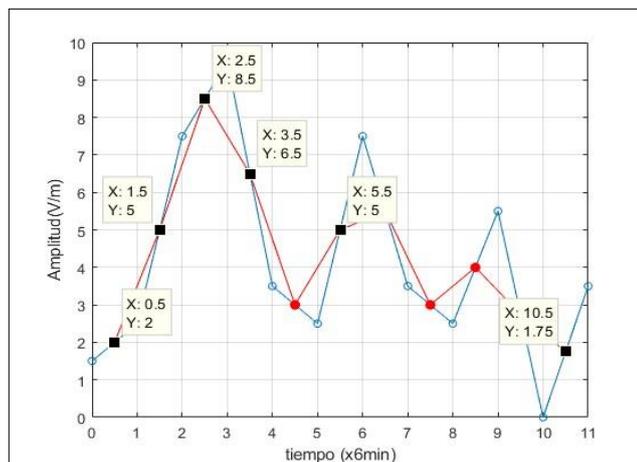
.

.

$$y[11] = \frac{x[10] + x[11]}{2} = \frac{0 + 3.5}{2} = 1.75$$

**Ecuación 2-7:** Primera pasada de todos los puntos de la señal original

Una vez calculada la media móvil previa para todos los puntos de la señal original, se lleva a cabo la primera iteración o pasada, tal como muestra en la Ilustración 2-13, utilizando las operaciones matemáticas de la ecuación 2-7.



**Ilustración 2-13:** Primera Iteración de la Media Móvil sobre la Señal Original

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

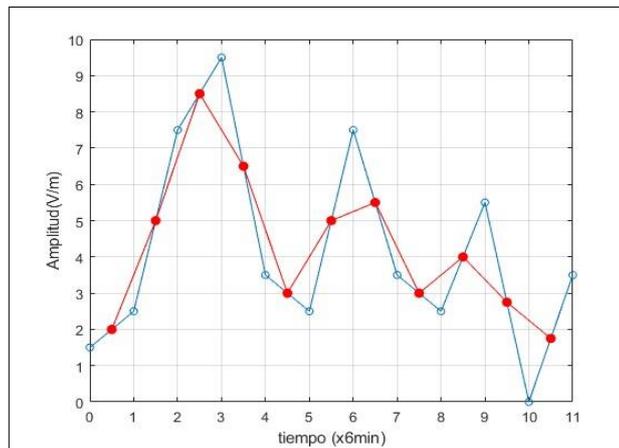
En la Ilustración 2-13, se observa los valores de los puntos [ Y ] y en [ X ], donde se logra visualizar claramente que los resultados obtenidos en los cálculos coinciden exactamente con los valores generados por el programa, de esa forma se puede comprobar el correcto funcionamiento de Matlab, este procedimiento se observa en la Ilustración 2-14, los mismos que coinciden con los valores de la ecuación 2-7.

| 30x12 double |        |        |        |        |        |   |        |        |        |        |        |        |   |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|
|              | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6 | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     |   |
| 1            |        | 2      | 5      | 8.5000 | 6.5000 | 3 | 5      | 5.5000 | 3      | 4      | 2.7500 | 1.7500 | 0 |
| 2            | 3.5000 | 3.5000 | 6.7500 | 7.5000 | 4.7500 | 4 | 5.2500 | 4.2500 | 3.5000 | 3.3750 | 2.2500 | 2.2500 |   |

**Ilustración 2-14:** Almacenamiento de los valores promedio de la primera iteración en la matriz 'reg'

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

En la Ilustración 2-14 se indica en el recuadro de color verde los valores medios de la primera iteración o pase. Estos valores promedio se almacena en un matriz denominada “reg”, ya que este nombre fue asignado a la variable en la programación.



**Ilustración 2-15:** Comparación visual entre la señal original y el resultado de la primera iteración

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

Al obtener las medias móviles para todos los puntos de la señal original, se obtiene la forma resultante de la señal, como se observa en la Ilustración 2-15. En esta representación, la señal original se presenta con puntos azules, mientras que la primera iteración o pase se muestra en puntos de color rojo.

- Pasada 2

Continuando con el proceso de suavizado de la señal, se lleva a cabo nuevamente el cálculo de las medias móviles. Sin embargo, en esta iteración, se aplica la media móvil previa a los puntos o valores resultantes de la señal del primer pase, utilizando la ecuación 2-8, tal como se muestra a continuación:

$$y[0] = \frac{x[0] + x[1]}{2} = \frac{2 + 5}{2} = 3.5$$

$$y[1] = \frac{x[1] + x[2]}{2} = \frac{5 + 8.5}{2} = 6.75$$

$$y[2] = \frac{x[2] + x[3]}{2} = \frac{8.5 + 6.5}{2} = 7.5$$

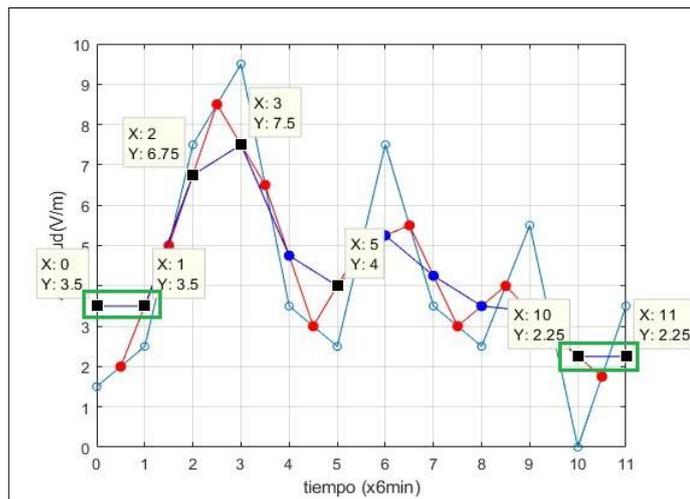
.

.

.

$$y[11] = \frac{x[10] + x[11]}{2} = \frac{2.75 + 1.75}{2} = 2.25$$

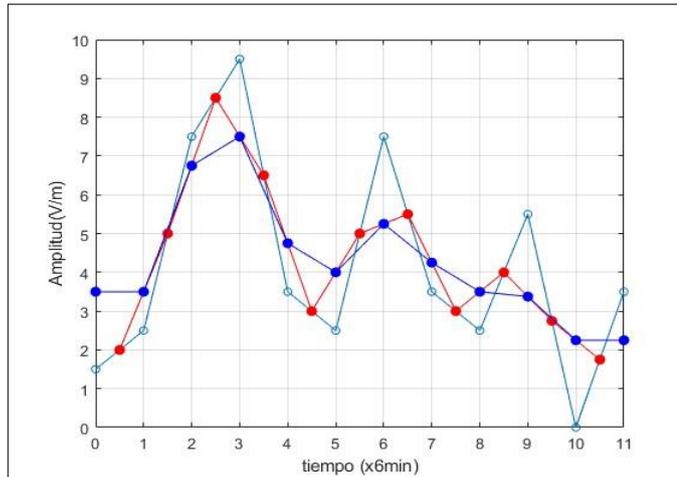
**Ecuación 2-8:** Segunda pasada a todos los puntos de la señal de la primera iteración



**Ilustración 2-16:** Segundo pase del proceso de suavizado: recuperación de puntos perdidos  
**Realizado por:** Martínez y Quintuña, 2024

Como se observa en la Ilustración 2-16, se aplican las medias móviles al primer pase, dando como resultado el segundo pase o iteración. En esta etapa del algoritmo, surge una peculiaridad debido a los cálculos de los promedios del primer pase, donde se pierde un punto, lo que implica que inicialmente había un total de 12 puntos, pero en el transcurso de los cálculos de tomar el promedio de los valores y dividiendo para dos, se van perdiendo datos, especialmente en los pases impares. Con el segundo pase se vuelve a perder un dato más, para evitar este inconveniente, se toma el resultado de la media de Y [1] en línea recta hacia la izquierda y así conseguir Y [0]. Para recuperar el dato final Y [11], se sigue la línea recta desde Y [10] hacia la derecha hasta que interseca con el eje Y, permitiendo así la recuperación de los datos desaparecidos en el transcurso de los cálculos matemáticos. Este proceso, se muestra en los cuadros de color verde.

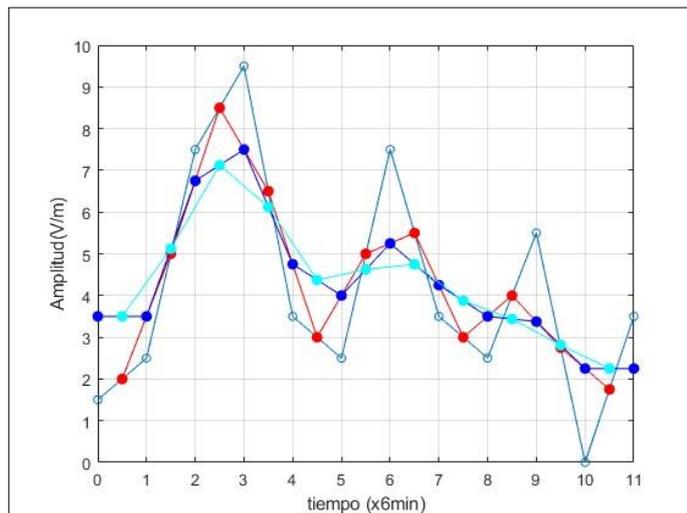
- Pasada 3



**Ilustración 2-17:** Segundo pase del proceso de suavizado usando la media móvil  
**Realizado por:** Martínez y Quintuña, 2024

Para realizar el tercer pase se aplica la media móvil a la señal discreta de la Ilustración 2-17, tal y como se hizo en los anteriores pases, dando como resultado la Ilustración 2-18.

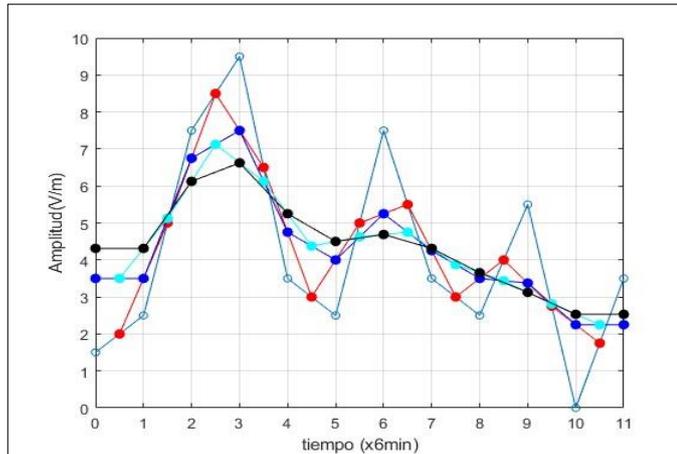
La señal discreta resultante se presenta en tono turquesa, permitiendo una visualización clara del proceso de la obtención de la media de la señal anterior.



**Ilustración 2-18:** Tercer pase del proceso de suavizado de la señal: pase turquesa  
**Realizado por:** Martínez y Quintuña, 2024

- Pasada 4

En el cuarto pase, se lleva a cabo el mismo procedimiento que en el segundo pase, ya que es necesario recuperar los puntos que se pierden durante las operaciones matemáticas y el uso del software, obteniendo la gráfica que se muestra en la Ilustración 2-19.

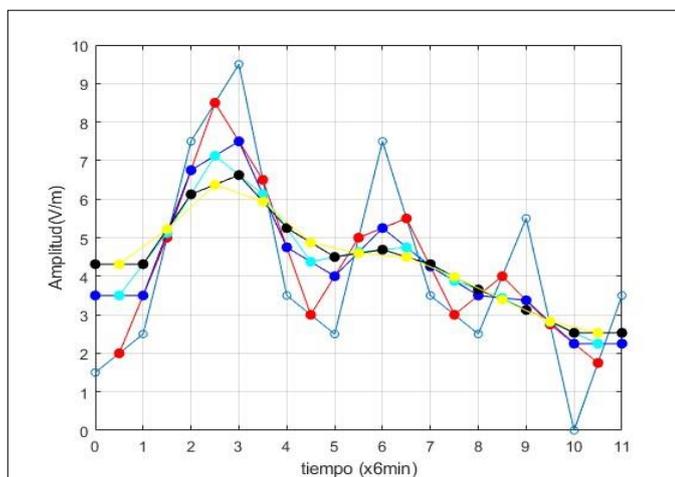


**Ilustración 2-19:** Cuarto pase del proceso de suavizado:  
recuperación de puntos perdidos  
**Realizado por:** Martínez y Quintuña, 2024

En la Ilustración 2-19, se presenta la señal suavizada correspondiente al cuarto pase, representada en color negro. Es evidente cómo la señal experimenta un proceso de suavizado, en comparación con la señal original.

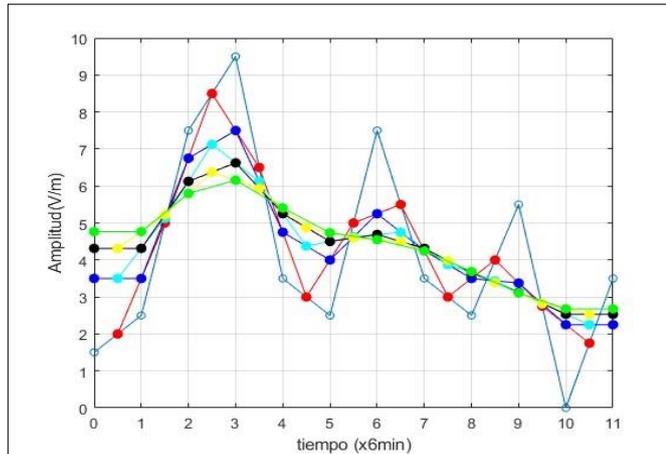
- Pasada 5

Para obtener la señal suavizada en el quinto pase, se emplea la media móvil a la señal anterior, es decir, la señal del pase 4, dando como resultado la señal del gráfico de la Ilustración 2-20, la señal suavizada en el pase 5 es la que está de color amarillo.



**Ilustración 2-20:** Quinto pase del proceso de suavizado:  
señal suavizada en amarillo  
**Realizado por:** Martínez y Quintuña, 2024

- Pasada 6

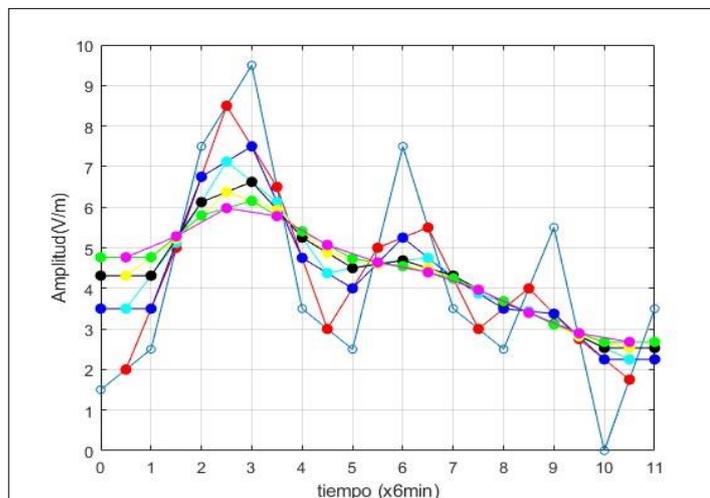


**Ilustración 2-21:** Sexto pase del proceso de suavizado:  
señal suavizada en verde  
**Realizado por:** Martínez y Quintuña, 2024

Al emplear la media móvil a la señal suavizada del quinto pase, junto con el proceso seguido en los pases 2 y 4, se genera la señal suavizada correspondiente al pase 6, la cual se observa en la Ilustración 2-21, la señal de color verde.

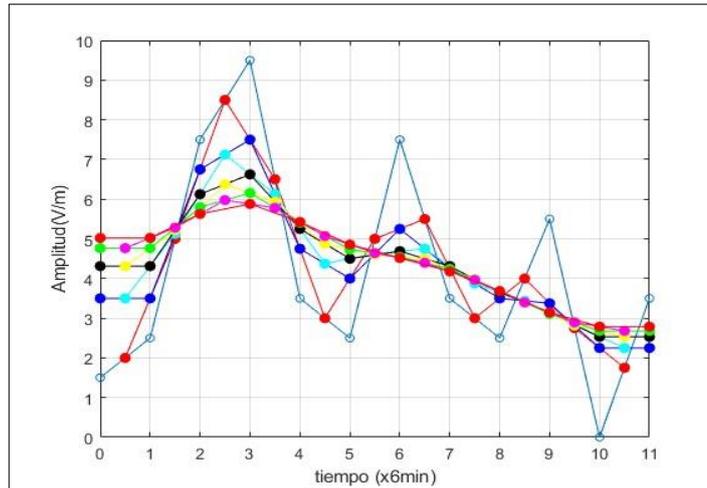
- Pasada 7

En la siguiente Ilustración 2-22, se distingue la señal en tono rosado, la cual es la resultante de aplicarle la media móvil sobre la señal suavizada del séptimo pase.



**Ilustración 2-22:** Séptimo pase del proceso de suavizado:  
señal resultante en rosa  
**Realizado por:** Martínez y Quintuña, 2024

- Pasada 8



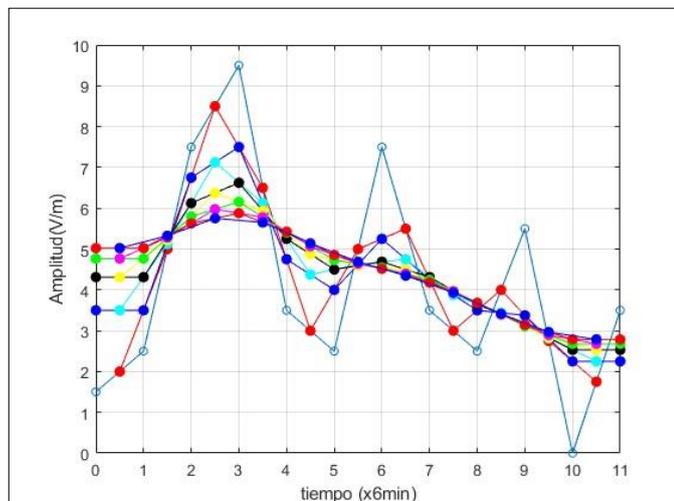
**Ilustración 2-23:** Octavo pase del proceso de suavizado:  
señal final en rojo

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

De la misma forma, al aplicar la media móvil al suavizado del séptimo pase, se genera la señal correspondiente al octavo pase. Además, en este pase, se debe seguir el mismo procedimiento empleado en los pases 2, 4 y 6. Como resultado final, se obtiene la señal más suavizada representada por puntos de color rojo, como se muestra en la Ilustración 2-23.

- Pasada 9

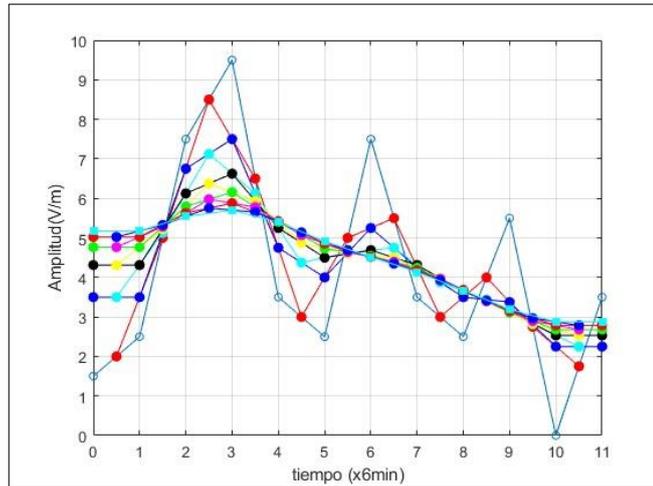
En la Ilustración 2-24, se observa el suavizado del noveno pase de la señal de puntos color azul, obteniendo el resultado de aplicar la media móvil a la señal suavizada del pase 8.



**Ilustración 2-24:** Noveno pase del proceso de suavizado:  
señal en azul

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

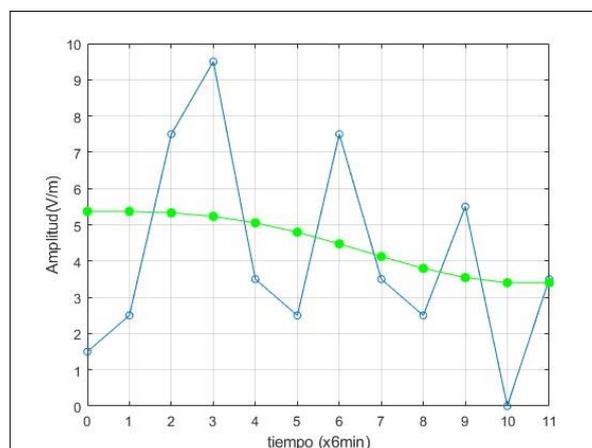
- Pasada 10



**Ilustración 2-25:** Décimo pase del proceso de suavizado:  
señal suavizada al 33,3%  
**Realizado por:** Martínez y Quintuña, 2024

Como se observó anteriormente, los pases pares poseen la particularidad de recuperar dos datos, en este caso, se aplica la media móvil a la señal correspondiente al pase 9, resultando en la señal suavizada del pase 10, como se muestra en la Ilustración 2-25. Se observa claramente cómo la señal está suavizada en un 33,3% con respecto a la señal original, representada por los cuadrados de color turquesa. Este porcentaje se calcula mediante una regla de tres, considerando el paso 30 como el 100%.

El proceso de suavizado de la señal se llevará a cabo hasta el pase 30 con el objetivo de preservar la estructura original de la señal, ya que continuar con más pases resultaría en la obtención de valores poco significativos que no reflejarían cambios relevantes en la señal suavizada. En la Ilustración 2-26, se observa la señal de color verde que se obtendrá del pase 30, dicho de otra manera, la señal discreta de intensidad de campo eléctrico se suavizará en un 100%.



