

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA



PROYECTO DE GRADO

DISEÑO DE UN LABORATORIO PARA EL PROCESO DE
HOMOLOGACIÓN DE TERMINALES MÓVILES PARA LA
AUTORIDAD DE REGULACIÓN Y FISCALIZACIÓN DE
TELECOMUNICACIONES Y TRANSPORTES – ATT

Postulante: Carmen Rosa Villavicencio Quispe

Tutor: Ing. Juan Carlos Machicao Aparicio

Docente de materia: Ing. Luis Alfonso Jurado Viscarra

La Paz - Bolivia

2019



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

DEDICATORIA

A mis padres Santiago Villavicencio Quispe y Faustina Quispe Gomez ya fueron la inspiración de este proyecto, quienes con su esfuerzo y sacrificio me ayudaron a llegar al final de este largo camino.

A mis hermanos Viviana, Liliana, Fernando a mi querido sobrino Diego que estuvieron apoyándome en todo momento.

A mis docentes y a todos los que coadyuvaron en mi formación personal y profesional.

Carmen

AGRADECIMIENTOS

A Dios por regalarme la vida, salud, sabiduría, amor y fuerza para realizar este proyecto de grado.

A mi familia por el apoyo que me brindaron y me acompañaron durante toda mi carrera. En especial a mis padres los cuales fueron un pilar fundamental para poder alcanzar este logro y no rendirme ya que siempre estuvieron ahí dándome aliento para seguir adelante y no desmayar.

A mi tutor Ing. Juan Carlos Machicao por su predisposición, paciencia y apoyo por dirigir este proyecto de grado para poder cumplir una de mis metas más importantes.

A mis docentes por brindarme el conocimiento que me permitió desarrollarme y crecer profesionalmente, a mis amigos que durante este tiempo me brindaron una amistad, consejos y me acompañaron en cada etapa la cual permanecerá guardada en mi corazón.

A todos ellos gracias

Carmen Rosa Villavicencio Quispe

El presente proyecto propone elaborar el diseño de un laboratorio para el proceso de homologación de teléfonos celulares de manera que pueda ser aplicada en la Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Trasportes – ATT.

En el proyecto se estudiara la norma 3GPP respecto a la homologación para las tecnologías 2G, 3G y 4G la cual describe las mediciones que se realizan, el procedimiento o protocolo a seguir, también se estudian conceptos básicos respecto a telecomunicaciones.

En el laboratorio propuesto se tiene dos ambiente principales en los que se realizaran las mediciones, en el primero se realizan pruebas de radiofrecuencia según el 3GPP, en el segundo se realizan pruebas de Tasa de Absorción Especifica SAR, también se desarrolla un procedimiento a seguir con el fin de llevar a cabo mediciones y pruebas estandarizadas para la verificación de cada uno de los parámetros técnicos de los equipos terminales móviles, así de esta manera poder comprobar su funcionamiento, verificación de parámetros técnicos y que no sobrepase los límites tanto de radiofrecuencia como de exposición de SAR.

Se hace un estudio sobre la potencia que cada equipo consume para poder realizar un diagrama eléctrico y para asignar este al tablero principal de energía de la Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Trasportes.

Por último se analiza costos de equipos que involucra el laboratorio en las siguientes marcas Keysight Technologies, Anritsu y Rohde & Schwarz.

El elaborar este proyecto se a logrado resaltar la importancia de un proceso de homologación técnica para los equipos terminales móviles esto para que el usuario final goce de un servicio de calidad a través de equipos que permitan acceder al mismo sin ningún problema y sin provocar interferencia a los demás, de esta manera tener una verificación técnica confiable garantizando la interoperabilidad en las redes de telecomunicaciones.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1. CAPÍTULO 1: MARCO REFERENCIAL..... | 2 |
| 1.1. Planteamiento del problema..... | 2 |
| 1.2. Descripción de la solución propuesta..... | 2 |
| 1.3. Objetivos..... | 3 |
| 1.3.1. Objetivo general..... | 3 |
| 1.3.2. Objetivos específicos..... | 3 |
| 1.4. Justificación..... | 3 |
| 1.4.1. Técnica..... | 3 |
| 1.4.2. Social..... | 4 |
| 1.4.3. Económica..... | 4 |
| 1.5. Límites..... | 4 |
| 1.6. Alcances..... | 4 |
| 2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO..... | 5 |
| 2.1. Conceptos básicos en tecnología de comunicación celular..... | 5 |
| 2.1.1. Estación de radiobase..... | 5 |
| 2.1.2. Central de conmutación móvil..... | 6 |
| 2.1.3. Terminal móvil (Fundamentos básicos de la Telefonía Móvil, 2015)..... | 8 |
| 2.1.3.1. Módulo de Radiofrecuencia RF..... | 8 |
| 2.1.3.2. Módulo de Audio frecuencia AF..... | 9 |
| 2.1.3.3. Área lógica..... | 10 |
| 2.2. Tecnología de comunicación celular..... | 11 |
| 2.2.1. Técnicas de duplexación..... | 11 |
| 2.2.1.1. Duplexación por división de tiempo TDD..... | 11 |
| 2.2.1.2. Duplexación por división de frecuencia FDD..... | 12 |
| 2.2.2. Esquemas de modulación digital..... | 12 |
| 2.2.2.1. Tipos de modulación..... | 13 |
| 2.2.3. Técnicas de acceso múltiple..... | 15 |
| 2.2.3.1. Tipos de acceso múltiple..... | 15 |
| 2.3. Generación de los teléfonos celulares..... | 16 |
| 2.3.1. Primera generación de los teléfonos celulares..... | 17 |
| 2.3.2. Segunda generación de los teléfonos celulares..... | 17 |
| 2.3.2.1. Tecnologías en la segunda generación 2G..... | 18 |
| 2.3.3. Tercera generación de los teléfonos celulares..... | 18 |
| 2.3.3.1. Tecnologías en la tercera generación..... | 19 |
| 2.3.4. Cuarta generación de los teléfonos celulares..... | 20 |
| 2.3.5. Quinta generación de los teléfonos celulares..... | 20 |

| | |
|---|----|
| 2.3.6. Tabla comparativa de las tecnologías 2G, 3G, 4G y 5G | 21 |
| 2.4. Tecnologías de conectividad Inalámbrica | 23 |
| 2.4.1. Bluetooth..... | 23 |
| 2.4.2. Wifi | 23 |
| 2.5. Plan Nacional de frecuencias..... | 25 |
| 2.6. Radiación Electromagnética | 28 |
| 2.6.1. Radiación ionizante | 29 |
| 2.6.2. Radiación no ionizante | 30 |
| 2.6.2.1. Tasa específica de absorción SAR (Solano Eizaguirre, 2013)..... | 30 |
| 2.6.2.2. Límites aceptables de exposición | 31 |
| 2.7. Especificaciones técnicas del 3GPP respecto al proceso de homologación | 32 |
| 2.8. Bandas de frecuencia | 33 |
| 2.8.1. Especificaciones técnicas del 3GPP para GSM/GPRS/EDGE | 34 |
| 2.8.1.1. Error de frecuencia y error de fase para GSM/GPRS/EDGE | 34 |
| 2.8.1.1.1. Finalidad de la prueba..... | 34 |
| 2.8.1.1.2. Explicación de la prueba | 35 |
| 2.8.1.1.3. Requerimiento de la prueba | 35 |
| 2.8.1.2. Potencia de salida del terminal móvil para GSM/GPRS/EDGE | 36 |
| 2.8.1.2.1. Explicación de la prueba | 36 |
| 2.8.1.2.2. Requerimiento y finalidad de la prueba | 36 |
| 2.8.2. Especificaciones técnicas del 3GPP para WCDMA/HSPA/HSUPA | 37 |
| 2.8.2.1. Potencia máxima de salida del terminal móvil | 38 |
| 2.8.2.1.1. Finalidad de la prueba y requerimientos | 38 |
| 2.8.2.2. Error de frecuencia | 41 |
| 2.8.2.2.1. Finalidad de la prueba y requerimientos | 41 |
| 2.8.2.3. Ancho de banda..... | 41 |
| 2.8.2.3.1. Finalidad de la prueba y requerimientos | 42 |
| 2.8.2.4. Mascara de emisión espectral | 42 |
| 2.8.2.4.1. Finalidad de la prueba y requerimientos | 42 |
| 2.8.2.5. Tasa de potencia interferente en el canal adyacente (ACLR) | 43 |
| 2.8.2.5.1. Finalidad de la prueba y requerimientos | 43 |
| 2.8.2.6. Emisiones espurias | 44 |
| 2.8.2.6.1. Finalidad de la prueba y requerimientos | 44 |
| 2.8.3. Especificaciones técnicas del 3GPP para LTE y LTE Advance | 45 |
| 2.8.3.1. Potencia máxima de salida del terminal móvil | 45 |
| 2.8.3.1.1. Finalidad de la prueba y requerimientos | 46 |
| 2.8.3.2. Error de frecuencia..... | 47 |
| 2.8.3.2.1. Finalidad de la prueba y requerimientos | 47 |
| 2.8.3.3. Ancho de banda..... | 48 |
| 2.8.3.3.1. Finalidad y requerimiento de la prueba | 48 |
| 2.8.3.4. Mascara de emisión espectral | 49 |

| | | |
|------------|---|----|
| 2.8.3.4.1. | Finalidad de la prueba y requerimientos | 50 |
| 2.8.3.5. | Relación de fuga del canal adyacente..... | 51 |
| 2.8.3.5.1. | Finalidad de la prueba y requerimientos | 52 |
| 2.8.3.6. | Magnitud del vector de error (EVM) | 53 |
| 2.8.3.6.1. | Finalidad de la prueba y requerimientos | 54 |
| 2.9. | Estatus actual al proceso de homologación | 55 |
| 2.9.1. | Ley N° 164 Ley General de Telecomunicaciones, Tecnologías de Información y Comunicación..... | 55 |
| 2.9.2. | Reglamento a la Ley N° 164 del Sector de Telecomunicaciones | 55 |
| 2.9.3. | Descripción del proceso de homologación actual realizado por la ATT | 57 |
| 2.9.3.1. | Requisitos y procedimiento para la homologación de equipos | 57 |
| 3. | CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL PROYECTO | 60 |
| 3.1. | Equipos para realizar pruebas con respecto a las especificaciones del 3GPP | 60 |
| 3.1.1. | Analizador de espectros | 60 |
| 3.1.2. | Simuladores de radiobase celulares 2G, 3G y 4G | 61 |
| 3.1.3. | RF shielded box | 62 |
| 3.1.4. | Medidor de temperatura y humedad relativa | 62 |
| 3.2. | Esquema de conexión para mediciones con respecto al 3GPP | 63 |
| 3.3. | Protocolo de mediciones para radiofrecuencia con respecto al 3GPP | 64 |
| 3.3.1. | Condiciones del ambiente de prueba | 66 |
| 3.3.2. | Condiciones en la configuración de cada equipo..... | 66 |
| 3.3.2.1. | Analizador de espectros | 66 |
| 3.3.2.2. | Simulador de radio base..... | 66 |
| 3.3.2.2.1. | Configuración del simulador de radio base en GSM/GPRS/EDGE | 67 |
| 3.3.2.2.2. | Configuración del simulador de radio base en WCDMA/HSPA/HSUPA..... | 67 |
| 3.3.2.2.3. | Configuración del simulador de radio base en LTE/LTE Advanced | 70 |
| 3.3.3. | Conexión de equipos | 73 |
| 3.3.4. | Mediciones según la norma por el 3GPP para distintas tecnologías. | 74 |
| 3.3.4.1. | Mediciones a realizar en GSM/GPRS/EDGE | 74 |
| 3.3.4.2. | Mediciones a realizar en WCDMA/HSPA/HSUPA..... | 74 |
| 3.3.4.3. | Mediciones a realizar en LTE/LTE Advanced | 74 |
| 3.4. | Equipos para realizar pruebas de tasa de absorción específica | 75 |
| 3.4.1. | Cámara anecoica | 76 |
| 3.4.2. | Robot..... | 76 |
| 3.4.3. | Sonda de campo eléctrico o magnético..... | 77 |
| 3.4.4. | Fantomas..... | 78 |
| 3.4.5. | Líquidos de simulación de tejidos..... | 78 |
| 3.4.6. | Dispositivos de sujeción del terminal móvil..... | 81 |
| 3.4.7. | Analizador de redes vectoriales..... | 83 |
| 3.4.8. | Generador de señales vectoriales | 83 |
| 3.4.9. | Medidor de potencia | 84 |

| | |
|---|-----|
| 3.4.10. Hardware y software para la medición del SAR | 84 |
| 3.5. Esquema de conexión para mediciones de la Tasa de Absorción Especifica | 85 |
| 3.6. Protocolo de mediciones para la Tasa de Absorción Especifica SAR | 86 |
| 3.6.1. Condiciones ambientales del laboratorio | 88 |
| 3.6.2. Encendido y configuración de la instrumentación | 89 |
| 3.6.2.1. Líquido simulador | 89 |
| 3.6.2.1.1. Medición del líquido simulador..... | 89 |
| 3.6.2.1.2. Llenado del líquido simulador en el fantoma | 91 |
| 3.6.2.1.3. Vaciado del líquido simulador | 91 |
| 3.6.2.2. Validación de dipolos | 92 |
| 3.6.2.3. Posicionamiento del terminal móvil | 95 |
| 3.6.2.4. Medición de la Tasa de Absorción Específica | 95 |
| 3.7. Requerimientos mínimos para el sistema eléctrico | 97 |
| 3.7.1. Asignación en el tablero de distribución general..... | 97 |
| 3.7.2. Diagrama unifilar | 100 |
| 3.8. Diagrama del proceso de homologación | 103 |
| 4. CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE COSTOS | 104 |
| 5. CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 115 |
| 5.1. CONCLUSIONES | 115 |
| 5.2. RECOMEDACIONES..... | 117 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA..... | 118 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1 Características de las tecnologías 2G, 3G, 4G y 5G | 21 |
| Tabla 2.2 Características de la tecnología Bluetooth | 23 |
| Tabla 2.3 Características de Wi-Fi | 24 |
| Tabla 2.4 Distribución de la banda 850 MHz de acuerdo al Plan Nacional de Frecuencia para el servicio móvil | 26 |
| Tabla 2.5 Distribución de la banda 1900 MHz de acuerdo al Plan Nacional de Frecuencia para el servicio móvil | 27 |
| Tabla 2.6 Distribución de la banda 700 MHz de acuerdo al Plan Nacional de Frecuencia para el servicio móvil | 28 |
| Tabla 2.7 Distribución de la banda 1700/2100 MHz de acuerdo al Plan Nacional de Frecuencia para el servicio móvil..... | 28 |
| Tabla 2.8 Miembros organizativos del 3GPP..... | 33 |
| Tabla 2.9 Bandas de frecuencias..... | 33 |
| Tabla 2.10 Error de Frecuencia permitido en GSM | 35 |
| Tabla 2.11 Error de Fase permitido en GSM | 35 |
| Tabla 2.12 Máxima potencia en modulación GSMK..... | 36 |
| Tabla 2.13 Máxima potencia en modulación 8-PSK | 37 |
| Tabla 2.14 Máxima potencia de salida WCDMA | 38 |
| Tabla 2.15 Máxima potencia de salida con HS-DPCCH..... | 39 |
| Tabla 2.16 Parámetros de acuerdo al sub-test seleccionado con HS-DPCCH..... | 39 |
| Tabla 2.17 Máxima potencia de salida con HS-DPCCH y E-DCH | 40 |
| Tabla 2.18 Parámetros de acuerdo al sub-test seleccionado con HS-DPCCH y E-DCH | 40 |
| Tabla 2.19 Mascara de emisión espectral con HSDPA y E-DCH..... | 42 |
| Tabla 2.20 Tasa de potencia interferente en el canal adyacente con HSDPA y E-DCH..... | 44 |
| Tabla 2.21 Emisión espuria con HSDPA y E-DCH | 44 |
| Tabla 2.22 Configuraciones para el ensayo de Potencia Máxima de Salida en LTE | 45 |
| Tabla 2.23 Requerimientos de cumplimiento de Potencia Máxima en LTE | 46 |
| Tabla 2.24 Configuraciones para el ensayo de Error de Frecuencia en LTE | 47 |
| Tabla 2.25 Configuraciones para el ensayo de Ancho de Banda Ocupado en LTE | 48 |
| Tabla 2.26 Requerimientos para el Ancho de Banda Ocupado en LTE..... | 49 |
| Tabla 2.27 Configuraciones para el ensayo de Mascara Espectral en LTE..... | 49 |
| Tabla 2.28 Requerimientos de cumplimiento para el ensayo de Mascara de Emisión Espectral en LTE | 50 |

| | | |
|-------------------|---|-----|
| Tabla 2.29 | Configuraciones para el ensayo de ACRL en LTE..... | 51 |
| Tabla 2.30 | Requerimientos de cumplimiento para ensayo de E-UTRA ACRL..... | 52 |
| Tabla 2.31 | Requerimientos de cumplimiento para ensayo de UTRA ACRL* | 53 |
| Tabla 2.32 | Configuración para la prueba de EVM..... | 54 |
| Tabla 3.1 | Datos de temperatura y humedad dentro el laboratorio | 66 |
| Tabla 3.2 | Canales bajo, medio y alto para 2G | 67 |
| Tabla 3.3 | Banda de operación en Bolivia y frecuencias de Uplink y Downlink para 3G | 68 |
| Tabla 3.4 | Rangos de frecuencias para UARFCN | 69 |
| Tabla 3.5 | Canales bajo, medio y alto para 3G | 69 |
| Tabla 3.6 | Banda de operación en Bolivia y frecuencias de Uplink y Downlink para 4G | 70 |
| Tabla 3.7 | Canales bajo, medio y alto para 4G | 71 |
| Tabla 3.8 | Datos a configurar en el equipo para canales bajo, medio y alto tecnología 4G | 71 |
| Tabla 3.9 | Número de RB en función de la canalización..... | 72 |
| Tabla 3.10 | Niveles de potencia que el emulador debe emitir en LTE | 73 |
| Tabla 3.11 | Parámetros dieléctricos de cabeza y cuerpo según la FCC | 79 |
| Tabla 3.12 | Formula recomendada en frecuencias de 300 MHz a 900 MHz | 79 |
| Tabla 3.13 | Formula para las frecuencias de 1450 MHz a 2000 MHz | 80 |
| Tabla 3.14 | Formula para frecuencias entre 2100 MHz a 5800 MHz | 81 |
| Tabla 3.15 | Consumo de energía eléctrica de cada equipo | 97 |
| Tabla 3.16 | Tablero de distribución..... | 99 |
| Tabla 4.1 | Costo del laboratorio con equipos de la marca Keysight Technologies | 113 |
| Tabla 4.2 | Costo del laboratorio con equipos de la marca Anritsu..... | 113 |
| Tabla 4.3 | Costo del laboratorio con equipos de la marca | 114 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 2.1. Radiobases y sus componentes..... | 6 |
| Figura 2.2: Central de conmutación | 7 |
| Figura 2.3: Diagrama de bloques de un teléfono móvil | 8 |
| Figura 2.4: Módulo de Radiofrecuencia del teléfono móvil | 9 |
| Figura 2.5: Módulo de Audio frecuencia del teléfono móvil | 10 |
| Figura 2.6: Área Lógica del teléfono móvil..... | 11 |
| Figura 2.7: Duplexacion FDD y TDD..... | 12 |
| Figura 2.8: Técnicas de acceso múltiple FDMA, TDMA y CDMA..... | 15 |
| Figura 2.9: Técnicas de acceso múltiple OFDMA y SC-FDMA | 16 |
| Figura 2.10: Regiones del planeta según la UIT..... | 25 |
| Figura 2.11: Cuadro de atribución de bandas de frecuencia..... | 26 |
| Figura 2.12: Tipos de Radiación | 29 |
| Figura 3.1 Diagrama de conexión para mediciones con respecto al 3GPP..... | 63 |
| Figura 3.2 Procedimiento para mediciones de radiofrecuencia con respecto al 3GPP | 65 |
| Figura 3.3 Equipos para las pruebas de radiofrecuencia según el 3GPP | 75 |
| Figura 3.4 Posición cheek del terminal móvil en uno de los lados del fantoma (tocando) | 82 |
| Figura 3.5 Posición tilt del terminal móvil en uno de los lados del fantoma (inclinado) | 82 |
| Figura 3.6 Diagrama de conexión para mediciones para la Tasa de Absorción Especifica | 85 |
| Figura 3.7 Diagrama de conexión para medición del líquido simulador de tejido humano | 85 |
| Figura 3.8 Procedimiento para mediciones de la Tasa de Absorción Especifica SAR | 88 |
| Figura 3.9 Medición de la sonda con agua desionizada y kit de calibración | 90 |
| Figura 3.10 Medición de la sonda en el líquido simulador..... | 91 |
| Figura 3.11 Dipolo visto de la parte | 93 |
| Figura 3.12 Dipolo y espaciador de | 93 |
| Figura 3.13 Dipolos de Validación | 93 |
| Figura 3.14 Dipolo y generador de señales | 94 |
| Figura 3.15 Robot, sujetador de terminal móvil y simulador de radiobase..... | 96 |
| Figura 3.16 Diagrama unifilar del laboratorio | 100 |
| Figura 3.17 Instalación eléctrica del laboratorio de homologación | 101 |
| Figura 3.18 Imágenes de los ambientes del laboratorio de homologación..... | 102 |
| Figura 3.19 Diagrama para el proceso de Homologación..... | 103 |

INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones móviles han tenido un acelerado crecimiento, desarrollándose diversas tecnologías, gracias a la reducción del tamaño de componentes electrónicos y sistemas para dar servicios de comunicaciones inalámbricas como el servicio de telefonía celular, por tanto actualmente todos nosotros estamos expuestos constantemente a campos electromagnéticos. (López Narváez & Molina Gavilanez, 2013)

La homologación de terminales móviles, consiste en estandarizar los mismos a través de pruebas de laboratorio y pruebas de campo con el fin de garantizar el buen funcionamiento dentro las diferentes redes dependiendo de los servicios que se presenten y de la tecnología que se adquiera.

El principal objetivo de la homologación es proteger de interferencias perjudiciales a los servicios de telecomunicaciones de operadores o proveedores autorizados, garantizando la utilización apropiada del espectro radioeléctrico y, segundo, verificar que los equipos o terminales tengan las características técnicas adecuadas para el tipo de servicio autorizado. (La ATT homologa y certifica para Bolivia al Samsung Galaxy S4, 2013)

En el presente proyecto se propone elaborar el diseño de un laboratorio para el proceso de la homologación de teléfonos celulares, estará compuesto por dos partes, en el primero se realizan pruebas de radiofrecuencia según el 3GPP, en el segundo se realizan pruebas de Tasa de Absorción Específica SAR y también se mostrara un procedimiento a seguir con el fin de llevar a cabo mediciones y pruebas estandarizadas para la verificación de cada uno de los parámetros técnicos de los equipos terminales móviles (celulares), con el fin de comprobar su funcionamiento, verificación de parámetros técnicos y que no sobrepase los límites de exposición de SAR para que el usuario final goce de un servicio de calidad a través de equipos que permitan acceder al mismo sin ningún problema y sin provocar interferencia a los demás, así entonces se tendrá una verificación técnica confiable garantizando la interoperabilidad en las redes de telecomunicaciones.

CÁPITULO 1: MARCO REFERENCIAL

1.1. Planteamiento del problema

Actualmente el proceso de homologación que se realiza en Estado Plurinacional de Bolivia constituye un análisis técnico solo documental del equipo donde se determina si el mismo dispone de documentos técnicos del fabricante y opera de acuerdo a la normativa e instructivos técnicos aprobados en el Estado Plurinacional de Bolivia por la Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transportes ATT, sin realizar una verificación técnica de especificaciones y su influencia de compatibilidad con otros equipos de telecomunicaciones.

Es de esta forma, que para fortalecer el proceso de homologación debe realizarse el mismo de manera práctica para permitir una comprobación y verificación técnica basada en la medición de los parámetros de mayor importancia e influencia y en comparación de estándares de aplicación en el Estado Plurinacional de Bolivia.

1.2. Descripción de la solución propuesta

Con el presente proyecto se establecerán características técnicas que deberán ser evaluadas en un proceso de homologación de equipos terminales móviles, además se proponen diferentes equipos que deberán conformar un laboratorio con dicho fin y las características de los mismos.

Con esta propuesta se busca reforzar al proceso de la homologación de equipos terminales realizando técnicamente, además de enunciar un procedimiento para la determinación de los parámetros de gran importancia de dicho proceso. El hecho de tener conocimiento de las características de los equipos que están funcionando en nuestro país, facilitara el cumplimiento y mejoramiento de las políticas tanto de control como de regulación de los equipos terminales.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Diseñar un laboratorio para el proceso de homologación de terminales móviles de manera que pueda ser aplicada en la Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Trasportes - ATT.

1.3.2. Objetivos específicos

- Estudiar los principales conceptos sobre las generaciones de tecnologías móviles celulares 2G, 3G, 4G y 5G para conocer las características de cada una.
- Estudiar los requerimientos de parámetros técnicos para el proceso de homologación de los equipos terminales móviles.
- Determinar las características de los equipos de medición los cuales se usan en el proceso de homologación de equipos terminales.
- Estudiar la normativa vigente del país sobre el proceso de homologación actual.
- Realizar un esquema eléctrico que incluye los circuitos de luminaria y tomas de energía.

1.4. Justificación

1.4.1. Técnica

Si bien la Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Trasportes – ATT procede a homologar teléfonos móviles celulares y emite una certificación, se podría aprovechar todo ese repositorio de información existente, para darle más valor a esta información existente a través de que se realicen pruebas de laboratorio para el proceso de homologación con el fin de coadyuvar a brindar una mejor conclusión del análisis que se hace al teléfono celular así también garantizar que se cumplan los requisitos de seguridad y de no agresión al medio ambiente.

1.4.2. Social

Al contar con un laboratorio de homologación de terminales móviles en nuestro país se promoverá un proceso de capacitación, el cual comprenderá tener conocimiento sobre el protocolo para realizar las mediciones respectivas y explicación de las características de los equipos con los que contará el laboratorio facilitando dichas pruebas.

1.4.3. Económica

La propuesta de diseñar un laboratorio de mediciones para el proceso de homologación establecería un nuevo campo de acción en la regulación de las telecomunicaciones, así como también generar oportunidades de empleo.

1.5. Limites

Dentro del proyecto se tendrá ciertas limitaciones que son las siguientes:

- No se realiza el estudio con respecto a la norma 3GPP para la tecnología 5G la cual implica que no se realizar un protocolo ni se menciona los equipos para la misma.
- En el estudio no se realizara ningún tipo de prueba debido a falta de equipos.
- No se realizara ningún tipo de simulación de las pruebas que se requieren para cumplir este proceso.

1.6. Alcances

El presente trabajo dentro el diseño identificara variables y parámetros que permitirán realizar las medidas, características técnicas en los sistemas de medición y un diagrama de posición de cada equipo y así también el diagrama eléctrico, sin realizar ningún tipo de implementación.

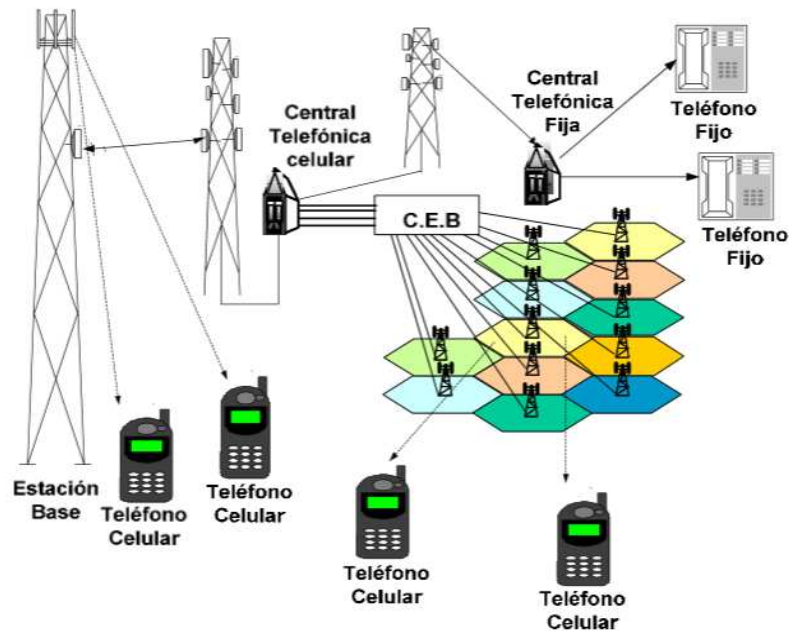
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Conceptos básicos en tecnología de comunicación celular

Para que puedan comunicarse los teléfonos móviles, es necesario que estén en el área de alcance de la estación base del operador y recibir una señal de radio de calidad suficiente. Ésta está indicada por las barras que aparecen en la pantalla del teléfono. Actualmente, están a menudo acompañadas por un signo (por ejemplo, "4G", "3G" o "E" de "Edge") que especifica el tipo de tecnología disponible en la zona.

2.1.1. Estación de radiobase

Las estaciones de radiobase se sitúan dentro de células (hexágonos) esto para no utilizar transmisores de gran potencia para una gran cobertura, el hecho de usar células subdivide la cobertura en áreas más pequeñas, los tamaños de estas celdas pueden ir desde las decenas de metros hasta kilómetros según sea el requerimiento. Las estaciones de radiobase corresponden a las instalaciones fijas que se interconectan mediante sus antenas con los teléfonos móviles a través de ondas electromagnéticas de radiofrecuencia, en este sentido las estaciones radiobase también deben comunicarse con las centrales de sus propias redes para poder comunicarse con otros abonados móviles o comunicarse con las centrales fijas para realizar la comunicaciones con abonados de telefonía fija (Cruz Ornetta, 2015).