**Ilustración 2-26:** Suavizado completo: señal  
resultante después del pase 30  
**Realizado por:** Martínez y Quintuña, 2024

## 2.13 Métodos de conversión de una señal discreta a continua

### 2.13.1 Spline cúbico

El método de spline cúbico es utilizado para pasar señales discretas a señales continuas, un spline es un polinomio por partes en los que los coeficientes de cada polinomio son fijados por nodos, normalmente se utilizan cúbicos para que los coeficientes que se eligen coincidan con la función y las derivadas primeras y segundas en cada nodo. (Gonzales, 2017, pág. 15)

Un spline es una curva definida mediante polinomios en intervalos finitos. Matlab realiza procesos interpolación mediante splines, lo más frecuente es utilizar splines cúbicos. Los splines se utilizan para convertir una serie de datos en una función continua, también sirven para analizar los datos, estimar sus derivadas y resolver ecuaciones en derivadas parciales. Se puede definir un spline como un conjunto de polinomios que ajustan una función  $f(x)$  en un intervalo  $[a, b]$ . La curva generada debe pasar por todos los puntos marcados, uniéndolos mediante una línea continua. (Reboredo y Falcón, sin fecha, pág. 2)

Según (MatWorks, 2023) el método de spline cúbico en MATLAB se basa en la creación de polinomios cúbicos suaves que se ajustan a conjuntos de datos específicos. El objetivo es generar una curva continua y diferenciable que pase a través de cada punto de datos, manteniendo la continuidad de la primera y segunda derivada en los puntos de unión. A continuación, se describe el proceso general del spline cúbico en MATLAB:

- Preparación de Datos: se comienza con un conjunto de datos discreto que se desea interpolar o suavizar.
- División en Segmentos: los datos se dividen en segmentos, y en cada segmento se ajustará un polinomio cúbico.
- Construcción de Coeficientes: para cada segmento, se calculan los coeficientes del polinomio cúbico, asegurando que el polinomio resultante pase a través de los puntos de unión y tenga derivadas continuas.
- Generación de Splines: utilizando los coeficientes calculados, se construyen los splines cúbicos para cada segmento.
- Creación de la Curva Spline: los splines se concatenan para formar una curva suave y continua que representa la variación de los datos originales.

En MATLAB, el proceso se simplifica mediante factores especializadas como spline o csape. La función spline permite la interpolación de datos, mientras que csape se utiliza para generar splines cúbicos que se ajustan suavemente a los datos. Ambas funciones facilitan la implementación del método y proporcionan una representación visual de la curva resultante. (MatWorks, 2023)

## 2.14 Normas vigentes nacionales e internacionales

**Tabla 2-11:** Regulación latinoamericana 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  |
| PERU     | 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: (Santos y Tarco, 2017, pág. 17)

Para la regulación y control de las radiaciones no ionizantes (RNI) en Latinoamérica, cada país acoge las recomendaciones internacionales.

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. (Santos Armas y Tarco Gavilanes, 2017, pág. 16)

## **2.15 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. (Santos Armas y Tarco Gavilanes, 2017, pág. 17-18)

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. (Santos Armas y Tarco Gavilanes, 2017, págs. 17-18)

### **2.15.1 Tipos de exposición**

La ICNIRP propone dos tipos de límites de exposición

#### *2.15.1.1 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. (Santos Armas y Tarco Gavilanes, 2017, pág.20)

#### *2.15.1.2 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. (Santos Armas y Tarco Gavilanes, 2017, pág. 20)

**Tabla 2-12:** 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           | -                                   | $2 \times 10^5$                     | -  |
|                    | 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      | $3 f^{1/2}$                         | $0.008 f^{1/2}$                     | $f / 40$   |
|                    | 2 - 300 GHz         | 137                                 | 0.36                                | 50   |
| <i>Poblacional</i> | Hasta 1Hz           | -                                   | $2 \times 10^4$                     | -  |
|                    | 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      | $1.375 f^{1/2}$                     | $0.0037 f^{1/2}$                    | $f / 200$  |
|                    | 2 - 300 GHz         | 61                                  | 0.16                                | 10   |

Fuente: (ICNIRP, 1977, pág. 28)

Además, las recomendaciones ICNIRP (Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes) (ICNIRP, 1994) consideran dos tipos de SAR (Tasa de absorción específica) dentro de las restricciones básicas:

El SAR de cuerpo entero que se produce en una persona por acción de las ondas emitidas por una estación base y el SAR localizado que es el que se aplica para determinar si un teléfono móvil cumple con las recomendaciones de seguridad. El SAR localizado en la cabeza recomendada por la ICNIRP es de 2 W/kg promedio sobre una masa de tejido de 10 g. (Bazurto, 2017, pág. 11)

## **2.16 Unión internacional de telecomunicaciones (UIT)**

La UIT, o Unión Internacional de Telecomunicaciones, es la entidad especializada de las Naciones Unidas dedicada a las tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

### **2.16.1 Recomendación UIT-T K.52**

La Recomendación UIT-T K.52 vigente es la aprobada el 29 de junio del 2021 en su versión 6.0 la cual tiene como objetivo contribuir al cumplimiento de las instalaciones de telecomunicaciones, como las instalaciones de estaciones base definidas en [IEC 62232], con los límites de seguridad para la exposición humana a los campos electromagnéticos (EMF) producidos por equipos de telecomunicaciones en la gama de frecuencias 8,3 kHz a 300 GHz 1. Esta Recomendación proporciona técnicas y procedimientos para evaluar la exposición de los trabajadores y el público en general a la radiofrecuencia (RF). Esta Recomendación se aplica a los dispositivos de comunicación inalámbricos portátiles y montados en el cuerpo que se utilizan junto a la oreja o cerca del cuerpo y que funcionan en la gama de frecuencias de 300 MHz a 6 GHz.

La Recomendación UIT-T K.52 propone la clasificación de tres zonas como se muestra en la Ilustración 2-27 para realizar la evaluación de la exposición a los CEM siendo estas:

#### **2.16.1.1 Zona de cumplimiento (*compliance zone*)**

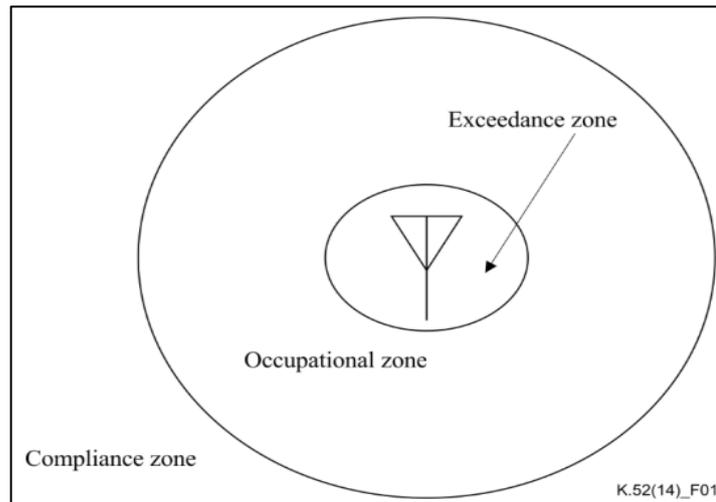
En la zona de cumplimiento, la exposición potencial a los CEM está por debajo de los límites aplicables tanto para la exposición ocupacional / controlada como para la exposición del público en general / no controlada. (ITU-K.52, 2021, pág. 7)

#### **2.16.1.2 Zona ocupacional (*occupational zone*)**

En la zona ocupacional, la exposición potencial a los CEM (campo electromagnético) está por debajo de los límites aplicables para exposición controlada/ocupacional, pero excede los límites aplicables para la exposición no controlada para el público en general. (ITU-K.52, 2021, pág. 7)

#### **2.16.1.3 Zona de excedencia (*exceedance zone*)**

En la zona de excedencia, la exposición potencial a los CEM excede el límite aplicable, tanto para la exposición controlada/ocupacional como para la exposición no controlada/del público en general. (ITU-K.52, 2021, pág. 7)



**Ilustración 2-27:** Zonas de exposición de la recomendación UIT-T K.52

**Fuente:** (ITU-K.52, 2021, pág. 8)

### **2.16.2 Recomendación UIT-T K.61**

Esta Recomendación trata de las mediciones utilizadas para la evaluación de la intensidad de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia para verificar que los campos electromagnéticos producidos por las instalaciones de telecomunicaciones, como las estaciones base definidas en [IEC 62232], no superen los límites de exposición humana, en la gama de frecuencias de 9 kHz a 300 GHz. Esta Recomendación también brinda orientación sobre métodos computacionales que pueden usarse para lograr una evaluación de cumplimiento. (ITU-T K.61, 2018, pág. 1)

### **2.16.3 Recomendación UIT-T K.91**

Esta recomendación brinda orientación sobre cómo evaluar y monitorear la exposición humana a campos electromagnéticos (EMF) de radiofrecuencia (RF) en áreas con instalaciones de telecomunicaciones circundantes, como estaciones base (BS) como se define en [IEC 62232], instalaciones de radiocomunicaciones basadas en la exposición existente y estándares de cumplimiento en el rango de 8,3 kHz a 300 GHz. Esta Recomendación presenta y hace referencia de manera clara y sencilla a los procedimientos para evaluar la exposición y cómo demostrar el cumplimiento de los límites de exposición.

Los estándares existentes están orientados a productos o servicios. Esta Recomendación está orientada al examen del área accesible para las personas en el entorno real de los servicios actualmente operados con muchas fuentes diferentes de campos electromagnéticos de RF, pero también ofrece referencias a estándares y recomendaciones relacionadas con el cumplimiento de los productos EMF. (ITU-T K.91, 2017, pág. 1)

## **2.17 Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL)**

ARCOTEL es la entidad encargada de regular y controlar los servicios de telecomunicaciones en Ecuador. Su función principal es garantizar el acceso equitativo, la calidad y la eficiencia de los servicios de comunicaciones, así como supervisar el espectro radioeléctrico y promover la competencia en el sector de las telecomunicaciones.

ARCOTEL es una entidad muy importante en el país ya que ejecuta en cumplimiento de sus competencias, mediciones para todos los servicios de telecomunicaciones inalámbricos, para garantizar una correcta prestación de los servicios. El equipamiento utilizado permite la verificación del cumplimiento de recomendaciones mundiales de seguridad personal, con base en las recomendaciones de instituciones internacionales como: ICNIRP, IEEE, OMS, ITU, entre otros. En el 2016 se efectuaron 407 mediciones de Radiaciones No Ionizantes en el país; cuyos valores obtenidos son considerablemente inferiores a los límites recomendados por los organismos internacionales. ARCOTEL ha determinado que “en ningún caso el nivel de RNI medido supera el límite máximo permisible recomendado por los organismos internacionales”. (Bazurto, 2017, págs. 10-11)

## **2.18 Mediciones temporales**

Según (Infante, 2019, págs. 92-93) las mediciones temporales, en el contexto de las recomendaciones establecidas por la ICNIRP se refieren a la práctica sistemática de recopilar datos sobre la intensidad del campo eléctrico a una altura específica, con un tiempo de duración de 6 minutos. El término "temporal" se atribuye a esta metodología debido a su naturaleza basada en el tiempo. Cada ciclo de medición, ejecutado en intervalos de 6 minutos, proporciona instantáneas regulares de la intensidad del campo eléctrico, permitiendo una evaluación de las fluctuaciones y tendencias temporales en la exposición. Este enfoque temporal no solo cumple con las directrices de la ICNIRP para la medición, sino que también asegura que las evaluaciones sean representativas de las condiciones cambiantes del entorno electromagnético, proporcionando así datos fundamentales para la comprensión y la gestión de la exposición a radiaciones no ionizantes.

## **2.19 Mediciones instantáneas**

Las mediciones instantáneas, al igual que las mediciones temporales siguen la recomendación de la ICNIRP de realizar mediciones durante 6 minutos a una altura específica, se llevan a cabo en un punto y en un momento específico, en cualquier instante del día. Estas mediciones proporcionan una visión puntual de la intensidad del campo eléctrico, sin tener en cuenta su variación a lo largo del tiempo. Son particularmente valiosas al evaluar niveles de exposición en momentos críticos o en ubicaciones específicas, ofreciendo una instantánea detallada de la intensidad del campo eléctrico en lugares de interés específico.

## **2.20 Narda SRM- 3006**

El Narda SRM-3006 es un sistema de prueba completo y fácil de usar, que consta de una unidad base y antenas de medición, para la detección omnidireccional de campos y sus fuentes en el rango de frecuencia de 9 kHz a 6 GHz. (Cnrood, 2022)

El medidor de radiación selectiva Narda SRM-3006 es el sistema portátil de segunda generación para el análisis de banda estrecha de campos electromagnéticos, producido por Narda. El Narda SRM-3006 también tiene la capacidad de medir campos con mayor precisión que los equipos de prueba de banda ancha y, quizás lo más importante, puede brindar al usuario más información que solo las emisiones totales; sabrá con precisión qué emisor o emisores están generando la mayor cantidad de energía. El Narda SRM-3006 es portátil, resistente, a prueba de salpicaduras, incorpora una pantalla a color muy legible, receptor GPS y micrófono para edición de voz, e incluye el paquete de software SRM-TS. Hay antenas adicionales disponibles. (Test Equipment, 2023)

El SRM 3006 es una herramienta idónea entre la diversa gama de equipos de los que dispone Narda SAFETY Test SOLUTIONS. El SRM 3006 es un medidor selectivo en frecuencia de campos electromagnéticos. Posee aplicaciones especializadas para realizar tareas como el análisis espectral para una rápida y confiable comprobación de diferentes estándares de seguridad. (DataTec, 2023)



**Ilustración 2-28:** Módulo del medidor de radiación selectiva Narda SRM 3006

Fuente: (EMCHIRE, 2021)

Las características del Narda SRM-3006 (Ilustración 2-28) incluyen:

- Mediciones que cumplen con ICNIRP y estándares nacionales con resultados que se muestran directamente en términos del valor límite permitido
- Resultados rápidos y confiables utilizando rutinas de medición predefinidas y configuraciones automáticas
- Modos de operación LTE y UMTS para evaluar la información de la señal piloto y extrapolación a los niveles máximos de exposición
- Tablas editables para la correlación automática de resultados con servicios de telecomunicaciones (por ejemplo, radiodifusión, GSM, WiMAX)
- Adecuado para uso en exteriores: protegido contra la radiación, robusto, a prueba de salpicaduras, diseño ergonómico; utiliza baterías recargables intercambiables; equipado con GPS integrado y grabadora de voz (Test Equipment, 2023)

### **2.20.1 Antena triaxial**

Se trata de una antena de tres ejes que complementa el equipo, como se muestra en la Ilustración 2-29. Cumple el rango de frecuencia de 27 MHz a 3 GHz. Determina las tres componentes espaciales del campo medido, que incluye, potencia radiada efectiva isotrópica, la densidad de potencia y la relación de ubicación, por lo que la medición es rápida y sencilla. Tiene como características principales:

- Medida del campo eléctrico
- Patrón polar isotrópico
- Factores de calibración almacenados, se pueden leer automáticamente
- Especialmente adecuado para mediciones rápidas en el área de las últimas tecnologías inalámbricas (Safety Test Solutions, 2021)



**Ilustración 2-29:** Antena Triaxial complementa el equipo Narda SRM 3006  
**Fuente:** (Safety Test Solutions, 2021)

## 2.21 Matlab

MATLAB fue originalmente escrito por Cleve Moler, fundador de MathWorks Inc., con el objetivo de proporcionar un acceso fácil al software matricial desarrollado en los proyectos de UNIX LINPACK (de LINear equations PACKage) y EISPACK (de EIgenvalue Subroutines PACKage). A finales de los años 70, se escribió en FORTRAN, siendo la única estructura de datos la matriz. De ahí el nombre del programa, cuyas siglas corresponden a MATrix LABoratory. En los años 80, MATLAB fue reescrito en C. La versión 3 para MS-DOS es de principios de los años 90. En 1993 aparece la versión 4, para Windows 3.11, que ya incorpora la primera versión del Simulink. (UPC, sin fecha, pág. 2)

### 2.21.1 Características de matlab

- Es un lenguaje sencillo pero potente y rápido. En una sesión de trabajo típica, no hay que compilar o crear ejecutables y los ficheros son de texto, por lo que ocupan poca memoria.
- Muchas de las funciones matemáticas y de aplicación (análisis estadístico, optimización, diseño en ingeniería) están predefinidas y agrupadas en librerías comerciales (llamadas toolboxes). El usuario puede acceder a la mayor parte de estas funciones para modificarlas y/o crear las suyas propias.

- Presenta una gran capacidad para generar gráficos, en dos y tres dimensiones, y permite incorporar efectos y animaciones.
- Permite el desarrollo de aplicaciones complejas con ayuda del editor de ventanas, menús y controles de la utilidad GUI (Graphics User Interface).
- Puede intercambiar datos con otros lenguajes y entornos. Puede acceder a distintos dispositivos de hardware tales como tarjetas de sonido, tarjetas de adquisición de datos y DSPs (Digital Signal Processors). (UPC, sin fecha, pág. 2)

## 2.22 Modelo matemático

En este trabajo de investigación se hará uso del modelo matemático desarrollado en la tesis de doctorado de (Infante, 2019, pág. 83) que consta de: los valores medio con su respectivas desviaciones estándar, como se muestra en la Ilustración 2-30; los factores de extrapolación del campo eléctrico  $f_{EE}(t)$  y de la desviación estándar  $f_{\sigma E}(t)$ , como se muestra en la Ilustración 2-31; y de las ecuaciones 2-9, 2-10 y 2-11.

Para obtener las tres señales (negro, rojo y azul) se parte de las mediciones continuas de la intensidad de campo eléctrico de lunes a domingo durante 4 semanas consecutivas (28 días) medidos cada 6 minutos, como lo establece la INCIRP, utilizando el equipo NARDA. Con el monitoreo continuo se obtuvieron 6720 datos, de los cuales se determinó el valor medio semanal con su respectiva desviación estándar, con la que a cada una de las señales se aplicaron la media móvil y para convertir de una señal discreta a continua se utilizó el método de splines cúbicos. A partir de la señal del valor medio (color negro) y la ecuación 2-9 se obtuvo el factor de extrapolación de campo eléctrico  $f_{EE}(t)$  mostrado en la Ilustración 2-31 a).

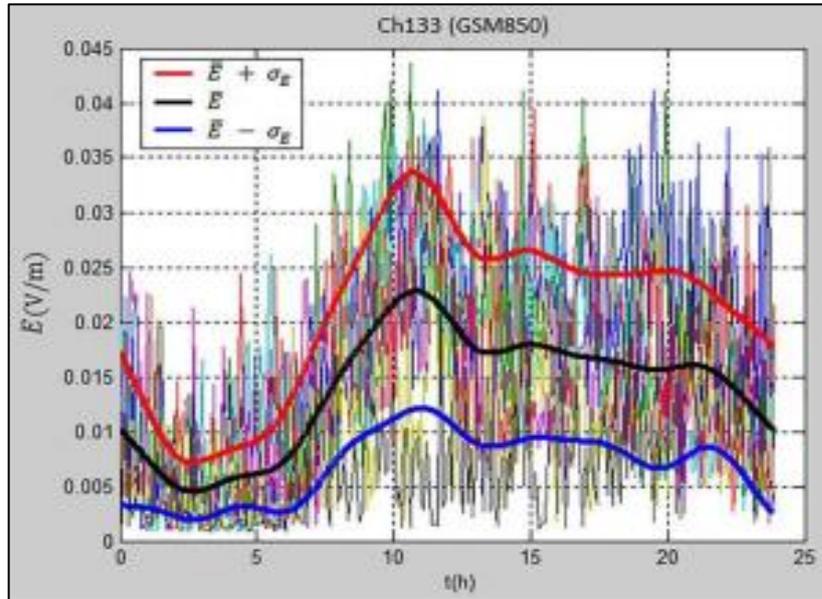
De igual manera a partir de la señal de desviación estándar (color rojo y azul) y la ecuación 2-10 se obtuvo el factor de extrapolación de la desviación estándar  $f_{\sigma E}(t)$  como se muestra en la Ilustración 2-31 b).

$$f_{EE}(t) = \frac{\bar{E}max}{\vec{E}(t)}$$

**Ecuación 2-9:** Factor de extrapolación del campo eléctrico

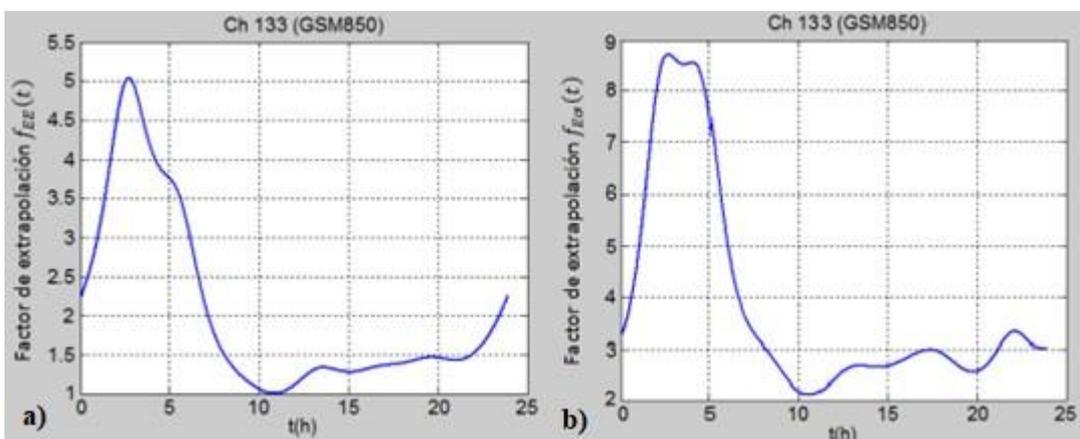
$$f_{\sigma E}(t) = \frac{\bar{E}_{max}}{\sigma_E(t)}$$

**Ecuación 2-10:** Factor de extrapolación de la desviación estándar



**Ilustración 2-30:** Niveles de la intensidad del campo eléctrico en el canal 133 en 24 h durante una semana media. Las curvas negra, roja y azul muestran en cada instante de tiempo la media de todas las mediciones y la superposición de esta con la desviación estándar

**Fuente:** (Infante, 2019, pág. 85)



**Ilustración 2-31:** a) Factor de extrapolación  $f_{EE}(t)$  y b) Factor de extrapolación  $f_{\sigma E}(t)$  obtenidos para las señales GSM estudiadas

**Fuente:** (Infante, 2019, pág. 85)

Con los factores de extrapolación mostrados en la Ilustración 2-31 a) y b), y la ecuación 2-11, se determina el valor máximo semanal a partir de una medición instantánea en cualquier instante del día; es decir, para obtener el campo eléctrico máximo  $E_{max}$ , el usuario realiza mediciones de campo eléctrico utilizando el equipo NARDA SRM-3006, a la misma hora del día por el lapso de 6 minutos y en el mismo lugar de la ESPOCH, durante los 7 días de la semana, obteniéndose un valor promedio  $\bar{E}(t)$  de la intensidad de campo eléctrico.

$$E_{max} = \bar{E}(t) [f_{EE}(t) \pm f_{\sigma E}(t)]$$

**Ecuación 2-11:** Ecuación para determinar el campo eléctrico máximo

## CAPITULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo, se presenta el marco metodológico que guiará la investigación, proporcionando una detallada descripción del enfoque, alcance, diseño, tipo, así como los métodos, técnicas e instrumentos de investigación que serán empleados. Este capítulo constituye la hoja de ruta que dará forma y dirección a la ejecución del estudio, asegurando la rigurosidad y validez en la obtención de resultados significativos.

#### 3.1 Área y campamento de medición

En el presente capítulo se describen las etapas de medición de campo eléctrico que se realizó con el equipo NARDA SRM-3006, en donde sus configuraciones se basaron en un análisis de la información acerca de la distribución frecuencial de las operadoras activas (CONECEL, OTECEL y CNT) en la ciudad de Riobamba, seleccionando 3 bandas de frecuencia en canales DOWLINK (869 a 870 MHz, 870 a 880 MHz y 890 a 891,5 MHz) correspondiente a los servicios de telefonía móvil celular GSM de la operadora CONECEL.

De igual forma se utilizó el software de simulación SRM-3006-TS para la configuración del equipo NARDA SRM-3006, el cual permitió obtener los datos de campo eléctrico, su comportamiento y la exportación de los datos hacia una PC.

La recopilación de datos de campo eléctrico se lo realizó cada 6 minutos durante las 24 horas del día y por 4 semanas consecutivas. Se realizaron las mediciones de la intensidad de campo eléctrico utilizando el equipo NARDA SRM-3006, con la antena triaxial a una altura de 1.5 metros sobre el suelo, en un lugar situado alado de una bodega de la Escuela de Ciencias Pecuarias, con sus coordenadas Latitud: -1.655778 y Longitud: -78.680389, como se muestra en las Ilustraciones 3-1 y 3-2. La carpa está diseñada como una estructura que evita la reflexión de las señales de campos electromagnéticos, cuyas dimensiones son de 4m x 4m y una altura de 2.5 m.



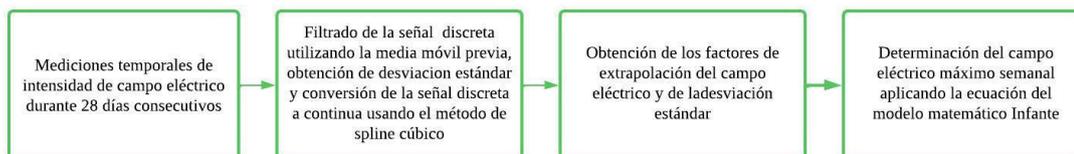
**Ilustración 3-1:** Ubicaciones de la estación base y de la bodega perteneciente a la facultad de Ciencias Pecuarias donde se realizaron las mediciones de campo eléctrico dentro de las instalaciones de la ESPOCH

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024



**Ilustración 3-2:** Elementos necesarios para la toma de mediciones de campo eléctrico máximo dentro de la ESPOCH, bodega perteneciente a la facultad de Ciencias Pecuarias

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024



**Ilustración 3-3:** Diagrama General del Proceso en el Proyecto de Investigación

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

En la ilustración 3-3 se detalla las etapas del desarrollo del presente trabajo de titulación. Se empieza con la recolección de la información durante 28 días consecutivos, para posteriormente procesarlas y obtener los valores medios y desviación estándar positivo y negativo, a continuación de estas tres señales se obtienen los factores de extrapolación de campo eléctrico y desviación estándar. Finalmente, con las señales de extrapolación y las mediciones de campo eléctrico instantáneas se obtiene el valor máximo semanal de campo eléctrico en cualquier instante del día y en cualquier lugar de la Espoch.

### 3.2 Análisis y elección de la distribución de frecuencias en la banda GSM 850

**Tabla 3-1:** Distribución frecuencial de las tecnologías activas en el sector

| Dirección de la Antena cercanas a la ESPOCH                                     | TECNOLOGÍAS |
|---|-------------|
| <b>CONECEL</b>  |             |
| Calle Díaz de la Madrid Junto a la Espoch                                       | CNT- LTE    |
|   | UMTS 1900   |
|   | UMTS 850    |
|   | GSM 850     |
| Camilo Egas & Av. Canónigo Ramos  | UMTS 1900   |
|   | LTE 1900    |
|   | LTE AWS     |
| <b>OTECCEL</b>  |             |
| Urbanización Corazón de la Patria – Calle Juan Machado Chávez y José de Peralta | UMTS 850    |
|   | UMTS 1900   |
|   | LTE 1900    |
|   | GSM 850     |

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

Una vez establecida la ubicación del sector para las mediciones de campo eléctrico en el interior de la ESPOCH, se realizó una recopilación de información acerca de los canales de frecuencia activas en la ciudad de Riobamba. ARCOTEL facilitó información relevante acerca de la distribución frecuencial, que abarcan las Estaciones Base principales cercanas a las instalaciones de la ESPOCH, detallada en la Tabla 3-1.

A continuación, se detallan el rango de frecuencias designadas para las mediciones de campo eléctrico y su procedimiento para hallar su frecuencia central de análisis, según la Ecuación 3-1:

$$Frecuencia\ Central = \frac{Limite\ Inferior + Limite\ Superior}{2}$$

**Ecuación 3-1:** Ecuación para determinar la frecuencia central del ancho de banda de un canal

- 869 MHz a 870 MHz

$$Frecuencia\ Central = \frac{869\ MHz + 870\ MHz}{2}$$

$$Frecuencia\ Central = 869,5\ MHz$$

- 870 MHz a 880 MHz

$$Frecuencia\ Central = \frac{870\ MHz + 880\ MHz}{2}$$

$$Frecuencia\ Central = 875\ MHz$$

- 890 MHz a 891,5 MHz

$$Frecuencia\ Central = \frac{890\ MHz + 891,5\ MHz}{2}$$

$$Frecuencia\ Central = 890,75\ MHz$$

Estas frecuencias representan los canales utilizados por la operadora CONECEL, para la transmisión y recepción de señales en tecnologías móviles, como GSM, servicio de datos, entre otros.

Si bien el cálculo de la frecuencia central se realiza como parte integral de este estudio, es importante destacar que su relevancia principal radica en su potencial aplicación en futuros estudios, especialmente en el contexto del cálculo del SAR (Tasa de Absorción Específica) y otros análisis relacionados con la exposición a campos electromagnéticos.

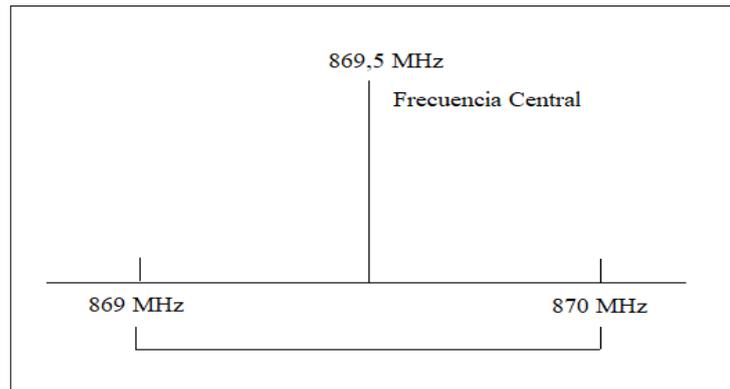
**Tabla 3-2:** Canales centrales dowlink monitoreados con el equipo NARDA SRM-3006

| <b>Banda GSM</b> | <b>Ancho de Banda de canal (MHz)</b> | <b>Frecuencia central o de operación del canal (MHz)</b> |
|------------------|--------------------------------------|--|
| <b>GSM 850</b>   | 869 – 870                            | 869,5  |
|                  | 870-880                              | 875  |
|                  | 890- 891,5                           | 890,75   |

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

En la Tabla 3-2 se detalla la frecuencia central de cada canal con un ancho de banda de 1 MHz, para el rango de frecuencia de 869 MHz a 870 MHz, de 10 MHz para el rango de frecuencia de 870 MHz a 880 MHz y de 1,5 MHz para el rango de frecuencia de 890 MHz a 891,5 MHz.

En la Ilustración 3-4, se muestra a manera de ejemplo el intervalo de 0,5 MHz antes y después de la frecuencia central para el primer rango de frecuencia seleccionado.



**Ilustración 3-4:** Rango de frecuencia de 869 MHz a 870 MHz con ancho de banda de 1 MHz

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

### 3.3 Equipo de medición NARDA SRM 3006 y su relación con el software

El NARDA SRM 3006 es un dispositivo avanzado diseñado para medir campos electromagnéticos. Este equipo se utiliza con el propósito de evaluar la seguridad en entornos laborales en relación con la exposición a dichos campos. El dispositivo puede ser controlado y configurado mediante un software especializado proporcionado por el fabricante.

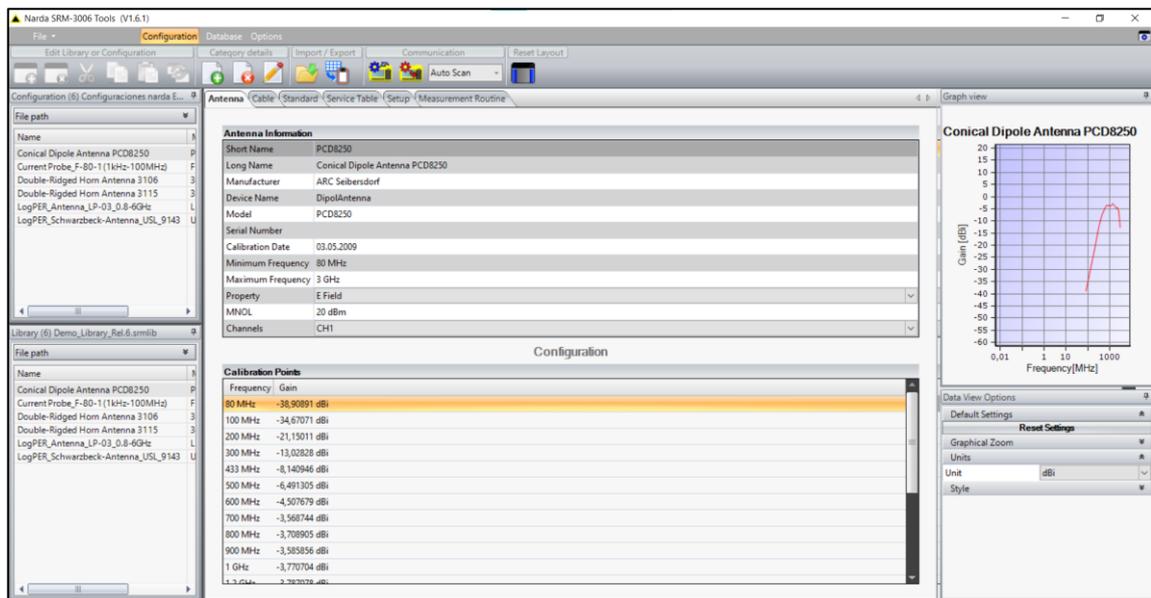
Esta capacidad facilita a los usuarios ajustar parámetros de medición, seleccionar frecuencias específicas y realizar otras configuraciones relevantes.

### 3.3.1 Descarga de paquetes y drivers

Se descargaron e instalaron paquetes de drivers, incluyendo archivos como Narda Tools, firmware y drivers. Este proceso sirve para la comunicación entre el equipo NARDA y el software Tools propio del mismo. También, este software Tools sirve para realizar actualizaciones de firmware en el equipo.

### 3.3.2 Interfaz gráfica intuitiva

El software presenta una interfaz gráfica que simplifica la interacción visual. La barra de herramientas ofrece secciones específicas para realizar configuraciones. Su diseño facilita la modificación y creación de configuraciones, como la edición de tablas de servicio, como se muestra en la Ilustración 3-5.

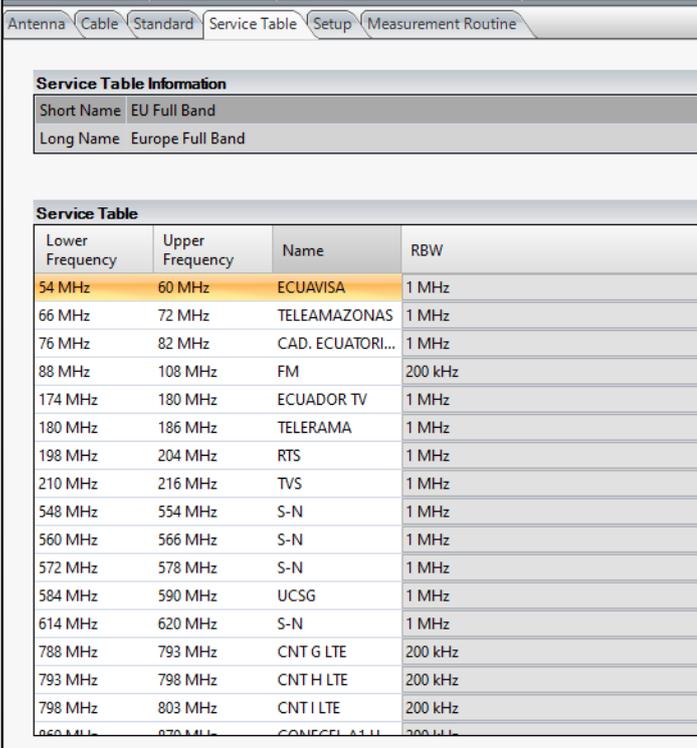


**Ilustración 3-5:** Exploración de la interfaz de usuario

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

### 3.3.3 Configuraciones específicas

En la Ilustración 3-6, se observa la edición de la tabla de servicio ya creada denominada "Europe Full Band" en la que se asignaron las 39 frecuencias seleccionadas para la investigación, incluyendo las 3 frecuencias objeto de estudio. Asimismo, se seleccionó el estándar ICNIRP 1998 General Public para basar las mediciones, con una duración de 6 minutos.



| Lower Frequency | Upper Frequency | Name             | RBW     |
|-----------------|-----------------|------------------|---------|
| 54 MHz          | 60 MHz          | ECUAVISA         | 1 MHz   |
| 66 MHz          | 72 MHz          | TELEAMAZONAS     | 1 MHz   |
| 76 MHz          | 82 MHz          | CAD. ECUATORI... | 1 MHz   |
| 88 MHz          | 108 MHz         | FM               | 200 kHz |
| 174 MHz         | 180 MHz         | ECUADOR TV       | 1 MHz   |
| 180 MHz         | 186 MHz         | TELERAMA         | 1 MHz   |
| 198 MHz         | 204 MHz         | RTS              | 1 MHz   |
| 210 MHz         | 216 MHz         | TVS              | 1 MHz   |
| 548 MHz         | 554 MHz         | S-N              | 1 MHz   |
| 560 MHz         | 566 MHz         | S-N              | 1 MHz   |
| 572 MHz         | 578 MHz         | S-N              | 1 MHz   |
| 584 MHz         | 590 MHz         | UCSG             | 1 MHz   |
| 614 MHz         | 620 MHz         | S-N              | 1 MHz   |
| 788 MHz         | 793 MHz         | CNT G LTE        | 200 kHz |
| 793 MHz         | 798 MHz         | CNT H LTE        | 200 kHz |
| 798 MHz         | 803 MHz         | CNT I LTE        | 200 kHz |
| 860 MHz         | 870 MHz         | CONCELA...       | 200 kHz |

**Ilustración 3-6:** Personalización de la Tabla de Servicio  
Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

### 3.3.4 Configuración del procedimiento "PRUEBA 11" en el equipo Narda

Se accedió a la configuración preexistente "PRUEBA 11" generada desde el equipo Narda. Esta configuración comprendía todos los elementos y características necesarios para la medición, como la unidad de medida (V/m), la resolución de ancho de banda (RBW), entre otros, como se observa en la Ilustración 3-7.

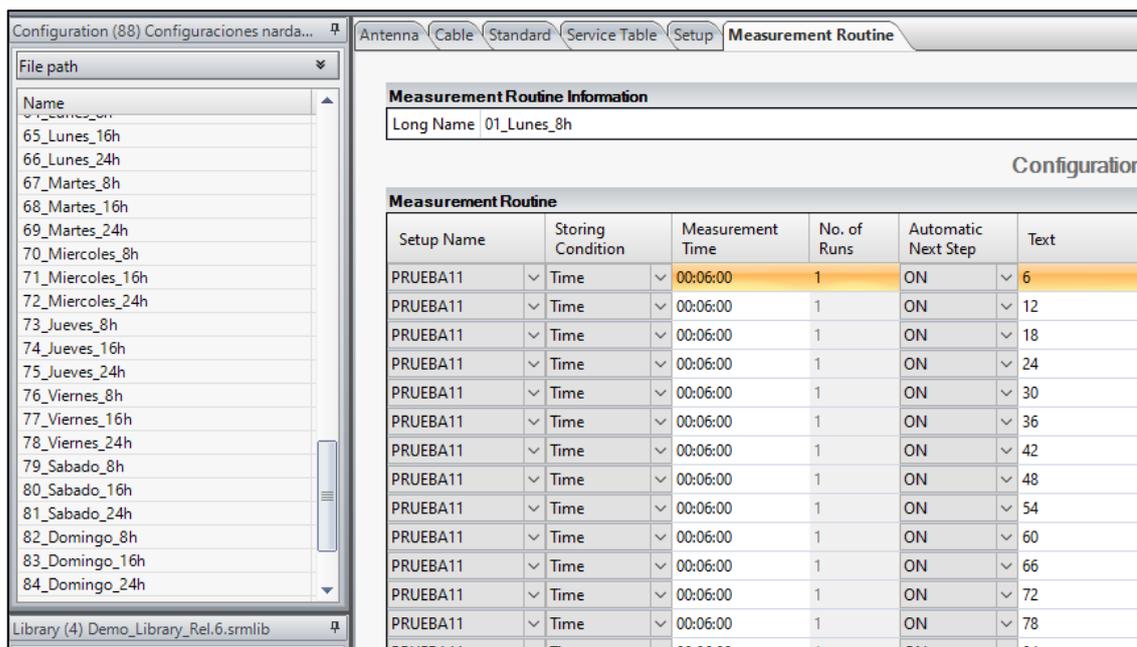
| Setup Information                   |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| Long Name                           | PRUEBA11                        |
| Configuration                       |                                 |
| Details                             |                                 |
| Starting Mode                       | Safety                          |
| Unit                                | V/m                             |
| Measurement Range (MR)              | 6 dBm                           |
| RBW                                 | 200 kHz                         |
| RBW Setting                         | Manual                          |
| Distribution                        | Off                             |
| Marker                              | Off                             |
| Keep Marker                         | Off                             |
| View                                | Table                           |
| Antenna used                        | Three-Axis Antenna 27MHz - 3GHz |
| Cable used                          | ---                             |
| Service Table used                  | Europe Full Band                |
| Standard used                       | ICNIRP 1998 General Public      |
| Result Type Act (Actual)            | Off                             |
| Result Type Max (Maximum)           | On                              |
| Result Type MxAvg (Maximum Average) | Off                             |
| Result Type Avg (Average)           | On                              |
| Result Type MnAvg (Minimum Average) | Off                             |
| Result Type Min (Minimum)           | On                              |
| Result Type Std (Standard)          | Off                             |

**Ilustración 3-7:** Creación de la configuración llamada PRUEBA 11

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

### 3.3.5 Rutinas de medición

Un aspecto significativo fue la utilización del apartado denominado "Rutinas de Medición". Este facilitó la ejecución automatizada de la rutina de mediciones donde su configuración fue para que completara un ciclo de ocho horas, tres veces al día, totalizando 84 rutinas de medición, para cumplir con los 28 días de medición consecutivamente. Esta funcionalidad simplificó considerablemente la tarea de realizar mediciones y almacenar datos de manera sistemática. La forma como se configuró estas rutinas de medición se muestra en la Ilustración 3-8.



**Ilustración 3-8:** Creación de Rutina de Mediciones

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

### 3.4 Mediciones del campo eléctrico en las instalaciones de la ESPOCH

#### 3.4.1 Mediciones del campo eléctrico durante 28 días consecutivos

La fase de recolección de datos constituye un componente fundamental de esta investigación, centrada en la evaluación continua del campo eléctrico durante un período de 28 días consecutivos.

El proceso de medición se lo realizó en el lugar que se observa en la Ilustración 3-2, donde se inició el lunes 20 de noviembre de 2023, a las 00:00 horas, y concluyó el domingo 17 de diciembre de 2023, a las 24:00 horas.

#### 3.4.2 Programación de la rutina de medición “PRUEBA 11”:

Siguiendo la estructura de las rutinas de medidas, cada ocho horas se procedió a la configuración del equipo NARDA SRM 3006, seleccionando una nueva rutina de medidas, como se observa en la Ilustración 3-9. Este ciclo se repitió de manera consistente a lo largo de las cuatro semanas, totalizando así 28 días consecutivos. Cabe destacar que, en cada jornada de un día, se obtuvieron 240 datos, conforme a la recomendación de la ICNIRP, que prescribe mediciones de 6 minutos como estándar.

| Bateria: 24.01.24         | GPS: 1°38'22.4" S | Antena: 78°40'33.8" W | TabSr.: EU Full Band |  |
|---------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|--|
| 10:31:23                  |                   | Cable:                | Estan.: ICNIRP GF    |  |
| Vista de Tabla: Detallada |                   |                       |                      |  |
| Índice                    | Servicio          | Fmin                  | Fmax                 | Maximo                                     |
| 1                         | ECUAVISA          | 54.000 000 MHz        | 60.000 000 MHz       | -56.02 dBm                                 |
| 2                         | TELEAMAZONAS      | 66.000 000 MHz        | 72.000 000 MHz       | -57.24 dBm                                 |
| 3                         | CAD. ECUATORI...  | 76.000 000 MHz        | 82.000 000 MHz       | -56.71 dBm                                 |
| 4                         | FM                | 88.000 000 MHz        | 108.000 000 MHz      | -52.74 dBm                                 |
| 5                         | CONECCEL A1 U...  | 869.000 000 MHz       | 870.000 000 MHz      | 62.58 mV/m                                 |
| 6                         | CONECCEL A2 U...  | 870.000 000 MHz       | 880.000 000 MHz      | 203.0 mV/m                                 |
| 7                         | RTS               | 198.000 000 MHz       | 204.000 000 MHz      | -55.73 dBm                                 |
| 8                         | CONECCEL A3 U...  | 890.000 000 MHz       | 891.500 000 MHz      | 75.86 mV/m                                 |
| 9                         | S-N               | 548.000 000 MHz       | 554.000 000 MHz      | -56.05 dBm                                 |
|                           | Otros             |                       |                      | -32.65 dBm                                 |
|                           | Total             |                       |                      | -32.13 dBm                                 |
| Eje Individ.              |                   |                       |                      |  |
| Safety Evaluation         |                   |                       |                      |  |
| MR:                       | 6 dBm             | RBW:                  | 200 kHz              | Tiem.Barrido: 429 ms                       |
|                           |                   |                       |                      | Progreso: <input type="text" value="77"/>  |
|                           |                   |                       | Elimin.Ruido:        | Off Num.Ciclos: 77                         |
|                           |                   |                       |                      | Media: 6 min <input type="text" value=""/> |

**Ilustración 3-9:** Guardado de datos cada ocho horas de una nueva configuración de rutinas de medición

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

### 3.5 Exportación de los datos del equipo NARDA a una hoja de cálculo

Una vez que se finalizó las mediciones del campo eléctrico durante los 28 días consecutivos, las 24 horas del día en el equipo NARDA SRM-3006, se realizó la exportación del archivo del software Tools, con los datos de campo eléctrico proporcionados por el equipo, se realiza el siguiente proceso:

1. Se conecta el SRM-3006 y la PC usando un conector tipo USB, del puerto USB que se encuentra en el panel lateral izquierdo del equipo Narda al conector USB del PC, en donde este tipo de conexión es más rápida y utilizada.
2. Se inicializa la aplicación para controlar y administrar la interfaz de la PC y se establece los parámetros de interfaz, que se muestra en la Tabla 3-3:

**Tabla 3-3:** Tabla general de indicaciones sobre exportación de archivos de excel y narda tools

| Parámetros           | Configuraciones  |
|----------------------|--|
| Puerto COM           | Óptico o USB, según se seleccione según la conexión realizada          |
| Velocidad de baudios | 115200 baudios   |
| Bits de inicio       | 1  |
| Bits de datos        | 8  |
| Bits de parada       | 1  |
| Paridad              | Ninguno  |
| Handshake            | Ninguno (el SRM-3006 no admite ningún protocolo de enlace de software) |

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

3. Se configura la interfaz adecuada en el SRM-3006:

- Abrir el menú **Configuración** (Menú principal, Configuración), se selecciona el comando **Interfaz remota** y presionamos **OK** para confirmar.
  - Utilizar el control giratorio para seleccionar la interfaz que se utiliza en el SRM-3006: óptica si está utilizando el cable óptico, USB si está utilizando un cable USB.
  - Pulsar **OK** para confirmar la configuración.
4. Una vez ya establecida la conexión, se extrae los archivos en formato Excel con una extensión de tipo **.XLS**, del software del equipo Narda hacia la PC.
- Este documento contiene fundamentalmente el valor **Máximo**, **Mínimo** y **Promedio** del campo eléctrico medido.
  - También se detallan parámetros como: la frecuencia mínima y máxima en Hz configurados inicialmente, la fecha y el tiempo de medición, el código SRM-3006, las unidades de medida en nuestro caso V/m, el Nombre de la Tabla de Servicio entre otros.