C.E.B. : Controlador de Estación Base

Figura 2.1. Radiobases y sus componentes

Fuente: (Cruz Ornetta, 2015)

Cada célula utiliza varias decenas de canales, un canal es por donde se puede emitir una llamada, es decir que por cada célula se pueden emitir varias decenas de llamadas diferentes simultáneas (una por canal). Las antenas utilizadas en las redes móviles pueden ser montadas sobre torres, postes o instaladas de forma distribuida en las zonas superiores de los edificios, con el objetivo de una cobertura más amplia.

2.1.2. Central de conmutación móvil

Las operadoras de telefonía móvil tienen centrales de conmutación las que permitirán la conexión entre dos terminales concretos. Hace la conexión entre los 2 teléfonos, conecta a los dos usuarios, el que hace la llamada y el que la recibe. Podríamos imaginar una operadora conectando dos teléfonos en una llamada mediante clavijas y de forma manual. Pero hoy en día

la conmutación es digital, electrónica y totalmente automatizada (Molina, 2015). Cuando un teléfono hace una llamada, se conecta con la central de conmutación de la estación base más cercana y que pertenezca a la red del su operador: ENTEL S.A., TELECEL S.A. o NUEVATEL S.A.

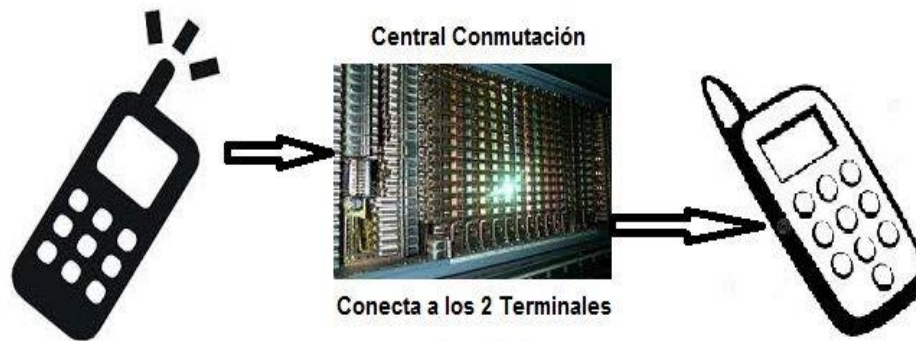


Figura 2.2: *Central de conmutación*

Fuente: (Telefonia móvil, 2017)

La central de conmutación busca al destinatario deseado identificado por su número de teléfono móvil receptor, en la red de estaciones bases, hasta encontrar dentro de la que está en ese momento y conecta las dos estaciones bases emitiendo una alerta, aviso de llamada, al teléfono receptor. Si el receptor acepta la llamada los pone en contacto por un canal. La información, en este caso la voz, se transmite por ondas electromagnéticas de una antena a otra. Los comunicantes están conectados por medio de las estaciones base (Molina, 2015).

Cuando la central de conmutación encuentra la célula a la que pertenece el teléfono receptor, la central de conmutación de la estación base a la que pertenece el móvil receptor, da la frecuencia a la que deben operar los dos móviles para comenzar la transmisión.

Cada estación base informa a su central de conmutación en todo momento de los teléfonos que estén registrados en ella (a su alcance). Es decir cuando un móvil entra en una zona que pertenece a una célula la estación base lo detecta y lo asigna a esta célula registrándolo en la central de conmutación de esa estación base (Molina, 2015). Si se mueve a otra zona el móvil pasará a pertenecer a otra célula diferente. Si no encuentra ninguna célula el móvil estará fuera de cobertura.

Al hacer una llamada con un teléfono móvil, lo primero que éste hace es buscar la señal de la estación base más cercana de su operador y establecer una conexión de radio con ella. Para recibir una llamada, el principio es el mismo, excepto que es la estación base que pide establecer la conexión con el terminal. En este caso, para encaminar la llamada, el operador necesita conocer la celda de la red en que se encuentra el destinatario. Por este motivo, cuando están encendidos e incluso a veces, cuando no se les utiliza para llamar, los móviles "informan" a intervalos regulares la red o "actualizan" sus aplicaciones (Molina, 2015).

2.1.3. Terminal móvil (Fundamentos básicos de la Telefonía Móvil, 2015)

El funcionamiento del terminal móvil se lo observara a través de un diagrama de bloque en el cual hay dos módulos uno de radiofrecuencia y otro de audio frecuencia por ultimo un bloque de área lógica.

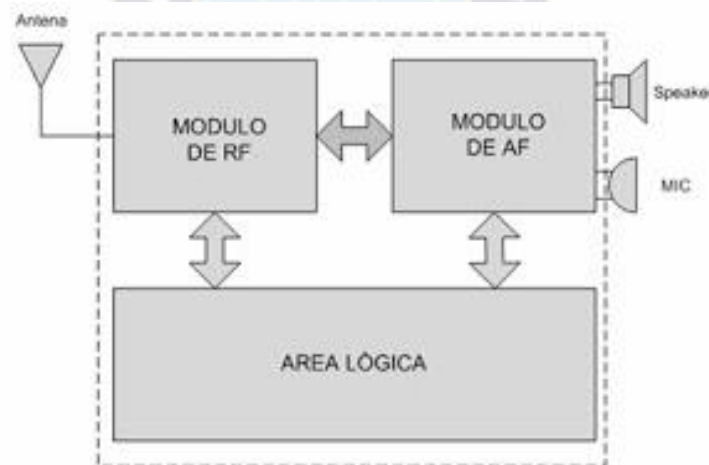


Figura 2.3: Diagrama de bloques de un teléfono móvil

Fuente: (Fundamentos básicos de la Telefonía Móvil, 2015)

2.1.3.1. Módulo de Radiofrecuencia RF

Este módulo se encarga del procesamiento de señal tanto de transmisión (Tx) y recepción (Rx), la señal de RF ingresa al circuito de Rx de RF por la antena en la cual la señal se demodula

y también se realiza el filtrado donde sale la señal de frecuencia intermedia (FI) la cual será enviada al módulo de AF con lo que nos proporciona el Audio. En el caso de que el teléfono celular es un transmisor el audio ingresa por el micrófono, la señal se convierte en una débil señal eléctrica que ingresa al módulo AF, esta se amplifica y se envía al módulo de RF, específicamente al circuito de Tx de RF para que sea modulada a través de la antena.

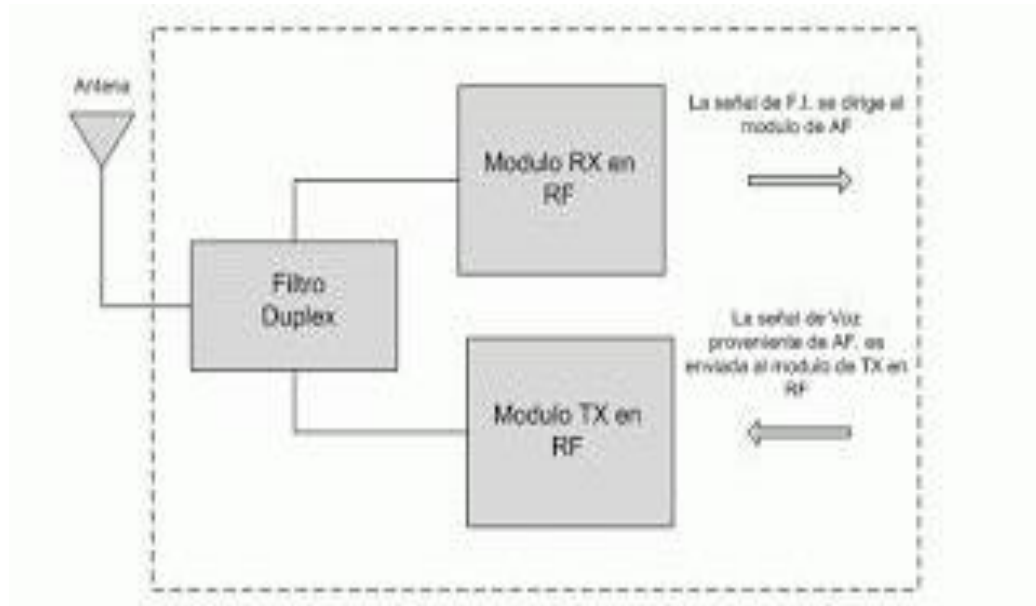


Figura 2.4: Módulo de Radiofrecuencia del teléfono móvil

Fuente: (*Fundamentos básicos de la Telefonía Móvil*, 2015)

2.1.3.2. Módulo de Audio frecuencia AF

Este módulo es el encargado de procesar el audio es decir, se realiza la conversión de la frecuencia intermedia (FI) proveniente de Rx del módulo de RF, también convierte la señal en voz a través de la salida del parlante. Procesa el audio que ingresa por el micrófono para enviarlo al módulo de TX de RF.

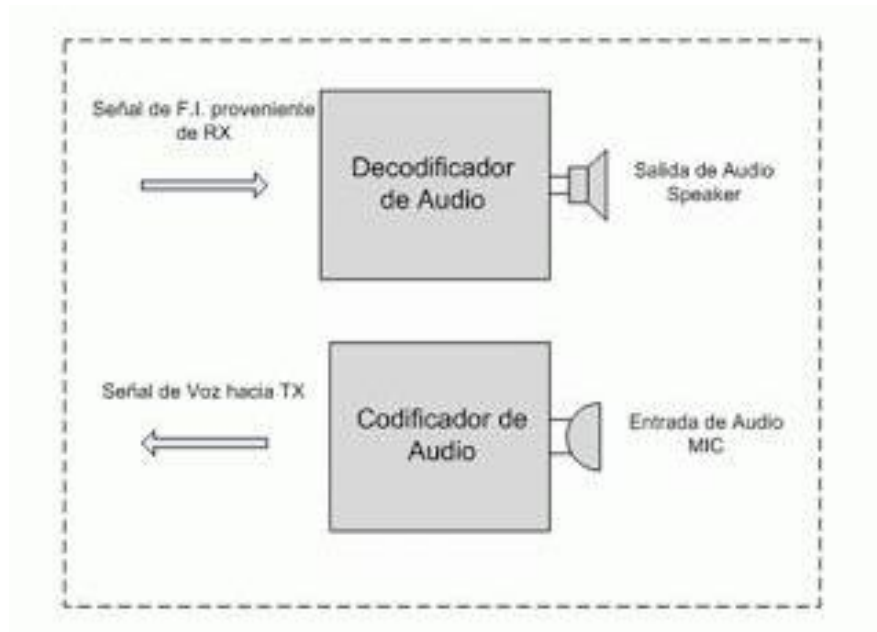


Figura 2.5: *Módulo de Audio frecuencia del teléfono móvil*

Fuente: *(Fundamentos básicos de la Telefonía Móvil, 2015)*

2.1.3.3. Área lógica

Es el área que se encarga de procesar todos los datos de entrada y salida del equipo, es semejante en funcionamiento a una PC, dentro del área lógica encontraremos el microprocesador, las memorias: RAM, EEPROM o Memoria Flash, periféricos de entrada y salida de datos, display, teclado, etc. El microprocesador es quien mantiene el control total del teléfono, pero en base a datos/instrucciones cargados dentro de la memoria del teléfono, estos datos/instrucciones forman lo que conocemos como sistema operativo, ahí está escrito todo lo que el teléfono puede hacer.

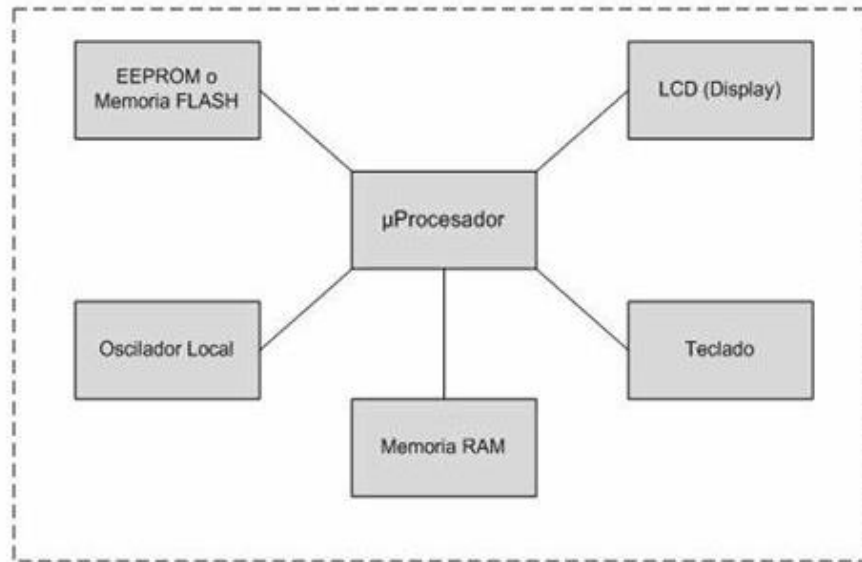


Figura 2.6: Área Lógica del teléfono móvil

Fuente: (*Fundamentos básicos de la Telefonía Móvil, 2015*)

2.2. Tecnología de comunicación celular

2.2.1. Técnicas de duplexación

Duplexación es la técnica para hacer que la comunicación sea full dúplex. Los sistemas simplex pueden emular dúplex, para esto se utiliza un multiplexor de tiempo o de frecuencia tanto para separar el canal de transmisión como el de recepción, estas técnicas son utilizadas en teléfonos celulares.

2.2.1.1. Duplexación por división de tiempo TDD

TDD es el acrónimo de Duplexación por División de Tiempo (equivalente a Half-Dúplex), lo que significa que el radio puede transmitir o recibir datos, pero no realizar ambas acciones al mismo tiempo.

2.2.1.2. Duplexación por división de frecuencia FDD

FDD es el acrónimo de Duplexación por División de Frecuencia (equivalente a Full-Duplex), que significa que el radio transmite y recibe datos al mismo tiempo, logrando así alto rendimiento y latencia muy baja.

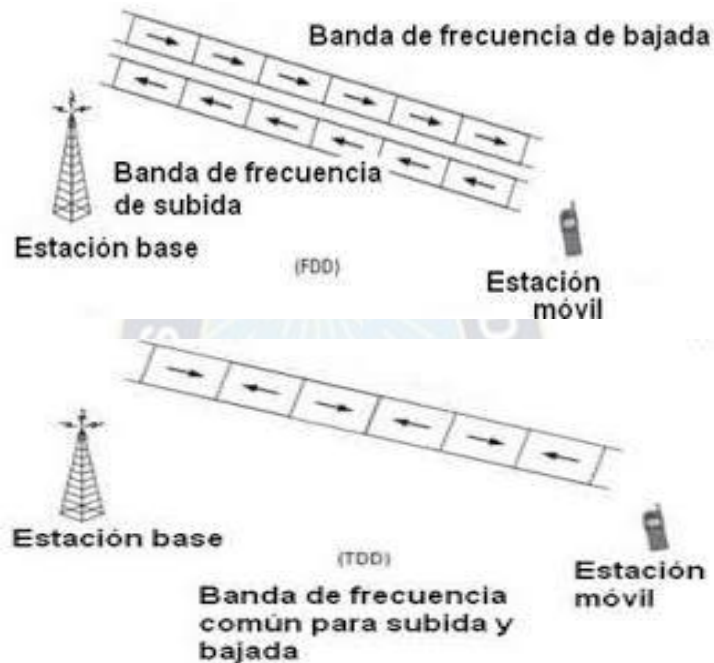


Figura 2.7: Duplexación FDD y TDD

Fuente: (Caceres, 2013)

2.2.2. Esquemas de modulación digital

La modulación consiste en hacer que un parámetro como amplitud, la frecuencia, la fase o la combinación de estas de la onda portadora cambie de valor de acuerdo con las variaciones de la señal moduladora.

La modulación digital se utiliza principalmente para adaptar señales binarias al medio de transmisión. Porque se realiza el proceso de modulación:

- Para adaptar las señales al medio.
- Para multiplexar señales.
- Para optimizar consumo de recursos (espectro y potencia).
- Para reducir efectos del ruido y la interferencia.
- Para simplificar componentes y facilitar su construcción (antenas, transmisores y receptores).

2.2.2.1. *Tipos de modulación*

- **Modulación por desplazamiento de amplitud ASK.-** Es una modulación en la cual se representa variaciones de amplitud de la señal portadora manteniendo la frecuencia y la fase constante.
- **Modulación por desplazamiento de frecuencia FSK.-** Es una modulación de transmisión digital de información binaria utilizando dos frecuencias diferentes. Si la señal entrante es “1” será mayor frecuencia y si es “0” la frecuencia será menor.
- **Modulación por desplazamiento de frecuencia con filtro gussiano GFSK.-** Es una modulación donde a la entrada del modulador se halla un filtro pasabajo gaussiano que suaviza las transiciones de la señal de datos, lo que evita que las señales de alta frecuencia pasen al modulador y aumenta el ancho de pulso de un periodo mayor que la duración de un bit, lo que puede causar interferencia.
- **Modulación por desplazamiento de fase PSK.-** Esta modulación se caracteriza porque la fase de la onda portadora varía directamente de acuerdo con la señal modulante, resultando una señal de modulación en fase, esta señal se la obtiene variando la fase de una señal portadora de amplitud constante, en forma directamente proporcional a la amplitud de la señal modulante.
- **Modulación por desplazamiento de fase binario BPSK.-** En esta modulación son posibles dos fases de salida para una sola frecuencia de portadora. Una fase salida representa un 1 lógico y la otra un cero lógico.

- **Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura QPSK.-** La QPSK es una técnica de codificación M-ario, en donde $M=4$ (de ahí el nombre de “cuaternaria”, que significa “4”). Con QPSK son posibles cuatro fases de salida, para una sola frecuencia de la portadora. Con 2 bits, hay cuatro posibles condiciones: 00, 01, 10 y 11.
- **Modulación por desplazamiento mínimo MSK.-** Se refiere al tipo de modulación por desplazamiento de frecuencia continua, MSK se codifica con bits alternando entre componentes de cuadratura, con el componente Q retrasado por la mitad del periodo de símbolo.
- **Modulación por desplazamiento con filtro gaussiano GMSK.-** GMSK es similar a la modificación por desplazamiento mínimo estándar (MSK); Sin embargo, la corriente de datos digitales se configura primero con un filtro gaussiano antes de ser aplicada a un modulador de frecuencia, y típicamente tiene ángulos de desplazamiento de fase mucho más estrechos que la mayoría de los sistemas de modulación MSK. Esto tiene la ventaja de reducir la potencia de la banda lateral, lo que a su vez reduce la interferencia fuera de banda entre los portadores de las señales en los canales de frecuencia adyacente.
- **Modulación de amplitud en cuadratura QAM.-** Es una modulación digital avanzada que transporta datos cambiando la amplitud de dos ondas portadoras, estas portadoras tienen igual frecuencia pero están desfasadas 90° entre sí. Se tiene diferentes tipos de modulación: 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM, 256-QAM; donde los números indican las posibles combinaciones de amplitud y fase la cual permitirá obtener, para una misma velocidad de modulación, una mayor tasa de bits (velocidad de transmisión).

2.2.3. Técnicas de acceso múltiple

Las técnicas de acceso al medio comprenden ciertos esquemas que se han propuesto e implementado para asignar los recursos de la red a los usuarios de la misma; específicamente, determinan la manera como los usuarios acceden al medio de transmisión para utilizarlo.

2.2.3.1. Tipos de acceso múltiple

- **Acceso múltiple por división de frecuencia FDMA.-** En este método a cada usuario se asigna una frecuencia distinta, asignado a los usuarios distintos rangos de frecuencia.
- **Acceso múltiple por división de tiempo TDMA.-** Este método se divide un único canal de frecuencia de radio en varias ranuras de tiempo, a cada usuario se asigna una ranura de tiempo para transmisión, lo que hace posible que varios usuarios utilicen un mismo canal sin interferir.
- **Acceso múltiple por división de código CDMA.-** En este método todos los usuarios pueden transmitir al mismo tiempo y en la misma banda de frecuencia.
-

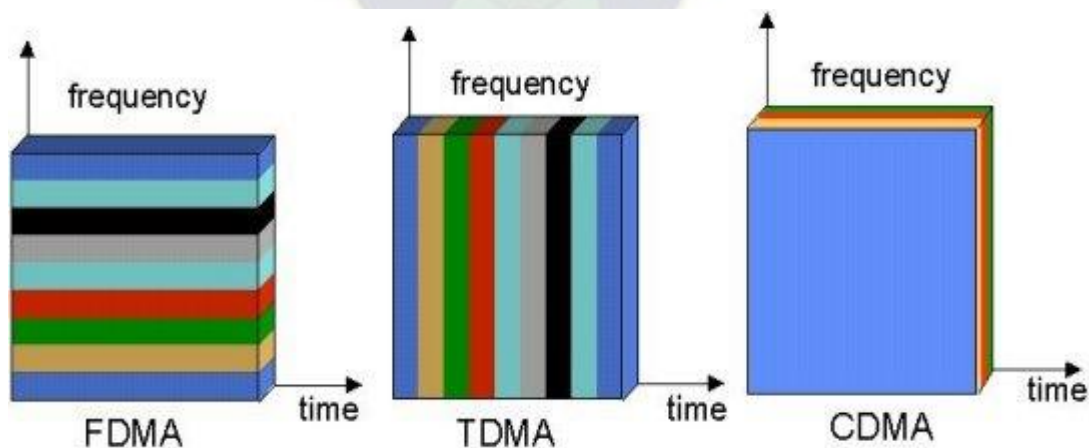


Figura 2.8: Técnicas de acceso múltiple FDMA, TDMA y CDMA

Fuente: (CDMA Tutorial, 2006)

- **Acceso múltiple con detección de portadora y anticollisión CSMA-CA.-** es un protocolo de control de acceso a redes de bajo nivel que permite que múltiples estaciones utilicen un mismo medio de transmisión.
- **Acceso múltiple por división de frecuencia – portadora única SC-FDMA.-** se puede considerar como una versión precodificada, mediante la transformada de Fourier (DFT), de OFDMA. Es un esquema de acceso múltiple que utiliza modulación de portadora única, multiplexación frecuencia ortogonal y ecualización en el dominio frecuencia.
- **Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal OFDMA.-** En OFDMA, la banda asignada se subdivide en bandas muy angostas que son asignadas dinámicamente a los usuarios para envío de información.

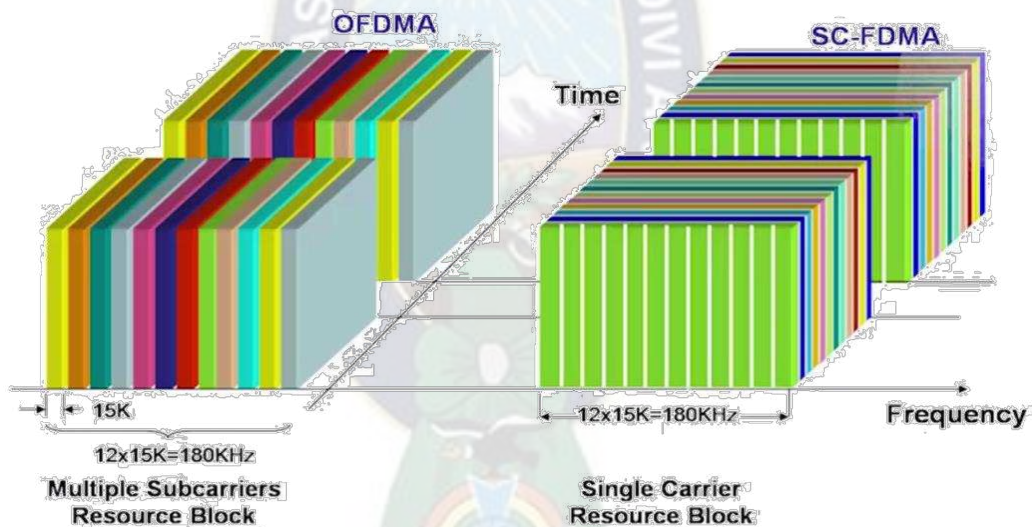


Figura 2.9: Técnicas de acceso múltiple OFDMA y SC-FDMA

Fuente: (4G - LTE/LTE-A, 2014)

2.3. Generación de los teléfonos celulares

Los primeros teléfonos celulares eran solo para hablar poco a poco los fabricantes de teléfonos celulares comenzaron a darse cuenta de que podían integrar otras tecnologías en su

teléfono y ampliar sus características. La tecnología inalámbrica tuvo gran aceptación, por lo que a los pocos años de implantarse se empezó a saturar el servicio, por lo que hubo la imperiosa necesidad de desarrollar e implementar otras formas de acceso múltiple al canal y transformar los sistemas analógicos a digitales para darle cabida a más usuarios. Para separar una etapa de la otra, a la telefonía celular se ha categorizado por generaciones. A continuación se describen cada una de ellas (Martínez, 2001).

2.3.1. Primera generación de los teléfonos celulares

La 1G de la telefonía móvil hizo su aparición en 1979, se caracterizó por ser analógica y estrictamente para voz. La calidad de los enlaces de voz era muy baja, baja velocidad (2400 bauds), la transferencia entre celdas era muy imprecisa, tenían baja capacidad basadas en FDMA, (Frequency Division Multiple Access) y la seguridad no existía. La tecnología predominante de esta generación es AMPS (Advanced Mobile Phone System) (Martínez, 2001).

Una desventaja era que para mantener una calidad de voz aceptable, los terminales necesitaban manejar un alto nivel de potencia (1 a 3 watts). La demanda de teléfonos celulares y la necesidad de optimizar el uso del espectro radioeléctrico dio paso a la siguiente generación de telefonía celular.

2.3.2. Segunda generación de los teléfonos celulares

La 2G arribó hasta 1990 y a diferencia de la primera se caracterizó por ser digital. El sistema 2G utiliza protocolos de codificación más sofisticados y son los sistemas de telefonía celular usados en la actualidad. Las tecnologías predominantes son: GSM (Global System for Mobile Communications); IS-136 (conocido también como TIA/EIA-136 o ANSI-136) y CDMA (Code Division Multiple Access), PCS (Personal Communications Services) (Martínez, 2001).

Los protocolos empleados en los sistemas 2G soportan velocidades de información más altas para voz pero limitados en comunicaciones de datos. Se pueden ofrecer servicios auxiliares tales como datos, fax y SMS (Short Message Service).

Un teléfono GSM puede proporcionar una potencia máxima de hasta 2 W durante una llamada y, en las mejores condiciones de recepción, la potencia puede ser mil veces inferior (aproximadamente 0,001 W) (¿Cómo funciona un teléfono móvil?, 2017).

2.3.2.1. *Tecnologías en la segunda generación 2G*

- GSM como sus siglas dice que es un Sistema Global para Comunicaciones Móviles es un tipo de red que se utiliza para transmisión móvil de voz y datos.
- GPRS significa Servicio General de Paquetes Via Radio es una extensión mejorada de GSM permite la mensajería instantánea, los servicios de mensajes cortos (SMS) y multimedia (MMS) y de correo electrónico y que estemos "siempre conectados", entre otras cosas.
- EDGE o EGPRS significa Tasa de Datos mejoradas para la Evolución de GSM esta tecnología actúa como puente entre las redes 2G y 3G.

2.3.3. Tercera generación de los teléfonos celulares

La 3G es tipificada por la convergencia de la voz y datos con acceso inalámbrico a Internet, aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos. Los protocolos empleados en los sistemas 3G soportan más altas velocidades de información enfocados para aplicaciones más allá de la voz tales como audio (MP3), video en movimiento, video conferencia y acceso rápido a Internet, sólo por nombrar algunos (Martínez, 2001).

Esta tecnología es también más eficaz en el tratamiento de la señal dado que gracias a condiciones óptimas de recepción, un móvil 3G puede funcionar a niveles de potencia varios millones de veces inferiores a su potencia máxima (su potencia máxima es de 0,25 W) (¿Cómo funciona un teléfono móvil?, 2017).

2.3.3.1. *Tecnologías en la tercera generación*

- **Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles UMTS.-** Las redes del sistema universal de telecomunicaciones móviles (UMTS) basadas en acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA) se han desplegado en todo el mundo como sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación
- **Acceso Descendente de Paquetes de Alta Velocidad HSDPA (3.5G).-** Se agregaron varios canales nuevos al enlace descendente dentro de HSPDA para proporcionar la capacidad de daros adicional así como el control requerido. Los canales que se han introducido son los siguientes:
 - Canal compartido de enlace descendente de alta velocidad HS-DSCH, este canal admite la codificación adaptiva y el cambio de modulación para adaptarse a las condiciones cambiantes dentro del sistema, así también es utilizado para el transporte.
 - Canal de control de señalización de alta velocidad HS-SSCH, este canal físico lleva la identidad del UE para permitir el direccionamiento específico del mismo.
 - Canal de control físico dedicado de alta velocidad HS-DPCCH, este canal físico contiene la información de calidad.
- **Acceso Ascendente de Paquetes de Alta Velocidad HSUPA (3.75G).-** Los canales que se han introducido son los siguientes:
 - Canal dedicado mejorado E-DCH, es el canal de transporte de datos para enlace de datos, pero este canal no soporta modulación adaptable debido a que no utiliza esquemas de modulación superiores.
 - Canal de datos físico dedicado mejorado E-DPDCH, es un canal físico dedicado para transmitir el canal de transporte de datos E-DCH.

- Canal de control físico dedicado mejorado E-DPCCH, este canal transporta los datos de control requeridos por el Nodo B para decodificar los canales ascendentes incluyendo el Indicador Combinado de Formato de Transporte E-DCH que indica el tamaño de bloque.
- **Acceso de Paquetes a Alta Velocidad HSPA+ (3.8G – 3.85G).**- También conocido como Evolved HSPA (HSPA Evolucionado) esta tecnología es la combinación de las anteriores tecnologías HSDPA y HSUPA. Soporta acceso a internet, video vigilancia, VPN, TV en vivo.