En la Ilustración 3-10, se observa la información obtenida del equipo NARDA en la extensión **.XLS** de Excel.

| A  | B                  | C         | D        | E           | F           | G         | H           | I         | J           | K         | L | M |
|----|--------------------|-----------|----------|-------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|---|---|
| 42 | Display            | TABLE     |          |             |             |           |             |           |             |           |   |   |
| 43 | Sweep Count        | 239       |          |             |             |           |             |           |             |           |   |   |
| 44 | Sweep Time         | 1508      |          |             |             |           |             |           |             |           |   |   |
| 45 | Avg Progress       | 100       |          |             |             |           |             |           |             |           |   |   |
| 46 | No Savg            | 0         |          |             |             |           |             |           |             |           |   |   |
| 47 | Number User        | 3         |          |             |             |           |             |           |             |           |   |   |
| 48 | Result Type(s)     |           |          |             | MAX         |           | AVG         |           | MIN         |           |   |   |
| 49 | Overdriven         |           |          |             | NO          |           | NO          |           | NO          |           |   |   |
| 50 | Total Value [V/m]  |           |          |             | 3,85        |           | 3,62        |           | 3,525       |           |   |   |
| 51 | Total Noise Flag   |           |          |             | UNCHECKED   |           | UNCHECKED   |           | UNCHECKED   |           |   |   |
| 52 | Others Value [V/m] |           |          |             | 3,087       |           | 3,043       |           | 3,001       |           |   |   |
| 53 | Others Noise Flag  |           |          |             | UNCHECKED   |           | UNCHECKED   |           | UNCHECKED   |           |   |   |
| 54 | Number Values      |           |          |             | 39          |           | 39          |           | 39          |           |   |   |
| 55 | Fmin [Hz]          | Fmax [Hz] | RBW [Hz] | ServiceName | Value [V/m] | NoiseFlag | Value [V/m] | NoiseFlag | Value [V/m] | NoiseFlag |   |   |
| 56 | 54000000           | 60000000  | 1000000  | ECUAVISIA   | 0,8827      | UNCHECKED | 0,7267      | UNCHECKED | 0,6125      | UNCHECKED |   |   |
| 57 | 66000000           | 72000000  | 1000000  | TELEAMAZON  | 0,6724      | UNCHECKED | 0,5765      | UNCHECKED | 0,4636      | UNCHECKED |   |   |
| 58 | 76000000           | 82000000  | 1000000  | CAD. ECUATI | 0,6144      | UNCHECKED | 0,5126      | UNCHECKED | 0,4177      | UNCHECKED |   |   |
| 59 | 88000000           | 108000000 | 200000   | FM          | 0,8665      | UNCHECKED | 0,8001      | UNCHECKED | 0,7309      | UNCHECKED |   |   |
| 60 | 174000000          | 180000000 | 1000000  | ECUADOR TV  | 0,3362      | UNCHECKED | 0,282       | UNCHECKED | 0,2315      | UNCHECKED |   |   |
| 61 | 180000000          | 186000000 | 1000000  | TELERAMA    | 0,3341      | UNCHECKED | 0,2773      | UNCHECKED | 0,2183      | UNCHECKED |   |   |
| 62 | 198000000          | 204000000 | 1000000  | RTS         | 0,293       | UNCHECKED | 0,2502      | UNCHECKED | 0,2079      | UNCHECKED |   |   |
| 63 | 210000000          | 216000000 | 1000000  | TVS         | 0,2824      | UNCHECKED | 0,2486      | UNCHECKED | 0,1953      | UNCHECKED |   |   |
| 64 | 548000000          | 554000000 | 1000000  | S-N         | 0,2128      | UNCHECKED | 0,1775      | UNCHECKED | 0,1487      | UNCHECKED |   |   |
| 65 | 560000000          | 566000000 | 1000000  | S-N         | 0,2045      | UNCHECKED | 0,1732      | UNCHECKED | 0,146       | UNCHECKED |   |   |
| 66 | 572000000          | 578000000 | 1000000  | S-N         | 0,2033      | UNCHECKED | 0,1727      | UNCHECKED | 0,1457      | UNCHECKED |   |   |
| 67 | 584000000          | 590000000 | 1000000  | UCSG        | 0,1988      | UNCHECKED | 0,1684      | UNCHECKED | 0,1354      | UNCHECKED |   |   |
| 68 | 614000000          | 620000000 | 1000000  | S-N         | 0,2022      | UNCHECKED | 0,1678      | UNCHECKED | 0,1361      | UNCHECKED |   |   |
| 69 | 788000000          | 793000000 | 200000   | CNT G LTE   | 0,8155      | UNCHECKED | 0,3044      | UNCHECKED | 0,1245      | UNCHECKED |   |   |

**Ilustración 3-10:** Formato de Excel en la exportación de datos desde el Software Narda Tools

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

5. Luego se crea una tabla en una hoja de Excel con extensión .XLSX que permite almacenar y organizar los datos, esta información se detalla de la siguiente manera:

- Longitud y latitud del lugar específico donde se realiza las mediciones:
  - Longitud: 78°40'49.4" W
  - Latitud: 1° 39' 20.8" S
- Altura de la antena sobre el piso: 1,5 m
- Día de medición: esto depende del día en que se encuentre midiendo el equipo NARDA
- Altura sobre el nivel del mar: 2818 m
- Ubicación: Escuela de Ciencias Pecuarias
- Ítem de la medición efectuada (debe existir un total de 240 ítems por día)
- La Hora de inicio y final de cada medición (cada 6 minutos como está considerado en las recomendaciones de la ITU –T k.52 e ITU k.61)
- El código SRM-3006
- El rango de frecuencia GSM – 850 (MHz)
- Finalmente, el valor Promedio del campo eléctrico en unidades de medida V/m

En la Ilustración 3-11, se muestra la organización de los datos de manera detallada con los parámetros mencionados anteriormente.

| MEDICIONES DE CAMPO ELECTRICO DURANTE 28 DIAS EN LA ESPOCH |               |                         |  | Día: Lunes                      |
|--|---------------|-------------------------|--|---------------------------------|
| Longitud: 78°40'49.4" W                                    |               | Latitud: 1° 39' 20.8" S |  | Fecha: 20 de Noviembre del 2023 |
| Altura de la antena sobre el piso: 1,5 m                   |               |                         | Altura sobre el nivel del mar: 2818 m        |                                 |
| Distancia antena transmisora al SRM-3000: 80 m             |               |                         | Ubicación: PB- Escuela de Ciencias Pecuarias |                                 |
| Item   | HORA          | Codigo SRM -3000        | Frecuencia GSM -850 (MHz)                    | Promedio E(V/m)                 |
| 1  | 00h00 - 00h06 | 1.1                     | 869 - 870                                    | 0,0618                          |
|  |               |                         | 870 - 880                                    | 0,2058                          |
|  |               |                         | 890 - 891.5                                  | 0,07932                         |
| 2  | 00h06 - 00h12 | 1.2                     | 869 - 870                                    | 0,06099                         |
|  |               |                         | 870 - 880                                    | 0,2062                          |
|  |               |                         | 890 - 891.5                                  | 0,07871                         |
| 3  | 00h12 - 00h18 | 1.3                     | 869 - 870                                    | 0,06328                         |
|  |               |                         | 870 - 880                                    | 0,2072                          |
|  |               |                         | 890 - 891.5                                  | 0,07768                         |
| 4  | 00h18 - 00h24 | 1.4                     | 869 - 870                                    | 0,06173                         |
|  |               |                         | 870 - 880                                    | 0,206                           |
|  |               |                         | 890 - 891.5                                  | 0,08021                         |
| 5  | 00h24 - 00h30 | 1.5                     | 869 - 870                                    | 0,06163                         |
|  |               |                         | 870 - 880                                    | 0,2071                          |
|  |               |                         | 890 - 891.5                                  | 0,07838                         |
| 6  | 00h30 - 00h36 | 1.6                     | 869 - 870                                    | 0,06318                         |
|  |               |                         | 870 - 880                                    | 0,2081                          |
|  |               |                         | 890 - 891.5                                  | 0,07752                         |

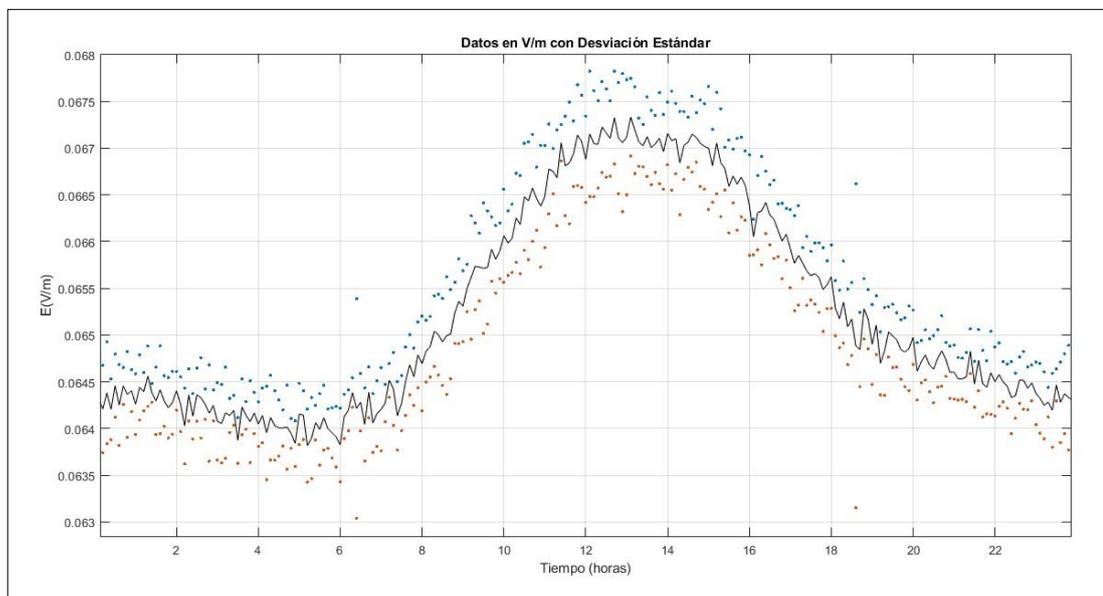
**Ilustración 3-11:** Formato para el almacenamiento y ordenamiento de los datos obtenidos durante las 4 semanas en las 3 frecuencias

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

### 3.6 Aplicación del modelo matemático para los tres rangos de frecuencia propuestos. (los seleccionados son: 869 – 870 MHz, 870-880 MHz, 890-891,5 MHz)

#### 3.6.1 Obtención de los valores medio y desviación estándar

A continuación, se va a aplicar el modelo matemático para el primer rango de frecuencia de 869 MHz a 870 MHz. Después de completar la exportación total de los datos, se obtuvieron 6720 datos discretos por cada rango de frecuencia medido, durante los 28 días consecutivos; es decir, se generaron 240 datos discretos por cada día de la semana. Para obtener el valor promedio de un día (240 datos) se realizó el promedio de los 28 días a la misma hora cada 6 minutos desde las 00h00 hasta las 24h00, dando como resultado la gráfica de la Ilustración 3-12.

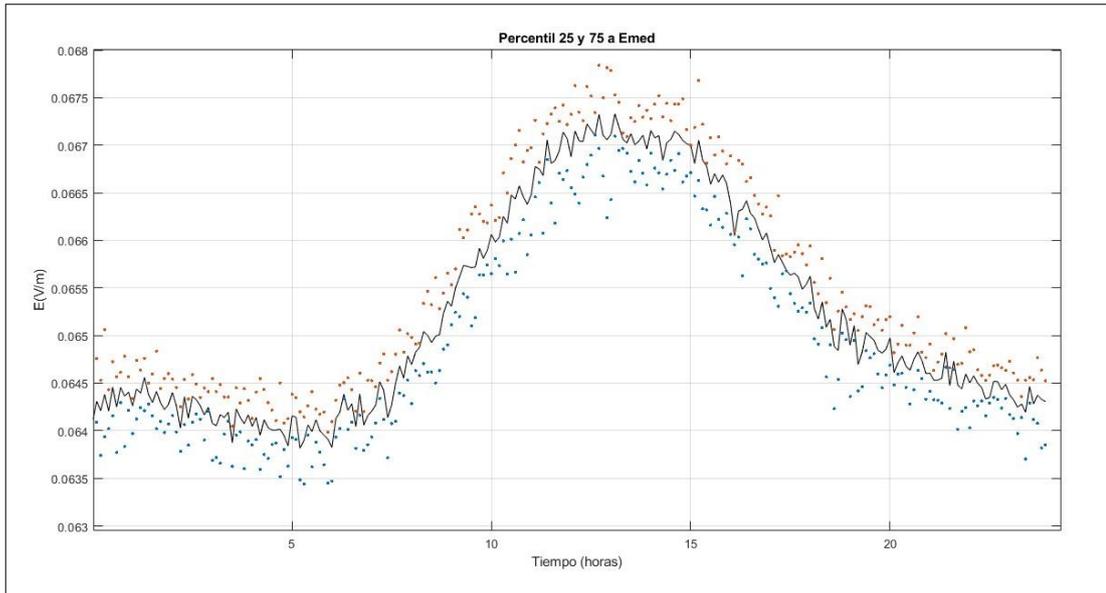


**Ilustración 3-12:** Gráfica de la aplicación de la desviación estándar (color azul y rojo) a los datos discretos de campo eléctrico medio (color negro)

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

#### 3.6.2 Aplicación del percentil 25 y 75

A las señales discretas de la ilustración 3-12, se procede aplicar el percentil 25 y 75 con la finalidad de eliminar los valores atípicos, como se muestra en la Ilustración 3-13.

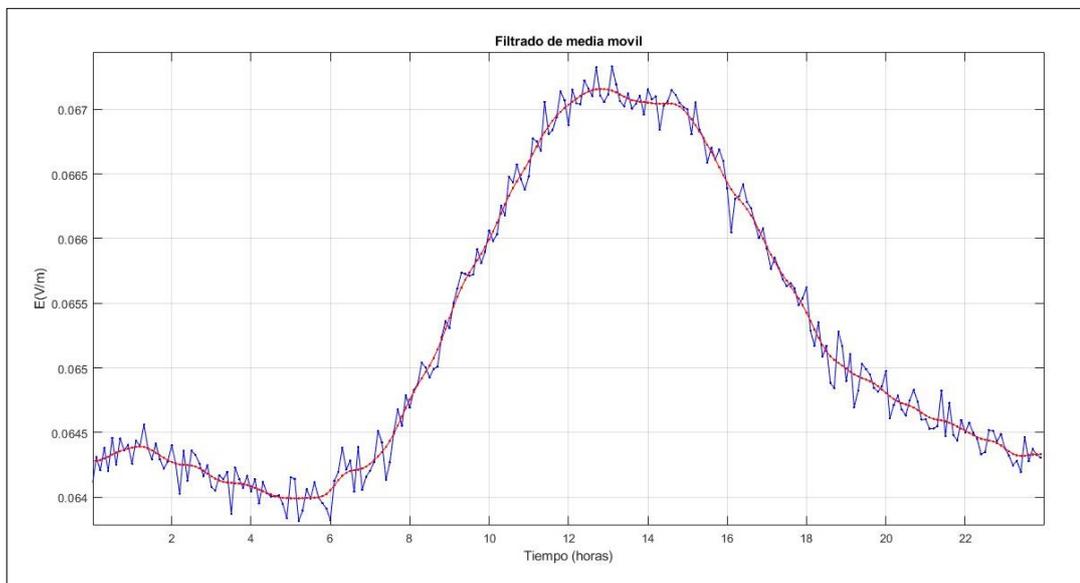


**Ilustración 3-13:** Gráfica de la aplicación de los percentiles 25 y 75 a los datos discretos de la desviación estándar (color rojo y azul)

**Realizado por:** Martínez y Quintuña, 2024

### 3.6.3 Aplicación de la media móvil

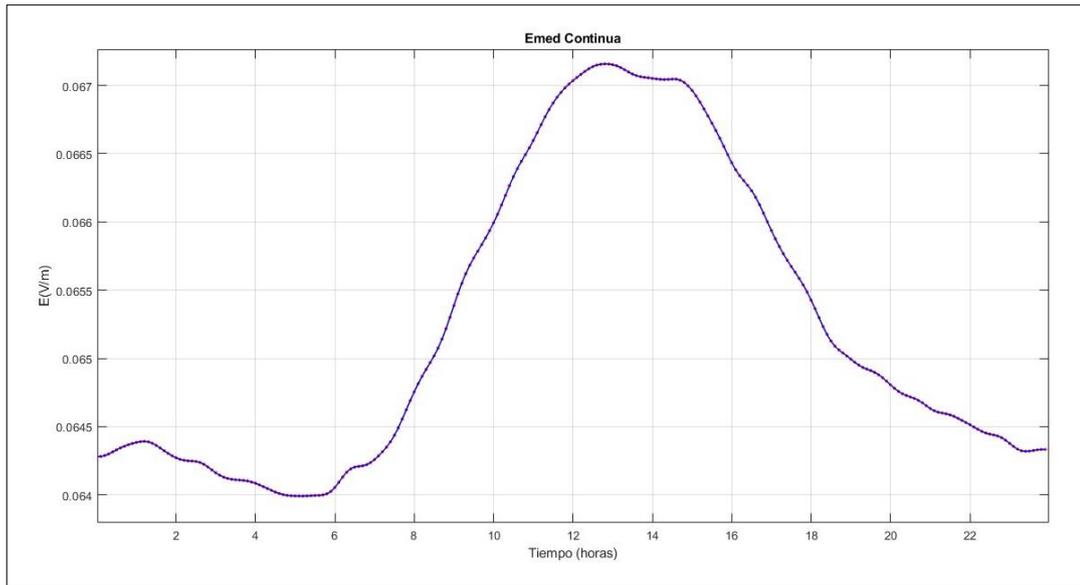
Utilizando el procedimiento de la media móvil previa explicada en la sección 2.12.2.3, y a partir de la Ilustración 3-13, valor medio (señal de color negro), se obtiene como resultado la señal suavizada discreta, como se observa en la Ilustración 3-14.



**Ilustración 3-14:** Gráfica de la aplicación de la media móvil para el suavizado de la señal de los datos discretos del campo eléctrico medio (color azul)

**Realizado por:** Martínez y Quintuña, 2024

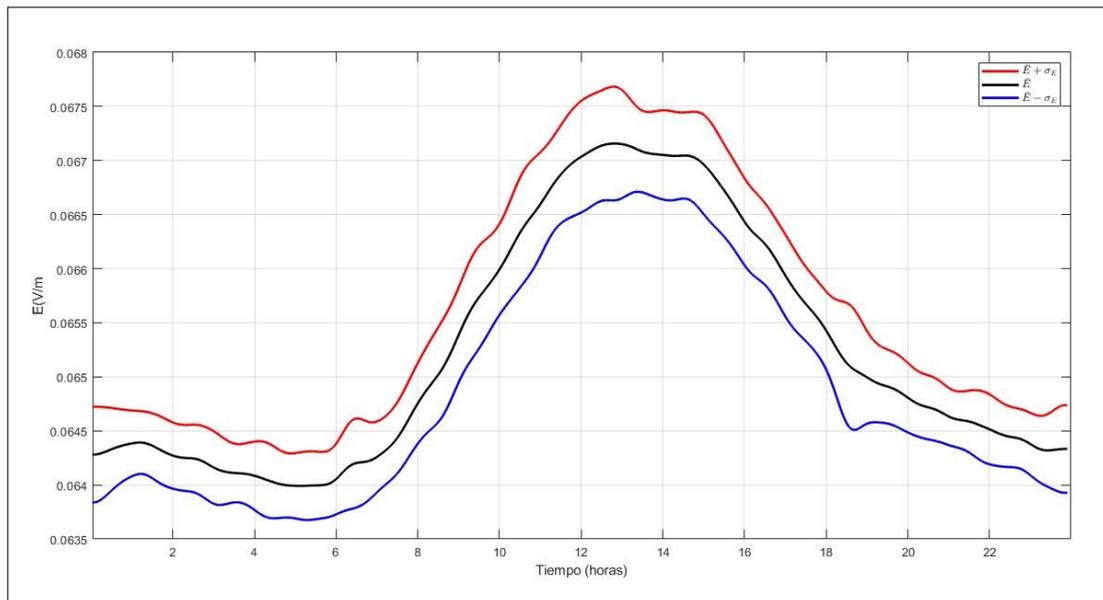
### 3.6.4 Conversión de la señal discreta a continua



**Ilustración 3-15:** Gráfica de la conversión de la señal discreta a continua mediante el método de spline cúbico.

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

A partir de la Ilustración 3-14, para convertir la señal discreta a continua, se aplica el método de splines cúbico utilizando una función directa del Matlab, como se observa en la Ilustración 3-15.