2.3.4. Cuarta generación de los teléfonos celulares

Se debe tener en cuenta que usar el dispositivo LTE en zonas donde hay una buena cobertura también disminuye la exposición, puesto que la transmisión requiere una potencia menor. Los dispositivos LTE son radiotransmisores de baja potencia, con potencias máximas de hasta 0,2 vatios. El dispositivo solo transmite cuando está encendido. Los dispositivos LTE se someten a rigurosas pruebas para cumplir con la normativa de exposición con el nivel de potencia más alto certificado en condiciones de laboratorio.

2.3.5. Quinta generación de los teléfonos celulares

La tecnología 5G se presenta como sucesora de la generación 4G, manteniendo las funciones de sus predecesoras en cuanto a mensajería instantánea, llamadas y navegación por internet, pero la conexión será mucho más rápida. Además de su impactante grado de rendimiento, esta tecnología mejorara el nivel de latencia ya que será extremadamente baja se espera que pueda descender por debajo de un milisegundo (Tecnología 5G. Características del nuevo estandar para móvil, 2018).

2.3.6. Tabla comparativa de las tecnologías 2G, 3G, 4G y 5G

Tabla 2.1

Características de las tecnologías 2G, 3G, 4G y 5G

| Tecnología | Tecnología de Radio | Modulación | Ancho de Banda | Tasa Pico de Datos Teórica | Tipo de Latencia | Servicio | Estándar de Pruebas de Conformidad |
|------------|---------------------|----------------------|----------------|--------------------------------|----------------------------------|----------|--|
| 2G | GSM | GSMK | 200 kHz | DL: 43.2 kbps UL: 14.4 kbps | 500 ms | | 3GPP TS 51.010-1 V6.5.0 (2005-11) |
| | GPRS | TDMA FDD FDMA FDD | | GSMK | | | |
| | EDGE | | | $3\pi/8$ fases8PSK | DL: 473.6 kbps UL: 355.2 kbps | | |
| 3G | UMTS | | | DL: QPSK UL: HPSK | 384 kbps | 250 ms | ETSI TS 134 121-1 V9.1.0 (2010-07) |
| | HSDPA | CDMA FDD | | DL: HPSK, | DL: 14.4 Mbps | 70 ms | |
| | HSUPA | | CDMA TDD | 16QAM | UL: 5.76 Mbps | | |
| | HSPA+ | | | UL: QPSK, 16QAM y 64QAM | DL: 84.4 Mbps UL: 23.0 Mbps | 30 ms | |

| | | | | | | | | |
|----|-------------|-----------------|--------------------------------|--|-----------------------------|-------|---|-----------------------------------|
| | LTE | | | | DL: 75 Mbps UL: 300 Mbps | 10 ms | Alta tasa de datos, alta movilidad | |
| 4G | | OFDMA y SC-FDMA | QPSK, 16QAM Y 64 QAM | 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz | DL: 1 Gbps UL: 500 Mbps | 5 ms | Alta tasa de datos para aplicaciones avanzadas (100 Mbps para alta movilidad y 1Gbps para baja movilidad) | 3GPP TS 36.521-1 V9.5.0 (2011-06) |
| | LTE ADVANCE | | | | | | | |
| 5G | | | FBMC – UFMC GFDM C- FBMC | 1 Gbps | 10 Gbps | 1 ms | | |

Fuente: *(Capacidad en Conformidad y Ensayos de Interoperabilidad Procedimientos de Homologación y Pruebas de Terminales Móviles, 2014)*

2.4. Tecnologías de conectividad Inalámbrica

2.4.1. Bluetooth

Este tipo de comunicación inalámbrica es usada para la transferencia de datos de corto alcance mediante un enlace de radiofrecuencia que opera en la banda de 2.4 GHz. Esta tecnología está desarrollada y administrada por Bluetooth Special Interest Group, el cual es una organización que agrupa las principales compañías de computación, telecomunicaciones y de dispositivos electrónicos (Bluetooth clases y versiones desde v1.0 hasta v5.0, 2017).

Tabla 2.2

Características de la tecnología Bluetooth

| CARACTERÍSTICAS | |
|-------------------------------------|---|
| Tecnología | Bluetooth + EDR |
| Tecnología de Radio | TDMA |
| Modulación | GFSK (1.2 y baja energía), 8 DPSK (PSK Diferencial) y $\pi/4$ DQPSK |
| Ancho de Banda | 1 MHz (Saltos de Frecuencias) |
| Tipo de Latencia | Menor a 5 ms |
| Tasa Pico de Datos Teórica | 1 Mbps |
| Servicio | Datos y voz de baja movilidad |
| Paquete o Circuito Conmutado | Paquete conmutado |

Fuente: *(Capacidad en Conformidad y Ensayos de Interoperabilidad Procedimientos de Homologación y Pruebas de Terminales Móviles, 2014)*

2.4.2. Wifi

También conocido como Wi-Fi es una marca comercial de Wi-Fi Alliance una organización que adopta y certifica los equipos que cumplen con los estándares 802.11 de redes inalámbricas

de área local. Cuyo objetivo es fomentar las conexiones inalámbricas y facilitar la compatibilidad de los distintos equipos.

Tabla 2.3

Características de Wi-Fi

| CARACTERÍSTICAS | |
|-------------------------------------|--|
| Tecnología | WIFI |
| Tecnología de Radio | CSMA-CA |
| Modulación | b: DBPSK/DQPSK (1 y 2 Mbps) b: CCK con DQPSK (5.5 y 11 Mbps) a, g, h, j: hasta 64 QAM en 53 OFDM subportadoras n: hasta 64 QAM en 114 OFDM subportadoras ac: hasta 256 QAM en 484 OFDM subportadoras |
| Ancho de Banda | b: 125/10 MHz g: 25 MHz, a/h: 20MHz j: 20MHz ac: 20,40, 80, 160 MHz |
| Tasa Pico de Datos Teórica | b: 11 Mbps a/g/h/j: 54 Mbps n: 72.2 Mbps, 600 Mbps ac: 86.7 Mbps, 6,9 Gbps |
| Servicio | Datos de baja movilidad |
| Paquete o Circuito Conmutado | Paquete conmutado |

Fuente: *(Capacidad en Conformidad y Ensayos de Interoperabilidad Procedimientos de Homologación y Pruebas de Terminales Móviles, 2014)*

2.5. Plan Nacional de frecuencias

Con el fin de planificar, atribuir y asignar las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, de manera tal que todos los países puedan compartir este recurso limitado en forma adecuada, la UIT ha dividido al planeta en tres Regiones, el Estado Plurinacional de Bolivia pertenece a la Región 2, como se puede observar en la imagen (Plan Nacional de Frecuencias Estado Plurinacional de Bolivia, 2012).

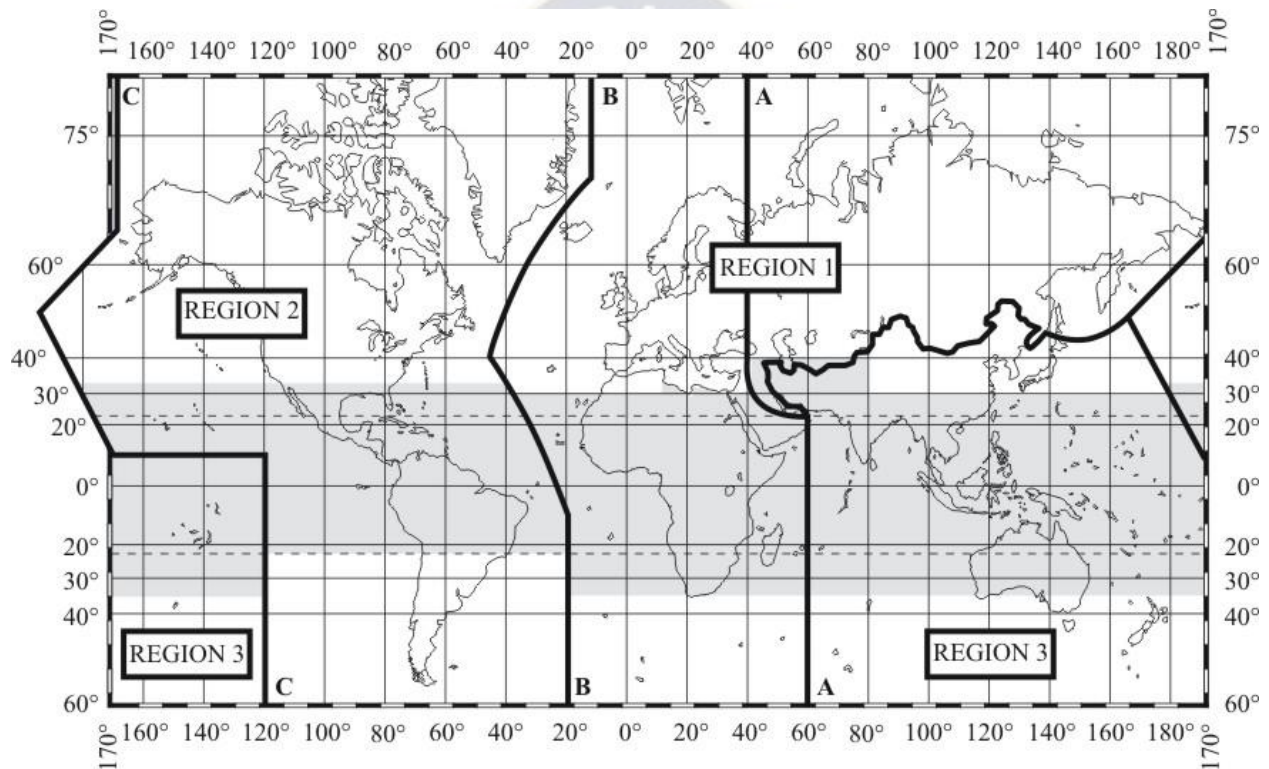


Figura 2.10: *Regiones del planeta según la UIT*

Fuente: (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2010)

Explicación del cuadro de atribuciones de frecuencia:

| ATRIBUCIÓN A LOS SERVICIOS | | |
|--|--|--------------|
| REGIÓN 2 UIT | ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA | NOTAS |
| 110 - 130 kHz FIJO MÓVIL MARÍTIMO RADIONAVEGACIÓN MARÍTIMA 5.60 Radiolocalización 5.61 5.64 | 110 - 130 kHz FIJO RADIONAVEGACIÓN MARÍTIMA 5.60 Radiolocalización 5.61 5.64 | BOL 5 |

Figura 2.11: Cuadro de atribución de bandas de frecuencia

Fuente: (Plan Nacional de Frecuencias Estado Plurinacional de Bolivia, 2012)

- SUB-BANDA de frecuencias específica en la imagen 110 – 130 kHz
- SERVICIOS DE RADIOCOMUNICACIÓN en la imagen menciona: FIJO, MOVIL MARITIMO, RADIONAVEGACIÓN MARÍTIMA y Radiolocalización
- NOTAS INTERNACIONALES en la imagen tenemos el ejemplo de 5.61 5.64
- BOL 5 un ejemplo de las Notas Nacionales las cuales expresan las atribuciones en el marco de la soberanía en materia de administración del espectro radioeléctrico dentro el Estado Plurinacional de Bolivia.

Para los servicios móviles de tercera generación según el Plan Nacional de Frecuencias están atribuidas las bandas de 850 MHz y 1900 MHz de la siguiente manera:

Tabla 2.4

Distribución de la banda 850 MHz de acuerdo al Plan Nacional de Frecuencia para el servicio móvil

| SUB BANDA | FRECUENCIAS UPLINK (MHz) | | SUB BANDA | FRECUENCIAS DOWNLINK (MHz) | | OPERADOR |
|------------------------------|--------------------------------|-----|-------------------------------|----------------------------------|-----|--------------|
| | | | | | | |
| A EXTENDIDA | 824 | 825 | A' EXTENDIDA | 869 | 870 | TELECEL S.A. |
| A | 825 | 835 | A' | 870 | 880 | TELECEL S.A. |

| | | | | | | |
|------------------------------|-------|-------|-------------------------------|-------|-------|--------------|
| B | 835 | 845 | B' | 880 | 890 | ENTEL S.A. |
| A EXTENDIDA | 845 | 846.5 | A' EXTENDIDA | 890 | 891.5 | TELECEL S.A. |
| B EXTENDIDA | 846.5 | 849 | B' EXTENDIDA | 891.5 | 894 | ENTEL S.A. |

Fuente: (ATT, 2017)

Tabla 2.5

Distribución de la banda 1900 MHz de acuerdo al Plan Nacional de Frecuencia para el servicio móvil

| SUB BANDA | FRECUENCIAS | | SUB BANDA | FRECUENCIAS | | OPERADOR |
|--------------|-----------------|-------|--------------|-------------------|-------|---------------|
| | UPLINK (MHz) | | | DOWNLINK (MHz) | | |
| A | 1,850 | 1,855 | A' | 1,930 | 1,935 | ENTEL S.A. |
| B | 1,855 | 1,860 | B' | 1,935 | 1,940 | ENTEL S.A. |
| C | 1,860 | 1,865 | C' | 1,940 | 1,945 | ENTEL S.A. |
| D | 1,865 | 1,870 | D' | 1,945 | 1,950 | ENTEL S.A. |
| E | 1,870 | 1,875 | E' | 1,950 | 1,955 | ENTEL S.A. |
| F | 1,875 | 1,880 | F' | 1,955 | 1,960 | NUEVATEL S.A. |
| G | 1,880 | 1,885 | G' | 1,960 | 1,965 | NUEVATEL S.A. |
| H | 1,885 | 1,890 | H' | 1,965 | 1,970 | NUEVATEL S.A. |
| I | 1,890 | 1,895 | I' | 1,970 | 1,975 | NUEVATEL S.A. |
| J | 1,895 | 1,900 | J' | 1,975 | 1,980 | NUEVATEL S.A. |
| K | 1,900 | 1,905 | K' | 1,980 | 1,985 | TELECEL S.A. |
| L | 1,905 | 1,910 | L' | 1,985 | 1,990 | TELECEL S.A. |

Fuente: (ATT, 2017)

Para los servicios móviles de nueva generación que son LTE según el Plan Nacional de Frecuencias están atribuidas las bandas de 700 MHz y 1700/2100 MHz de la siguiente manera:

Tabla 2.6

Distribución de la banda 700 MHz de acuerdo al Plan Nacional de Frecuencia para el servicio móvil

| SUB BANDA | FRECUENCIAS | | SUB BANDA | FRECUENCIAS | | OPERADOR |
|-----------|--------------|-----|-----------|----------------|-----|--------------|
| | UPLINK (MHz) | | | DOWNLINK (MHz) | | |
| A | 704 | 716 | A' | 734 | 746 | TELECEL S.A. |
| B | 746 | 756 | B' | 777 | 787 | ENTEL S.A. |
| C | 758 | 768 | C' | 788 | 798 | LIBRE |

Fuente: (ATT, 2017)

Tabla 2.7

Distribución de la banda 1700/2100 MHz de acuerdo al Plan Nacional de Frecuencia para el servicio móvil

| SUB BANDA | FRECUENCIAS | | SUB BANDA | FRECUENCIAS | | OPERADOR |
|-----------|--------------|------|-----------|----------------|------|---------------|
| | UPLINK (MHz) | | | DOWNLINK (MHz) | | |
| A | 1710 | 1725 | A' | 2110 | 2125 | ENTEL S.A. |
| B | 1725 | 1740 | B' | 2125 | 2140 | TELECEL S.A. |
| C | 1740 | 1755 | C' | 2140 | 2155 | NUEVATEL S.A. |
| D | 1755 | 1770 | D' | 2155 | 2170 | |

Fuente: (ATT, 2017)

2.6. Radiación Electromagnética

La radiación es una forma de energía en movimiento que está presente en nuestro mundo de forma natural o artificial. En términos generales, puede adoptar la forma de sonido, calor o luz.

Cada momento de nuestras vidas estamos expuestos a diversas formas de radiación de las cuales la principal es la energía solar electromagnética que incluye las ondas infrarrojas, la luz visible y las ondas ultravioletas. Aplicaciones tan comunes como la electricidad, la radio y la televisión son fuentes de radiaciones.



Figura 2.12: Tipos de Radiación

Fuente: (*¿Que diferencias hay entre los campos electromagneticos no ionizantes y la radiación ionizante, 2015*)

2.6.1. Radiación ionizante

Son ondas electromagnéticas de frecuencia extremadamente elevada (rayos X y gamma), que contienen energía fotónica suficiente para producir la Ionización (conversión de átomos de moléculas en iones con carga eléctrica positiva o negativa) mediante la ruptura de los enlaces atómicos, y afectar así el estado natural de los tejidos vivos. El átomo original es eléctricamente neutro pero, por la radiación electromagnética que recibe desprende un electrón, con lo cual finalmente queda con una carga positiva. Es decir que, el átomo, se convierte en un Ión positivo, que pasa a constituir la ionosfera (Tipos de radiación, 2015).

La radiación ionizante, que es causada por átomos inestables que emiten energía para alcanzar un estado más estable, es más una amenaza para la salud de los seres humanos porque implica cambiar la composición básica de los átomos en las células y más específicamente las moléculas de ADN dentro de las células. Por supuesto, toma una dosis muy fuerte de radiación para dañar sustancialmente la estructura de una célula, ya que puede haber billones de átomos en una sola célula.

2.6.2. Radiación no ionizante

La radiación no ionizante comprende la porción del espectro electromagnético cuya energía es insuficiente para romper las uniones atómicas, incluso a intensidades altas. Por lo tanto, no pueden ocasionar alteraciones, de manera directa, sobre las cadenas de ADN de las células. No obstante, estas radiaciones pueden ceder energía suficiente como para producir efectos térmicos (de calentamiento) tales como los inducidos por las microondas. También, las radiaciones no ionizantes intensas de frecuencia bajas pueden inducir corrientes eléctricas en los tejidos, pudiendo de esta manera afectar el funcionamiento de células sensibles a dichas corrientes, tales como las células musculares o las células nerviosas. En particular los campos electromagnéticos, a cualquier frecuencia, son radiaciones no ionizantes (Radiación electromagnética celular, regulaciones y fundamentos, 2015).

2.6.2.1. Tasa específica de absorción SAR (Solano Eizaguirre, 2013)

La palabra SAR corresponde a las siglas en inglés para “tasa de absorción específica”, es la potencia máxima que absorbe un tejido vivo a partir de la emisión de radiofrecuencia de cualquier dispositivo electrónico en nuestro caso el teléfono celular, medida en Watts por Kilogramo (W/Kg).

La tasa de absorción se la define como la derivada del tiempo en un incremento de energía incremental (dW) absorbida por un incremento de masa (dm) contenido en un diferencial de volumen (dv) de una determinada densidad de masa (ρ).

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{\rho dv} \right)$$

O también:

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho}$$

Donde:

σ : Conductividad del material [S/m] ; E: Campo eléctrico total RMS [V/m]

ρ : Densidad de masa del material [kg/m^3]

La frecuencia es un factor importante el cual influye cuando se realizan las mediciones, en el rango de 100 kHz a 10 GHz se absorbe energía electromagnética expresada en (W/Kg) el cual corresponde a la SAR, entonces las emisiones producidas por cualquier dispositivo no alteran la composición molecular del cuerpo sobre el que incide dicha radiación, sino que la energía absorbida por los tejidos se transforma en energía térmica de la siguiente manera:

$$SAR = C_i * \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

Donde:

C_i : Capacidad de calentamiento del tejido [$J/Kg^{\circ}C$] ; ΔT : Incremento de temperatura [$^{\circ}C$]

Δt : Incremento de tiempo [s]

El SAR Para determinar este valor se tienen en cuenta tres aspectos: la potencia de la frecuencia emitida por el equipo, la posición relativa al cuerpo humano durante su uso, y la zona del cuerpo afectada directamente.

2.6.2.2. *Límites aceptables de exposición*

Trabajando en estrecha colaboración con organizaciones de salud y seguridad, la FCC y otras autoridades del espectro alrededor del mundo han adoptado límites para la exposición a la

energía de radiofrecuencia (RF). Para los dispositivos que se utilizan a menos de 20 cm de la cabeza o el cuerpo, los límites de exposición a RF se dan en términos de la tasa de absorción específica (SAR), que es una medida de la energía de radiofrecuencia absorbida por la cabeza o el cuerpo. Como parte del proceso de autorización del equipo, los fabricantes deben asegurarse de que sus dispositivos cumplan estos límites de exposición. El límite para la exposición pública de FCC e Innovación, Ciencia y Desarrollo Económico de Canadá (ISED) es un nivel de SAR de 1,6 vatios por kilogramo (1,6 W / kg) de impacto sobre 1 gramo de tejido. La Unión Europea y muchos otros países tienen un límite SAR de 2,0 W / kg basándose en un impacto sobre 10 gramos de tejido (Specific Absorption Rate (SAR) for Cellular Telephones, 2017).

2.7. Especificaciones técnicas del 3GPP respecto al proceso de homologación

El 3GPP (3rd Generation Partnership Project - Proyecto Asociación de Tercera Generación) es una colaboración de grupos de asociaciones de telecomunicaciones, conocidos como miembros organizativos. Su objetivo es determinar la política y estrategia del proyecto 3GPP junto con las siguientes tareas (3GPP, 2016):

- Aprobación y mantenimiento de los objetivos del 3GPP.
- Descripción del proyecto.
- Tomar la decisión de crear o eliminar grupos técnicos de especificación, así como aprobar y definir sus objetivos.
- Definir los requisitos a cumplir para formar parte de la familia 3GPP
- La distribución de la financiación.
- Actuar como órgano de representación.

Junto con los miembros de representación de los mercados hacen las siguientes tareas:

- El mantenimiento del tratado a firmar por los miembros del 3GPP.
- La aprobación de aplicaciones para los miembros del 3GPP
- Tomar la decisión y hoja de ruta hacia una posible disolución del proyecto 3GPP.

Los seis miembros organizativos son de Asia, Estados Unidos y Europa los cuales son:

Tabla 2.8*Miembros organizativos del 3GPP*

| ORGANIZACIÓN | | PROCEDENCIA |
|--------------|--|----------------|
| ARIB | The Association of Radio Industries and Businesses | Japón |
| ATIS | The Alliance for Telecommunications Industry Solutions | Estados Unidos |
| CCSA | China Communications Standards Association | China |
| ETSI | The European Telecommunications Standards Institute | Europa |
| TTA | Telecommunications Technology Association | Corea del Sur |
| TTC | Telecommunication Technology Committee | Japón |

Fuente: (3GPP, 2016)**2.8. Bandas de frecuencia**

En la tabla 2.9 se observa los diferentes rangos de frecuencia en el, Estado Plurinacional de Bolivia para el servicio de la tercera generación utiliza la banda 2 y la banda 5, para el servicio de nueva generación se utiliza la banda 4 y la banda 28.

Tabla 2.9*Bandas de frecuencias*

| Banda de Operación | Frecuencias de Uplink [MHz] | Frecuencia de Downlink [MHz] |
|--------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 1 | 1920 -1980 | 2110 – 2170 |
| 2 | 1850 - 1910 | 1930 – 1990 |
| 3 | 1710 - 1785 | 1805 – 1880 |
| 4 | 1710 - 1755 | 2110 – 2155 |
| 5 | 824 - 849 | 869 – 894 |
| 6 | 830 - 840 | 875 – 885 |
| 7 | 2500 - 2570 | 2620 - 2690 |
| 8 | 880 - 915 | 925 – 960 |
| 9 | 1749.9 - 1784.9 | 1844.9 - 1879.9 |

| | | |
|-----------|------------------|------------------|
| 10 | 1710 - 1770 | 2110 - 2170 |
| 11 | 1427.9 - 1447.9 | 1475.9 - 1495.9 |
| 12 | 698 - 716 | 728 - 746 |
| ... | ... | ... |
| ... | ... | ... |
| 25 | 1850 - 1915 | 1930 - 1995 |
| 26 | 814 - 849 | 859 - 894 |
| 27 | 807 - 824 | 852 - 869 |
| 28 | 703 - 748 | 758 - 803 |

Fuente: (ETSI TS 134 121-1 V9.1.0 (2010-07) *Technical Specification*, 2010)

2.8.1. Especificaciones técnicas del 3GPP para GSM/GPRS/EDGE

Norma de referencia 3GPP TS 51.010-1 versión 6.5.0 documento en el que se especifican procedimientos para realizar mediciones de verificación de los equipos terminales que pertenezcan a la segunda generación 2G la que involucra tecnologías GSM, GPRS y EDGE. Las medidas que se realizan para esta tecnología son: error de frecuencia y de fase y potencia máxima de salida.

2.8.1.1. *Error de frecuencia y error de fase para GSM/GPRS/EDGE*

2.8.1.1.1. *Finalidad de la prueba*

El error de frecuencia es la diferencia de frecuencia, después del ajuste para el efecto de la modulación y del error de fase entre: la transmisión de RF de la MS y la transmisión RF de la BS, esta medición permite verificar la calidad de los sintetizadores de frecuencia.

El error de fase es la diferencia de fase, después del ajuste para el efecto del error de frecuencia, entre la transmisión de RF desde la MS y la transmisión teórica de acuerdo con la modulación prevista, esta medición nos permite garantizar la calidad de modulación.

2.8.1.1.2. Explicación de la prueba

Para medir la precisión de la frecuencia y el error de fase se obtiene una medición muestreada de la trayectoria de fase transmitida. Esto se compara con la trayectoria de fase teóricamente esperada. La línea de regresión de la diferencia entre la trayectoria esperada y la trayectoria medida es una indicación del error de frecuencia (supuesto constante a través de la ráfaga), mientras que la salida de las diferencias de fase de esta trayectoria es una medida del error de fase. El error de fase de pico es el valor más alejado de la línea de regresión y el error de fase RMS es el promedio cuadrático medio de la raíz del error de fase de todas las muestras.

2.8.1.1.3. Requerimiento de la prueba

Verificar que la frecuencia central de la portadora del móvil no exceda los requerimientos permitidos en referencia a la tabla 2.10.

Tabla 2.10

Error de Frecuencia permitido en GSM

| Error de frecuencia permitido en GSM | | |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|
| GSM 850/900/E-GSM | GSM 1800 (PCN) | GSM 1900 (PCS) |
| $\leq \pm 90$ Hz | $\leq \pm 180$ Hz | $\leq \pm 180$ Hz |

Fuente: (ETSI TS 134 121-1 V9.1.0 (2010-07) Technical Specification, 2010)

Verificar que corrimiento en fase del transmisor del móvil no exceda los requerimientos permitidos en la tabla 2.11.

Tabla 2.11

Error de Fase permitido en GSM

| Error de fase permitido en GSM |
|--|
| Error de Fase (valor RMS) menor a 5 grados |

Error de Pase Pico menor a 20 grados

Fuente: (ETSI TS 134 121-1 V9.1.0 (2010-07) *Technical Specification*, 2010)

2.8.1.2. *Potencia de salida del terminal móvil para GSM/GPRS/EDGE*

La potencia de salida del transmisor es el valor medio de la potencia suministrada a una antena artificial o radiada por la MS y su antena integral, durante el tiempo que los bits de información útiles de una ráfaga son transmitidos.

2.8.1.2.1. *Explicación de la prueba*

Se describen dos métodos de prueba, por separado para:

- Equipo equipado con un conector de antena permanente
- Equipo equipado con una antena integral y que no pueda conectarse a una antena externa, salvo mediante la instalación de un conector de prueba temporal como dispositivo de prueba.

2.8.1.2.2. *Requerimiento y finalidad de la prueba*

Verificar que la potencia máxima de salida de la MS, en condiciones normales y condiciones extremas.

Tabla 2.12

Máxima potencia en modulación GSMK

| Clase de Potencia | Potencia de Salida Máxima Nominal | | | Tolerancia (dB) | |
|----------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|
| | GSM 400 – 850 - 900 | DCS 1800 | PCS 1900 | Normal | Extrema |
| 1 | ----- | 1 W (30 dBm) | 1 W (30 dBm) | ±2 | ±2.5 |
| 2 | 8 W (39 dBm) | 0.25 W (24 dBm) | 0.25 W (24 dBm) | ±2 | ±2.5 |

| | | | | | |
|---|----------------|--------------|--------------|----|------|
| 3 | 5 W (37 dBm) | 4 W (36 dBm) | 2 W (33 dBm) | ±2 | ±2.5 |
| 4 | 2 W (33 dBm) | | | ±2 | ±2.5 |
| 5 | 0.8 W (29 dBm) | | | ±2 | ±2.5 |

Fuente: (ETSI TS 134 121-1 V9.1.0 (2010-07) Technical Specigication, 2010)

Tabla 2.13

Máxima potencia en modulación 8-PSK

| Clase de Potencia | Potencia de Salida Máxima Nominal | | | | | | |
|-------------------|-----------------------------------|-----------------|---------|--------------|--------------|-----------------|---------|
| | GSM 400 – 850 - 900 | Tolerancia (dB) | | DCS 1 800 | PCS 1 900 | Tolerancia (dB) | |
| | | Normal | Extremo | | | Normal | Extremo |
| E1 | 33 dBm | ±2 | ±2.5 | 30 dBm | 30 dBm | ±2 | ±2.5 |
| E2 | 27 dBm | ±3 | ±4 | 26 dBm | 26 dBm | -4/+3 | -4.5/+4 |
| E3 | 23 dBm | ±3 | ±4 | 22 dBm | 22 dBm | ±3 | ±4 |

Fuente: (ETSI TS 134 121-1 V9.1.0 (2010-07) Technical Specigication, 2010)

Verificar que, para las ráfagas normales, las transmisiones MS a la BS se cronometran dentro del requisito establecido tanto en condiciones normales y condiciones extremas.

2.8.2. Especificaciones técnicas del 3GPP para WCDMA/HSPA/HSUPA

Norma de referencia 3GPP TS 134.121-1 versión 9.1.0 documento en el que se especifican procedimientos para realizar mediciones de verificación de los equipos terminales que pertenezcan a la tercera generación 3G la que involucra tecnologías WCDMA, HSUPA, HSDPA y HSPA+. Las medidas que se realizan para esta tecnología son: potencia máxima de salida, error de frecuencia, ancho de banda, mascara de emisión espectral, tasa de potencia interferente en el canal adyacente (ACRL) y emisiones espurias.

2.8.2.1. *Potencia máxima de salida del terminal móvil*

La potencia de salida máxima nominal y su tolerancia se definen de acuerdo con la Clase de Potencia del UE. La potencia de salida máxima es una medida de la potencia máxima que el UE puede transmitir, el período de medición será al menos un intervalo de tiempo (time slot) que es 0,667 us. Un exceso de potencia de salida máxima tiene la posibilidad de interferir con otros canales u otros sistemas. Una pequeña potencia de salida máxima disminuye el área de cobertura.

2.8.2.1.1. *Finalidad de la prueba y requerimientos*

Se muestra a continuación la finalidad de la prueba y los mínimos requerimientos que se necesitan para cada tecnología:

- WCDMA: Verificar que el error de la potencia máxima de salida del UE no exceda el margen prescrito por la potencia máxima nominal de salida y la tolerancia en la tabla 2.14.

Tabla 2.14

Máxima potencia de salida WCDMA

| | Potencia clase 3 | | Potencia clase 4 | |
|-----------------|------------------|-----------|------------------|-----------|
| | Potencia (dBm) | Tol (dB) | Potencia (dBm) | Tol (dB) |
| Banda II | +24 | +1.7/-3.7 | +21 | +2.7/-2.7 |
| Banda V | +24 | +1.7/-3.7 | +21 | +2.7/-2.7 |

Fuente: (ETSI TS 134 121-1 V9.1.0 (2010-07) Technical Specification, 2010)

- HSDPA con HS-DPCCH para reléase 6 y posteriores: La potencia de salida máxima con HS-DPCCH es una medida de la potencia máxima que el UE puede transmitir. Los requisitos y esta prueba se aplican a todos los tipos de UTRA para el UE FDD que soportan HSDPA. Verificar que no exceda los valores de la tabla 2.15.

Tabla 2.15

Máxima potencia de salida con HS-DPCCH

| Sub-test | Potencia clase 3 | | Potencia clase 4 | |
|----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
| | Potencia (dBm) | Tol(dB) | Potencia (dBm) | Tol(dB) |
| 1 | +24 | +1.7/-3.7 | +21 | +2.7/-2.7 |
| 2 | +24 | +1.7/-3.7 | +21 | +2.7/-2.7 |
| 3 | +23.5 | +2.2/-3.7 | +20.5 | +3.2/-2.7 |
| 4 | +23.5 | +2.2/-3.7 | +20.5 | +3.2/-2.7 |

Fuente: (ETSI TS 134 121-1 V9.1.0 (2010-07) Technical Specification, 2010)

La tabla 2.16 nos indica los parámetros que varían de acuerdo a la sub-test aplicado. Cada sub-test especifica ciertos parámetros para establecer la configuración deseada.

Tabla 2.16*Parámetros de acuerdo al sub-test seleccionado con HS-DPCCH*

| Sub-test | β_c | β_d | $\beta_{HS} (SF)$ | β_c/β_d | β_{HS} | CM (dB) | MPR (dB) |
|----------|-----------|-----------|-------------------|-------------------|--------------|---------|----------|
| 1 | 2/15 | 15/15 | 64 | 2/15 | 4/15 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | 12/15 | 15/15 | 64 | 12/15 | 24/15 | 1.0 | 0.0 |
| 3 | 15/15 | 8/15 | 64 | 15/8 | 30/15 | 1.5 | 0.5 |
| 4 | 15/15 | 4/15 | 64 | 15/4 | 30/15 | 1.5 | 0.5 |

Fuente: (ETSI TS 134 121-1 V9.1.0 (2010-07) Technical Specification, 2010)

Donde:

β_c : Factor de ganancia del canal DPCCH

β_d : Factor de ganancia del canal DPDCH

β_{HS} : Factor de ganancia del canal HS-DPCCH

Estos factores de ganancia son utilizados para ajustar la potencia de los canales en UL, los que son controlados desde la red hacia los terminales durante el proceso de conexión. Estos

factores además ayudan a describir una razón de amplitud específica para determinar el valor de potencia del canal observado en relación al canal DPCCH.

- HSUPA los requisitos y esta prueba se aplican a la Versión 6 y versiones posteriores a todos los tipos de UTRA para el UE FDD que soportan HSDPA y E-DCH. Verificar que el error de la potencia de salida máxima del UE con HS-DPCCH y E-DCH no exceda los valores de la tabla 2.17.

Tabla 2.17

Máxima potencia de salida con HS-DPCCH y E-DCH

| Sub-test | Potencia clase 3 | | Potencia clase 4 | |
|----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
| | Potencia (dBm) | Tol(dB) | Potencia (dBm) | Tol(dB) |
| 1 | +24 | +1.7/-6.7 | +21 | +2.7/-5.7 |
| 2 | +22 | +3.7/-5.2 | +19 | +4.7/-4.2 |
| 3 | +23 | +2.7/-5.2 | +20 | +3.7/-4.2 |
| 4 | +22 | +3.7/-5.2 | +19 | +4.7/-4.2 |
| 5 | +24 | +1.7/-3.7 | +21 | +2.7/-2.7 |

Fuente: (ETSI TS 134 121-1 V9.1.0 (2010-07) Technical Specification, 2010)

La tabla 2.18 nos indica los parámetros que varían de acuerdo a la sub-test aplicado. Cada sub-test especifica ciertos parámetros para establecer la configuración deseada.

Tabla 2.18

Parámetros de acuerdo al sub-test seleccionado con HS-DPCCH y E-DCH

| Sub test | β_c | β_a | β_a (SF) | β_c/β_a | β_{HS} | β_{ec} | β_{ed} | β_{ed} (SF) | β_{ed} (Codes) | CM (dB) | MPR (dB) | AG | E TFCI |
|----------|-----------|-----------|----------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|----------------------|---------|----------|----|--------|
| 1 | 11/15 | 15/15 | 64 | 11/15 | 22/15 | 209/225 | 1309/225 | 4 | 1 | 1.0 | 0.0 | 20 | 75 |
| 2 | 6/15 | 15/15 | 64 | 6/15 | 12/15 | 12/15 | 94/75 | 4 | 1 | 3.0 | 2.0 | 12 | 67 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|----|------|-------|-------|-------|---|---|-----|-----|----|----|
| 3 | 15/15 | 9/15 | 64 | 15/9 | 30/15 | 30/15 | | 4 | 2 | 2.0 | 1.0 | 15 | 92 |
| 4 | 2/15 | 15/15 | 64 | 2/15 | 2/15 | 2/15 | 56/75 | 4 | 1 | 3.0 | 2.0 | 17 | 71 |
| 5 | 15/15 | 0 | - | - | 5/15 | 5/15 | 47/15 | 4 | 1 | 1.0 | 0.0 | 12 | 67 |

Fuente: (ETSI TS 134 121-1 V9.1.0 (2010-07) Technical Specification, 2010)

2.8.2.2. *Error de frecuencia*

El error de frecuencia es aquella diferencia que existe entre la frecuencia portadora teórica asignada y la frecuencia de portadora que el UE transmite. El transmisor del UE rastrea la frecuencia portadora de RF recibida desde el nodo B.

2.8.2.2.1. *Finalidad de la prueba y requerimientos*

Esta prueba verifica la capacidad del receptor para derivar información de frecuencia correcta para el transmisor. La frecuencia portadora modulada UE debe ser exacta dentro de $\pm 0,1$ ppm observada durante un período de un intervalo de tiempo en comparación con la frecuencia portadora recibida desde el Nodo B. Para requerimiento de la prueba de todas las mediciones, el error de frecuencia, no debe exceder $\pm (0,1 \text{ ppm} + 10 \text{ Hz})$.

2.8.2.3. *Ancho de banda*

El ancho de banda ocupado es una medida del ancho de banda que contiene el 99% de la potencia total integrada del espectro transmitido, centrada en la frecuencia de canal asignada. Los requisitos y esta prueba se aplican a todos los tipos de UTRA para el UE FDD

2.8.2.3.1. Finalidad de la prueba y requerimientos

Verificar que el ancho de banda del canal ocupado por el UE es inferior a 5 MHz basado en una velocidad de chip de 3,84 Mbps. El exceso de ancho de banda de canal ocupado aumenta la interferencia a otros canales u otros sistemas.

2.8.2.4. Mascara de emisión espectral

La máscara de emisión de espectro del UE se aplica a las frecuencias, que están entre 2,5 MHz y 12,5 MHz lejos de la frecuencia de portadora central UE. La emisión fuera de canal se especifica con respecto a la potencia media filtrada RRC de la portadora de UE.

2.8.2.4.1. Finalidad de la prueba y requerimientos

Los requerimientos y esta prueba se aplican para la versión 5 y versiones posteriores a todos los tipos de UTRA para el UE FDD que soportan HSDPA y E-DCH.

Se debe verificar que la potencia de emisión de la UE no exceda los límites prescritos que se muestran en la tabla 2.19. El requisito absoluto se basa en un umbral de potencia mínimo de -50 dBm / 3,84 MHz para el UE. Este límite se expresa para las anchuras de banda de medición más estrechas como -55,8 dBm / 1 MHz y -71,1 dBm / 30 kHz.

Tabla 2.19

Mascara de emisión espectral con HSDPA y E-DCH

| Δf en MHz (Nota 1) | Requerimiento mínimo (Nota2) | | Ancho de Banda Medido |
|-------------------------------|---|------------------------------|--------------------------|
| | Requerimiento relativo (dBm) | Requerimiento absoluto (dBm) | |
| 2.5 – 3.5 | $\left\{ -35 - 15 * \left(\frac{\Delta f}{MHz} \right) - 2.5 \right\}$ | -71.1 dBm | 30 kHz (Nota3) |

| | | | |
|------------|---|-----------|---------------|
| 3.5 – 7.5 | $\left\{-35 - 1 * \left(\frac{\Delta f}{MHz}\right) - 3.5\right\}$ | -55.8 dBm | 1 MHz (Nota4) |
| 7.5 – 8.5 | $\left\{-35 - 15 * \left(\frac{\Delta f}{MHz}\right) - 7.5\right\}$ | -55.8 dBm | 1 MHz (Nota4) |
| 8.5 – 12.5 | -49 dBm | -55.8 dBm | 1 MHz (Nota4) |

Fuente: (ETSI TS 134 121-1 V9.1.0 (2010-07) Technical Specification, 2010)

Nota 1: Δf es la separación entre la frecuencia portadora y el centro del ancho de banda medido

Nota 2: El requerimiento mínimo es calculado a partir del requerimiento relativo o el requerimiento absoluto, cual sea la potencia más alta.

Nota 3: La primera y última posición de medición con un filtro de 30 kHz es con Δf igual a 2.515 MHz y 3.485 MHz

Nota 4: La primera y última posición de medición con un filtro de 1 MHz es con Δf igual a 4 MHz y 12 MHz

2.8.2.5. *Tasa de potencia interferente en el canal adyacente (ACLR)*

La tasa de potencia interferente en el canal adyacente ACLR es la relación de la potencia media filtrada RRC centrada en la frecuencia de canal asignada a la potencia media filtrada RRC centrada en una frecuencia de canal adyacente. El filtro tiene un ancho de banda de 3,84 MHz.

2.8.2.5.1. *Finalidad de la prueba y requerimientos*

Los requerimientos y esta prueba se aplican para la versión 5 y versiones posteriores a todos los tipos de UTRA para el UE FDD que soportan HSDPA y E-DCH. Como requerimiento de la prueba, el ACLR medido deberá ser más grande que el límite de la tabla 2.20

Tabla 2.20*Tasa de potencia interferente en el canal adyacente con HSDPA y E-DCH*

| Clase de potencia | Canal de UE | Limite ACLR |
|-------------------|--------------------|-------------|
| 3 | +5 MHz o - 5 MHz | 32.2 dB |
| 3 | +10 MHz o - 10 MHz | 42.2 dB |
| 4 | +5 MHz o - 5 MHz | 32.2 dB |
| 4 | +10 MHz o - 10 MHz | 42.2 dB |

Fuente: (ETSI TS 134 121-1 V9.1.0 (2010-07) Technical Specification, 2010)

2.8.2.6. Emisiones espurias

Las emisiones espurias causadas por efectos no deseados del transmisor tales como la emisión de armónicos, las emisiones parasitarias, los productos de intermodulación y los productos de conversión de frecuencia, pero excluidas fuera de las bandas de emisión.

Los requisitos y esta prueba se aplican a todos los tipos de UTRA para el UE FDD que soportan HSDPA y E-DCH.

2.8.2.6.1. Finalidad de la prueba y requerimientos

Como requerimiento mínimo sólo son aplicables a las frecuencias, que están a más de 12,5 MHz de distancia de la frecuencia portadora del centro UE. Verificar que las emisiones espurias del UE no excedan del valor descrito en la tabla 2.21.

Tabla 2.21*Emisión espuria con HSDPA y E-DCH*

| Ancho de banda de Frecuencia | Medición del ancho de banda | Requerimientos mínimos |
|---|-----------------------------|------------------------|
| $9 \text{ kHz} \leq f < 150 \text{ kHz}$ | 1 kHz | -36 dBm |
| $150 \text{ kHz} \leq f < 30 \text{ MHz}$ | 10 kHz | -36 dBm |

| | | |
|--|---------|---------|
| $30 \text{ MHz} \leq f < 1000 \text{ MHz}$ | 100 kHz | -36 dBm |
| $1 \text{ GHz} \leq f < 12.75 \text{ GHz}$ | 1 MHz | -30 dBm |

Fuente: (ETSI TS 134 121-1 V9.1.0 (2010-07) Technical Specification, 2010)

2.8.3. Especificaciones técnicas del 3GPP para LTE y LTE Advance

El 3GPP TS 36.521-1 version 9.5.0 Release 9 es un documento en el que se especifican procedimientos para realizar mediciones de verificación de los equipos terminales LTE, tanto en características de transmisión, características de recepción y requisitos de rendimiento como parte del 3G Long Term Evolution (3G LTE). Las medidas que se realizan en esta tecnología son las siguientes: potencia máxima de salida del terminal móvil, error de frecuencia, ancho de banda, máscara de emisión espectral, relación de fuga del canal del adyacente, magnitud del vector de error y diagramas de constelación.

2.8.3.1. *Potencia máxima de salida del terminal móvil*

Una vez que el UE alcanza el nivel máximo de potencia de transmisión, se obtiene en un periodo de 1 ms (una subtrama). La prueba se realiza sobre cada una de las configuraciones de uplink mostradas en la tabla 2.22.

Tabla 2.22

Configuraciones para el ensayo de Potencia Máxima de Salida en LTE

| Parámetros de ensayo para cada Ancho de Banda | | |
|---|----------------------------|------------------|
| AB Canal (MHz) | Configuración en el Uplink | |
| | Modulación | Asignación de RB |
| | | FDD/TDD |
| 1.4 | QPSK | 1 |
| 1.4 | QPSK | 5 |

| | | |
|----|------|----|
| 5 | QPSK | 1 |
| 5 | QPSK | 8 |
| 20 | QPSK | 1 |
| 20 | QPSK | 18 |

Fuente: (ETSI TS 136 521-1 V9.5.0(2011-09) Technical Specification, 2011)

Nota 1: El ensayo se realiza sobre cada ancho de banda aplicable dentro de cada Banda E-UTRA.

Nota 2: Para la banda E-UTRA 4 y banda E-UTRA 28 el offset de RB debe ser:

RB=0 en el canal bajo y medio, RB=máximo en el canal alto para asignación diferente a 1 RB.

RB=0 en el canal bajo y medio RB= (max+1-asignacion RB) para asignación diferente a 1 RB-

Nota 3: Para la banda E-UTRA el offset de RB debe ser:

RB=0 y RB=máximo para asignación de 1 RB si el ancho de banda es mayor a 4 MHz.

RB=0 para asignación de 1 RB si el ancho de banda es menor o igual a 4 MHz.

RB=0 para asignación de RB diferente a 1

2.8.3.1.1. Finalidad de la prueba y requerimientos

Para comprobar que el error de la potencia de salida máxima del UE no excede el rango prescrito por la potencia nominal de salida y la tolerancia especificadas. Un exceso de potencia de salida máxima tiene la posibilidad de interferir con otros canales u otros sistemas. La potencia debe cumplir los rangos que se encuentran en la tabla 2.23.

Tabla 2.23

Requerimientos de cumplimiento de Potencia Máxima en LTE

| Banda EUTRA | Clase 3 (dBm) | Tolerancia (dBm) |
|-------------|---------------|------------------|
| 4 | 23 | ±2.7 |
| 28 | 23 | ±2.7/-3.2 |

Fuente: (ETSI TS 136 521-1 V9.5.0(2011-09) Technical Specification, 2011)

2.8.3.2. *Error de frecuencia*

La frecuencia de la portadora modulada del EU deberá tener una precisión de $\pm 0,1$ PPM observados durante un intervalo de tiempo (0,5 ms) en comparación con la frecuencia portadora recibida del eNB. El ensayo se realiza sobre cada una de las configuraciones de downlink y uplink dadas por la tabla 2.24.

Tabla 2.24

Configuraciones para el ensayo de Error de Frecuencia en LTE

| Parámetros de ensayo para cada Ancho de Banda | | | | | | |
|---|------------------------|------------------|-----|----------------------|------------------|-----|
| AB Canal (MHz) | Configuración Downlink | | | Configuración Uplink | | |
| | Modulación | Asignación de RB | | Modulación | Asignación de RB | |
| | | FDD | TDD | | FDD | TDD |
| 1.4 | QPSK | 6 | 6 | QPSK | 6 | 6 |
| 3 | QPSK | 15 | 15 | QPSK | 15 | 15 |
| 5 | QPSK | 25 | 25 | QPSK | 25 | 25 |
| 20 | QPSK | 100 | 100 | QPSK | 100 | 100 |
| 20 | QPSK | 100 | N/A | QPSK | 75 | N/A |
| 20 | QPSK | 100 | N/A | QPSK | 25 | N/A |

Fuente: (ETSI TS 136 521-1 V9.5.0(2011-09) Technical Specification, 2011)

Nota 1: Los anchos de banda del canal de prueba se comprueban por separado para cada banda E-UTRA.

2.8.3.2.1. *Finalidad de la prueba y requerimientos*

Esta prueba verifica la capacidad del receptor: para extraer la frecuencia correcta de la señal de estímulo, ofrecida por el simulador del Sistema, en condiciones ideales de propagación y bajo nivel, y el transmisor: para derivar la frecuencia portadora modulada correcta a partir de los resultados obtenidos por el receptor.

2.8.3.3. *Ancho de banda*

El ancho de banda ocupado es la medición del ancho de banda en el 99% del total de energía del espectro transmitido por un canal asignado. Todas estas configuraciones se probarán con parámetros de prueba aplicables para cada ancho de banda del canal, y se muestran en la tabla

Tabla 2.25

Configuraciones para el ensayo de Ancho de Banda Ocupado en LTE

| Parámetros de ensayo para cada Ancho de Banda | | |
|--|-----------------------------|----------------|
| AB Canal (MHz) | Configuración Uplink | |
| | Modulación | FDD/TDD |
| 1.4 | QPSK | 6 |
| 3 | QPSK | 15 |
| 5 | QPSK | 25 |
| 10 | QPSK | 50 |
| 15 | QPSK | 75 |
| 20 | QPSK | 100 |

Fuente: (ETSI TS 136 521-1 V9.5.0(2011-09) Technical Specification, 2011)

2.8.3.3.1. *Finalidad y requerimiento de la prueba*

Para verificar que el UE ocupó el ancho de banda para todas las configuraciones de ancho de banda de transmisión soportadas por el UE son menores que sus límites específicos

El ancho de banda ocupado no deberá exceder los valores de la Tabla 24.

Tabla 2.26*Requerimientos para el Ancho de Banda Ocupado en LTE*

| AB del canal (MHz) | Ancho de Banda | | | | | |
|-----------------------|----------------|---------|-------|--------|--------|--------|
| | 1.4 MHz | 3.0 MHz | 5 MHz | 10 MHz | 15 MHz | 20 MHz |
| | 1.4 | 3 | 5 | 10 | 15 | 20 |

Fuente: (ETSI TS 136 521-1 V9.5.0(2011-09) Technical Specification, 2011)**2.8.3.4. Mascara de emisión espectral**

Se definen segmentos en pares desplazados a cada lado de la portadora. Estos segmentos se establecen de acuerdo a una frecuencia inicial y final, así como un valor de potencia límite. El conjunto de segmentos constituye una máscara que depende del ancho de banda.

Todas estas configuraciones se probarán con parámetros de prueba aplicables para cada ancho de banda de canal y se muestran en la tabla 2.27.

Tabla 2.27*Configuraciones para el ensayo de Mascara Espectral en LTE*

| Parámetros de ensayo para cada Ancho de Banda | | |
|---|------------|------------------|
| Configuración en el Uplink | | |
| AB Canal (MHz) | Modulación | Asignación de RB |
| | | FDD/TDD |
| 1.4 | QPSK | 6 |
| 1.4 | QPSK | 5 |
| 1.4 | 16QAM | 5 |
| 1.4 | 16QAM | 6 |
| 5 | QPSK | 25 |
| 5 | QPSK | 8 |

| | | |
|----|-------|-----|
| 5 | 16QAM | 8 |
| 5 | 16QAM | 25 |
| 20 | QPSK | 100 |
| 20 | QPSK | 18 |
| 20 | 16QAM | 18 |
| 20 | 16QAM | 100 |

Fuente: (ETSI TS 136 521-1 V9.5.0(2011-09) Technical Specification, 2011)

2.8.3.4.1. Finalidad de la prueba y requerimientos

Para verificar que la potencia de cualquier emisión de UE no excederá la palanca especificada para el ancho de banda de canal especificado. La potencia de cualquier emisión de la UE deberá cumplir con los requisitos de la Tabla 2.28.

Tabla 2.28

Requerimientos de cumplimiento para el ensayo de Mascara de Emisión Espectral en LTE

| Límites de emisión del espectro (dBm)/Ancho de Banda | | | | | | | |
|--|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| Δf_{oob} (MHz) | 1.4 MHz | 3.0 MHz | 5 MHz | 10 MHz | 15 MHz | 20 MHz | AB medido |
| 0 – 1 | -8.5 | -11.5 | - 13.5 | -16.5 | -18.5 | -19.5 | 30 kHz |
| 1 – 2.5 | 8.5 | | | | | | 1 MHz |
| 2.5 – 2.8 | -23.5 | -8.5 | -8.5 | -8.5 | -8.5 | -8.5 | 1 MHz |
| 2.8 – 5 | | | | | | | 1MHz |
| 5 – 6 | | -23.5 | - 11.5 | -11.5 | | | 1MHz |
| 6 – 10 | | | - 23.5 | | -11.5 | -11.5 | 1 MHz |
| 10 – 15 | | | | -23.5 | | | 1 MHz |

| | | |
|---------|-------|-------|
| 15 – 20 | -23.5 | 1 MHz |
| 20 – 25 | -23.5 | |

Fuente: (ETSI TS 136 521-1 V9.5.0(2011-09) Technical Specification, 2011)

2.8.3.5. *Relación de fuga del canal adyacente*

Cuando el EU está transmitiendo a su potencia máxima en el canal E-UTRA, un filtro rectangular RRC se usa para medir la energía residual en los canales E-UTRA adyacentes.

El valor de $E - UTRA_{ACLR}$ se obtiene como la relación entre la potencia del canal E-UTRA sobre la potencia residual en el canal E-UTRA adyacente. El valor de $UTRA_{ACLR1}$ se obtiene como la relación entre la potencia del canal E-UTRA sobre la potencia residual en el primer canal UTRA adyacente. El valor de $UTRA_{ACLR2}$ se obtiene como la relación entre la potencia del canal E-UTRA sobre la potencia residual en el segundo canal UTRA adyacente.

Todas estas configuraciones se probarán con parámetros de prueba aplicables para cada ancho de banda de canal y se muestran en la tabla 2.29.

Tabla 2.29

Configuraciones para el ensayo de ACRL en LTE

| Parámetros de ensayo para cada ancho de banda | | | |
|---|------------|------------------|-----|
| Configuración en el Uplink | | | |
| AB Canal | Modulación | Asignación de RB | |
| | | FDD | TDD |
| 1.4 MHz | QPSK | 6 | 6 |
| 1.4 MHz | QPSK | 5 | 5 |
| 1.4 MHz | 16 QAM | 6 | 6 |
| 1.4 MHz | 16 QAM | 5 | 5 |
| 5 MHz | QPSK | 25 | 25 |
| 5 MHz | QPSK | 8 | 8 |

| | | | |
|---------------|--------|-----|-----|
| 5 MHz | 16 QAM | 25 | 25 |
| 5 MHz | 16 QAM | 8 | 8 |
| 20 MHz | QPSK | 100 | 100 |
| 20 MHz | QPSK | 18 | 18 |
| 20 MHz | 16 QAM | 100 | 100 |
| 20 MHz | 16 QAM | 18 | 18 |

Fuente: (ETSI TS 136 521-1 V9.5.0(2011-09) Technical Specification, 2011)

2.8.3.5.1. Finalidad de la prueba y requerimientos

La finalidad de esta prueba es verificar que el transmisor del EU no cause interferencias en canales adyacentes. Considerando que ciertas bandas son utilizadas para sistemas LTE y WCDMA a la vez, las mediciones para este ensayo se olviden en dos grupos: sobre canales E-UTRA y canales UTRA.

En las tablas se muestran los requerimientos de cumplimiento para mediciones del ACLR sobre E-UTRA y ACLR sobre UTRA respectivamente

Tabla 2.30

Requerimientos de cumplimiento para ensayo de E-UTRA ACRL

| | 1.4 | 3.0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | MHz | MHz | MHz | MHz | MHz | MHz |
| <i>E – UTRA_{ACRL}</i> | 29.2 | 29.2 | 29.2 | 29.2 | 29.2 | 29.2 |
| | dB | dB | dB | dB | dB | dB |
| Ancho de banda medido del canal | 1.8 | 2.7 | 4.5 | 9.0 | 13.5 | 18 |
| E-UTRA | MHz | MHz | MHz | MHz | MHz | MHz |
| Offset canal adyacente | ± 1.4 | ± 3 | ± 5 | ± 10 | ± 15 | ±20 |
| | MHz | MHz | MHz | MHz | MHz | MHz |

Fuente: (ETSI TS 136 521-1 V9.5.0(2011-09) Technical Specification, 2011)

Tabla 2.31*Requerimientos de cumplimiento para ensayo de UTRA_{ACRL}**

| | 1.4 | 3.0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | MHz | MHz | MHz | MHz | MHz | MHz |
| UTRA_{ACRL1} | 32.2 | 32.2 | 32.2 | 32.2 | 32.2 | 32.2 |
| | dB | dB | dB | dB | dB | dB |
| Offset del canal adyacente (en MHz) | ± 3.2 | ± 4 | ± 5 | ± 7.5 | ± 10 | ± 12.5 |
| | MHz | MHz | MHz | MHz | MHz | MHz |
| UTRA_{ACRL2} | - | - | 35.2 | 35.2 | 35.2 | 35.2 |
| | - | - | dB | dB | dB | dB |
| Offset del canal adyacente (en MHz) | - | - | ± 10 | ± 12.5 | ± 15 | ± 17.5 |
| | - | - | MHz | MHz | MHz | MHz |
| Ancho de banda medido del canal E-UTRA | 1.8 | 2.7 | 4.5 | 9.0 | 13.5 | 18 |
| | MHz | MHz | MHz | MHz | MHz | MHz |
| Ancho de banda medido del canal UTRA | 3.84 | 3.84 | 3.84 | 3.84 | 3.84 | 3.84 |
| | MHz | MHz | MHz | MHz | MHz | MHz |

Fuente: (ETSI TS 136 521-1 V9.5.0(2011-09) Technical Specification, 2011)

2.8.3.6. Magnitud del vector de error (EVM)

La magnitud del vector (EVM) es la medición de la diferencia entre la forma de onda de referencia y la forma de onda medida. Esta medición determina la capacidad del EU para modular la señal del uplink. El propósito de la prueba es verificar la calidad de la señal del canal PUSCH tanto para QPSK y 16QAM, así como para la asignación parcial y total RB.

Se considera las configuraciones para el canal PUSCH que se muestra en la tabla 2.32.

Tabla 2.32*Configuración para la prueba de EVM*

| Parámetros de ensayo para cada Ancho de Banda | | |
|--|-----------------------------------|-------------------------|
| AB Canal (MHz) | Configuración en el Uplink | |
| | Modulación | Asignación de RB |
| | | FDD/TDD |
| 1.4 | QPSK | 6 |
| 1.4 | QPSK | 5 |
| 1.4 | 16QAM | 5 |
| 1.4 | 16QAM | 6 |
| 5 | QPSK | 25 |
| 5 | QPSK | 8 |
| 5 | 16QAM | 8 |
| 5 | 16QAM | 25 |
| 20 | QPSK | 100 |
| 20 | QPSK | 18 |
| 20 | 16QAM | 18 |
| 20 | 16QAM | 100 |

Fuente: (ETSI TS 136 521-1 V9.5.0(2011-09) Technical Specification, 2011)

2.8.3.6.1. Finalidad de la prueba y requerimientos

La magnitud del vector de error es una medida de la diferencia entre la forma de onda de referencia y la forma de onda medida. El resultado de esta prueba determina la capacidad del EU para modular la señal del Uplink.

La finalidad de esta prueba es verificar la calidad de la señal PUSCH tanto para QPSK y 16QPSK, así como para la asignación parcial y total RB.