**Ilustración 3-16:** Gráfica de la aplicación de la media móvil y el método de splines cúbico a las señales del valor medio y sus respectivas desviaciones estándar (869 MHz a 870 MHz)

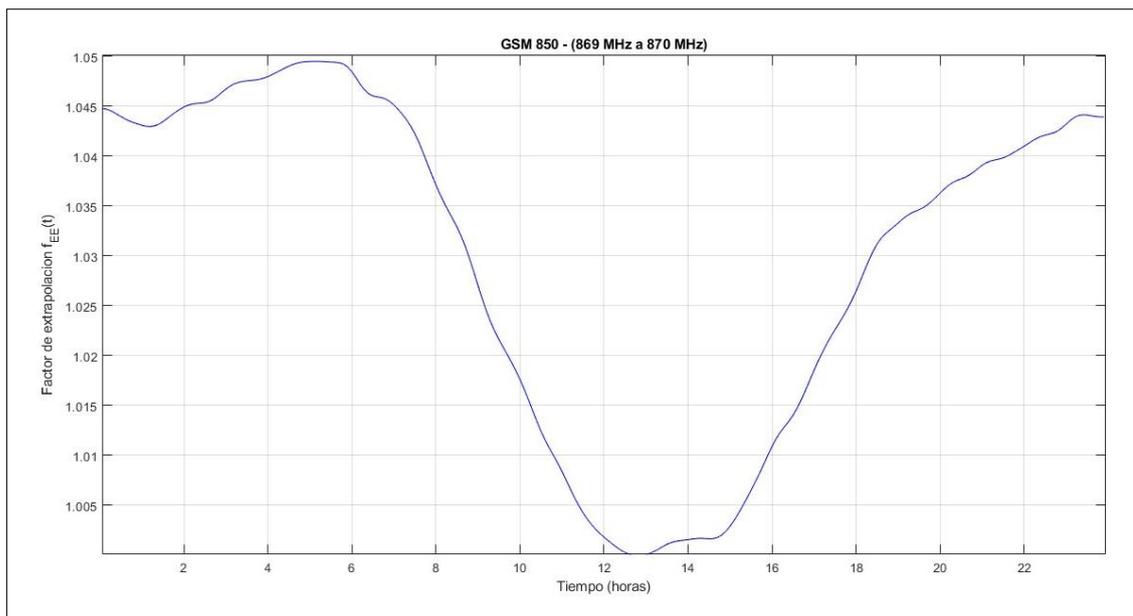
Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

Finalmente, el valor medio semanal durante las 24 horas del día representa la señal continua que se muestra en la Ilustración 3-15.

El mismo procedimiento se aplica a las señales de la desviación estándar positiva y negativa, dando como resultado, las señales del valor medio y sus respectivas desviaciones estándar, mostrados en la Ilustración 3-16.

### 3.6.5 Factores de extrapolación $f_{EE}(t)$ y $f_{\sigma E}(t)$

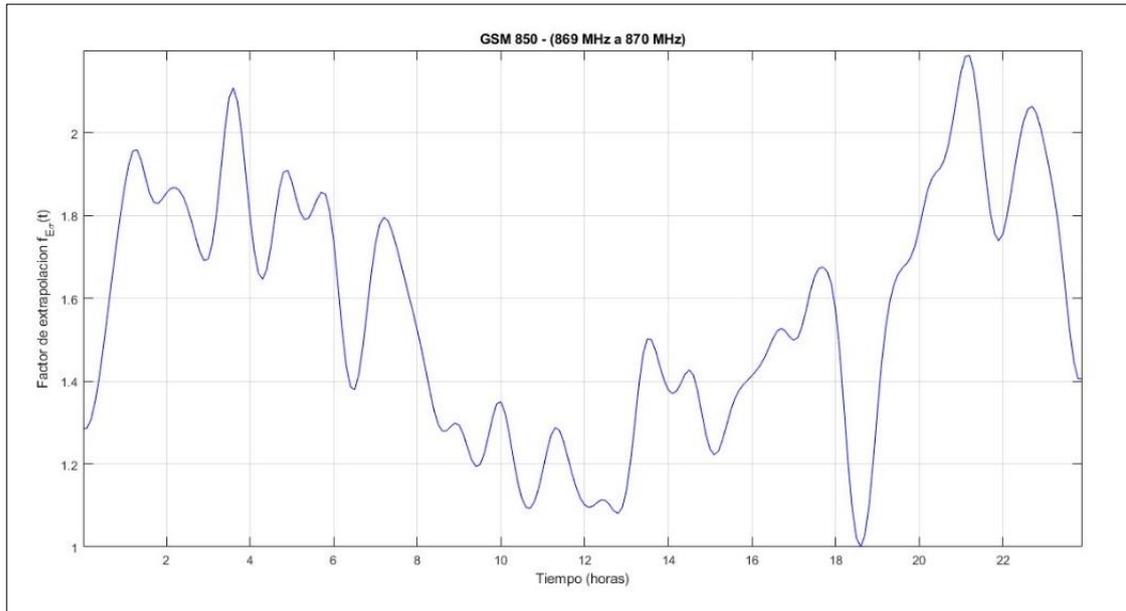
A partir del valor medio (color negro) mostrado en la Ilustración 3-16 y utilizando la ecuación 2-9, se obtiene el factor de extrapolación del campo eléctrico  $f_{EE}(t)$ , como se indica en la Ilustración 3-17.



**Ilustración 3-17:** Factor de extrapolación del campo eléctrico  $f_{EE}(t)$  para la frecuencia de 869 MHz a 870 MHz

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

De la misma manera, a partir de los valores de la desviación estándar (color rojo y azul) mostrado en la Ilustración 3-16 y utilizando la ecuación 2-10, se obtiene el factor de extrapolación de la desviación estándar  $f_{\sigma E}(t)$ , como se indica en la Ilustración 3-18.



**Ilustración 3-18:** Factor de extrapolación de la desviación estándar  $f_{\sigma E}(t)$  para la frecuencia de 869 MHz a 870 MHz

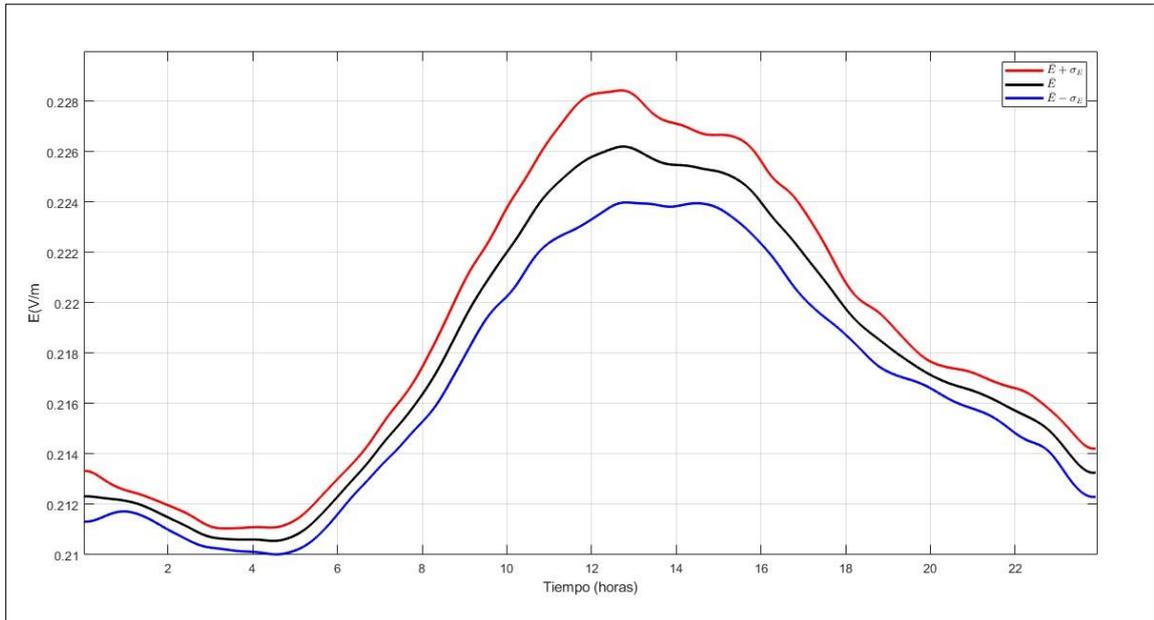
Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

### 3.6.6 Obtención del valor máximo $E_{max}$ de campo eléctrico

Con los factores de extrapolación mostradas en las Ilustraciones 3-17 y 3-18 y la ecuación 2-11, se determina el valor máximo semanal a partir de una medición instantánea en cualquier instante del día; es decir, para obtener el campo eléctrico máximo  $E_{max}$ , el usuario realiza mediciones de campo eléctrico utilizando el equipo NARDA SRM-3006, a la misma hora del día por el lapso de 6 minutos y en el mismo lugar de la ESPOCH, durante los 7 días de la semana, obteniéndose un valor promedio  $\bar{E}(t)$  de la intensidad de campo eléctrico y se reemplaza en la ecuación mencionado anteriormente, esto es:

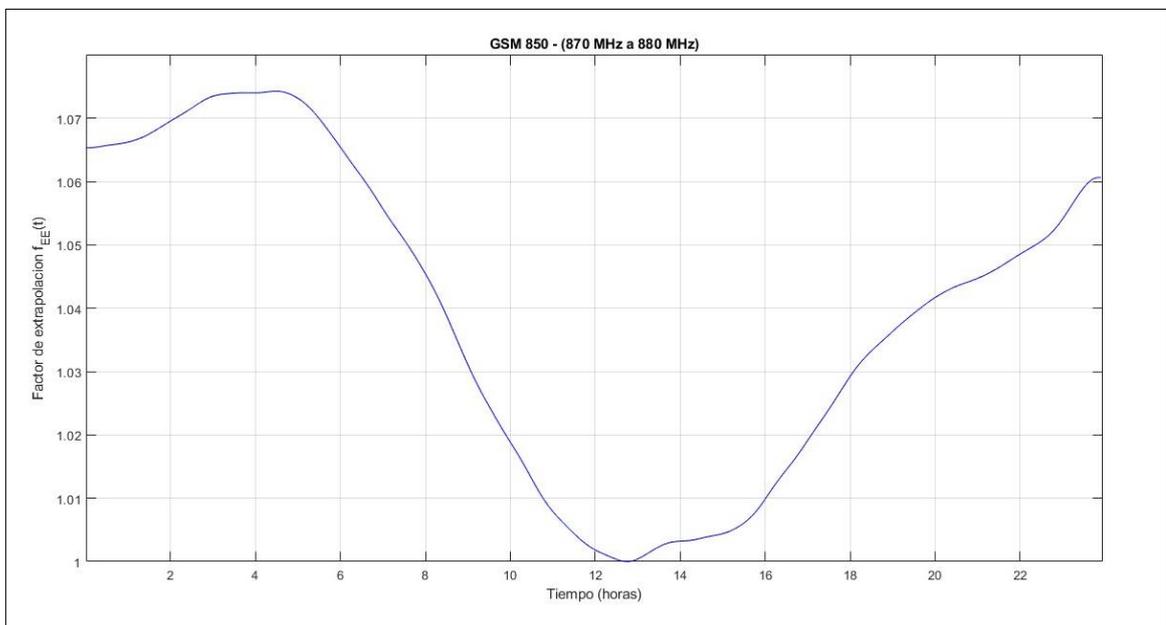
$$E_{max} = \bar{E}(t) [f_{EE}(t) \pm f_{\sigma E}(t)]$$

Se aplica el mismo procedimiento para los dos rangos de frecuencias restantes 870 – 880 MHz y de 890 – 891,5 MHz, cuyos resultados del valor medio con su respectiva desviación estándar y los valores de los factores de extrapolación de campo eléctrico y desviación estándar, se encuentran en las Ilustraciones 3-19, 3-20, 3-21, 3-22, 3-23 y 3-24.



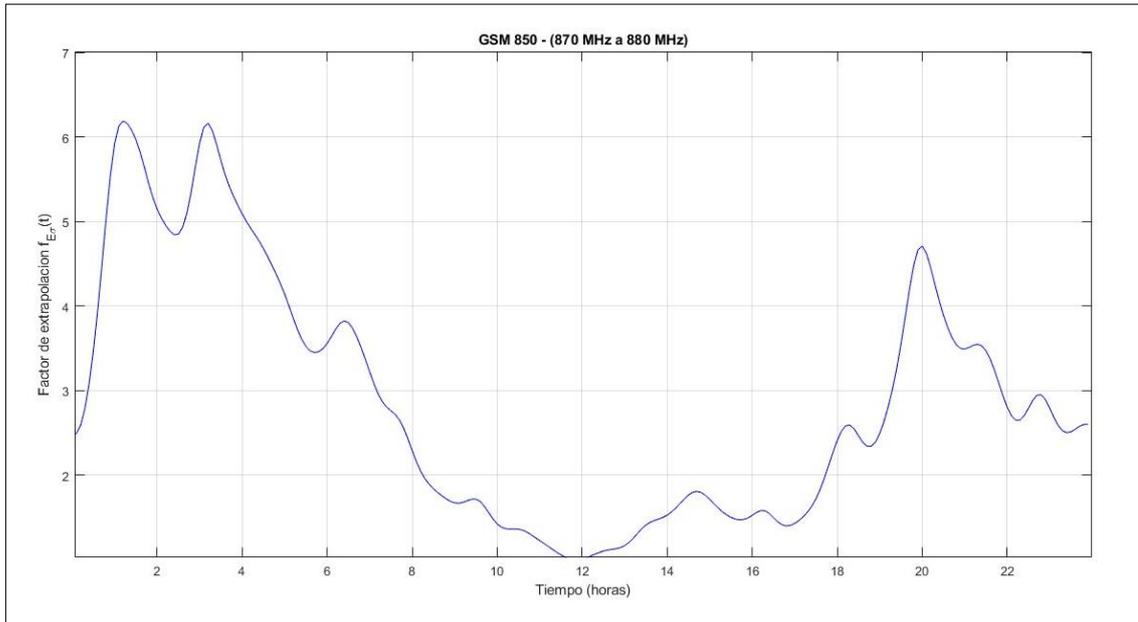
**Ilustración 3-19:** Gráfica de la aplicación de la media móvil y el método de splines cúbico a las señales del valor medio y sus respectivas desviaciones estándar (870 MHz a 880 MHz)

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024



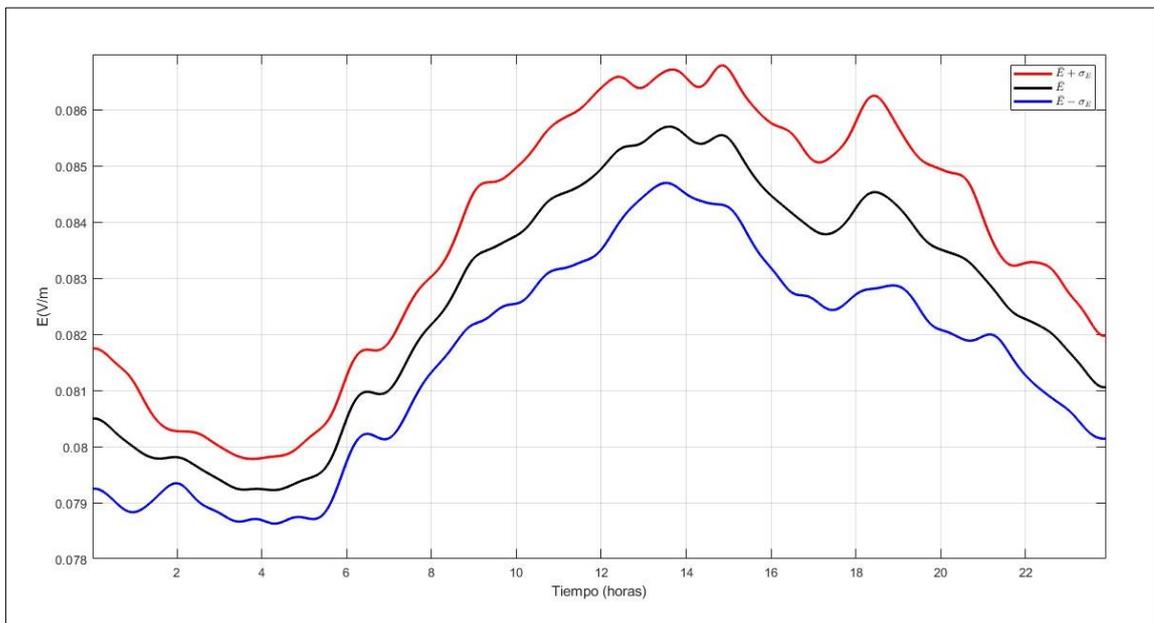
**Ilustración 3-20:** Factor de extrapolación del campo eléctrico  $f_{EE}(t)$  para la frecuencia de 870 MHz a 880 MHz

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024



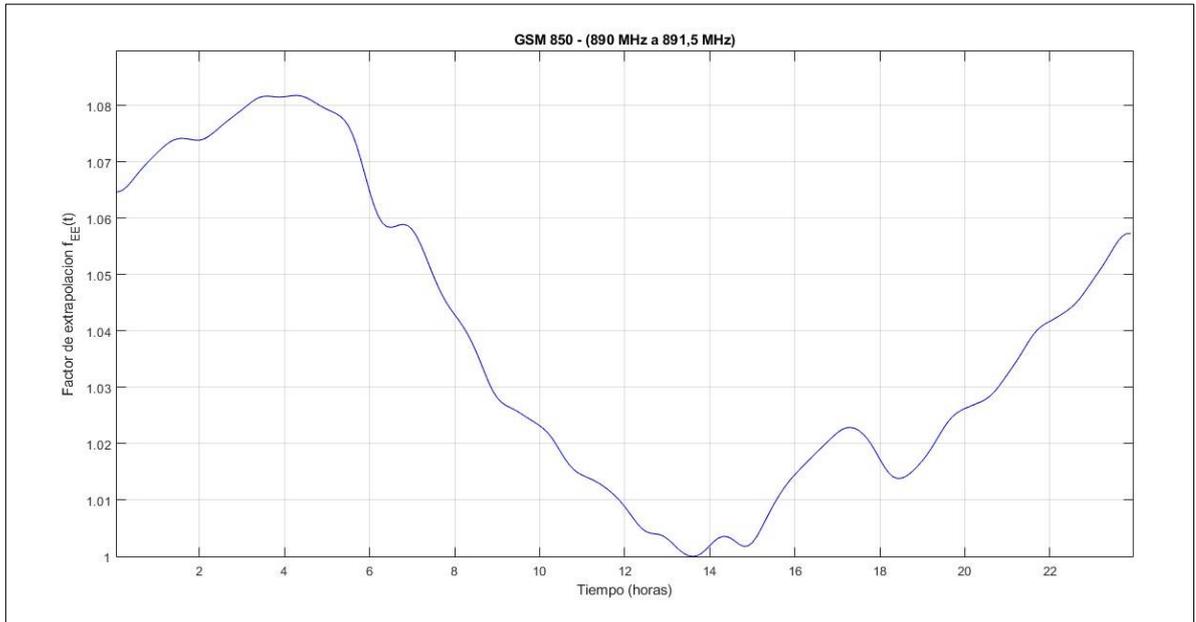
**Ilustración 3-21:** Factor de extrapolación de la desviación estándar  $f_{\sigma E}(t)$  para la frecuencia de 870 MHz a 880 MHz

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024



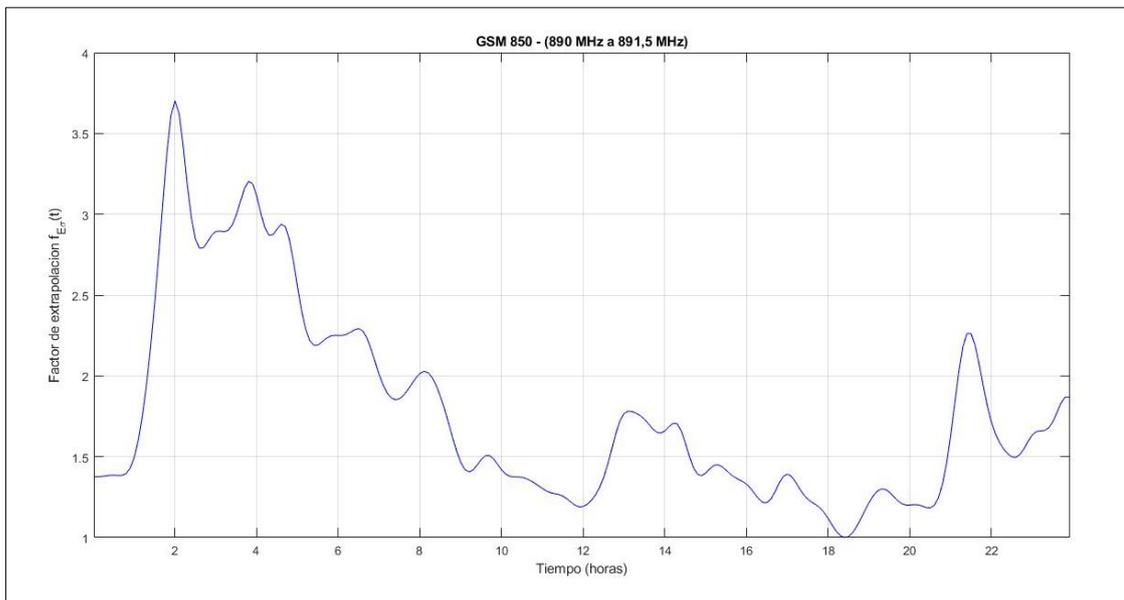
**Ilustración 3-22:** Gráfica de la aplicación de la media móvil y el método de splines cúbico a las señales del valor medio y sus respectivas desviaciones estándar (890 MHz a 891,5 MHz)

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024



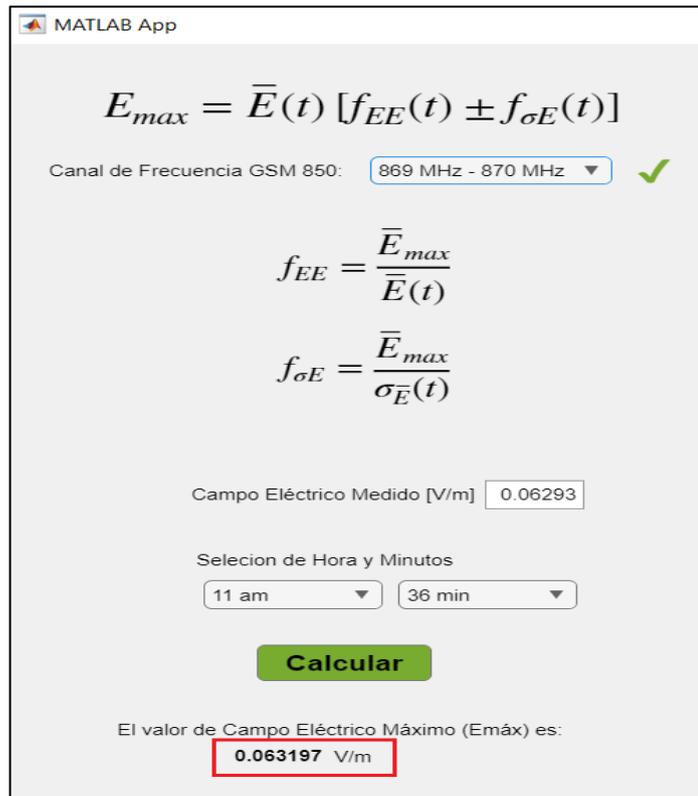
**Ilustración 3-23:** Factor de extrapolación del campo eléctrico  $f_{EE}(t)$  para la frecuencia de 890 MHz a 891,5 MHz

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024



**Ilustración 3-24:** Factor de extrapolación de la desviación estándar  $f_{\sigma E}(t)$  para la frecuencia de 890 MHz a 891,5 MHz

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024



**Ilustración 3-25:** Ejemplo o aplicación de la ecuación del modelo matemático para determinar el campo eléctrico máximo  $E_{max}$  a partir de una medición instantánea en cualquier instante del día y en cualquier lugar de la Epoch

**Realizado por:** Martínez y Quintuña, 2024

A manera de ejemplo, para determinar el valor máximo del campo eléctrico se utiliza la Ecuación 2-11, se procedió a utilizar un programa en Matlab como se muestra en la interfaz gráfica de la Ilustración 3-25. Se selecciona el rango de frecuencia, se ingresa el valor medio instantáneo  $\bar{E}(t)$  y se selecciona el instante a medir, que debe estar en horas y minutos. Como un ejemplo se tiene lo siguiente.