El PUSCH EVM no excederá el 17,5% para QPSK y BPSK, 12,5% para 16 QAM

2.9. Estatus actual al proceso de homologación

2.9.1. Ley N° 164 Ley General de Telecomunicaciones, Tecnologías de Información y Comunicación

La Ley N° 164 Ley General de Telecomunicaciones, Tecnologías de Información y Comunicación promulgada el 08 de agosto de 2011 establece en su Capítulo Segundo lo siguiente:

El Artículo 14, Numeral 9 homologar equipos de telecomunicaciones y tecnologías de información y comunicación en todo el país.

El Artículo 14, Numeral 15 elaborar, actualizar y modificar manuales, instructivos, circulares y procedimientos a ser aplicados en el sector.

2.9.2. Reglamento a la Ley N° 164 del Sector de Telecomunicaciones

El Reglamento de la Ley No.164, aprobado mediante Decreto Supremo No.1391 del 24 de octubre de 2012, establece la homologación de equipos y señala lo siguiente:

Artículo 13.- (Registro de proveedores y comercializadores de equipos). La ATT, será la entidad que registre a los fabricantes, proveedores o comercializadores de equipos de telecomunicaciones y tecnologías de información y comunicación, incluidos los equipos de transmisión de voz, datos y otros que utilicen frecuencias y bandas de frecuencias radioeléctricas de uso libre. Los requisitos para la inscripción serán establecidos por la ATT.

Artículo 14.- (Homologación de equipos). Se entiende por homologación es el procedimiento realizado por la ATT que verifica la compatibilidad de funcionamiento y operación de equipos o terminales con una red de telecomunicaciones de acuerdo a los estándares nacionales elaborados por esta entidad y aprobados por el Ministerio de Obras Públicas, Servicio y Vivienda, así como a los estándares internacionales principalmente para:

Proteger de interferencias perjudiciales a los servicios de telecomunicaciones de operadores o proveedores autorizados, garantizando la utilización apropiada del espectro radioeléctrico.

Verificar que los equipos o terminales tengan las características adecuadas para el tipo de servicio autorizado. La ATT, emitirá instructivos técnicos para la homologación los cuales serán actualizados periódicamente.

Cuando así se requiera la ATT podrá contratar a terceras personas para las pruebas técnicas de homologación, las mismas que serán denominadas Entidades Verificadoras y su contratación podrá ser para casos específicos o por plazo determinado de acuerdo a la normativa vigente aplicable.

No podrán ser designadas entidades verificadoras las personas naturales o jurídicas que sean titulares de autorizaciones para proveer servicios de telecomunicaciones y tecnologías de información y comunicación o que tengan relación directa con proveedores o comercializadores de equipos u operadores y proveedores de servicios.

Para la solicitud de homologación de equipos de telecomunicaciones incluidas aquellas que utilizan frecuencias radioeléctricas de uso libre, los fabricantes proveedores o comercializadores deberán previamente estar inscritos en el registro de la ATT.

ARTÍCULO 15.- (Procedimiento de homologación). A solicitud de los interesados, sean fabricantes, operadores de servicios, proveedores o comercializadores de equipos destinados a redes de telecomunicaciones, la ATT procederá a la homologación de los mismos, mediante resolución administrativa en el plazo máximo de treinta (30) días, siempre y cuando se cumplan los requisitos establecidos en los instructivos técnicos de homologación.

Para los equipos que requieren pruebas de laboratorio con el fin de su homologación, la ATT podrá solicitar al interesado un prototipo por cada tipo de equipo a ser homologado, el mismo que será entregado a la ATT hasta la finalización de las pruebas.

La ATT publicara en su página web de manera permanente los equipos que hayan sido homologados y por tanto estarán autorizados para su uso y comercialización en el territorio nacional.

ARTICULO 16.- (Importación e internación de equipos de telecomunicaciones). Para la importación e internación de equipos de telecomunicaciones en general, así como equipos y antenas utilizadas en la recepción satelital, los proveedores o comercializadores deberán solicitar la autorización previa o certificado a la ATT, conforme a la normativa vigente.

2.9.3. Descripción del proceso de homologación actual realizado por la ATT

La Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transportes realiza la Homologación de Equipos de Telecomunicaciones mediante la Resolución Administrativa Regulatoria ATT-DJ-RA TL 1022/2013 la cual resuelve:

APROBAR el instructivo para la Homologación de Equipos de Telecomunicaciones, Acreditación de Entidades Certificadoras y Registro de Fabricantes, Distribuidores, Comercializadores, Operadores y Proveedores de Servicios de Telecomunicaciones.

2.9.3.1. *Requisitos y procedimiento para la homologación de equipos*

Artículo 25.- (Requisitos).- Para homologar un equipo de telecomunicaciones por cada tipo de equipo, marca y modelo, el solicitante presentara a la Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transporte –ATT, los siguientes documentos:

De carácter legal:

- Solicitud escrita dirigida al Director Ejecutivo de la Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transporte –ATT.
- Fotocopia simple del certificado de registro en la ATT como fabricante, proveedor o comercializador de equipos de telecomunicaciones.
- Declaración jurada, en la que se indique que todos los terminales o equipos de telecomunicaciones que se importaran bajo el certificado de homologación solicitado, cumplirá con las mismas características técnicas, marca, modelo, etc., especificados en el certificado de homologación.

De carácter técnico:

- La solicitud deberá ser realizada de acuerdo al formulario F.1, adjunto al presente instructivo, detallando en lengua castellana las características técnicas principales del equipo sujeto a homologación. (*)
- Manuales técnicos, en caso de estar redactado en otro idioma diferente al castellano o inglés, debe adjuntar su traducción al castellano. (**)

- Manual del usuario, el cual debe estar redactado en castellano por parte del fabricante, ya que el uso del equipo será en el Estado Plurinacional de Bolivia. (**)
- Certificados del equipo sujeto a homologación, emitido por u organismo reconocido, estas pruebas varían de acuerdo al tipo de equipo, por ejemplo en el caso de un equipo de radio frecuencia las pruebas principales serán: Pruebas eléctricas y de seguridad eléctrica, Pruebas funcionales, Pruebas del protocolo de comunicaciones (Si aplica). (**)
- Cualquier documentación adicional será tomada en cuenta de forma referencial.
- En caso de que la solicitud sea para una familia de quipos, se deberá remitir documentos que respalden, certifiquen y/o garanticen la homogeneidad de estos equipos (modelos) en cuanto a sus características técnicas principales.

Para los equipos que requieran pruebas de laboratorio con fin de su homologación, la ATT podrá solicitar al interesado muestras por cada tipo de quipo a ser homologado, el mismo que será entregado a la ATT hasta la finalización de las pruebas.

(*) Presentación en físico y medio digital (CD).

(**) Presentación solo en medio digital (CD).

Artículo 25.- (Procedimiento).

- a) Por reconocimiento de una certificación de un organismo internacional reconocido y/o pruebas de operación:
 - a.1) El solicitante debe presentar su solicitud para la homologación de un equipo de telecomunicaciones adjuntando los requisitos establecidos a la ATT.
 - a.2) La ATT evaluara y determinara si la petición está completa o si requiere complementación, en caso de existir observaciones a la documentación presentada, el solicitante deberá subsanar las mismas en el plazo de diez (10) días hábiles, a partir de su notificación. En caso de no subsanarse las observaciones en el plazo establecido, la solicitud será desestimada.

- a.3)** La ATT podrá requerir al solicitante muestras del equipo a ser homologado, quien en el plazo de diez (10) días hábiles a partir de su notificación, deberá hacer la entrega del equipo hasta la finalización de pruebas.
- a.4)** En cumplimiento al artículo 15, parágrafo I del decreto supremo N° 1391 Reglamento a la Ley N° 164, en el plazo de treinta (30) días hábiles computables a partir del cumplimiento de los requisitos técnicos y legales, y en función a los mecanismos de homologación señalados en el artículo 18 del presente Instructivo, la ATT procederá a la otorgación del certificado de homologación o en su defecto rechazara la solicitud de homologación indicando claramente las razones por las cuales es negada.

b) Mediante certificadoras acreditadas:

Este procedimiento será establecido en la Resolución Administrativa Regulatoria señalada en el inciso a) del Artículo 14.- (DE LA ACREDITACIÓN).

Artículo 25.- (Organismos internacionales reconocidos)

- Unión Internacional de Comunicaciones (UIT)
- Comisión Federal de Comunicaciones (FCC)
- Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI)
- Asociación de Industrias de Telecomunicaciones (TIA)
- Alianza de Industrias Electrónicas (EIA)
- Asociación de la Industria Celular (CTIA)
- Comité Panamericano de Estándares de la Industria (COPANT)
- Comité Europeo para la Estandarización (CE)
- Administración de Estandarización de China (CE)

La ATT mediante resolución fundada podrá modificar la lista de organismos internacionales reconocidos.

En caso de que la solicitud de homologación de equipos que se presenten certificaciones de otros organismos, la ATT estará en la facultad, previa revisión de la documentación y/o realización de pruebas si corresponde, de considerarse para la otorgación del certificado de homologación.

CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL PROYECTO

El diseño del laboratorio propuesto para el proceso de homologación está destinado a la Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transportes con el cual se realizará un proceso de homologación de forma técnica de los terminales móviles con el fin de garantizar el correcto funcionamiento.

Con el objetivo de cumplir que la homologación se realice de forma técnica para esto se establece la instrumentación necesaria para la realización de mediciones en los teléfonos móviles, especificando las funciones que cada equipo debe cumplir y los requerimientos de parámetros técnicos.

3.1. Equipos para realizar pruebas con respecto a las especificaciones del 3GPP

Como se estudió anteriormente en el capítulo 2, características del terminal móvil así también parámetros que deben cumplir especificaciones según la norma 3GPP, se determinan los equipos necesarios para realizar las pruebas con el objetivo de cumplir cada una de ellas los cuales son un analizador de espectros, simulador de radiobase, shield box y un medidor de temperatura y humedad relativa.

3.1.1. Analizador de espectros

El analizador de espectro nos ayuda a visualizar y examinar el espectro de radiofrecuencia (RF), el espectro muestra datos en un gráfico donde la frecuencia está en el eje X y la amplitud se representa en el eje Y. Este equipo es muy importante, al evaluar los parámetros porque por medio de este observaremos los resultados que se requieren, las especificaciones técnicas de importancia para adquirir es el equipo son rango de frecuencia, ancho de banda máximo que se observara en la pantalla y demodulación de los diferentes estándares de la telefonía móvil.

Por tanto los requerimientos y características de parámetros técnicos del analizador de espectros dentro nuestro interés para el laboratorio son los siguientes (Análisis de señales en el dominio de la frecuencia: Analizador de Espectros, 2014):

- Rango de frecuencias que nos permitirá visualizar en la pantalla hasta 13 GHz.
- Analizar anchos de banda hasta 25 MHz
- Por norma general los analizadores de espectros no deberán sobrepasar la potencia de entrada de 30 dBm.
- Impedancia de entrada 50 ohmios que es la impedancia normal en radiofrecuencia.
- Demodulación de los estándares GSM, GPRS, EDGE, WCDMA, HSDPA, HSDPA+ y LTE.
- Control a distancia a través de la interfaz GPIB.

3.1.2. Simuladores de radiobase celulares 2G, 3G y 4G

Para realizar la comunicación entre el terminal móvil bajo prueba y el simulador de radiobase se debe establecer la banda de trabajo para las tecnologías 2G, 3G y 4G así también los canales de trabajo medio alto y bajo con lo que se permite realizar ensayos de radiofrecuencia basados en el estándar 3 GPP.

Por lo tanto los requerimientos y características de parámetros técnicos del simulador de radiobase dentro nuestro interés para el laboratorio son los siguientes:

- Soportar GSM/GPRS/EGPRS, W-CDMA/HSPA/HSPA+/DC-HSDPA, cdma200/1XEV -DO/eHDP, TD-SCDMA/TD-HSPA/TD-HSUPA, IS-95, TIA/EIA-136, AMS Y LTE.
- El rango de frecuencias de 200 MHz a 6 GHz, incluye todas las bandas de frecuencia comercial 3GPP y 3GPP2
- Nivel de salida con modulación en el rango de -110dBm a -13dBm.
- Precisión al medir la potencia del canal $\leq \pm 1,0$ dB la

- Control a distancia a través de la interfaz GPIB.
- Procesamiento de banda base.
- Simulación de eNodeB con pila de protocolos L1, L2 y L3.

3.1.3. RF shielded box

Para realizar las pruebas respectivas al teléfono móvil el cual funciona como un transmisor y receptor electromagnético, será introducido en una caja metálica donde nada de ese electromagnetismo que existirá dentro saldrá afuera así como también nada de un electromagnetismo ingresara al interior.

Los requerimientos y características de parámetros técnicos del shielded box dentro nuestro interés para el laboratorio son los siguientes:

- Conectores D-9 (hembra y macho)
- Conectores tipo SMA hembra
- Conector tipo USB

3.1.4. Medidor de temperatura y humedad relativa

La temperatura y la humedad son dos importantes factores para mantener unos niveles óptimos de calidad del aire en interiores entonces el equipo deberá mostrar dos resultados a la vez en la pantalla del dispositivo de mediciones que son temperatura y humedad. Con el equipo se garantizara que las condiciones ambientales del lugar de ensayo descritas por la norma del 3GGP se cumplan.

Los requerimientos y características de parámetros técnicos del medidor de temperatura y humedad relativa dentro nuestro interés para el laboratorio son los siguientes (ETSI TS 151 010-1 V6.5.0 (2005-11) Technical Specification, 2006):

- Rango de temperatura 0°C a 50°C (32°F a 122°F)

- Rango de humedad relativa 0% a 80% RH
- Dos sensores calibrados
- Resolución de la temperatura 0.001°C/°F
- Resolución de la humedad 0.01%

3.2. Esquema de conexión para mediciones con respecto al 3GPP

El teléfono móvil bajo prueba dentro del shielded box o caja metálica producirá emisiones, las cuales serán captadas por antenas internas de la respectiva caja, cuya señal de recepción se capturará con un analizador de espectros.

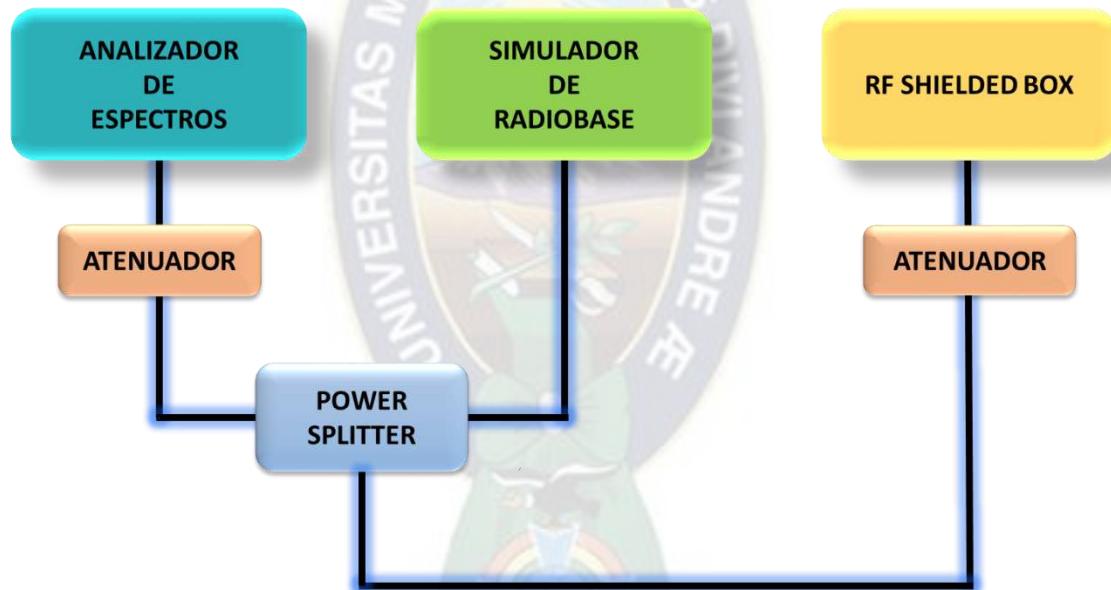
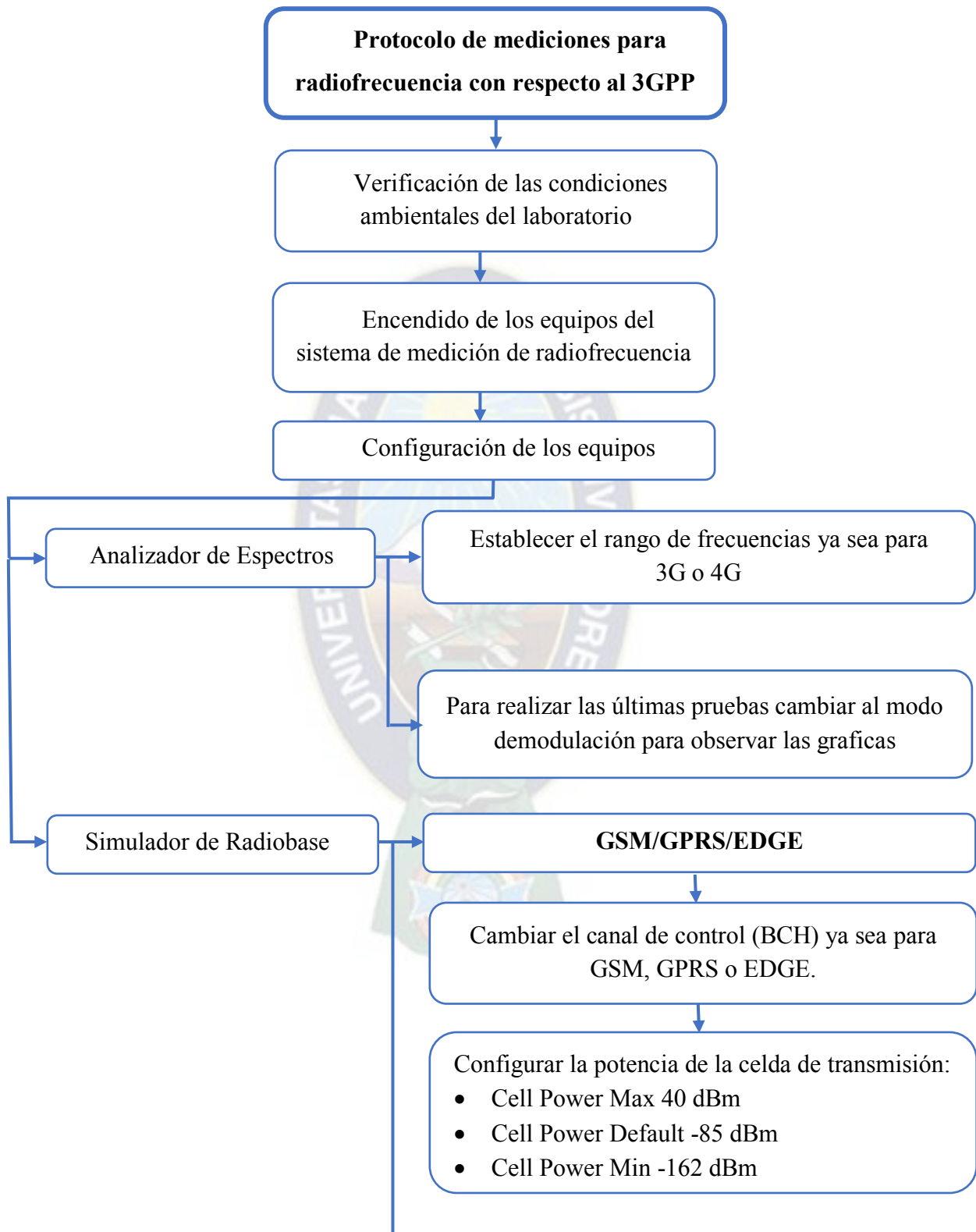


Figura 3.1 Diagrama de conexión para mediciones con respecto al 3GPP

Fuente: (López Narváez & Molina Gavilanez, 2013)

3.3. Protocolo de mediciones para radiofrecuencia con respecto al 3GPP



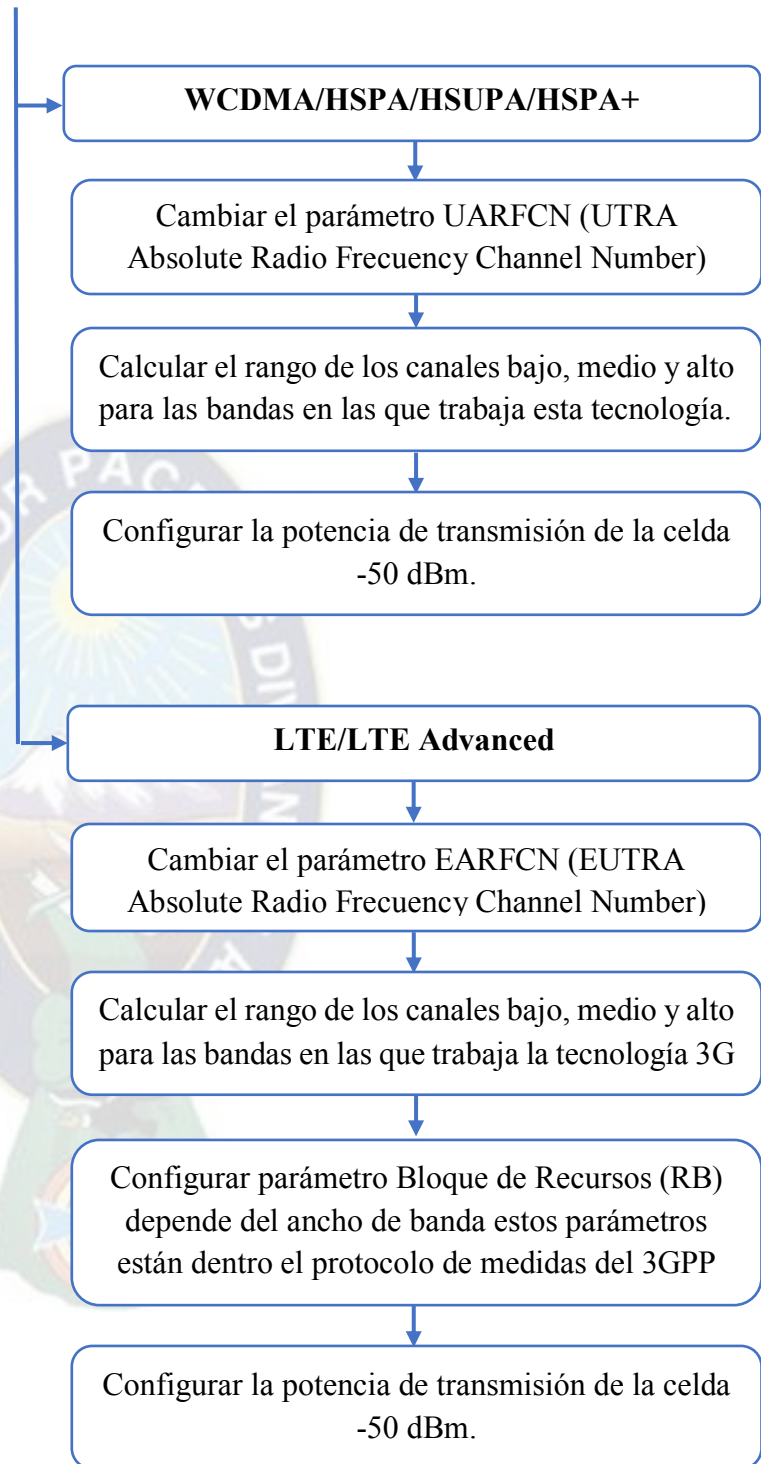


Figura 3.2 Procedimiento para mediciones de radiofrecuencia con respecto al 3GPP

Fuente: (Elaboración propia)

3.3.1. Condiciones del ambiente de prueba

La temperatura y la humedad dentro el laboratorio es de gran importancia porque debido a eso se tendrán las mediciones correctas además que la norma 3GPP indica los siguientes valores dentro el laboratorio.

Tabla 3.1

Datos de temperatura y humedad dentro el laboratorio

| Parámetro | Valor |
|----------------------|---------|
| Temperatura (°c) | 15 a 35 |
| Humedad relativa (%) | 35 a 75 |

Fuente: (ETSI TS 151 010-1 V6.5.0 (2005-11) Technical Specification, 2006)

3.3.2. Condiciones en la configuración de cada equipo

3.3.2.1. *Analizador de espectros*

El analizador de espectros es un instrumento básico en el laboratorio de homologación ya que su función es medir la potencia que tiene la señal a su entrada en función a la frecuencia. Las configuraciones en el analizador de espectros las siguientes funciones:

- Seleccionar el ancho de banda esto implica la frecuencia de inicio y final.
- Frecuencia de SPAN
- Cambiar al modo demodulación para observar las gráficas.

3.3.2.2. *Simulador de radio base*

Cuando se realice las medidas en cualquiera de las tecnologías realizar una compensación de pérdidas de potencia las cuales son producidas ya sean por el cable coaxial o los adaptadores que se utilizaran con el objetivo de tener mayor exactitud en el resultado de cada medida.

Configurar parámetros del equipo simulador de radio base celular según el documento de la norma del 3GPP.

3.3.2.2.1. Configuración del simulador de radio base en GSM/GPRS/EDGE

Se deben realizar las siguientes configuraciones para realizar las medias en esta tecnología:

- **Cambio en el canal de control (BCH)**

Dependiendo ya sea para: BCH GSM o BCH GPRS

- **Cambio del parámetro ARFCN**

Tabla 3.2

Canales bajo, medio y alto para 2G

| | GSM 850 | | | PCS 1900 | | |
|--------------------------|---------|-------|------|----------|-------|--------|
| | Bajo | Medio | Alto | Bajo | Medio | Alto |
| Canal | 128 | 190 | 251 | 512 | 661 | 810 |
| Frecuencia central [MHZ] | 824.2 | 836.6 | 810 | 1850.2 | 836.4 | 1909.8 |

Fuente: (ETSI TS 151 010-1 V6.5.0 (2005-11) Technical Specification, 2006)

- **Cambio de la potencia de la celda**

Tenemos los siguientes valores: cell power max (40 dBm), cell power default (-85 dBm) y cell power min (-162 dBm).

3.3.2.2.2. Configuración del simulador de radio base en WCDMA/HSPA/HSUPA

Se deben realizar las siguientes configuraciones para realizar las medias en esta tecnología:

- **Cambio del parámetro UARFCN**

En el capítulo anterior en el punto 2.9 se hace referencia a las bandas de operación Bolivia esta tecnología opera en las bandas 2 y 5 en la siguiente tabla vemos las frecuencias de uplink y downlink.

Tabla 3.3

Banda de operación en Bolivia y frecuencias de Uplink y Downlink para 3G

| Banda de Operación | Frecuencia de Uplink [MHz] | Frecuencia de Downlink [MHz] |
|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 2 | 1850 - 1910 | 1930 - 1990 |
| 5 | 824 - 849 | 869 - 894 |

Fuente: (ETSI TS 134 121-1 V9.1.0 (2010-07) Technical Specification, 2010)

El número de canal asignado a cada canal de radio en las diferentes bandas de operación del UE. Este número se lo conoce como UARFCN (UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number). Para cada banda de operación este valor está definido como sigue:

Para el rango de frecuencia portadora: $F_{UL_{low}} \leq F_{UL} \leq F_{UL_{high}}$

UL: $N_U = 5 * (F_{UL} - F_{UL_{Offset}})$

Para el rango de frecuencia portadora: $F_{DL_{low}} \leq F_{DL} \leq F_{DL_{high}}$

DL: $N_D = 5 * (F_{DL} - F_{DL_{Offset}})$

En cada banda de operación están definidos los valores que se observa en la tabla 3.4:

Tabla 3.4

Rangos de frecuencias para UARFCN

| Banda | Uplink (UL) UE transmite, Nodo –B recibe | | Downlink (DL) UE recibe, Nodo –B transmite | | | |
|-------|---|---|---|-----------------------------------|--|--------------|
| | UARFCN $F_{ULOffset}$ [MHz] | Rango de frecuencias de portadoras (F_{UL}) [MHz] | | UARFCN $F_{DLOffset}$ [MHz] | Rango de frecuencias de portadoras (F_{DL}) [MHz] | |
| | | F_{ULlow} | F_{ULhigh} | | F_{DLlow} | F_{DLhigh} |
| II | 0 | 1852.4 | 1907.6 | 0 | 1932.4 | 1987.6 |
| V | 0 | 826.4 | 846.6 | 0 | 871.4 | 891.6 |

Fuente: (ETSI TS 134 121-1 V9.1.0 (2010-07) Technical Specification, 2010)

Por ejemplo para calcular los números de canales se hace lo siguiente:

$$UL: \quad N_U = 5 * (1852.4 - 0) = 9262$$

$$DL: \quad N_D = 5 * (1932.4 - 0) = 9662$$

Entonces los rangos de canales que se configuraran en el equipo son los siguientes:

Tabla 3.5

Canales bajo, medio y alto para 3G

| | | Banda 2 | | | Banda 5 | | |
|----------|-----------------------------|---------|--------|--------|---------|-------|-------|
| | | Bajo | Medio | Alto | Bajo | Medio | Alto |
| Uplink | Canal | 9262 | 9400 | 9538 | 4132 | 4182 | 4233 |
| | Frecuencia central [MHz] | 1852.4 | 1880.0 | 1907.6 | 826.4 | 836.4 | 846.6 |
| Downlink | Canal | 9662 | 9800 | 9938 | 4357 | 4407 | 4458 |

| Frecuencia central [MHZ] | 1932.4 | 1960.0 | 1987.6 | 871.4 | 881.4 | 891.6 |
|-----------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
|-----------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|

Fuente: (ETSI TS 134 121-1 V9.1.0 (2010-07) Technical Specification, 2010)

Con estos valores cambiar el parámetro UARFCN en el equipo para realizar las pruebas ya sea en la banda 2 o 5.

- **Cambio de la potencia máxima en la celda**

La potencia que deberá entregar el simulador de radio base al equipo terminal móvil debe encontrarse en el rango de -13 dBm/3.87 MHz a -115 dBm/3.84 MHz. Pero según la norma del 3GPP dicho valor debe ser -50 dBm/3.84 MHz.

3.3.2.2.3. Configuración del simulador de radio base en LTE/LTE Advanced

- **Cambio del parámetro EARFCN**

En el capítulo anterior en el punto 2.9 se hace referencia a las bandas de operación en el Estado Plurinacional de Bolivia esta tecnología opera en las bandas 4 y 28 en la siguiente tabla vemos las frecuencias de uplink y downlink.

Tabla 3.6

Banda de operación en Bolivia y frecuencias de Uplink y Downlink para 4G

| Banda de Operación | Frecuencia de Uplink [MHz] | Frecuencia de Downlink [MHz] |
|--------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 4 | 1710 - 1755 | 2110 - 2155 |
| 28 | 703 - 749 | 758 - 803 |

Fuente: (ETSI TS 136 521-1 V9.5.0(2011-09) Technical Specification, 2011)

La frecuencia central de la portadora tanto para downlink y uplink esta designada por EARFCN (Evolved Absolute Radio Frequency Channel Number). La relación entre la frecuencia central de la portadora y el canal de la portadora EARFCN están dadas por las siguientes ecuaciones ya sea para downlink y uplink.

$$F_{DL} = F_{DL-LOW} + 0.1(N_{DL} - N_{Offs-DL})$$

$$F_{UL} = F_{UL-LOW} + 0.1(N_{UL} - N_{Offs-UL})$$

Los datos se obtienen de la siguiente tabla:

Tabla 3.7

Canales bajo, medio y alto para 4G

| Banda | Dowlink | | | Uplink | | |
|-----------|--------------|---------------|-------------------|--------------|---------------|-------------------|
| | F_{DL-LOW} | $N_{Offs-DL}$ | Range of N_{DL} | F_{UL-LOW} | $N_{Offs-UL}$ | Range of N_{UL} |
| 4 | 2110 | 1950 | 1950-2399 | 1710 | 19950 | 19950-20399 |
| 28 | 758 | 9210 | 9210-9659 | 703 | 27210 | 27210-27659 |

Fuente: (ETSI TS 136 521-1 V9.5.0(2011-09) Technical Specification, 2011)

Con estos datos y aplicando a las formulas se obtiene la siguiente tabla la cual nos servirá para configurar el equipo para poder realizar las pruebas.

Tabla 3.8

Datos a configurar en el equipo para canales bajo, medio y alto tecnología 4G

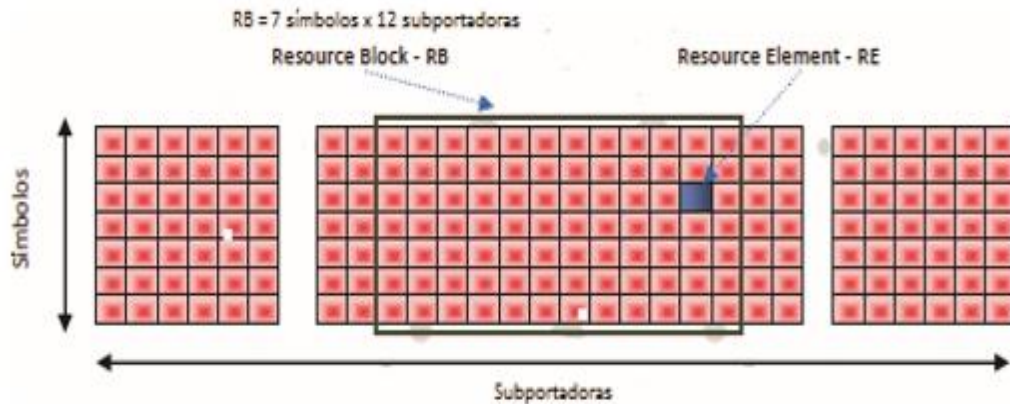
| | Canal | Banda 4 | | | Banda 28 | | |
|--------|--------------------|---------|--------|--------|----------|-------|-------|
| | | Bajo | Medio | Alto | Bajo | Medio | Alto |
| Uplink | Frecuencia central | 19950 | 20175 | 20399 | 27210 | 27435 | 27659 |
| | [MHZ] | 1710 | 1732.5 | 1754.9 | 703 | 725.5 | 747.9 |

| | | | | | | | |
|-----------------|-------------------------------------|------|--------|--------|------|-------|-------|
| | Canal | 1950 | 2175 | 2399 | 9210 | 9435 | 9659 |
| Downlink | Frecuencia central [MHZ] | 2110 | 2132.5 | 2154.9 | 758 | 780.5 | 802.9 |

Fuente: (ETSI TS 136 521-1 V9.5.0(2011-09) Technical Specification, 2011)

- **Cambio del parámetro RB**

El bloque de recursos físicos es el mínimo elemento de información que asigna el eNB a un UE, está formado por un símbolo (conjunto de bits) y una subportadora, estos a su vez se agrupan en un bloque de 7 símbolos por 12 subportadoras denominado RB.



Fuente: (ETSI TS 136 521-1 V9.5.0(2011-09) Technical Specification, 2011)

El número de bloques de recursos físicos disponibles en el sistema de la canalización tal como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 3.9

Número de RB en función de la canalización

| ANCHO DE BANDA [MHz] | | 1.4 | 3 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|-----------------------------|-----------|-----|----|----|----|----|-----|
| RB | Nº | 6 | 15 | 25 | 50 | 75 | 100 |

Fuente: (ETSI TS 136 521-1 V9.5.0(2011-09) Technical Specification, 2011)

Este valor se debe configurar cada vez que se realice las mediciones, considerar el ancho de banda en el que se va trabajar.

- **Cambio de la potencia máxima en la celda**

La potencia que debe entregar el equipo simulador de radiobase a equipo terminal está relacionado con los diferentes anchos de banda que LTE trabaja. Estos valores se los obtiene de la norma 3GPP TS 36.508.

Tabla 3.10

Niveles de potencia que el emulador debe emitir en LTE

| | | ANCHO DE BANDA | | | | | |
|------------------------|-----------|----------------|-----|-----|-----|-----|------|
| | | 1.4 | 3 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| | | MHz | MHz | MHz | MHz | MHz | MHz |
| RB | N° | 6 | 15 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| RE | N° | 72 | 180 | 300 | 600 | 900 | 1200 |
| Potencia del AB | dBm | -66 | -62 | -60 | -57 | -55 | -54 |
| RS EPRE | dBm/15kHz | -85 | -85 | -85 | -85 | -85 | -85 |

Fuente: (ETSI TS 136 521-1 V9.5.0(2011-09) Technical Specification, 2011)

3.3.3. Conexión de equipos

- Realizar la conexión de los diagramas mostrados anteriormente.
- Insertar el USIM que el simulador de radio base que nos provee para el teléfono móvil bajo prueba.
- Activar en modo avión el teléfono móvil bajo prueba.
- Situar el teléfono móvil bajo prueba dentro en el shielded box o la caja metálica.
- Encender cada uno de los equipos los que nos permitirán realizar las mediciones.

3.3.4. Mediciones según la norma por el 3GPP para distintas tecnologías.

3.3.4.1. *Mediciones a realizar en GSM/GPRS/EDGE*

- Error de frecuencia y error de fase
- potencia de salida del terminal móvil.

3.3.4.2. *Mediciones a realizar en WCDMA/HSPA/HSUPA*

De acuerdo a la norma TS 134.121-1 de la 3GPP se deben realizar las medidas tanto en el canal bajo, medio y alto para cubrir todas las condiciones dentro del rango de la banda. Las mediciones son las siguientes:

- Potencia máxima de salida
- Error de frecuencia
- Ancho de banda
- Mascara de emisión espectral
- Tasa de potencia interferente en el canal adyacente (ACLR)
- Emisiones espurias y magnitud de error.

3.3.4.3. *Mediciones a realizar en LTE/LTE Advanced*

- Potencia máxima de salida
- Error de frecuencia
- Ancho de banda
- Mascara de emisión espectral relación de fuga del canal adyacente
- Magnitud del vector de error (EVM)
- diagramas de constelación
- Throughput y tasa de errores en bloques



Figura 3.3 Equipos para las pruebas de radiofrecuencia según el 3GPP

Fuente: (Elaboración propia)

3.4. Equipos para realizar pruebas de tasa de absorción específica

Las mediciones de la SAR que se realizara en el laboratorio consiste en lo siguiente se colocara el teléfono móvil el cual estará transmitiendo cerca de un modelo de simulación muy similar a la cabeza humana, rellena con un fluido que tiene las mismas características eléctricas que el tejido corporal. Un robot controla una sonda isotrópica de campo eléctrico de pequeño diámetro dentro el fantoma y basándose en las lectura obtenidas un ordenador determina los valores de la SAR máximos, esta prueba se realiza en una cámara anecoica para cumplir el control de temperatura y eliminar las influencias de otros transmisores cercanos.

También se requieren otros equipos como analizador de red, medidor de potencia y generador de señal de RF para medir los parámetros dieléctricos del líquido simulador de tejido corporal.

3.4.1. Cámara anecoica

La cámara anecoica es de un material absorbente electromagnético. Esta cámara nos permite atenuar las señales externas para evitar algún tipo de interferencia radioeléctrica hacia los terminales móviles que están sujetos a prueba. En su interior deberá tener estructuras piramidales hechas de un material de poliuretano cargado con partículas de carbón lo cual permitirá transformar en ondas electromagnéticas en otro tipo de energía la cual no afectara en la medición, porque cuando en la cámara se emita una señal esta no se refleja es decir no rebota.

Los parámetros más importantes de la Cámara de Faraday dentro nuestro interés para el laboratorio son los siguientes (Gordón Romero, 2015):

- Los niveles de atenuación según la norma EN50147-1 para el campo magnético H son: 10 kHz \geq 40 dB y 1 MHz \geq 80 dB
- Los niveles de atenuación según la norma EN50147-1 para el campo eléctrico E/onda plana/microonda son: 30 MHz a 1 GHz \geq 100 dB y 10 GHz \geq 80 Db<
- Atenuación de los absorbentes o reflectividad: 700 MHz – 30 dB, 1 GHz – 35 dB, 1 GHz – 40 dB, 6 GHz – 45 dB.
- Altura de los absorbentes 30,5 cm
- Forma de los materiales absorbentes pirámides

3.4.2. Robot

Este robot es el que sostiene la sonda de medición, los parámetros más importantes del robot dentro nuestro interés para el laboratorio son los siguientes:

- Alcance máximo 1.611 mm
- Carga útil nominal 6 Kg
- Carga máxima total 36 kg
- Cantidad de ejes 6

- Posición de montaje puede ser piso, pared o techo
- Repetibilidad de posición ± 0.05 mm

3.4.3. Sonda de campo eléctrico o magnético

Según la norma de la IEEE 1428:2003 o la norma FCC OET Bulletin 65 las sondas son del orden de 25-30 cm de largo. Se recomienda que el diámetro de la punta de la sonda sea inferior a 8,0 mm para lograr una resolución espacial aceptable en la medición y para minimizar los errores de los límites de la sonda. Estas sondas están construidas con tres dipolos miniatura, típicamente de 1.5-2.5 mm de largo, cargados con un sensor de diodo en el espacio de cada dipolo para medir la intensidad del campo eléctrico en tres direcciones ortogonales. Los sensores, cada uno compuesto por un dipolo y un detector de diodos, se depositan y se unen en un sustrato que ofrece una perturbación mínima a la campo de incidente. La señal de RF detectada se transporta a través de cables de alta resistencia a lo largo de la longitud de la sonda para minimizar la captación de RF. La señal es filtrada por las líneas de alta resistencia para producir una señal de frecuencia muy baja en la salida de la sonda. La sonda se sujeta al posicionador de la sonda donde está conectado a la electrónica de la sonda. Las señales son compensadas y convertidas por instrumentación amplificadores y convertidores A / D de precisión y procesados por software a valores SAR.

Los parámetros más importantes de la sonda isotrópica dentro nuestro interés para el laboratorio son los siguientes (FCC, 2001):

- Rango de frecuencia 100 MHz -30 GHz
- Diámetro máximo externo de la sonda 8 mm
- Largo de la sonda está en el orden de 25 a 30 cm
- Resistencia del dipolo $1\text{ M}\Omega$ a $2\text{ M}\Omega$
- Máximo SAR operativo de la sonda 100 W/Kg
- Umbral de detección más bajo de SAR para la sonda 0.0015 W/Kg
- Tipo y numero de conectores SR30 y 6

- Rango dinámico de 0.01-100 W/kg para cubrir niveles de señal y características de modulación.

3.4.4. Fantomas

El fantoma es un recipiente que simula las partes del cuerpo humano, este recipiente debe cumplir con algunos requerimientos técnicos, para que estos sean considerados como aceptables dentro de cada realización de pruebas la IEEE SCC-34/SC-2 considera lo siguiente (FCC, 2001):

- El fantoma de cabeza debe incluir una porción de cuello, la parte de los hombros no es necesario
- Dos fantoma horizontal tipo SAM para cabeza con su respectiva mesa
- Un fantoma horizontal tipo ELI o elíptico con su respectiva mesa
- Permitividad relativa menor que 5
- Tangente de pérdida menor que 0.05
- El grosor de los fantomas para cualquier región del cuerpo debe ser 2.0 ± 0.2 mm
- El llenado del líquido tanto para la cabeza como para el cuerpo debe ser con una profundidad de 15.0 ± 0.5 cm
- Material del fantoma fibra de vidrio u otro material plástico los cuales tienen baja absorción de radiofrecuencia

3.4.5. Líquidos de simulación de tejidos

El líquido que simula el tejido humano por norma deben cumplir distintos parámetros dieléctricos (permitividad relativa y conductividad) también se debe tomar en cuenta que estos parámetros son dependientes de la frecuencia.

Los parámetros dieléctricos de los tejidos de la cabeza, recomendados por el comité de IEEE SCC-34/SC-2 se derivan de los modelos de capas planas que simulan el máximo SAR esperado

para las propiedades dieléctricas y las variaciones de espesor del tejido en una cabeza humana como se indica en la tabla (FCC, 2001)

Tabla 3.11

Parámetros dieléctricos de cabeza y cuerpo según la FCC

| Frecuencia [MHz] | Cabeza | | Cuerpo | |
|---------------------|------------|----------------|------------|----------------|
| | ϵ | σ [S/m] | ϵ | σ [S/m] |
| 450 | 43.5 | 0.87 | 56.7 | 0.94 |
| 835 | 41.5 | 0.90 | 55.2 | 0.97 |
| 900 | 41.5 | 0.97 | 55.0 | 1.05 |
| 915 | 41.5 | 0.98 | 55.0 | 1.06 |
| 1610 | 40.3 | 1.29 | 53.8 | 1.40 |
| 1800-2000 | 40.0 | 1.40 | 53.3 | 1.52 |
| 2450 | 39.2 | 1.80 | 52.7 | 1.95 |

Fuente: (FCC, 2001)

La composición de los líquidos pueden adquirirse ya elaborados o pueden mezclarse siguiendo las formulas recomendadas por las normas. Se observa en las siguientes tablas según la frecuencia:

Tabla 3.12

Formula recomendada en frecuencias de 300 MHz a 900 MHz

| Frecuencia [MHz] | 300 | 450 | 450 | 450 | 835 | 835 | 900 | 900 | 900 | 900 |
|---------------------------------|------|------|-------|-----|------|-----|------|-------|-------|-----|
| Ingredientes (% en peso) | | | | | | | | | | |
| 1,2 – Pro-anodiol | | | | | | | | 64.81 | | |
| Bactericida | 0.19 | 0.19 | 0.50 | | 0.10 | | 0.10 | | 0.50 | |
| Diacetina | | | 48.90 | | | | | | 49.20 | |

| DGBE | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| HEC | 0.98 | 0.98 | | | 1.00 | | 1.00 | | | |
| NaCl | 5.95 | 3.95 | 1.70 | 1.96 | 1.45 | 1.25 | 1.48 | 0.79 | 1.10 | 1.35 |
| Sacarosa | 55.32 | 56.32 | | | 57.00 | | 56.50 | | | |
| TritonX-100 | | | | | | | | | | |
| Tween20 | | | | 49.51 | | 48.39 | | | | 48.34 |
| Agua | 37.56 | 38.56 | 48.90 | 48.53 | 40.45 | 50.36 | 40.92 | 34.40 | 49.20 | 50.31 |

Fuente: (FCC, 2001)

Tabla 3.13

Formula para las frecuencias de 1450 MHz a 2000 MHz

| Frecuencia [MHz] | 1450 | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 | 1900 | 1900 | 1950 | 2000 |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Ingredientes (% en peso) | | | | | | | | | | |
| 1,2 – Pro-anodiol | | | | | | | | | | |
| Bactericida | | | | | 0.50 | | | | | |
| Diacetina | | | | | 49.43 | | | | | |
| DGBE | 45.51 | 47.00 | 13.84 | 44.92 | | | 44.92 | 13.84 | 45.00 | 50.00 |
| HEC | | | | | | | | | | |
| NaCl | 0.67 | 0.36 | 0.35 | 0.18 | 0.64 | 0.50 | 0.28 | 0.35 | | |
| Sacarosa | | | | | | | | | | |
| TritonX-100 | | | 30.45 | | | | | 30.45 | | |
| Tween20 | | | | | | 45.27 | | | | |
| Agua | 53.82 | 52.64 | 55.36 | 54.90 | 49.43 | 54.23 | 54.90 | 55.36 | 55.00 | 50.00 |

Fuente: (FCC, 2001)

Tabla 3.14*Formula para frecuencias entre 2100 MHz a 5800 MHz*

| Frecuencia [MHz] | 2100 | 2100 | 2450 | 2450 | 3000 | 5200 | 5800 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Ingredientes (% en peso) | | | | | | | |
| 1,2 – Pro-anodiol | | | | | | | |
| Bactericida | | | | 0.50 | | | |
| Diacetina | | | | 49.75 | | | |
| DGBE | 50.00 | 7.99 | 7.99 | | 7.99 | | |
| HEC | | | | | | | |
| NaCl | | 0.16 | 0.16 | | 0.16 | | |
| Sacarosa | | | | | | | |
| TritonX-100 | | 19.97 | 19.97 | | 19.97 | 17.24 | 17.94 |
| Diethylenglycolmo nohexylether | | | | | | 17.24 | 17.24 |
| Agua | 50.00 | 71.88 | 71.88 | 49.75 | 71.88 | 65.52 | 65.52 |

Fuente: (FCC, 2001)

3.4.6. Dispositivos de sujeción del terminal móvil

Para la sujeción de terminal móvil cuando se realicen las pruebas debe mantenerse en la posición que la norma rige en los ensayos de SAR, este equipo se pondrá debajo del fantoma simulando como si fuera una mano para obtener mediciones fiables y reproducibles.

El dispositivo de sujeción deberá estar fabricado por un material muy estable, debe permitir el movimiento a lo largo de los ejes X nos permite el desplazamiento de derecha a izquierda, Y desplazamiento de arriba hacia abajo y por último en el eje Z. La parte de superior debe ser curvada de manera que al moverse por la mejilla del fantoma sea de forma rápida.

La forma de situar el terminal móvil en los lados del fantoma según la norma se muestra a continuación:

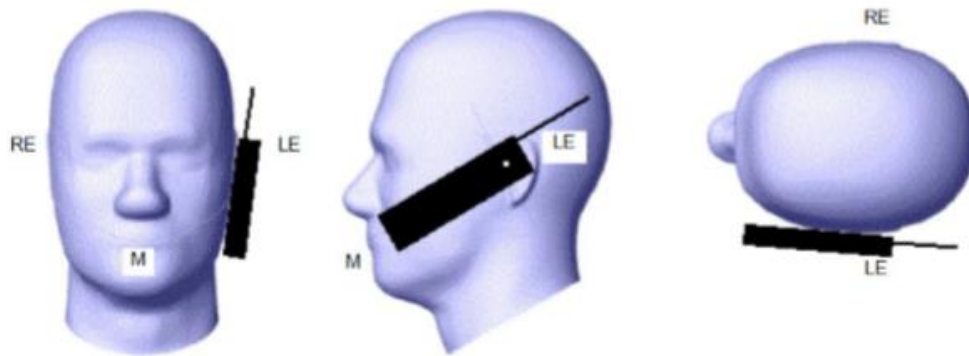


Figura 3.4 Posición cheek del terminal móvil en uno de los lados del fantoma (tocando)

Fuente: (FCC, 2001)

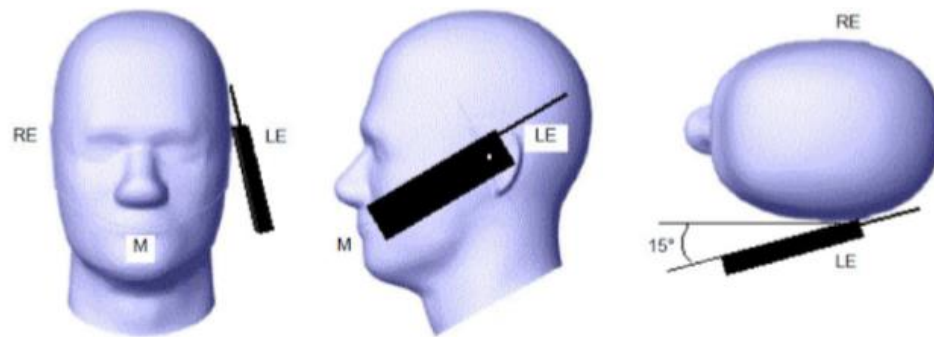


Figura 3.5 Posición tilt del terminal móvil en uno de los lados del fantoma (inclinado)

Fuente: (FCC, 2001)

Tomando en cuenta estas consideraciones se puede establecer las siguientes características básicas que debe tener el dispositivo de sujeción:

- Diseño totalmente libre de metal
- Cumplimiento de dimensiones para distintos teléfonos móviles

3.4.7. Analizador de redes vectoriales

Este equipo nos permitirá realizar las mediciones de las propiedades dieléctricas del líquido simulador de tejido lo que permite realizar la medición del mismo. El analizador de redes tiene que estar conectado al software OpenSAR mediante una interfaz GPIB.

Tomando en cuenta estas consideraciones se puede establecer las siguientes características básicas que debe tener el analizador de redes:

- Rango de frecuencias de trabajo 300 kHz a 14 GHz.
- Bajo ruido de traza: 0.004 dB rms a 70 kHz.
- Amplio rango dinámico >123 dB
- Velocidad de medición 8 ms
- Estabilidad de temperatura 0.005 dB/°C

3.4.8. Generador de señales vectoriales

Para producir ondas continuas CW necesarias en el procedimiento de la validación de dipolos del sistema a una frecuencia establecida utilizaremos el generador de señales, este mismo también nos determinara las pérdidas de la señal las cuales se configuran en el software OpenSAR.

Tomando en cuenta estas consideraciones se puede establecer las siguientes características básicas que debe tener el generador de señales vectoriales:

- Rango de frecuencias de 100 kHz a 6 Ghz
- +23 dBm hasta 3 GHz utilizando una conmutación rápida altamente confiable.
- Creación de señales de referencia: LTE, HSPA+, WIMAX, WLAN, DVB-H, DAB, MATLAB; entre otras.
- Modulación AM, FM, OM, Pulso, ASK, FSK, MSK, PSK y QAM.
- Control a distancia a través de la interfaz GPIB.

3.4.9. Medidor de potencia

Se necesita un equipo que nos ayudara a determinar medidas de potencia de manera precisas y rápida de la señal y validar los dipolos. Este equipo debe estar conectado al software OpenSAR a través de una interfaz GIB.

Tomando en cuenta estas consideraciones se puede establecer las siguientes características básicas que debe tener el medidor de potencia:

- Rango de frecuencias de 9 kHz a 110 GHz (dependiendo del sensor)
- Amplio rango dinámico de -70 dBm a +44 dBm.
- Velocidad hasta 400 lecturas/segundo
- Tres canales de medición.
- Interfaz para el usuario con display y un teclado numérico
- Interfaz GPIB

3.4.10. Hardware y software para la medición del SAR

El software más conocido y utilizado es el OPENSAR desarrollado con el propósito de realizar las mediciones de SAR, este controla la instrumentación así también se le puede integrar fácilmente controladores adicionales.

Este software cumple los estándares de la IEEE 1528, FCC OET Boletín 65 (Ed. 97-01) suplemento C IEC 62209-1, IEC 62209-2, EN 50361: 2001, EN 50383 (EverythingRF, 2017).

Consideraciones de Hardware para la instalación del OPENSAR:

- La PC tenga una pantalla de 17"
- Una PC de Pentium 2.4 GHz
- Sistema operativo Windows 98/2000/XP
- RAM 512 MB recomendado 1 GB
- Puertos LAN + PCI de 3 ranuras

3.5. Esquema de conexión para mediciones de la Tasa de Absorción Específica

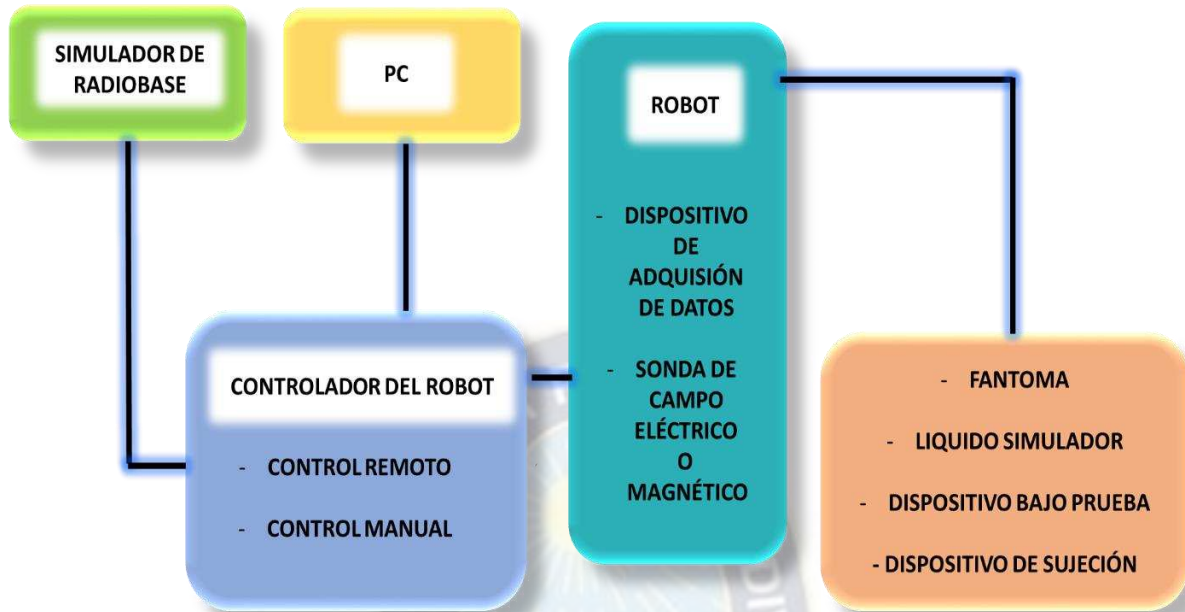


Figura 3.6 Diagrama de conexión para mediciones para la Tasa de Absorción Específica

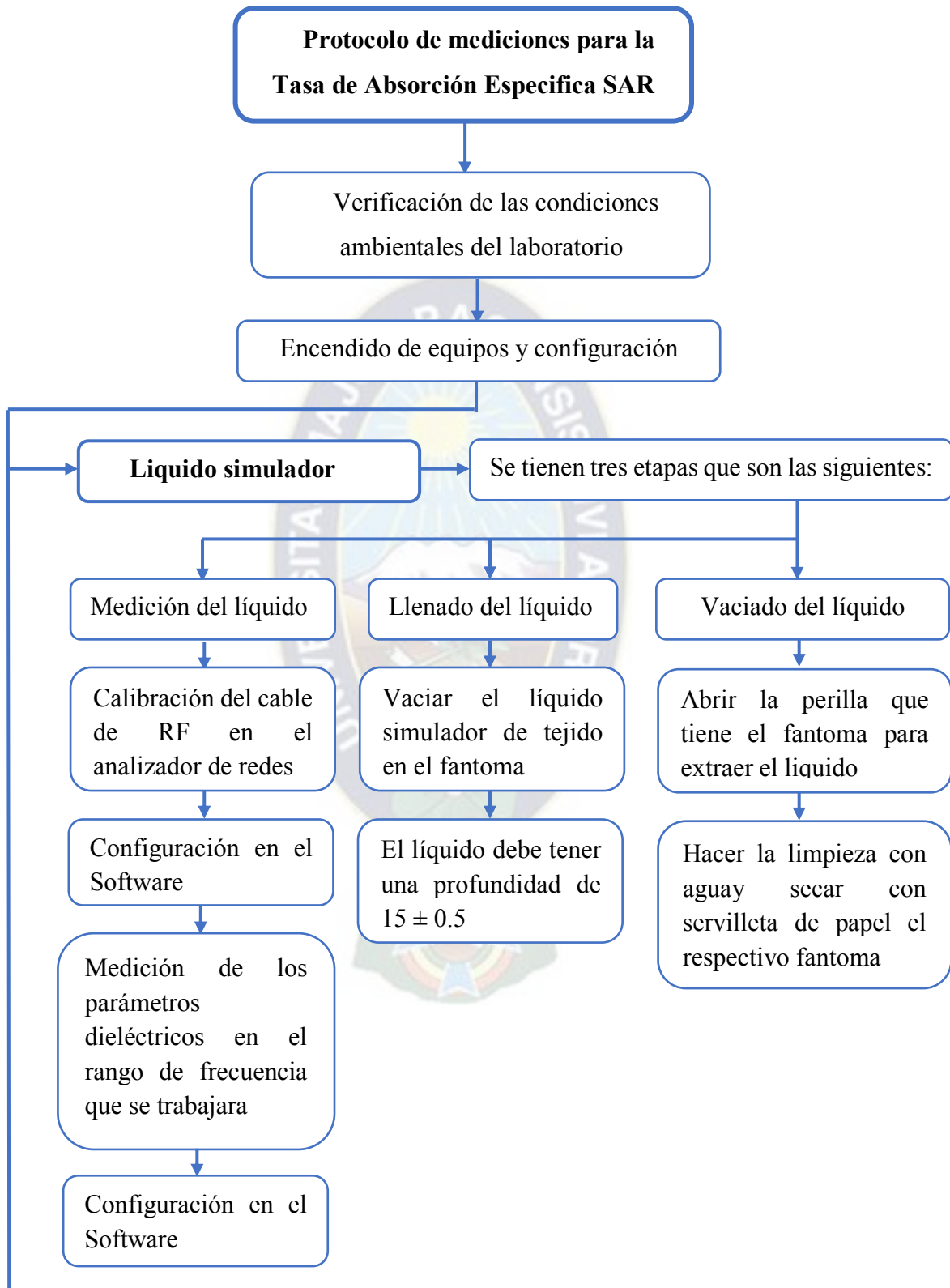
Fuente:(Elaboración propia)