- Se selecciona el rango de frecuencia de 869 MHz a 870 MHz
- Se selecciona el instante de tiempo a medir, en este caso a las 11h36
- Se ingresa el valor medio instantáneo de 0,06293 V/m
- Como resultado se obtiene el valor máximo  $E_{max}$  de campo electrico de 0,063197 V/m

## CAPITULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para el procesamiento de los datos extraídos del equipo NARDA SRM 3006, se utilizó el software Matlab con el objetivo de llevar a cabo un análisis del comportamiento de la intensidad del campo eléctrico de los canales centrales DOWLINK de las bandas GSM 850 seleccionadas. En este contexto, se implementaron diversos procesos estadísticos sobre los datos recopilados, tales como la desviación estándar, percentiles, media móvil previa y los correspondientes factores de extrapolación. Además, se aplicó la conversión de una señal discreta a continua mediante el método de spline cúbico.

Para llevar a cabo las mediciones temporales en las instalaciones de la Espoch, en la ciudad de Riobamba, se han seguido las directrices establecidas por la ARCOTEL, que acoge las recomendaciones de la (UIT-T) K.52 a su vez, cumpliendo con los parámetros establecidos.

Los rangos de frecuencia utilizados en la banda GSM 850 son los que se muestran a continuación:

- CONECEL A1 UMTS (869 MHz -870 MHz)
- CONECEL A2 UMTS (870 MHz – 880 MHz)
- CONECEL A3 UMTS (890 MHz - 891.5 MHz)

El documento generado por el equipo NARDA SRM 3006 proporciona información detallada que abarca parámetros, tales como la Frecuencia Mínima y Máxima, la resolución del ancho de banda (RBW) expresado en Hz, el Nombre del Servicio, así como los resultados clasificados en valores máximos (MAX), mínimos (MIN) y promedio (AVG) expresado en unidades V/m. Además, se incluyen los valores medidos asociados con sus respectivas frecuencias, como se ilustra en la Tablas 4-1 y 4-2.

**Tabla 4-1:** Presentación de los datos extraídos del equipo NARDA SRM-3006 de la medición P-0040\_00001\_00001

|                                |                                 |
|--------------------------------|---------------------------------|
| Type                           | SAFETY                          |
| Store Mode                     | MR_TIME                         |
| Date                           | 20.11.2023                      |
| Time                           | 0:06:14                         |
| Overdriven                     | NO                              |
| GPS Flag                       | Actual                          |
| GPS Quality                    | DPGS                            |
| GPS Fix                        | 3D                              |
| GPS Satellites in Use          | 17                              |
| Altitude [m]                   | 2861                            |
| Latitude                       | 1°39'21,0" S                    |
| Longitude                      | 78°40'49,5" W                   |
| Voice Comment Available        | NO                              |
| Device Serial                  | P-0040                          |
| Device Cal.DateDevice Cal.Date | 17.10.2016                      |
| Device FW Version              | V1.4.1                          |
| Cable Cal.Date                 | 01.01.2029                      |
| Antenna                        | Three-Axis Antenna 27MHz - 3GHz |
| Antenna Serial                 | M-0236                          |
| Antenna Cal.Date               | 19.10.2016                      |
| MR [V/m]                       | 100                             |
| Unit                           | V/m                             |
| WorldUnit                      | B                               |
| WorldUnit Offset               | 33,83214                        |
| Axis                           | RSS                             |
| Standard                       | ICNIRP 1998 General Public      |
| ServiceTable                   | Europe Full Band                |
| IgnoringGaps                   | NO                              |
| RBW Mode                       | MANUAL                          |
| RBW [Hz]                       | 200000                          |
| Avg.Method                     | Time                            |
| Time Avg. [s]                  | 360                             |
| Navg                           | 4                               |
| kNoiseCapFactor [dB]           | 0                               |
| Noise Cap                      | OFF                             |
| Yref [V/m]                     | 1000                            |
| YRange [dB]                    | 120                             |
| DispCond                       | DETAIL                          |
| Display                        | TABLE                           |
| Sweep Counter                  | 239                             |
| Sweep Time [ms]                | 1508                            |
| Avg Progress [%]               | 100                             |
| No Savg                        | 0                               |
| Number Used Result Types       | 3                               |

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

**Tabla 4-2:** Valores medidos asociados con sus respectivas frecuencias

| Fmin [MHz] | Fmax [MHz] | RBW [KHz] | ServiceName      | Value [V/m] | NoiseFlag | Value [V/m] | NoiseFlag | Value [V/m] | NoiseFlag |
|------------|------------|-----------|------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| 869        | 870        | 200       | CONECCEL A1 UMTS | 0,08798     | UNCHECKED | 0,0618      | UNCHECKED | 0,04149     | UNCHECKED |
| 870        | 880        | 200       | CONECCEL A2 UMTS | 0,2319      | UNCHECKED | 0,2058      | UNCHECKED | 0,1772      | UNCHECKED |
| 890        | 891,5      | 200       | CONECCEL A3 UMTS | 0,1178      | UNCHECKED | 0,07932     | UNCHECKED | 0,05353     | UNCHECKED |

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

Es importante destacar que el equipo NARDA SRM 3006 proporciona los datos en un formato de hoja de cálculo de Excel.

Se han seleccionado específicamente los valores de frecuencia comprendidos entre 869 MHz y 870 MHz para el canal A1, entre 870 MHz y 880 MHz para el canal A2, y entre 890 MHz y 891,5 MHz para el canal A3. Estos valores corresponden a la operadora CONECCEL.

#### 4.1 Análisis del comportamiento de la intensidad de campo eléctrico durante los 28 días consecutivos

A continuación, se realizará un análisis, tomando en consideración cuatro periodos de tiempo, en donde la intensidad de campo eléctrico llega a picos máximos y mínimos en la curva, de tal manera que resulta importante dividir en intervalos de tiempo para hacer una más acertada interpretación de los datos.

En cuanto a los patrones de tráfico, es posible identificar cuatro intervalos de tiempo que son repetitivos en el gráfico, a lo largo de las 4 semanas: de 00h00 a 06h00, para el primer periodo, de 06h00 a 12h00, para el segundo periodo, de 12h00 a 15h00, para el tercer periodo y por último de 15h00 a 24h00, para el cuarto periodo, mostrado en la Tabla 4-3.

**Tabla 4-3:** Análisis del comportamiento del campo eléctrico en 4 periodos del día

| Periodo del Día | Horas         |
|-----------------|---------------|
| Periodo 1       | 00h00 a 06h00 |
| Periodo 2       | 06h00 a 12h00 |
| Periodo 3       | 12h00 a 15h00 |
| Periodo 4       | 15h00 a 24h00 |

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

A continuación, se detalla las diferentes gráficas resultantes de campo eléctrico medido, en los tres rangos de frecuencia seleccionados, según el modelo matemático aplicado.

#### **4.1.1 Rango de frecuencia de 869 MHz a 870 MHz.**

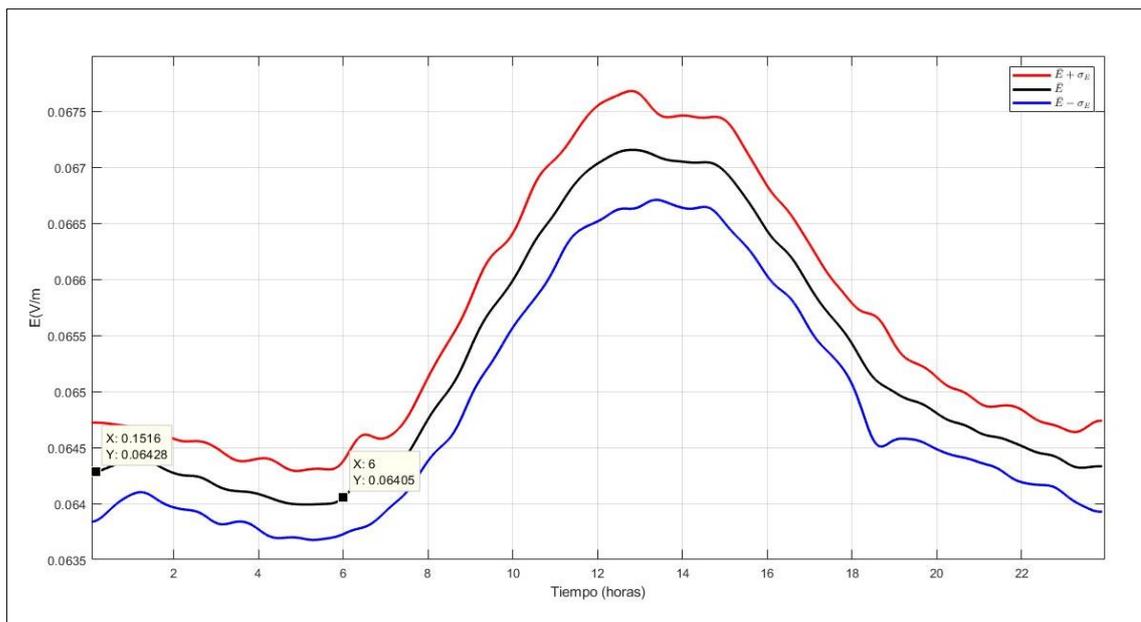
Se puede apreciar en la Ilustración 3-16, los niveles de la intensidad de campo eléctrico medio (color negro), con sus respectivas desviaciones estándar (color rojo y azul), en un lapso de 24 horas. Se puede observar claramente que durante la noche la actividad del tráfico es baja, mientras que durante el día el tráfico de usuarios es más alto. Igualmente, los patrones de los niveles del campo eléctrico no están asociados a un día específico de la semana, sino más bien a un periodo de 24 h obtenido de los valores medio semanal, lo cual es indicador de que existe una relación con los patrones de comportamiento humano, específicamente, con el tráfico local de las comunicaciones.

De igual manera, los factores de extrapolación tanto para la intensidad de campo eléctrico  $f_{EE}(t)$  y su desviación estándar  $f_{\sigma E}(t)$ , se grafican en función del valor máximo de campo eléctrico  $E_{max}$  y del valor medio semanal  $\bar{E}(t)$  (color negro) para las 24 horas del día. La representación gráfica de los factores de extrapolación se visualiza en la Ilustración 3-17 y 3-18.

Se procede hacer el análisis de los diferentes periodos de tiempo del día, para las tres frecuencias seleccionadas.

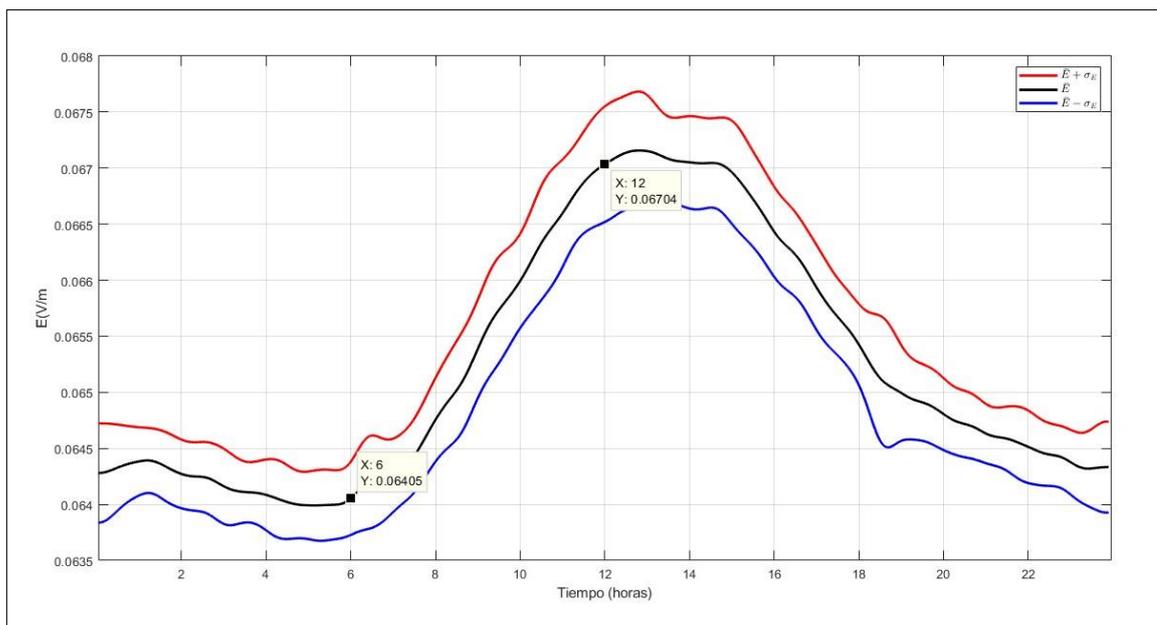
- Primer periodo de análisis (00h00 - 06h00)

Partiendo de la Ilustración 3-16, se muestra el valor medio semanal de campo eléctrico durante 24 horas. Los valores de la intensidad de campo eléctrico medio en el rango de frecuencia de 869 MHz a 870 MHz, que corresponde al primer periodo de análisis desde las 00h00 hasta las 06h00, están entre  $64,05 mV/m$  y  $64,28 mV/m$ , dando una variabilidad de  $0,23 mV/m$ . Durante este período de tiempo, la variación de campo eléctrico es mínima, ya que los usuarios hacen un uso limitado del servicio durante las horas de descanso, como se observa en la Ilustración 4-1.



**Ilustración 4-1:** Gráfica del campo eléctrico medio (color negro) y sus respectivas desviaciones estándar (color rojo y azul) entre las 00h00 y 06h00 (869 MHz a 870 MHz)  
**Realizado por:** Martínez y Quintuña, 2024

- Segundo periodo de análisis (06:00 - 12:00)

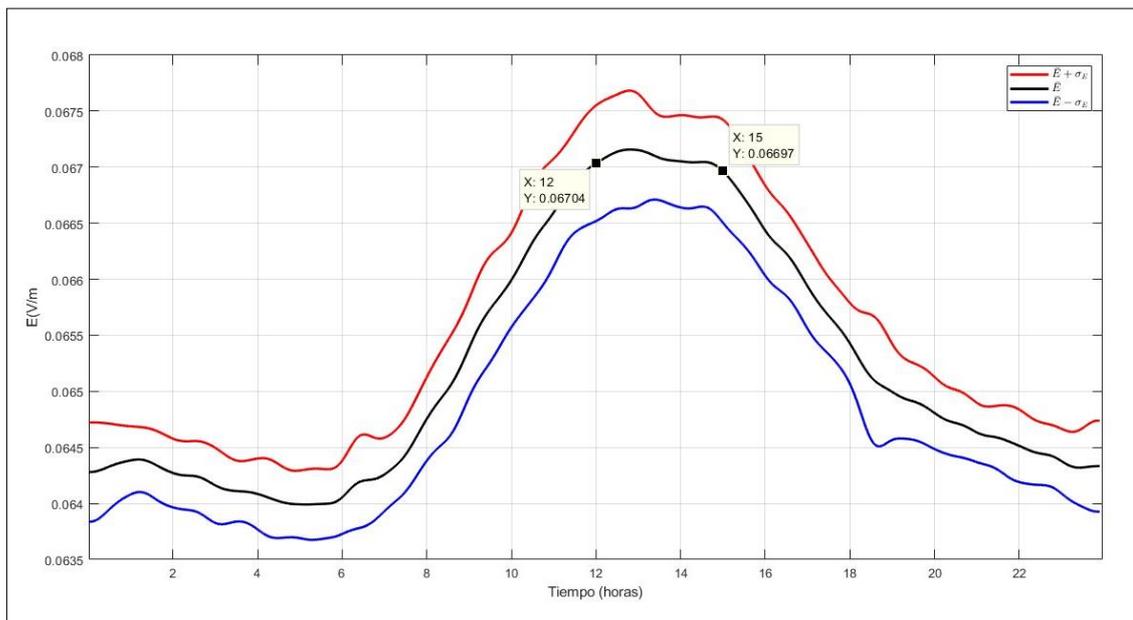


**Ilustración 4-2:** Gráfica del campo eléctrico medio (color negro) y sus respectivas desviaciones estándar (color rojo y azul) entre las 06h00 y 12h00 (869 MHz a 870 MHz)  
**Realizado por:** Martínez y Quintuña, 2024

En la ilustración 4-2, se muestra el valor medio semanal de campo eléctrico durante 24 horas. Los valores de la intensidad de campo eléctrico medio en el rango de frecuencia de 869 MHz a 870 MHz, que corresponde al segundo periodo de análisis desde las 06h00 hasta las 12h00, están entre  $67,04\text{mV/m}$  y  $64,05\text{ mV/m}$ , dando una variabilidad de  $2,99\text{ mV/m}$ . Durante este período de tiempo, la variación de campo eléctrico es alta. Este aumento se atribuye al incremento del tráfico producido por la demanda de usuarios al inicio de la jornada laboral, inicio de actividades académicas, y otros factores que provocan un aumento considerable en la intensidad del campo eléctrico.

- Tercer periodo de análisis (12:00 - 15h00)

En la ilustración 4-3, se muestra el valor medio semanal de campo eléctrico durante 24 horas. Los valores de la intensidad de campo eléctrico medio en el rango de frecuencia de 869 MHz a 870 MHz, que corresponde al tercer periodo de análisis desde las 12h00 hasta las 15h00, están entre  $67,04\text{mV/m}$  y  $66,97\text{ mV/m}$ , dando una variabilidad de  $0,07\text{ mV/m}$ . Durante este período de tiempo, la variación de campo eléctrico está en su valor máximo, y se mantiene aproximadamente constante con una diferencia de  $0,07\text{ mV/m}$ .

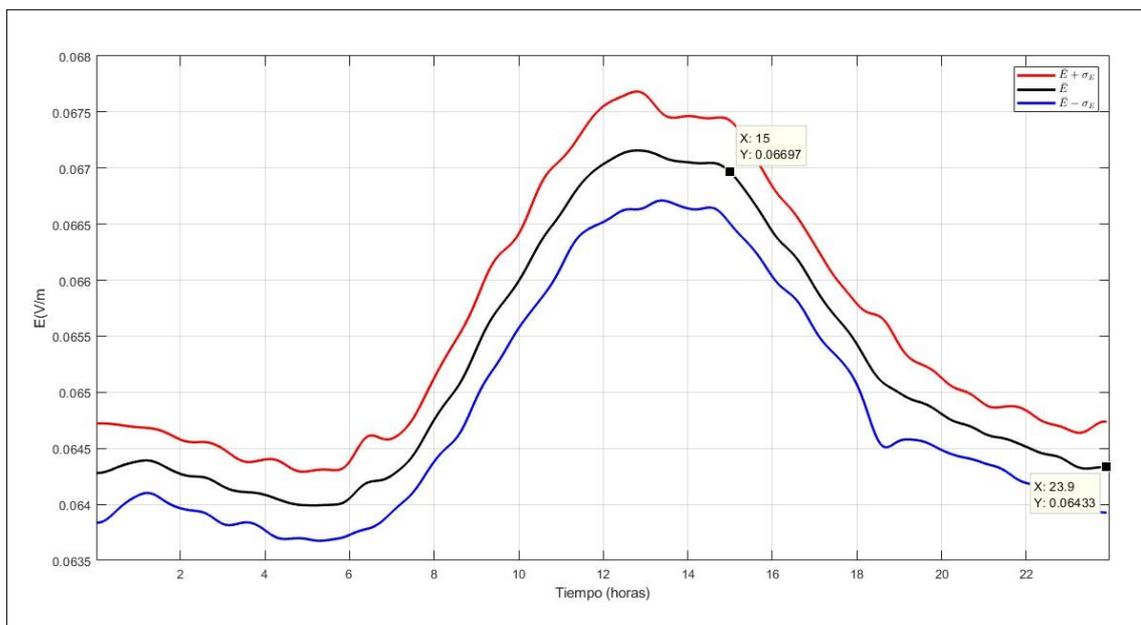


**Ilustración 4-3:** Gráfica del campo eléctrico medio (color negro) y sus respectivas desviaciones estándar (color rojo y azul) entre las 12h00 y 15h00 (869 MHz a 870 MHz)

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

- Cuarto periodo de análisis (15h00 - 24h00)

En la Ilustración 4-4, se muestra el valor medio semanal de campo eléctrico durante 24 horas. Los valores de la intensidad de campo eléctrico medio en el rango de frecuencia de 869 MHz a 870 MHz, que corresponde al cuarto periodo de análisis desde las 15h00 hasta las 24h00, están entre  $66,97\text{mV/m}$  y  $64,33\text{ mV/m}$ , dando una variabilidad de  $2,64\text{ mV/m}$ . Durante este período de tiempo, la variación de campo eléctrico decrece rápidamente, debido a que el tráfico producido por la demanda de usuarios va disminuyendo, esto se debe al estilo de vida de las personas y a los horarios laborales de las empresas de telecomunicaciones, que cambió las costumbres de trabajo a partir de la pandemia.