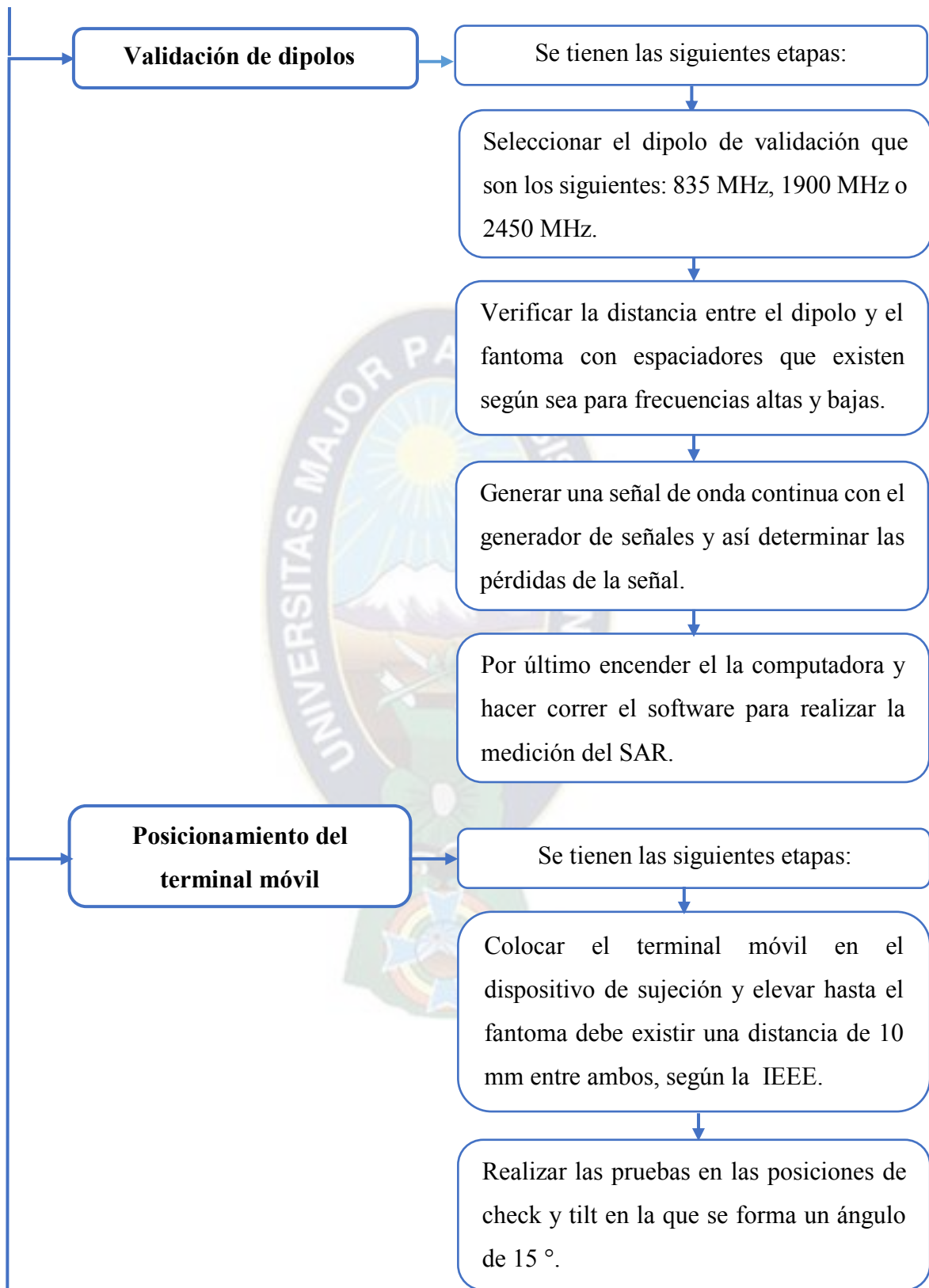


Figura 3.7 Diagrama de conexión para medición del líquido simulador de tejido humano

Fuente:(Elaboración propia)

3.6. Protocolo de mediciones para la Tasa de Absorción Especifica SAR





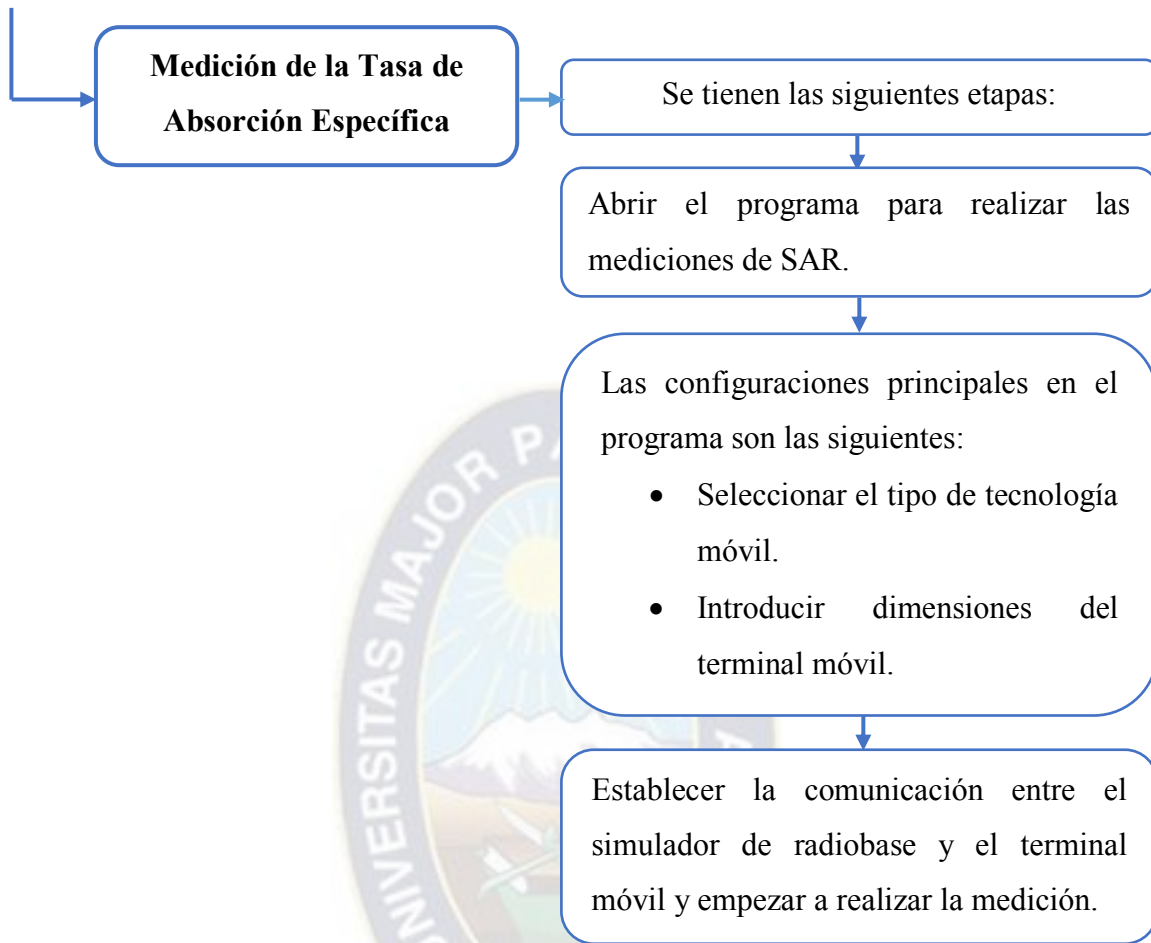


Figura 3.8 Procedimiento para mediciones de la Tasa de Absorción Específica SAR

Fuente: (Elaboración propia)

3.6.1. Condiciones ambientales del laboratorio

La medición de la Tasa de Absorción Específica se la realiza en condiciones ambientales según dicta la norma de la IEEE, la temperatura debe estar dentro el rango de 18°C a 25°C manteniendo esa variación, durante la realización de la prueba se controlara dentro de la cámara anecoica esta temperatura manteniéndola con aire caliente o frio según se necesite.

La temperatura en el líquido simulador de tejido no deberá ser mayor a los 2°C durante todo el proceso de medición.

3.6.2. Encendido y configuración de la instrumentación

Dentro este proceso se realiza la medición del líquido simulador para esto se hace uso del analizador de redes vectoriales y un kit de calibración, se hace el llenado del líquido en el fantoma para luego realizar la validación de dipolos usando el simulador de radio base y generador de señales vectoriales con lo en el software del SAR se realiza una configuración de parámetros, una vez hecho todo esto se sitúa el teléfono móvil en el dispositivo de sujeción y se lo mueve a a una distancia de 10 mm con respecto al fantoma, finalmente se simula la comunicación entre el terminal móvil y el simulador de radio base para empezar a medir la tasa de absorción específica en el software.

3.6.2.1. *Líquido simulador*

3.6.2.1.1. *Medición del líquido simulador*

- a. Encender el analizador de redes vectoriales
- b. Conectar el cable de RF en uno de los conectores de analizador de redes vectoriales el otro extremo del cable de RF colocarlo en el soporte del mismo de manera que no exista movimiento durante la calibración.
- c. Configurar en el analizador de redes vectoriales el rango de frecuencia en el que se trabajara tanto frecuencia inicial como final.
- d. En el analizador de redes vectoriales seleccionar el modelo del kit de calibración que se utilizara.
- e. En el kit de calibración se encuentran tres tipos de terminaciones que se conectara en el cable de RF que son los siguientes: circuito abierto (open), cortocircuito (short) y carga (load), al conectar cada uno de ellos el cable de RF se compensa las perdidas y de esta manera el analizador de redes vectoriales estará calibrado.
- f. Colocar la sonda de medición en el terminal de cable de RF que se encuentra en el kit de calibración y se procede a la medición de los parámetros del líquido.

- g. La primera medición se realiza con la sonda expuesta al aire.
- h. La segunda medición se realiza con agua des-ionizada, vaciar este líquido en un vaso precipitado por lo menos hasta la mitad y luego introducir la sonda en el agua solo la parte inferior con este procedimiento se calibra la sonda, realizado esto se procede a limpiar la sonda.
- i. La tercera medición se realiza con el líquido simulador de tejido, vaciar este líquido en un vaso precipitado por lo menos hasta la mitad y luego introducir la sonda en el líquido de manera q cubra la parte inferior de la sonda así también evitar que se produzcan burbujas porque podrían afectar en la medida. En este paso nos mostrara los resultados de permitividad relativa y conductividad.
- j. Importar las medidas obtenidas del líquido simulador de tejido.



Figura 3.9 Medición de la sonda con agua desionizada y kit de calibración

Fuente: (Elaboración propia)



Figura 3.10 Medición de la sonda en el líquido simulador

Fuente: (Elaboración propia)

3.6.2.1.2. *Llenado del líquido simulador en el fantoma*

Una vez realizada la medición del líquido simulador de tejido llevar el recipiente de donde se extrajo la muestra a la cámara anecoica donde se encuentra los fantomas, vaciar lentamente el líquido evitando que se produzcan burbujas de aire.

Vaciar el líquido hasta alcanzar un profundidad de 15 ± 0.5 cm medidos desde la parte plana del fantoma, para cumplir con el objetivo q la norma indica.

3.6.2.1.3. *Vaciado del líquido simulador*

Realizada la prueba para vaciar el líquido se debe conectar una manguera en el orificio del fantoma de esta manera abrir la perrilla para evacuarlo en un recipiente que tengas las mismas especificaciones del líquido que se utilizó, se puede utilizar también una espátula de plástico para remover el líquido del fantoma.

Para eliminar los residuos se utiliza agua utilizar una manguera y otro recipiente para verterlo ahí, realizado esto se hace un secado del fantoma con servilletas de papel.

3.6.2.2. *Validación de dipolos*

- a. Seleccionar el dipolo de validación de acuerdo a la frecuencia de trabajo ya sea de 835 MHz, 1900 MHz o 2450 MHz.
- b. Colocar el dipolo en el dispositivo de sujeción del terminal, asegurarlo con los tornillos que son propios del dipolo.
- c. Mover el dipolo cerca de una marca que generalmente es una “X” y se encuentra en la parte inferior del fantoma.
- d. Entre el dipolo y el fantoma existe una distancia la cual esta normada, para poder cumplir con esta distancia se utilizan espaciadores de acuerdo a la frecuencia de medición:
 - Frecuencias Altas $f > 1.0$ GHz se utiliza un espaciador de 10 mm
 - Frecuencias Bajas $0.8 \text{ GHz} < f < 1.0$ GHz se utiliza un espaciador de 15 mm
- e. Conectar un cable de RF en la parte inferior del dipolo con el generador de señales vectoriales con esta generar señales CW (onda continua) esto para determinar las pérdidas de la señal.
- f. Para realizar la validación del sistema en Software escoger la opción validación dentro de esto hacer las siguientes configuraciones principales:
 - Escoger en qué clase de fantoma se realizara la validación
 - Escoger la opción dipolo.
 - Escoger el tipo onda que se utilizara en nuestro caso CW.
 - Escoger la frecuencia en la que se realiza la medición.
- g. Una vez configurados los parámetros se realiza las mediciones de SAR.



Figura 3.13 Dipolos de Validación

Figura 3.12 Dipolo y espaciador de frecuencia

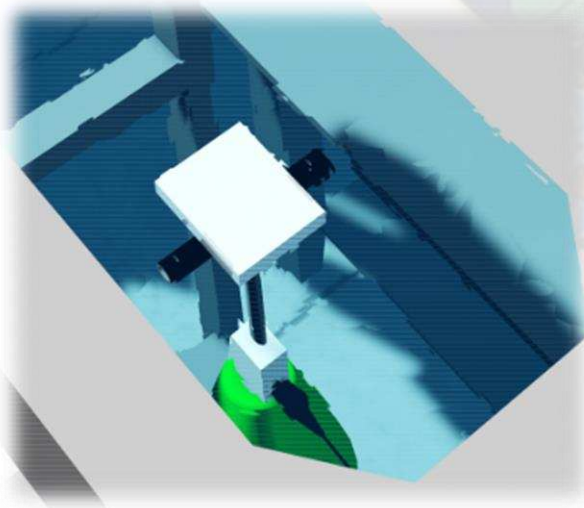
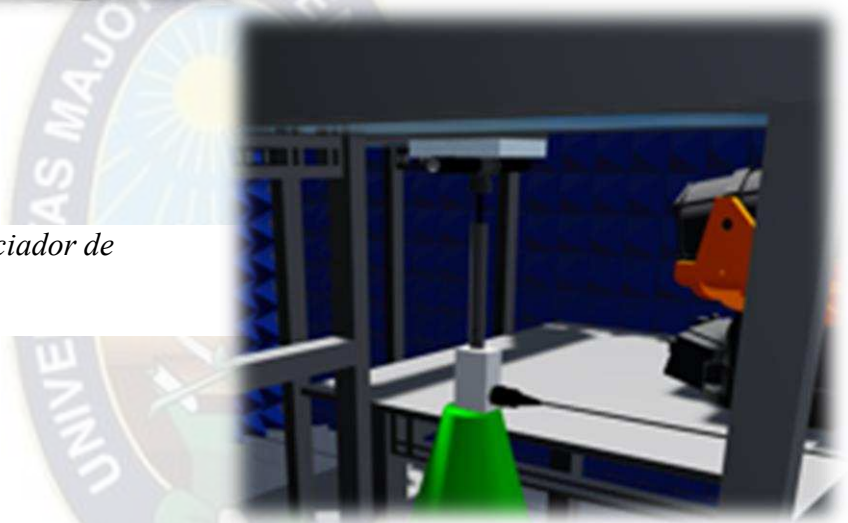


Figura 3.11 Dipolo visto de la parte superior

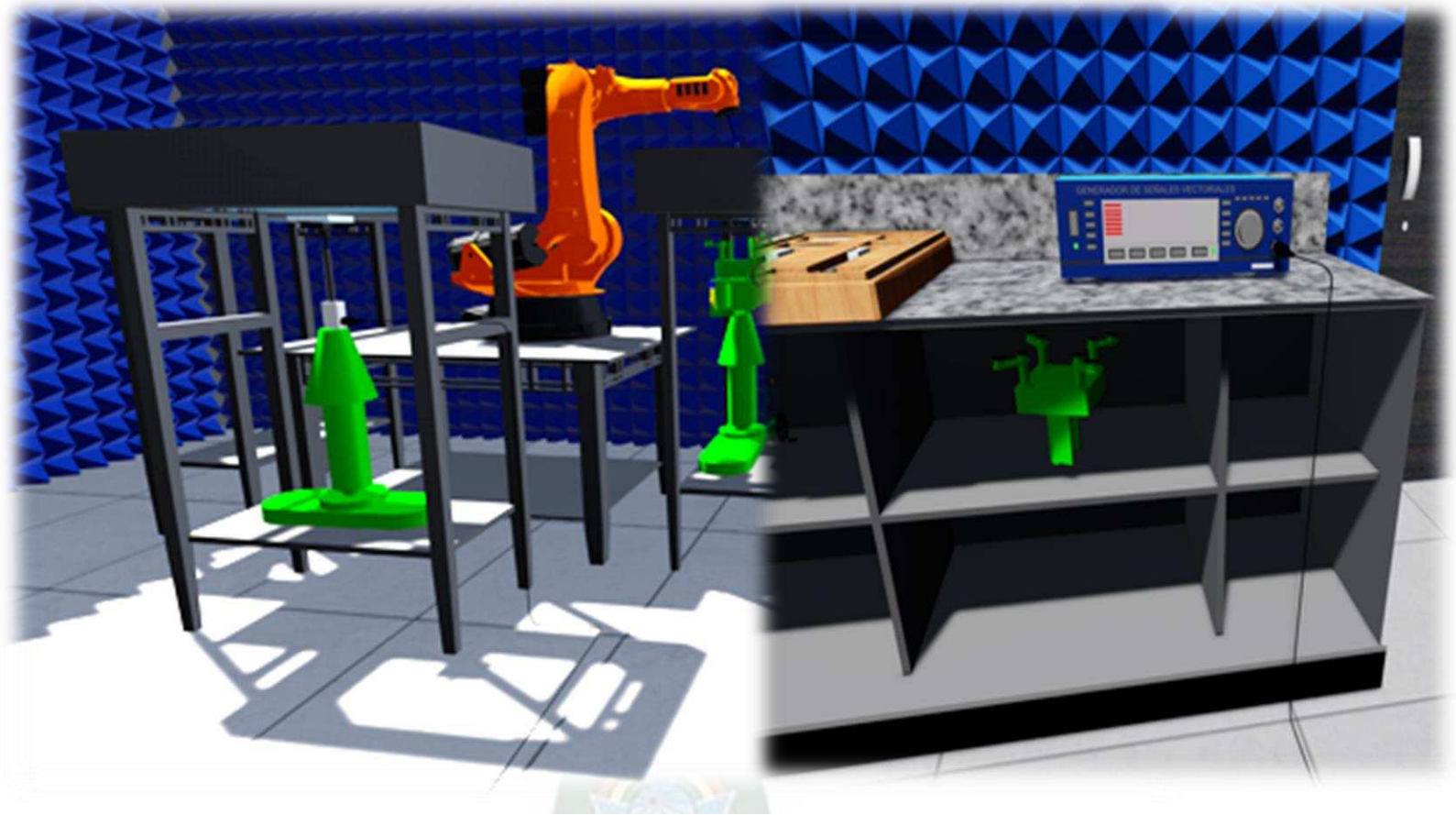


Figura 3.14 Dipolo y generador de señales

Fuente: (Elaboración propia)

3.6.2.3. *Posicionamiento del terminal móvil*

- a. Elevar verticalmente el dispositivo de sujeción del terminal hasta tenga contacto con el oído del fantoma.
- b. Colocar el terminal móvil en el soporte de sujeción, tiene que existir una distancia de 10 mm según la norma IEEE SCC-34/SC-2 entre el terminal móvil y el oído del fantoma. Existen casos en el que fabricante del dispositivo indica la distancia de separación la cual debe tomarse en cuenta.
- c. Se debe realizar las pruebas en la posición check y la posición tilt en esta debe formarse un Angulo de 15°.

3.6.2.4. *Medición de la Tasa de Absorción Específica*

- a. Abrir el programa para realizar las medidas de SAR.
- b. Crear un nuevo proyecto en el programa.
- c. Seleccionar el tipo de fantoma es decir si se realizara en la cabeza o en la parte del cuerpo.
- d. Se debe escoger en qué tipo de tecnología y canal que se utilizara en la medición.
- e. Introducir las dimensiones del terminal móvil.
- f. Establecer la comunicación entre el simulador de radio base y el terminal móvil. Simular una llamada de voz y empezar a medir la tasa de absorción específica.
- g. En la pantalla nos mostrara los resultados obtenidos, esos se pueden guardar para luego generar un informe de la medición.

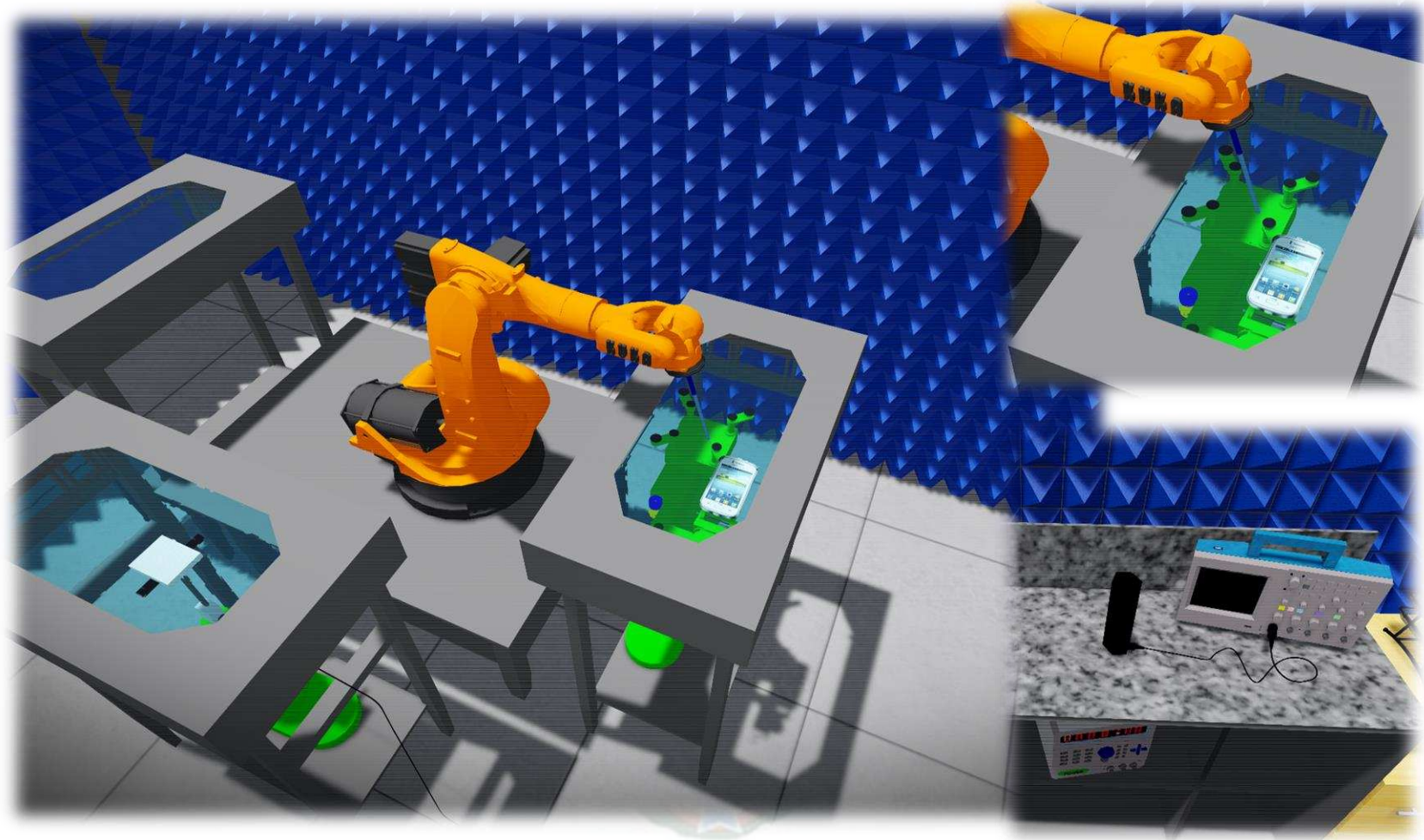


Figura 3.15 Robot, sujetador de terminal móvil y simulador de radiobase

Fuente: (Elaboración propia)

3.7. Requerimientos mínimos para el sistema eléctrico

El sistema eléctrico tiene el propósito de proporcionar energía eléctrica al equipo de medición, de forma segura y confiable. El sistema se debe adecuar para entregar en el punto de localización de cada equipo, la energía necesaria sin causar sobrecalentamiento o produciendo caídas de voltaje inaceptables.

Dentro el ambiente eléctrico del laboratorio de homologación incluye tomas de energía eléctrica y sistema de iluminación. En la siguiente tabla se observa el consumo en [W] o potencia que cada equipo tiene, este dato fue sacado de las hojas técnicas de los equipos investigados, con este dato se podrá diseñar la red eléctrica.

Tabla 3.15

Consumo de energía eléctrica de cada equipo

| N | Descripción | Cantidad | Consumo [W] |
|---|----------------------------------|----------|-------------|
| 1 | Analizador de Espectro | 2 | 350 |
| 2 | Simulador de Radiobase | 2 | 350 |
| 3 | Shield Box | 1 | 15 |
| 4 | Analizador Vectorial de Redes | 1 | 350 |
| 5 | Generador de Señales Vectoriales | 1 | 250 |
| 6 | Medidor de Potencia | 1 | 250 |
| 7 | Robot | 1 | 450 |
| 8 | C.P.U. | 2 | 300 |
| 9 | Monitor | 2 | 50 |

Fuente: (Elaboración propia)

3.7.1. Asignación en el tablero de distribución general

La Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transportes cuenta con el suministro público de energía, un generador eléctrico (Grupo electrógenos), un

conmutador de transferencia y un tablero de distribución general, por lo tanto para la distribución eléctrica se realizó de la siguiente manera, del tablero de distribución general de la ATT puede hacer dos distribuciones que son las siguientes:

- **Tablero de distribución secundario 1**, antes de la distribución se debería instalar un UPS en caso de que se dé un corte de energía en el suministro de la red eléctrica este equipo también ayuda a detectar un sobrevoltaje, lo canaliza a tierra para que no afecte los circuitos de los equipos conectados.
 - C1: este circuito abarca tomacorrientes que se utilizaran para computadoras, cpu e impresoras en la Sala 1.
 - C2: este circuito abarca tomacorrientes que se utilizaran para computadora, cpu en la Sala 2.
 - C3: este circuito abarca tomacorrientes que se utilizaran para computadoras, cpu en la Sala de Recepción.
 - C4: este circuito abarca tomacorrientes para los equipos de medición de la sala 1 (analizador de espectros, simulador de radiobase, sheild box y analizador de redes vectoriales).
 - C5: este circuito abarca tomacorrientes para los equipos de medición de la sala 2 (analizador de espectros, simulador de radiobase, generador de señales vectoriales, robot, etc).
 - C6: este circuito es de iluminación de emergencia.
- **Tablero de distribución secundario 2**
 - C7: este circuito abarca tomas en general 1.
 - C8: este circuito abarca tomas en general 2.
 - C9: este circuito abarca la iluminación de las salas del laboratorio 1 y 2.
 - C10: este circuito abarca la iluminación del almacén, sala de recepción y sala de reuniones.
 - C11: este circuito abarca la iluminación del restante es decir iluminación de los baños y cuarto en que se encuentran los tableros de distribución.