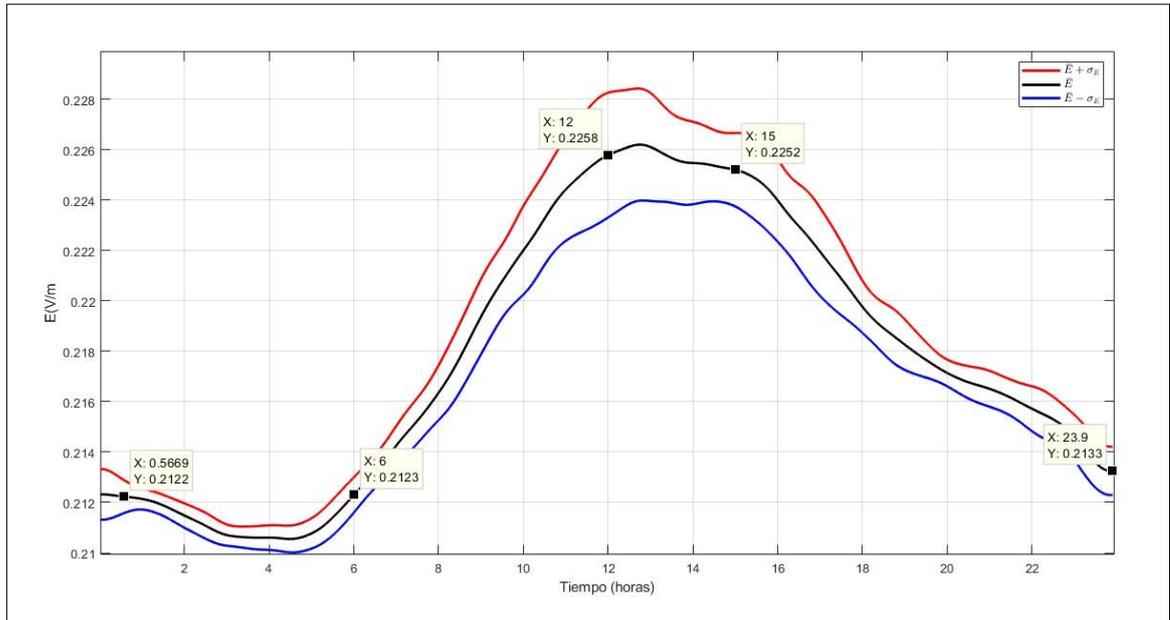


**Ilustración 4-4:** Gráfica del campo eléctrico medio (color negro) y sus respectivas desviaciones estándar (color rojo y azul) entre las 15h00 y 24h00 (869 MHz a 870 MHz)

Realizado por: Martínez y Quintuña, 2024

#### 4.1.2 Rango de frecuencia de 870 MHz a 880 MHz.

Se puede apreciar en la Ilustración 4-5, los niveles de la intensidad de campo eléctrico medio (color negro), con sus respectivas desviaciones estándar (color rojo y azul), en un lapso de 24 horas. Se puede observar claramente que durante la noche la actividad del tráfico es baja, mientras que durante el día el tráfico de usuarios es más alto. Igualmente, los patrones de los niveles del campo eléctrico no están asociados a un día específico de la semana, sino más bien a un periodo de 24 h obtenido de los valores medio semanal, lo cual es indicador de que existe una relación con los patrones de comportamiento humano, específicamente, con el tráfico local de las comunicaciones.



**Ilustración 4-5:** Gráfica del campo eléctrico medio (color negro) y sus respectivas desviaciones estándar (color rojo y azul) entre las 00h00 y 24h00 (870 MHz a 880 MHz)

**Realizado por:** Martínez y Quintuña, 2024

De igual manera, los factores de extrapolación tanto para la intensidad de campo eléctrico  $f_{EE}(t)$  y su desviación estándar  $f_{\sigma E}(t)$ , se grafican en función del valor máximo de campo eléctrico  $E_{max}$  y del valor medio semanal  $\bar{E}(t)$  (color negro) para las 24 horas del día. La representación gráfica de los factores de extrapolación se visualiza en las Ilustraciones 3-20 y 3-21.

- Primer periodo de análisis (00h00 – 06h00)

Partiendo de la Ilustración 4-5, se muestra el valor medio semanal de campo eléctrico durante 24 horas. Los valores de la intensidad de campo eléctrico medio en el rango de frecuencia de 870 MHz a 880 MHz, que corresponde al primer periodo de análisis desde las 00h00 hasta las 06h00, están entre  $21,22 \text{ mV/m}$  y  $21,23 \text{ mV/m}$ , dando una variabilidad de  $0,01 \text{ mV/m}$ . Durante este período de tiempo, la variación de campo eléctrico es mínima, ya que los usuarios hacen un uso limitado del servicio durante las horas de descanso.

- Segundo periodo de análisis (06h00 – 12h00)

A partir de la Ilustración 4-5, se muestra el valor medio semanal de campo eléctrico durante 24 horas. Los valores de la intensidad de campo eléctrico medio en el rango de frecuencia de 870 MHz a 880 MHz, que corresponde al segundo periodo de análisis desde las 06h00 hasta las 12h00, están entre  $21,23 \text{ mV/m}$  y  $22,58 \text{ mV/m}$ , dando una variabilidad de  $1,35 \text{ mV/m}$ . Durante este período de tiempo, la variación de campo eléctrico es alta.

Este aumento se atribuye al incremento del tráfico producido por la demanda de usuarios al inicio de la jornada laboral, inicio de actividades académicas, y otros factores que provocan un aumento considerable en la intensidad del campo eléctrico.

- Tercer periodo de análisis (12h00 – 15h00)

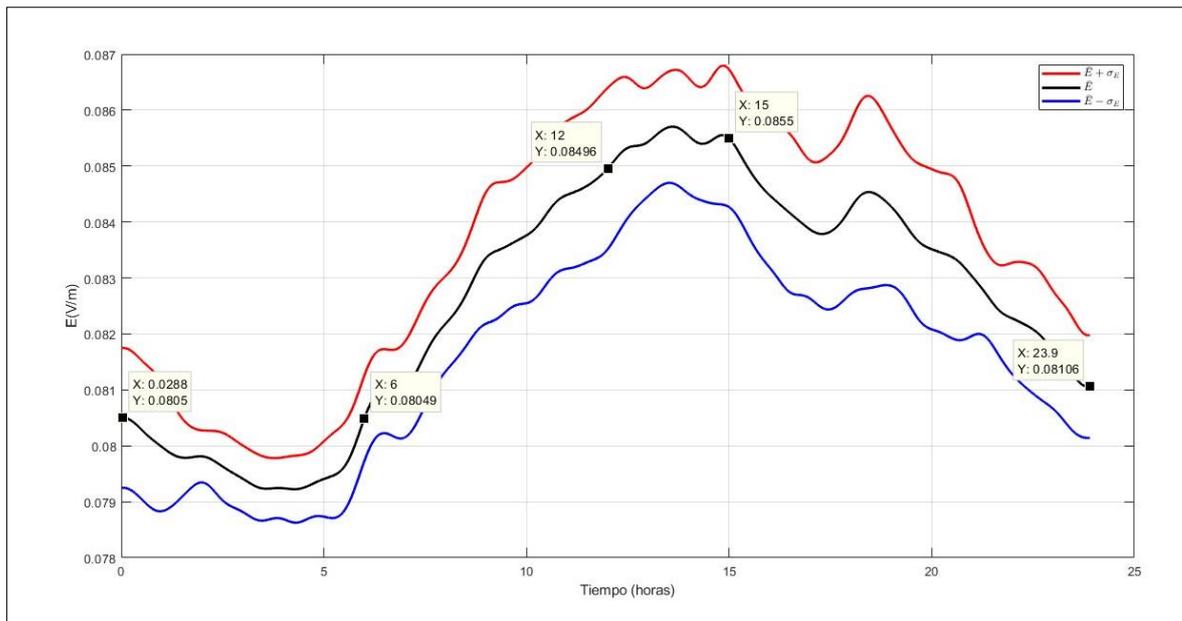
De igual forma, a partir de la Ilustración 4-5, se muestra el valor medio semanal de campo eléctrico durante 24 horas. Los valores de la intensidad de campo eléctrico medio en el rango de frecuencia de 870 MHz a 880 MHz, que corresponde al tercer periodo de análisis desde las 12h00 hasta las 15h00, están entre  $22,58 \text{ mV/m}$  y  $22,52 \text{ mV/m}$ , dando una variabilidad de  $0,06 \text{ mV/m}$ . Durante este período de tiempo, la variación de campo eléctrico está en su valor máximo, y se mantiene aproximadamente constante con una diferencia de  $0,06 \text{ mV/m}$ .

- Cuarto periodo de análisis (15h00 – 24h00)

Por último, a partir de la Ilustración 4-5, se muestra el valor medio semanal de campo eléctrico durante 24 horas. Los valores de la intensidad de campo eléctrico medio en el rango de frecuencia de 870 MHz a 880 MHz, que corresponde al cuarto periodo de análisis desde las 15h00 hasta las 24h00, están entre  $22,52 \text{ mV/m}$  y  $21,71 \text{ mV/m}$ , dando una variabilidad de  $0,81 \text{ mV/m}$ . Durante este período de tiempo, la variación de campo eléctrico decrece rápidamente, debido a que el tráfico producido por la demanda de usuarios va disminuyendo, esto se debe al estilo de vida de las personas y a los horarios laborales de las empresas de telecomunicaciones, que cambió las costumbres de trabajo a partir de la pandemia.

#### **4.1.3 Rango de frecuencia de 890 MHz a 891,5 MHz.**

Se puede observar en la Ilustración 4-6, los niveles de la intensidad de campo eléctrico medio (color negro), con sus respectivas desviaciones estándar (color rojo y azul), en un lapso de 24 horas. Se puede observar claramente que durante la noche la actividad del tráfico es baja, mientras que durante el día el tráfico de usuarios es más alto. Igualmente, los patrones de los niveles del campo eléctrico no están asociados a un día específico de la semana, sino más bien a un periodo de 24 h obtenido de los valores medio semanal, lo cual es indicador de que existe una relación con los patrones de comportamiento humano, específicamente, con el tráfico local de las comunicaciones.



**Ilustración 4-6:** Gráfica del campo eléctrico medio (color negro) y sus respectivas desviaciones estándar (color rojo y azul) entre las 00h00 y 24h00 (890 MHz a 891.5 MHz)

**Realizado por:** Martínez y Quintuña, 2024

De igual manera, los factores de extrapolación tanto para la intensidad de campo eléctrico  $f_{EE}(t)$  y su desviación estándar  $f_{\sigma E}(t)$ , se grafican en función del valor máximo de campo eléctrico  $E_{max}$  y del valor medio semanal  $\bar{E}(t)$  (color negro) para las 24 horas del día. La representación gráfica de los factores de extrapolación se visualiza en las Ilustraciones 3-23 y 3-24.

- Primer periodo de análisis (00h00 – 06h00)

Partiendo de la Ilustración 4-6, se muestra el valor medio semanal de campo eléctrico durante 24 horas. Los valores de la intensidad de campo eléctrico medio en el rango de frecuencia de 890 MHz a 891,5 MHz, que corresponde al primer periodo de análisis desde las 00h00 hasta las 06h00, están entre 80,05  $mV/m$  y 80,49  $mV/m$ , dando una variabilidad de 0,44  $mV/m$ . Durante este período de tiempo, la variación de campo eléctrico es mínima, ya que los usuarios hacen un uso limitado del servicio durante las horas de descanso.

- Segundo periodo de análisis (06h00 – 12h00)

De igual forma en la Ilustración 4-6, se muestra el valor medio semanal de campo eléctrico durante 24 horas. Los valores de la intensidad de campo eléctrico medio en el rango de frecuencia de 890 MHz a 891,5 MHz, que corresponde al segundo periodo de análisis desde las 06h00 hasta las 12h00, están entre 80,49  $mV/m$  y 84,96  $mV/m$ , dando una variabilidad de 4,47  $mV/m$ . Durante este período de tiempo, la variación de campo eléctrico es alta.

Este aumento se atribuye al incremento del tráfico producido por la demanda de usuarios al inicio de la jornada laboral, inicio de actividades académicas, y otros factores que provocan un aumento considerable en la intensidad del campo eléctrico.

- Tercer periodo de análisis (12h00 – 15h00)

A partir de la Ilustración 4-6, se muestra el valor medio semanal de campo eléctrico durante 24 horas. Los valores de la intensidad de campo eléctrico medio en el rango de frecuencia de 890 MHz a 891,5 MHz, que corresponde al tercer periodo de análisis desde las 12h00 hasta las 15h00, están entre  $84,96 \text{ mV/m}$  y  $84,55 \text{ mV/m}$ , dando una variabilidad de  $0,41 \text{ mV/m}$ . Durante este período de tiempo, la variación de campo eléctrico está en su valor máximo, y se mantiene aproximadamente constante con una diferencia de  $0,41 \text{ mV/m}$ .

- Cuarto periodo de análisis (15h00 – 24h00)

A partir de la Ilustración 4-6, se muestra el valor medio semanal de campo eléctrico durante 24 horas. Los valores de la intensidad de campo eléctrico medio en el rango de frecuencia de 890 MHz a 891,5 MHz, que corresponde al primer periodo de análisis desde las 15h00 hasta las 24h00, están entre  $85,5 \text{ mV/m}$  y  $81,06 \text{ mV/m}$ , dando una variabilidad de  $4,44 \text{ mV/m}$ . Durante este período de tiempo, la variación de campo eléctrico decrece rápidamente, debido a que el tráfico producido por la demanda de usuarios va disminuyendo, esto se debe al estilo de vida de las personas y a los horarios laborales de las empresas de telecomunicaciones, que cambió las costumbres de trabajo a partir de la pandemia.

#### **4.2 Discusión de resultados de los tres rangos de frecuencia de esta investigación**

De acuerdo con los resultados de las mediciones se pudo conocer el comportamiento del campo eléctrico en cada canal de frecuencia definido. Al realizar las mediciones de la intensidad de campo eléctrico durante los 28 días consecutivos, en los tres rangos de frecuencia definidos de 869 MHz a 870 MHz, de 870 MHz a 880 MHz y de 890 MHz a 891,5 MHz, se obtuvo la curva de la señal de la media semanal con sus respectivas desviaciones estándar, permitiendo obtener un intervalo del valor medio.

Respecto a los percentiles 25 y 75, su aplicación en la base de datos de las mediciones efectuadas posibilitó una mejora con respecto a los valores promedio del campo eléctrico medio.

Esta mejora se debe a que, en caso de existir valores atípicos fuera del rango establecido en el conjunto de datos, los percentiles tienen la capacidad de detectarlos y eliminarlos. Dichos datos atípicos pueden ser interpretados como errores o anomalías en los datos generados.

En cuanto a la obtención de las gráficas del suavizado de la señal mediante la media móvil previa, se pudo observar que a lo largo de las 24 horas del día se mantiene la forma original de la señal. Después de haber aplicado la media móvil a la señal discreta, se aplica el método de spline cúbico para convertir una señal continua del tiempo.

Además, con las gráficas de los valores del factor de extrapolación del campo eléctrico  $f_{EE}(t)$ , y el factor de extrapolación de desviación estándar  $f_{\sigma E}(t)$ , y mediante la medición de un valor instantáneo en cualquier instante del día se puede obtener el valor máximo  $E_{max}$  de campo eléctrico semanal a partir de una medición instantánea utilizando la ecuación 2-11.

Una vez obtenidas las gráficas del campo eléctrico medio y sus respectivas desviaciones estándar para los tres rangos de frecuencia definido en esta investigación, se realiza un análisis comparativo en el periodo comprendido entre las 00h00 a las 06h00 para las tres señales analizadas respectivamente. Se puede observar una similitud en la curva de la señal del valor medio semanal (color negro) de la Ilustración 3-16, 3-19 y 3-22. La semejanza radica en la forma de la señal, puesto que los valores de la intensidad de campo eléctrico son diferentes, estas diferencias o variaciones se les podría atribuir a los diferentes anchos de banda presentes en los tres rangos de frecuencia estudiados. Por ejemplo, para la frecuencia de 869 MHz a 870 MHz, el ancho de banda es de 1 MHz, de 870 MHz a 880 MHz, es de 10 MHz y de 890 MHz a 891,5 MHz es de 1,5 MHz.

Para el periodo comprendido entre las 06h00 y 12h00, se observa un aumento en los valores de la intensidad de campo eléctrico, y un parecido en la forma de la señal en los tres rangos de frecuencia analizados, como se observa en las Ilustraciones 3-16, 3-19 y 3-22. Este aumento en los valores de la intensidad de campo eléctrico se da por el incremento del tráfico producido por la demanda de usuarios al inicio de la jornada laboral y actividades académicas.

En el periodo de análisis de las 12h00 a 15h00, la variación de campo eléctrico llega a su valor máximo para las señales de las Ilustraciones 3-16, 3-19 y 3-22, observando nuevamente una similitud en la forma de la señal, y su diferencia en los valores de la intensidad de campo eléctrico medio (color negro). Por ejemplo, en la frecuencia de 869 MHz a 870 MHz, el valor máximo de campo eléctrico es de  $67,15 \text{ mV/m}$  y un valor mínimo de  $63,99 \text{ mV/m}$ , dando una variabilidad de  $3,16 \text{ mV/m}$ .

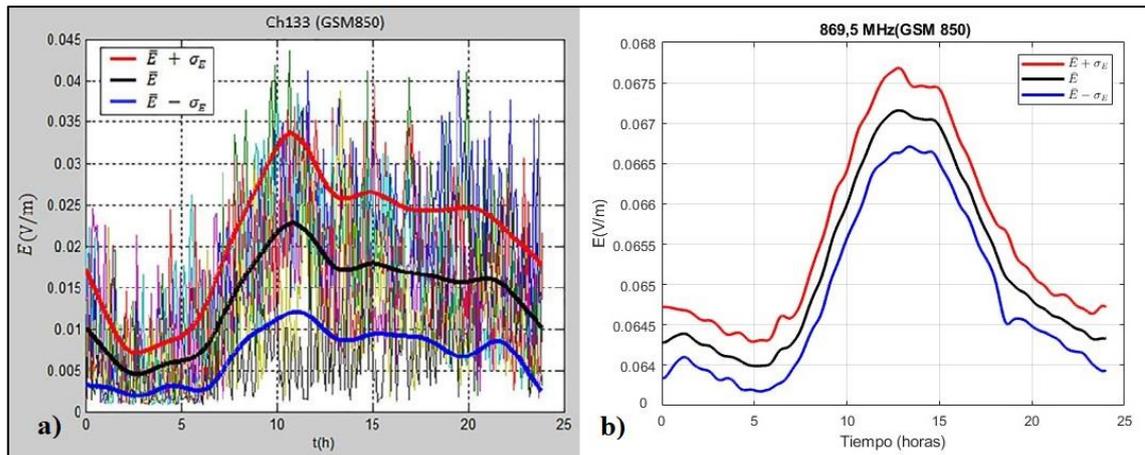
Por otra parte, para la frecuencia de 880 MHz a 890 MHz, el valor máximo registrado para la intensidad de campo eléctrico es de  $22,62 \text{ mV/m}$  y un valor mínimo de  $21,06 \text{ mV/m}$ , dando una variabilidad de  $1,56 \text{ mV/m}$ . De igual forma, para la frecuencia de 890 MHz a 891,5 MHz, el valor máximo para la intensidad de campo eléctrico es de  $85,69 \text{ mV/m}$  y un valor mínimo de  $79,23 \text{ mV/m}$ , dando una variabilidad de  $6,46 \text{ mV/m}$ .

Finalmente, a partir de las 15h00 hasta las 24h00, se puede observar que la curva de la señal de la media semanal (color negro) de las Ilustraciones 3-16 y 3-17, decrecen rápidamente, mientras que para la gráfica de la Ilustración 3-22, la forma de la señal tiene una caída menos pronunciada y con ciertas variaciones de la señal en horas específicas. Esto debido a que el tráfico producido por la demanda de usuarios va disminuyendo. Estas mediciones se llevaron a cabo considerando únicamente el tráfico en el canal descendente de la banda GSM 850.

Para determinar el valor máximo semanal del campo eléctrico ( $E_{\max}$ ) a partir de una medición instantánea en cualquier instante del día y en cualquier lugar de la ESPOCH, se realizan mediciones instantáneas por ejemplo a las 10h00 de lunes a domingo en un mismo lugar de la ESPOCH obteniéndose el valor medio instantáneo  $\bar{E}(t)$ , esto es,  $E(10h00)$ . Con este valor se aplica en la ecuación 2-11 y utilizando la programación de la Ilustración 3-25, se determina el valor máximo semanal de campo eléctrico.

#### **4.3 Análisis comparativo del rango de frecuencia de 869 MHz a 870 MHz con el canal 133 de la GSM 850 obtenidas en el modelo de Infante**

A partir de la Ilustración 4-7, se realiza la comparación de la señal del valor medio semanal durante 24 horas del día (color negro) gráfica a), con la señal del valor medio semanal (color negro) gráfico b). Se observan valores de la intensidad de campo eléctrico muy diferentes específicamente de la comunidad politécnica, debido a que actualmente la forma de vida de la población es diferente a partir de la pandemia ocurrida en el 2020.



**Ilustración 4-7:** a) Gráfica de la intensidad de campo eléctrico y la superposición de esta con la desviación estándar para la frecuencia del canal 133 (870.2 MHz) propuesto por Infante b) Resultado de la gráfica del rango de frecuencia de 869 MHz a 870 MHz de la ilustración 3-20.

**Realizado por:** Martínez y Quintuña, 2024

Para el análisis comparativo se toma en cuenta cuatro periodos en diferentes intervalos de tiempo, partiendo del periodo comprendido entre las 00h00 a las 06h00, se puede observar una similitud en la curva de la señal del valor medio semanal (color negro) de la Ilustración 4-7 a) y b). Durante estas primeras horas del día, el tráfico se mantiene. Esto debido a que, en horas de la madrugada e inicios de la mañana, la mayoría de las personas se encuentran en sus hogares descansando, también las empresas disminuyen su actividad laboral, existe menor tráfico vehicular y de personas en las calles. Esto lleva a una menor actividad en términos de llamadas telefónicas, mensajes y uso de servicios de telecomunicaciones.

Para el periodo de tiempo comprendido entre las 06h00 y 12h00, se observa un aumento en los valores de la intensidad de campo eléctrico, tanto para la señal de la Ilustración 4-7 a) y b). Este aumento se da por el incremento del tráfico producido por la demanda de usuarios al inicio de la jornada laboral y actividades académicas.

Conforme a la información proporcionada por el Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información (Mintel), se registró un incremento del 40% en el tráfico de las redes de los operadores desde el inicio de la cuarentena, por la pandemia del 2020. Además, se observó un crecimiento constante en la utilización de plataformas como Netflix, YouTube, WhatsApp, Zoom, Microsoft Teams, y Facebook. Hubo un incremento sustancial de empresas proveedoras de internet que se adaptaron a la demanda de servicios de telecomunicaciones durante la pandemia, incrementando así sus estaciones base, para una mayor demanda de servicios de comunicación y conectividad.

En el periodo de análisis de las 12h00 a 15h00, la variación de campo eléctrico está en su valor máximo para la señal de la Ilustración 4-7 a) y b). Para la gráfica a) el valor máximo de campo eléctrico es de  $24 \text{ mV/m}$  y un valor mínimo de  $5 \text{ mV/m}$ , con una diferencia de  $19 \text{ mV/m}$ . Para la gráfica b) el valor máximo de campo eléctrico es de  $67,15 \text{ mV/m}$  y un valor mínimo de  $63,99 \text{ mV/m}$ , con una diferencia de  $3,16 \text{ mV/m}$ , manteniéndose aproximadamente constante. Como se puede apreciar existe un aumento considerable entre los valores de la intensidad de campo eléctrico de la gráfica a) y b); esto debido al tráfico generado por la demanda de usuarios antes y después de la pandemia, influenciado por el estilo de vida y la forma de comunicarse de la población, específicamente en la banda GSM 850. Como resultado del notable aumento en la demanda de servicios de telecomunicaciones, se produjo un incremento significativo en el número de radio bases.

Por otro lado, a partir de las 15h00 y 24h00, se puede observar que la curva de la señal de la media semanal de la gráfica b) decrece rápidamente (color negro), debido a que el tráfico producido por la demanda de usuarios va disminuyendo, mientras que para la curva de la señal del gráfico a) decrece lentamente. El motivo radica en los cambios drásticos en las condiciones laborales y académicas después de la pandemia. La diferencia entre las señales analizadas podría atribuirse también a la variación en los anchos de banda utilizados durante los 28 días de mediciones consecutivas. Por ejemplo, para la señal correspondiente al canal 133 (870.2 MHz) en la gráfica a), se utilizó un ancho de banda de 200 KHz, mientras que para la señal del rango de frecuencia de 869 MHz a 870 MHz en la gráfica b) se empleó un ancho de banda de 1 MHz. Estas mediciones se realizaron considerando únicamente el tráfico en el canal descendente de la banda GSM 850.

## 5. CONCLUSIONES

- Al realizar el monitoreo de los tres rangos de frecuencia designados para el canal Dowlink de la banda GSM-850, se obtuvo una base de datos de las mediciones temporales de la intensidad de campo eléctrico. Estas mediciones fueron el resultado del monitoreo continuo llevado a cabo, en el interior de la ESPOCH. Donde se recopilaron 240 mediciones diarias, 6720 datos discretos durante los 28 días consecutivos, utilizando el equipo NARDA SRM 3006, con intervalos de medición cada 6 minutos a lo largo de las 24 horas del día.
- Para suavizar las señales discretas de la intensidad de campo eléctrico y la desviación estándar, se implementó la técnica de la media móvil previa, obteniendo una señal más suavizada y sin perder la forma de la señal original. Seguidamente, se aplicó el método de spline cúbico para convertir la señal discreta a una señal continua. Finalmente, se obtuvieron los factores de extrapolación del campo eléctrico  $f_{EE}(t)$  y la desviación estándar  $f_{\sigma E}(t)$ , para determinar el valor máximo semanal  $E_{max}$  a partir de una medición instantánea  $E(t)$  en cualquier instante del día, utilizando la ecuación 2-11, que forma parte del modelo matemático desarrollado por Infante.
- De la comparativa realizada con la tesis doctoral de Pedro Infante, se pudo evidenciar que el comportamiento de las señales de campo eléctrico medio y sus respectivas desviaciones estándar en comparación con las señales generadas en el presente trabajo de titulación, se observaron cambios significativos en el lapso de las 12:00 y las 24:00, donde los valores de la intensidad de campo eléctrico mostraron notables diferencias. Estos cambios en el tráfico producido por la demanda de los usuarios se atribuyen a factores vinculados con las actividades humanas, la alteración de horarios laborales y académicos, todos influenciados por la postpandemia, provocando transformaciones sustanciales en el ámbito de las telecomunicaciones.
- De los datos medidos de la intensidad de campo eléctrico y la base de datos obtenidas en el presente trabajo de titulación, servirán para futuras investigaciones en trabajos de investigación para determinar la tasa de absorción específica (SAR) en el cuerpo humano, especialmente considerando que las bandas de frecuencia utilizadas están asociado a los servicios de telefonía móvil celular.

## **6. RECOMENDACIONES**

- Verificar que el equipo NARDA SRM-3006 esté debidamente calibrado y configurado según las frecuencias utilizadas, para que el monitoreo de las mediciones de campo eléctrico tengas resultados confiables.
- Es importante contar con el acceso a información detallada sobre el espectro de frecuencias que estén activas en la ciudad de Riobamba, específicamente en el sector de la ESPOCH para realizar las mediciones de campo eléctrico.
- Es de suma importancia cumplir con los requerimientos establecidos por ARCOTEL, el mismo que se fundamenta en las directrices de la UIT-T K.54 y a su vez por la ICNIRP. En particular, seguir el estándar de realizar mediciones cada 6 minutos y asegurar que el equipo NARDA SRM-3006 esté posicionado a una altura de 1,5 metros.
- Se recomienda realizar monitoreos periódicos de la intensidad del campo eléctrico, debido a la evolución en el estilo de vida y en el comportamiento de la población en el uso de las comunicaciones en la actualidad.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **AMENDAÑO, E. y INACHONTA, R.**, 2012. *Análisis del campo magnético generado por líneas de distribución cercanas al sector domiciliario*. [en línea]. S.l.: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.
2. **ANDERSON, D., SWEENEY, D. y WILLIAMS, T.**, 2008. *Estadística para administración y economía* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9786074813197. Disponible en: [https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/estadistica-para-administracion-y-economia\\_anderson\\_sweeney\\_y\\_williams.pdf](https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/estadistica-para-administracion-y-economia_anderson_sweeney_y_williams.pdf).
3. **ARCADI SEGURA I NAVARRO y ENRIQUE MIGUEL TÉBAR MARTÍNEZ**, 2019. *Tecnología De Las Comunicaciones Móviles*. [en línea], Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/323102919.pdf>.
4. **ARCOTEL**, 2018. *Boletín estadístico multcampus*. [en línea], Disponible en: [https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BOLETIN-ESTADISTICO-Diciembre-2018-v4\\_4.pdf](https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BOLETIN-ESTADISTICO-Diciembre-2018-v4_4.pdf).
5. **ARTÉS RODRÍGUEZ, A., PÉREZ GONZÁLEZ, F., CID SUEIRO, J., LÓPEZ VALCARCE, R., MOSQUERA NARTALLO, C. y PÉREZ CRUZ, F.**, 2012. *Señales de Sistemas. Comunicaciones digitales*,
6. **BALLESTEROS, D. y RENZA, D.**, 2018. *Introducción a los filtros digitales: Un enfoque teórico-práctico*. [en línea]. REDIPE Red. S.l.: s.n. ISBN 9781945570537. Disponible en: [http://diegorenza.azurewebsites.net/books/Introduccion\\_Filtros\\_Digitales.pdf](http://diegorenza.azurewebsites.net/books/Introduccion_Filtros_Digitales.pdf).
7. **BAZURTO, J.D.**, 2017. Informe de efectos de radiaciones no ionizantes en el Ecuador. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, vol. 53, no. 9, ISSN 1098-6596.
8. **BENITO BENITO A. PAULA; FERNANDEZ TORRES M. YECID; TOLOSA CETINA J. ORLANDO**, 2021. Efectos de la radiación electromagnética: Un estudio de caso. , vol. 2, DOI 10.46932/sfjdv2n5-052.
9. **BLADIMIR ILISH GUEVARA MINAYA**, 2018. *Diseño e implementación de un sistema de exposición in-vitro a campos magnéticos de frecuencias extremadamente bajas automatizadas y controladas electrónicamente*. S.l.: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

10. **CNROOD**, 2022. SRM-3006. [en línea]. [consulta: 11 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.cnrood.com/fr/srm-3006>.
11. **CONATEL**, 2014. Espectro Radioeléctrico | CONATEL. [en línea]. [consulta: 6 noviembre 2023]. Disponible en: <http://www.conatel.gob.ve/espectro-radioelectrico/>.
12. **CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR**, 2017. Espectro de ondas electro magnéticas. [en línea], Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/914801/FDE-01.03 - Espectro de ondas electromagnéticas - Póster>.
13. **CORTEZ, G.L., CAMINO, N., LACOLLA, L.H., MELCHIORRE, M.L., HUARANCA, M.E. y CURELL, M.**, 2014. *Radiaciones: Una mirada multidimensional* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 1385-1314. Disponible en: <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL005267.pdf>.
14. **DATATEC**, 2023. Solución Exposición campos electromagnéticos: SRM-3006 Narda. [en línea]. [consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: <https://datatec.es/es/solu-expo-campo-electromagnetic-srm-3006-nard/>.
15. **DEPARTAMENTO DE FÍSICA ATÓMICA, molecular y nuclear**, [sin fecha]. Introducción a las radiaciones. [en línea], Disponible en: <https://ugr.es/~amaro/radiactividad/teoria/tema1.pdf>.
16. **DÍAZ, W. y PROAÑO, F.**, 2010. *Análisis de Mediciones de Radiaciones no Ionizantes en Ambientes Interiores y Exteriores en Predios de la ESPOL* [en línea]. S.l.: ESPOL. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/14043/1/D-49939.pdf>.
17. **EMCHIRE**, 2021. EMF Narda SRM-3006 Medidor de radiación selectiva - artículo 176. [en línea]. [consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.emchire.co.uk/product/EMF-Narda-SRM-3006-Selective-Radiation-Meter-176>.
18. **FLOYD, T.L.**, 2008. *Dispositivos electrónicos* [en línea]. Pearson Ed. México: s.n. ISBN 9789702611936. Disponible en: [www.FreeLibros.org](http://www.FreeLibros.org).
19. **GÓNZALES, E.**, 2017. *Factores Spline*. S.l.: Universidad de la Laguna.
20. **GONZÁLEZ SPRINBERG, G. y RABIN LEMA, C.**, 2013. *Para entender las Radiaciones* [en línea]. S.l.: s.n. vol. 53. ISBN 9788578110796. Disponible en: <http://info.radiaciones.fisica.edu.uy/que-son-las-radiaciones-ionizantes/>.
21. **ICNIRP**, 1977. Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz). *Health Physics* [en línea], Disponible en: <http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlesp.pdf>.

22. **INFANTE, P.**, 2019. *Evaluación de la exposición pública a las emisiones de las antenas de las estaciones base de telefonía celular*. S.l.: Universidad de Oriente.
23. **ITU-K.52**, 2021. ITU-T Rec. K.52 (08/2014) Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields. , vol. 52,
24. **ITU-T K.61**, 2018. Recommendation ITU-T K.61. *Telecommunication Standardization Sector of Itu* [en línea], Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-K.61-201801-I/es>.
25. **ITU-T K.91**, 2017. Guidance for assessment, evaluation and monitoring of human exposure to radio frequency electromagnetic fields. [en línea], vol. 2.0, Disponible en: <http://handle.itu.int/11.1002/1000/13276>.
26. **JÁUREGUI CANTÓN, E.**, 2012. *Recepción y distribución de señales de radiodifusión. ELES0108.pdf* [en línea]. IC Editori. Málaga: s.n. Disponible en: <https://www.litres.ru/book/eduardo-jauregui-can/recepcion-y-distribucion-de-senales-de-radiodifusion-64191180/chitat-onlayn/>.
27. **KELMANSKY, D.**, 2014. *Estadística para todos* [en línea]. S.l.: s.n. vol. 7. ISBN 9789500007139. Disponible en: <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL001858.pdf>.
28. **KEYYB RENE, F.A.**, 2019. *ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LOS PRINCIPALES INDICADORES DE LA RED PARA UNA ESTACIÓN CELULAR COMO CONSECUENCIA DE LA MIGRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA GSM A GSM/UMTS/LTE* [en línea]. S.l.: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL. Disponible en: <https://www.fceia.unr.edu.ar/enica3/filtros-t.pdf>.
29. LA TRANSFORMADA RAPIDA DE FOURIER SUS USOS Y. [en línea], [sin fecha]. Disponible en: <https://vsip.info/qdownload/la-transformada-rapida-de-fourier-fft-pdf-free.html>.
30. **LARRY HIPOLITO, ESCOBAR, S.**, 2008. *I unam* [en línea]. Madrid-España: s.n. Disponible en: <http://odin.fi-b.unam.mx/labdsp/files/libros/conceptos.pdf>.
31. **LLANOS, A.**, 2013. *Gestión del espectro radioeléctrico en Ecuador* [en línea]. Quito-Ecuador: s.n. ISBN 9789978195819. Disponible en: <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/3833/3/SM138-Llanos-Gestion.pdf.txt>.
32. **LOGROÑO, J.S.H.**, 2017. *MAPEO ELECTROMAGNÉTICO EN UN SECTOR DE RIOBAMBA EN LA BANDA DE FRECUENCIA DE 944 MHZ A 951MHZ, UTILIZANDO LA FAMILIA VIRTUAL, EL EQUIPO NARDA SRM3000 Y UNA TESIS DE GRADO* [en línea]. S.l.: ESPOCH. Disponible en:

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7934/1/98T00168.pdf>.

33. **MARTE, T.**, 2020. El espectro electromagnético | Telecomunicaciones | Tomas Marte. [en línea]. [consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.tomasmarte.com/2020/07/03/el-espectro-electromagnetico/>.
34. **MATOS URIBE, F.F., CONTRERAS una, F. y OLAYA GUERRERO, J.C.**, 2020. *Estadística descriptiva y probabilidad para las Ciencias de la Información con el uso del SPSS* [en línea]. Primera. Lima-Perú: s.n. ISBN 9786124834202. Disponible en: [http://eprints.rclis.org/40470/1/ESTADISTICA\\_DESCRIPTIVA.pdf](http://eprints.rclis.org/40470/1/ESTADISTICA_DESCRIPTIVA.pdf).
35. **MATWORKS**, 2023. Interpolación de datos por splines cúbicos - MATLAB spline - MathWorks América Latina. [en línea]. [consulta: 31 enero 2024]. Disponible en: <https://la.mathworks.com/help/matlab/ref/spline.html>.
36. **MIYARA, F.**, 2004. Filtros Activos. [en línea], Disponible en: <https://www.fceia.unr.edu.ar/enica3/filtros-t.pdf>.
37. **NAVARRETE, H.**, 2019. *Percepcion De Riesgos Para La Salud De Habitantes De Lugares Cercanos a Antenas Que Generan Radiaciones Electromagneticas* [en línea]. S.l.: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT. Disponible en: <http://dspace.uan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/2365>.
38. **NIETO MORENO, P.M.**, 2015. *FILTRADO DE UNA SEÑAL DISCRETA DE LA INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO DE LA BANDA DE FRECUENCIA DE 76 MHZ A 2686 MHZ DURANTE UN DÍA EN LA ESPOCH UTILIZANDO LA MEDIA MÓVIL*. S.l.: ESPOCH.
39. **ORDOÑES NOGALES, S.**, 2016. Algoritmo Iterativo Eficiente para el Análisis de Interferogramas con Corrimiento de Fase Aleatorio. , no. May, DOI 10.13140/RG.2.2.20071.04002.
40. **ORDÓÑEZ, J.**, 2012. Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico. *Acta, Núm. 62* [en línea], Disponible en: <https://docplayer.es/6782886-Espectro-electromagnetico-y-espectro-radioelectrico.html>.
41. **PACA LLOAY, H.O. y TOBAR ROGEL, M.F.**, 2018. *ESTUDIO DE LOS NIVELES DE RADIACIONES NO IONIZANTES EN UNA CASA RESIDENCIAL, UTILIZANDO LOS MODELOS VIRTUALES V2.0 PARA ADULTOS* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9264/5/98T00219.pdf>.
42. **PANTOJA, D.**, 2021. *INDICADORES DE LA TOMOGRAFIA COMPUTARIZADA CONE*

*BEAM COMO AUXILIAR DE DIAGNOSTICO EN ODONTOPEDIATRIA* [en línea]. S.l.: <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000811169/3/0811169.pdf>. Disponible en: <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000811169/3/0811169.pdf>.

43. **PASCUAL GARCÍA, J., MOLINA GARCÍA-PARDO, J.M. y LLÁCER, L.J.**, 2022. *Sistemas de Comunicaciones Móviles* [en línea]. Universida. Cartajena: s.n. ISBN 9788416325030. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/bitstream/10317/8850/4/isbn9788416325030.PDF>.
44. **QUILCA, C.F. y MONTALVO HUANCA, E.F.**, [sin fecha]. *Tecnologías GSM CDM TDMA 4G LTE*. [en línea], Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos75/tecnologias-gsm-cdma-tdma-gprs/tecnologias-gsm-cdma-tdma-gprs2#:~:text=GSM>.
45. **QUIROGA, J.**, 2018. *FUNDAMENTOS DE SEÑALES Y SISTEMAS* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://content.e-bookshelf.de/media/reading/L-14132540-1aae55177a.pdf>.
46. **QUIROGA SEPÚLVEDA, J.**, 2018. *FUNDAMENTOS DE SEÑALES Y SISTEMAS*. Pontificia. Bogotá: s.n.
47. **REBOREDO, D. y FALCÓN, R.**, [sin fecha]. *Splines in two dimensions*. [en línea], Disponible en: <http://mathgene.usc.es/matlab/trabajos/splines.pdf>.
48. **RODRIGUEZ, J.L.C.**, 2003. *Radiaciones Ionizantes Y No Ionizantes. Aplicaciones Y Riesgos.* ,
49. **ROMERO, D. y ZUMBA, A.**, [sin fecha]. *Estudio del nivel de RF en Cerro Azul y su incidencia en el medio ambiente* [en línea]. S.l.: UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL. Disponible en: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS7511pdf.pdf>.
50. **S.A., G.P.**, 2001. *Campos eléctricos y Magnéticos de 50 Hz*. [en línea], Disponible en: [https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/ree\\_unesa\\_cem\\_2001.pdf](https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/ree_unesa_cem_2001.pdf).
51. **SAFETY TEST SOLUTIONS, N.**, 2021. *Campo E de antena, hasta 6 GHz, tres ejes (SRM)*. [en línea]. [consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.narda-sts.com/en/selective-emf/srm-3006-field-strength-analyzer/antenna-e-field-up-to-6-ghz-three-axis-srm/>.
52. **SANTOS ARMAS, W.M. y TARCO GAVILANES, C.P.**, 2017. *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* [en línea]. S.l.:

ESPOCH. Disponible en:  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6368/4/98T00137.pdf.txt>

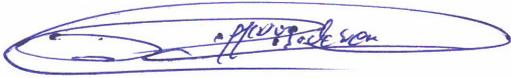
53. **TEST EQUIPMENT, A.**, 2023. Alquiler o compre Narda SRM-3006 Medidor de Radiación Selectiva, 9 kHz - 6 GHz. [en línea]. [consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: [https://www.axiomtest.com/Telecommunication-and-Wireless/RF-Safety-\(Radiation-Meters\)/Narda/SRM\\_3006/Selective-Radiation-Meter,-9-kHz-\\_-6-GHz/](https://www.axiomtest.com/Telecommunication-and-Wireless/RF-Safety-(Radiation-Meters)/Narda/SRM_3006/Selective-Radiation-Meter,-9-kHz-_-6-GHz/).
54. **TIBURCIO, J., CHACALTANA, J. y MORI, F.**, 2010. Descriptivo y análisis de las radiaciones ionizantes en la ciudad de Tacna. *Ciencia y desarrollo* [en línea], Disponible en: <https://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/cyd/article/download/165/158/288>.
55. **TIPS, A.I.**, 2016. Filtros digitales vs. filtros analógicos. [en línea]. [consulta: 23 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.analogictips.com/using-analog-filters-vs-digital-filters/>.
56. **TRIOLA, M.F.**, 2015. *Estadística* [en línea]. Décima. México: s.n. ISBN 9786073243780. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.02.016%0Ahttp://revistaeconomia.unam.mx/index.php/ecu/article/view/524>.
57. **TUMALLI NARANJO, L.A.**, 2016. *DESARROLLO DE UN MODELO COMPUTACIONAL UTILIZANDO EL SIMULADOR SIM4LIFE PARA OBTENER LA DISTRIBUCIÓN DE LA SAR EN EL CUERPO HUMANO PRODUCIDA POR LOS CAMPOS ELÉCTRICOS DE LAS ANTENAS TRANSMISORAS DE RADIO, TELEVISIÓN Y ESTACIONES BASE DE CELULARES EN DIFERE* [en línea]. S.l.: ESPOCH. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6416/1/98T00120.pdf%0Ahttp://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6416>.
58. **UPC**, [sin fecha]. Fundamentos de Matlab. [en línea], Disponible en: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/192916/tema\\_1\\_fundamentos\\_de\\_matlab-5148.pdf?sequence=1](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/192916/tema_1_fundamentos_de_matlab-5148.pdf?sequence=1).
59. **VICUÑA, B.I.H.Q.**, 2010. *MITIGACIÓN DE LOS EFECTOS SOBRE LA SALUD DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PRODUCIDOS POR REDES ELÉCTRICAS* [en línea]. S.l.: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3561/QuintoVicuña.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
60. **WATANABE RUIZ, C.**, 2012. *Aplicaciones de filtrado adaptativo LMS para mejorar la respuesta de acelerómetros* [en línea]. S.l.: Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en: [https://oa.upm.es/13819/1/PFC\\_CESAR\\_E\\_WATANABE\\_RUIZ.pdf](https://oa.upm.es/13819/1/PFC_CESAR_E_WATANABE_RUIZ.pdf).





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA**  
**NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO**

**Fecha de entrega:** 04/ 04 / 2024

|   |
|---|
| <b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>  |
| <b>Nombres – Apellidos:</b> Carlos Daniel Martínez Mollocana<br>Cinthya Anabel Quintuña Montachana  |
| <b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>  |
| <b>Facultad:</b> Informática y Electrónica  |
| <b>Carrera:</b> Telecomunicaciones  |
| <b>Título a optar:</b> Ingeniería en Telecomunicaciones   |
| <br>Ing. Pedro Severo Infante Moreira<br><b>Director del Trabajo de Titulación</b><br><br>Ing. Jefferson Alexander Ribadeneira Ramírez<br><b>Asesor del Trabajo de Titulación</b> |