Tabla 3.16*Tablero de distribución*

| Circuito | Artefacto | Potencia [W] | Corriente [A] | N° de Cable | Ducto | Disyuntor | Potencia Total |
|---|------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|--------------|------------------|---------------------------|
| C1 – Computadoras sala 1 | 4x900 | 3600 | 16,36 | N° 12 | 1/2" | 2x30 AMP | |
| C2 - Computadoras sala 2 | 2x900 | 1800 | 8,18 | N° 14 | 1/2" | 2x20 AMP | |
| C3 - Computadoras sala recepción | 4x900 | 3600 | 16,36 | N° 12 | 1/2" | 2x30 AMP | 13700 |
| C4 - Equipos sala 1 | 5x350 | 1750 | 7,95 | N° 14 | 1/2" | 2x20 AMP | |
| C5 - Equipos sala 2 | 5x350 | 1750 | 7,95 | N° 14 | 1/2" | 2x20 AMP | |
| C6 - Iluminación emergencia | 15x80 | 1200 | 5,45 | N° 14 | 1/2" | 2x20 AMP | |
| C7 - Tomas en general 1 | 4x300 | 1200 | 5,45 | N° 14 | 1/2" | 2x20 AMP | |
| C8 - Tomas en general 2 | 4x300 | 1200 | 5,45 | N° 14 | 1/2" | 2x20 AMP | |
| C9 - Iluminación sala 1 y 2 | 20x80 | 1600 | 7,27 | N° 14 | 1/2" | 2x15 AMP | |
| C10 - Iluminación almacén, sala de recepción y reuniones | 22x80 | 1760 | 7.73 | N° 14 | 1/2" | 2x15 AMP | 8110 |
| C11 – Iluminación restante | 6x100 | 600 | 2.72 | N° 14 | 1/2" | 2x15 AMP | |
| C10 - Reserva | 5x350 | 1750 | 7,95 | N° 14 | 1/2" | 2x20 AMP | |

Fuente: *(Elaboración propia)*

3.7.2. Diagrama unifilar

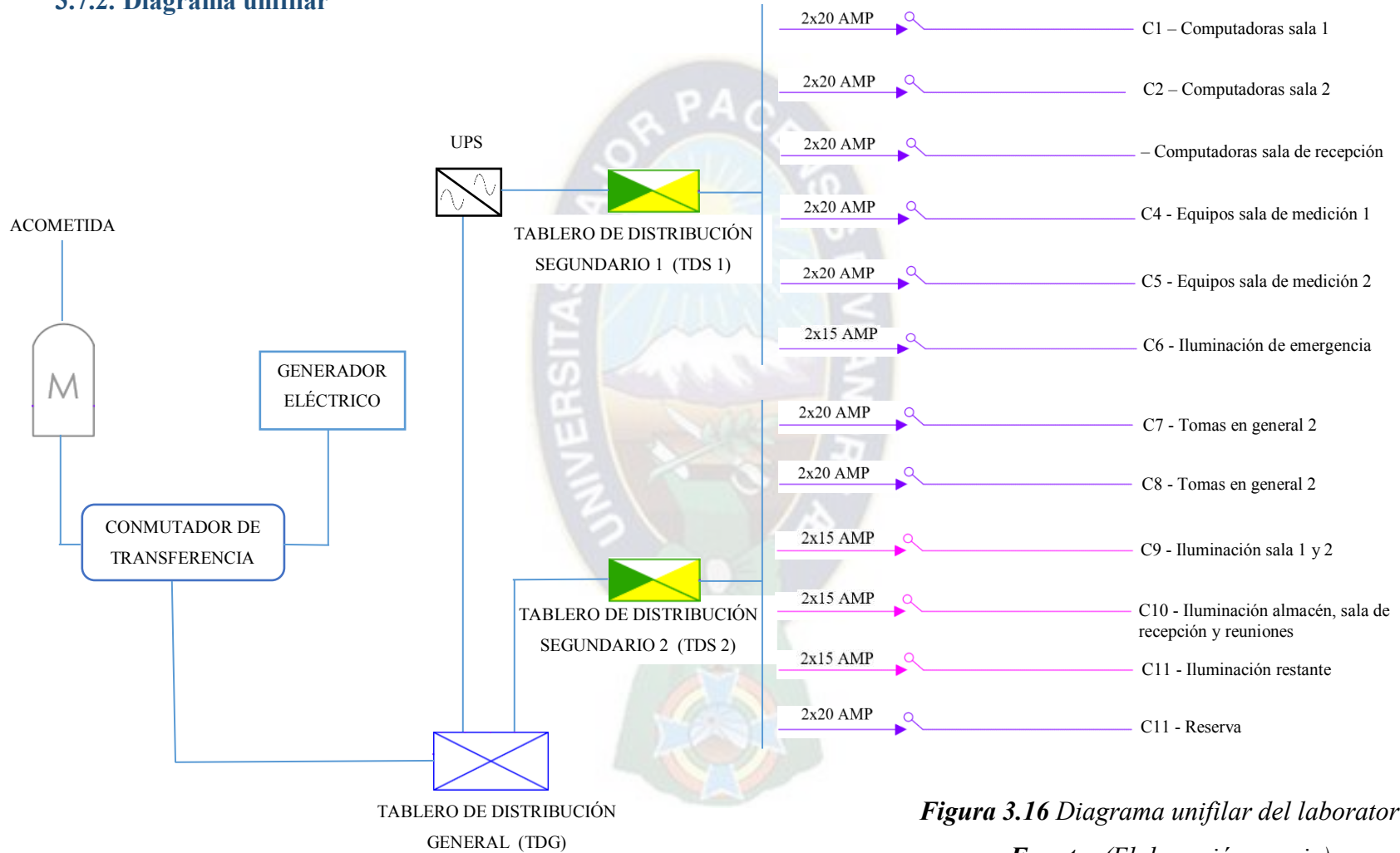


Figura 3.16 Diagrama unifilar del laboratorio

Fuente: (Elaboración propia)

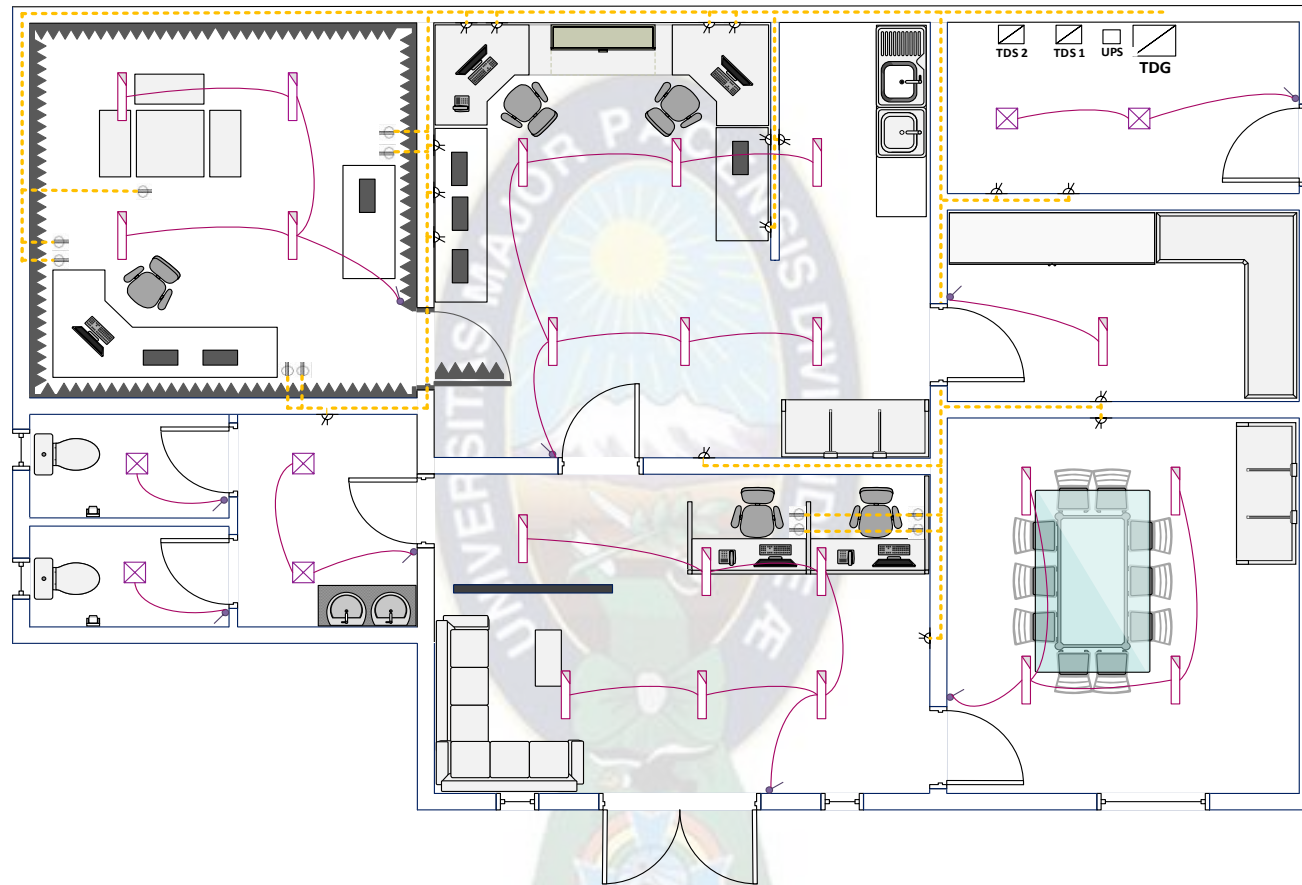


Figura 3.17 Instalación eléctrica del laboratorio de homologación

Fuente: (Elaboración propia)



Figura 3.18 Imágenes de los ambientes del laboratorio de homologación

Fuente: (Elaboración propia)

3.8. Diagrama del proceso de homologación

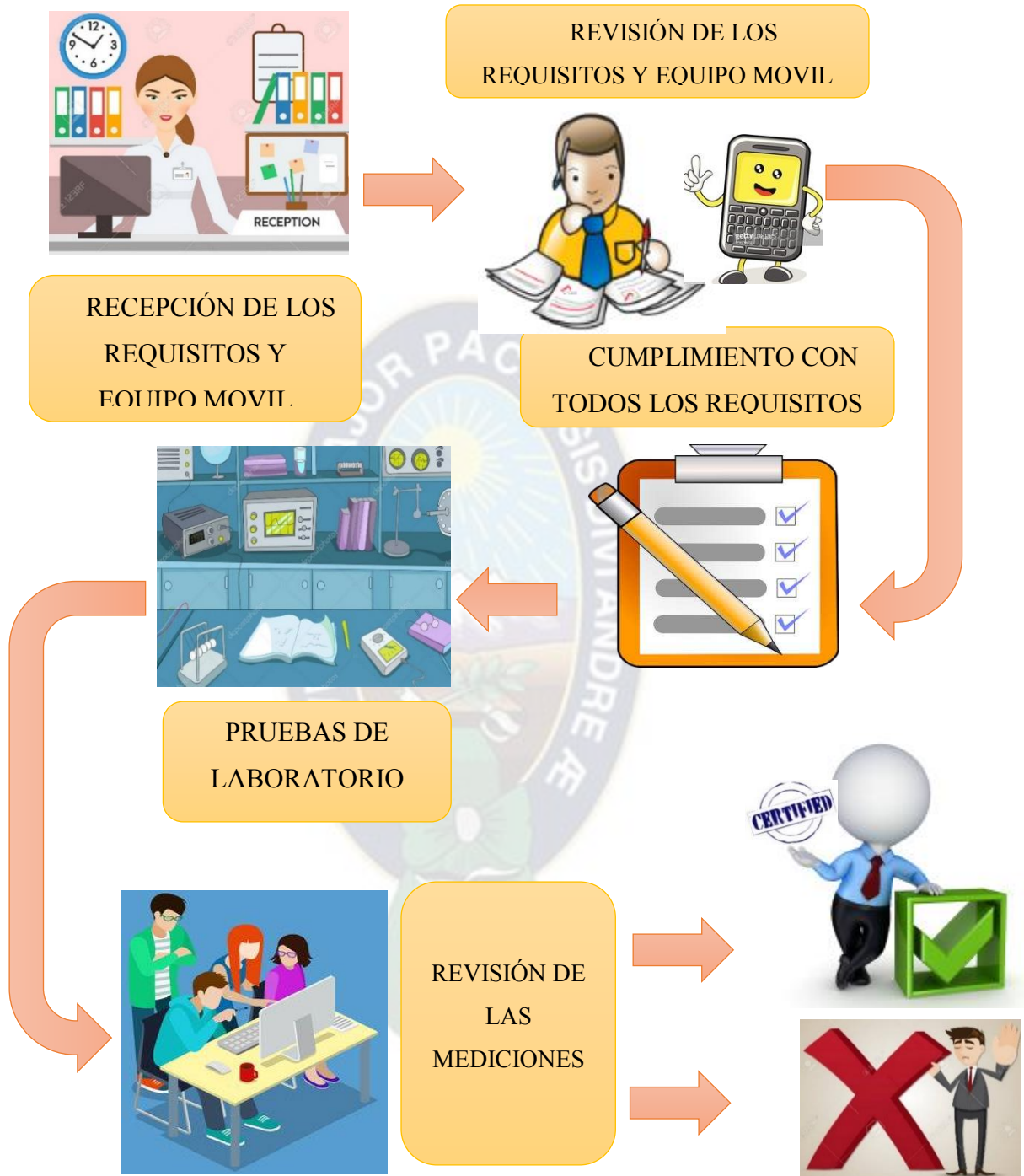


Figura 3.19 Diagrama para el proceso de Homologación

Fuente: (Elaboración propia)

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE COSTOS




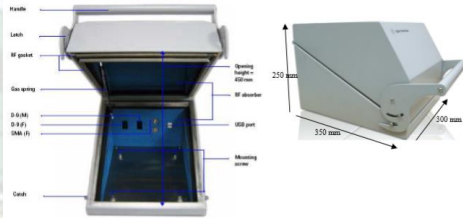
Los equipos que se usaran en el laboratorio tanto para las pruebas de radiofrecuencia como para las medidas de Tasa de Absorción Especifica SAR cada uno de ellos se especificaron en el capítulo 3, en esta sección del proyecto se realiza un cálculo aproximado del costo teniendo en cuenta para poder realizar las medidas de radiofrecuencia así también las medidas de Tasa de Absorción Especifica conforme a la norma del 3GPP y IEEE.

El laboratorio de Homologación estará compuesto por los siguientes equipos:

- Cámara semianecóica, dentro de esta se encuentran
 - Robot
 - Sonda de campo eléctrico o magnético
 - Dipolos de validación
 - Software
 - Fantomas
 - Líquidos equivalentes al tejido simulador
 - Simulador de estación base, se necesita dos equipos uno para pruebas de SAR y otro para las pruebas de radiofrecuencia.
 - Analizador de espectros, se necesita dos equipos uno para pruebas de SAR y otro para las pruebas de radiofrecuencia.
- Analizador de redes vectoriales
- Generador de señales vectoriales
- Medidor de potencia
- Multímetro digital




Se presenta precios aproximados de los equipos de medida para la parte de radiofrecuencia, haremos referencia a las siguientes marcas Keysight Technologies, Anritsu y Rohde & Schwarz

• **KEYSIGHT TECHNOLOGIES**

| Equipo | Modelo | Fotografía | Precio [\$] |
|------------------------|----------|--|------------------|
| Analizador de Espectro | N9010A |  | 30 950.00 |
| | E5515C |  | 4 500.00 |
| Simulador de Radiobase | E6621A |  | 4 950.00 |
| | EC5010CE |  | 1 499.00 |
| Total | | | 41 899.00 |

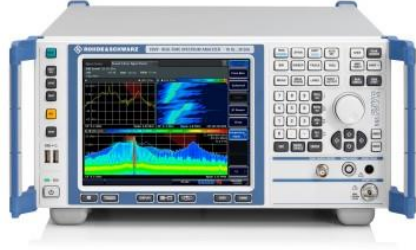


Fuente: *(Elaboración propia)*

- ANRITSU:

| Equipo | Modelo | Fotografía | Precio [\$] |
|------------------------|---------|---|------------------|
| Analizador de Espectro | MS2723C |  | 6 175.00 |
| Simulador de Radiobase | MD8475B |  | 45 125.00 |
| Shielded Box | MA8120E |  | 995.00 |
| Total | | | 52 295.00 |

Fuente: (Elaboración propia)

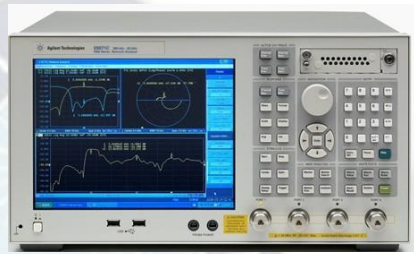


- **ROHDE & SCHWARZ**

| Equipo | Modelo | Fotografía | Precio [\$] |
|------------------------|---------|---|------------------|
| Analizador de Espectro | FSVR |  | 19 742.83 |
| Simulador de Radiobase | CMW500 |  | 69 001.19 |
| Shielded Box | CMW-Z11 |  | 987.15 |
| Total | | | 89 731.17 |

Fuente: (Elaboración propia)



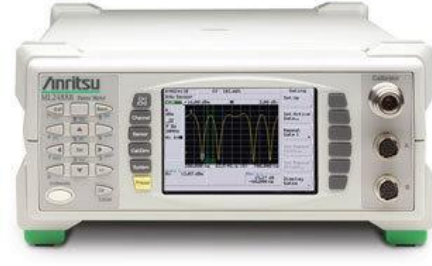
En esta segunda parte se presenta precios aproximados de los equipos de medida para la parte de Tasa de Absorción Específica SAR, haremos referencia a las siguientes marcas Keysight Technologies, Anritsu, Rohde & Schwarz y otros.

- **KEYSIGHT TECHNOLOGIES**

| Equipo | Modelo | Fotografía | Precio |
|---|--------|--|------------------|
| Analizador Vectorial de Redes | E5071C |  | 21 618.39 |
| Generador de Señales vectoriales | N5182A |  | 12 339.26 |
| Medidor de Potencia | N1913A |  | 2 862.71 |
| Total | | | 36 820.36 |

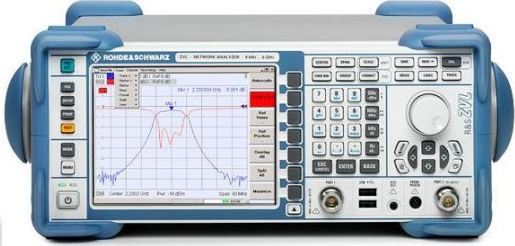
Fuente: *(Elaboración propia)*

- ANRITSU

| Equipo | Modelo | Fotografía | Precio |
|----------------------------------|---------|---|------------------|
| Analizador Vectorial de Redes | MS4640B |  | 20 553.67 |
| Generador de Señales vectoriales | MG3710A |  | 11 389.34 |
| Medidor de Potencia | ML2487A |  | 1 766.42 |
| Total | | | 33 709.43 |

Fuente: (Elaboración propia)

- **ROHDE & SCHWARZ**

| Equipo | Modelo | Fotografía | Precio |
|----------------------------------|--------------|--|------------------|
| Analizador Vectorial de Redes | R&S ZVL |  | 19 742.83 |
| Generador de Señales vectoriales | R&S SMBV100A |  | 28 627.10 |
| Medidor de Potencia | R&S NRP2 |  | 2 366.56 |
| Total | | | 50 736.49 |


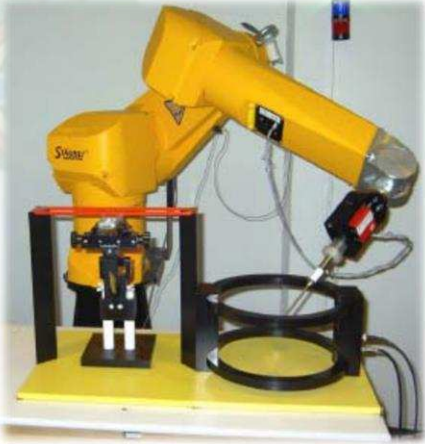
Fuente: (Elaboración propia)



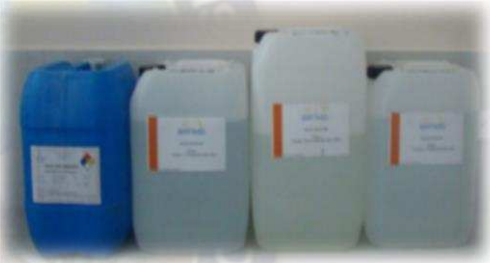

En este apartado nos basaremos en diferentes marcas para cada componente que se usara esto debido a que los anteriores proveedores no cuentan con esta instrumentación solo se mostrara una cotización, en la que se incluye los siguiente:

- Cámara semianecocica
- Sistema de adquisición de datos esto incluye:

- Robot DASY
- Sonda dosimétrica
- Dipolos de validación
- Dispositivo de sujeción
- Software de medición
- Fantoma de cabeza o plano.
- Liquido simulador
- Kit de calibración

Tabla de la instrumentación fuera de las otras marcas de ya mencionadas anteriormente.

| Equipo | Marca | Fotografía | Precio |
|--|------------------|--|------------|
| Cámara Semianecoica | ALAVA INGENIEROS |  | 125 000.00 |
| Robot, sondas, dipolos, dispositivos de sujeción y software | DASY |  | 340 000.00 |

| | | | |
|--|---------|--|-------------------|
| Fantoma de Cabeza | SPEAG |  | 8 000.00 |
| Fantoma Plano | SPEAG |  | 7 000.00 |
| Líquidos Equivalentes al Tejido Humano | SATIMO |  | 6 000.00 |
| Kit de Análisis de Propiedades Dieléctricas de Líquidos | AGILENT |  | 17 500.00 |
| Total | | | 197 500.00 |

Fuente: *(Elaboración propia)*

Una vez analizado de manera individual el costo de cada equipo, ahora es necesario analizar un costo en general de todos los equipos que involucran el laboratorio de tal manera que este pueda llevarse a cabo en un futuro.

Analizando el costo del equipamiento del laboratorio de Homologación en las tres marcas mencionadas anteriormente se tiene lo siguiente:

- Equipos en la marca **KEYSIGHT TECHNOLOGIES**, para una parte de los equipos que se usan en la tasa de absorción específica implican distintas marcas.

Tabla 4.1*Costo del laboratorio con equipos de la marca Keysight Technologies*

| | COSTO |
|--|-------------------|
| Equipos para pruebas de radiofrecuencia | 41 899.00 |
| Equipos para tasa de absorción específica | 36 820.36 |
| Equipos para tasa de absorción específica (diferentes marcas) | 197 500.00 |
| TOTAL | 276 219.36 |

Fuente: (Elaboración propia)

- Equipos en la marca **ANRITSU**, para una parte de los equipos que se usan en la tasa de absorción específica implican distintas marcas.

Tabla 4.2*Costo del laboratorio con equipos de la marca Anritsu*

| | COSTO |
|--|-------------------|
| Equipos para pruebas de radiofrecuencia | 52 295.00 |
| Equipos para tasa de absorción específica | 33 709.43 |
| Equipos para tasa de absorción específica (diferentes marcas) | 197 500.00 |
| TOTAL | 283 504.43 |

Fuente: (Elaboración propia)

- Equipos en la marca **ROHDE & SCHWARZ**, para una parte de los equipos que se usan en la tasa de absorción específica implican distintas marcas.

Tabla 4.3*Costo del laboratorio con equipos de la marca*

| | COSTO |
|--|-------------------|
| Equipos para pruebas de radiofrecuencia | 89 731.00 |
| Equipos para tasa de absorción específica | 50 736.49 |
| Equipos para tasa de absorción específica (diferentes marcas) | 197 500.00 |
| TOTAL | 337 967.49 |

Fuente: *(Elaboración propia)*

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Como el objetivo es diseñar un laboratorio para la homologación en dicho proyecto se menciona los equipos con cada característica que debería cumplir cada uno ellos, así también se hace una proyección de cada uno de los ambientes los cuales son laboratorio de radiofrecuencia, laboratorio de Tasa de Absorción Especifica, almacén, sala de reuniones y baños.
- El elaborar este proyecto se logrado resaltar la importancia de un proceso de homologación técnica para los equipos terminales móviles, para que estos sean sometidos a pruebas y se realice la verificación de cada uno de los parámetros.
- Se estudió cada una de las tecnologías móviles celulares 2G, 3G y 4G con lo que se pudo conocer las características de cada uno de ellos para así poder averiguar sobre los equipos que nos serán de ayuda en el laboratorio de Homologación.
- Al estudiar los requerimientos de parámetros técnicos que deben cumplir el proceso de homologación se encontró lo siguiente, que para la parte de radiofrecuencia se cuenta con una norma que es el 3GPP el cual nos informa sobre el valores que deben cumplirse en cada una de las mediciones, así también para la parte de la Tasa de Absorción Especifica se cumplen valores que especifica la FCC.
- Se determinaron las características que cada equipo debe cumplir para poder ser utilizado en el laboratorio, también se analizó el costo en tres diferentes marcas para

así tener en cuenta varios presupuestos y de tal manera elegir cual se adecue al presupuesto por la Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transportes.

- El protocolo de mediciones propuesto tanto para radiofrecuencia como para la tasa de absorción específica está fijado bajo la norma de 3GPP, en lo que indica que cada uno de los dispositivos que sean medidos en el laboratorio se ajustan a límites establecidos por las organizaciones reguladoras. En los teléfonos móviles se puede apreciar hoy en día que los fabricantes cada vez tienen más en cuenta las medidas del SAR a la hora de diseñarlos ya que cada vez tienden a poner la parte de la antena más alejada del altavoz.
- Se puede establecer que este documento sea una guía de los parámetros a ser verificados tanto en las tecnologías 2G, 3G y 4G, cumpliendo los estándares de la norma 3GPP.
- Se elaboró un esquema eléctrico el cual ayudara en una futura implementación del laboratorio de Homologación, este nos ayuda a identificar el lugar de tomas de corriente donde cada equipo será puesto, iluminación e iluminación de emergencia. Así mismo se desarrolla un diagrama unifilar que ayudara a entender cómo se usara el tablero con el cual cuenta la ATT.

5.2. RECOMEDACIONES

- Se recomienda que la Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transportes – ATT que en realice la construcción de dicho laboratorio puesto que esto nos ayudara a mejorar y dar mayor seguridad al ciudadano del terminal móvil que el adquiera.
- Considero que si se llega a implementar el laboratorio se actualice y se complemente las normas técnicas a medida del crecimiento de la tecnología móvil es decir a un futuro la tecnología 5G.
- Antes de realizar la compra o selección de cualquier equipo para realizar el proceso de homologación, es recomendable realizar una investigación más profunda de los equipos existentes en el mercado, puesto que de esta forma se asegura que los quipos escogidos sean lo que mas convengan.

BIBLIOGRAFÍA

- ¿Cómo funciona un teléfono móvil? (13 de agosto de 2017). Obtenido de Las Ondas:
<http://www.ondes-radio.orange.com/es/su-movil/como-funciona-un-telefono-movil>
- ¿Que diferencias hay entre los campos electromagneticos no ionizantes y la radiación ionizante. (16 de junio de 2015).
- (2015). En P. Lopez Pavez, & C. Vásquez Droully, *Radiación electromagnética celular, regulaciones y fundamentos* (pág. 13). Chile. Obtenido de [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwjdh57UjKvVAhVBLyYKHWaeAVoQFgg1MAM&url=http%3A%2F%2Frepositorio.uchile.cl%2Fbitstream%2Fhandle%2F2250%2F137231%2FRadiacion-electromagnetica-celular-regulaciones-y-fundamentos.pdf%3F](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwjdh57UjKvVAhVBLyYKHWaeAVoQFgg1MAM&url=http%3A%2F%2Frepositorio.uchile.cl%2Fbitstream%2Fhandle%2F2250%2F137231%2FRadiacion-electromagnetica-celular-regulaciones-y-fundamentos.pdf%3F3GPP)
- 3GPP. (5 de diciembre de 2016). Obtenido de Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/3GPP>
- 4G - LTE/LTE-A. (3 de noviembre de 2014). Obtenido de https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2014_2/rafaelreis/ofdma_scdma.html
- Análisis de señales en el dominio de la frecuencia: Analizador de Espectros*. (12 de diciembre de 2014). Obtenido de http://www.gmr.ssr.upm.es/www2/ECOM/P1_12_13.pdf
- ATT. (2017). *Bandas móviles en Bolivia*. La Paz, Bolivia.
- Bluetooth clases y versiones desde v1.0 hasta v5.0*. (2 de febrero de 2017). Obtenido de <http://blog.330ohms.com/2017/02/02/bluetooth-clases-y-versiones-desde-v1-0-hasta-v5-0/>
- Caceres, I. (25 de noviembre de 2013). Obtenido de Estudio y diseño de redes inalámbricas de Banda Ancha: <https://es.slideshare.net/ivandarklife/estudio-y-diseno-de-redes-uatf>
- Capacidad en Conformidad y Ensayos de Interoperabilidad Procedimientos de Homologación y Pruebas de Terminales Móviles*. (29 de mayo de 2014). Obtenido de <https://www.itu.int/en/ITU->

- D/Technology/Documents/Events2014/CI_Training_AMS_Campinas_May14/CI_ProgrammeTrainingCourseTestingMobileTerminal_es.pdf
- CDMA Tutorial*. (4 de junio de 2006). Obtenido de <http://www.umtsworld.com/technology/cdmabasics.htm>
- Cruz Ornetta, V. (19 de diciembre de 2015). *La telefonía Móvil y su Salud*. Obtenido de http://www.who.int/peh-emf/publications/en/esp_mobphonehealthbk.pdf
- ETSI TS 134 121-1 V9.1.0 (2010-07) Technical Specification*. (Julio de 2010). Obtenido de http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/134100_134199/13412101/09.01.00_60/ts_13412101v090100p.pdf
- ETSI TS 136 521-1 V9.5.0(2011-09) Technical Specification*. (Noviembre de 2011). Obtenido de https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136500_136599/13652101/09.05.00_60/ts_13652101v090500p.pdf
- ETSI TS 151 010-1 V6.5.0 (2005-11) Technical Specification*. (4 de enero de 2006). Obtenido de http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/151000_151099/15101001/06.05.00_60/ts_15101001v060500p.pdf
- EverythingRF*. (23 de agosto de 2017). Obtenido de <https://www.everythingrf.com/products/sar-measurement-systems/microwave-vision-group/717-355-opensar-sw>
- FCC. (2001). *Información adicional para Evaluación de la Conformidad con las Directrices de FCC para la exposición humana a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia. OET Bulletin 65*.
- Fundamentos básicos de la Telefonía Móvil*. (14 de septiembre de 2015). Obtenido de <http://cursoreparacionmoviles.blogspot.com/2015/09/tema-1-fundamentos-basicos-de-la.html>
- Gordón Romero, A. F. (enero de 2015). *Desarrollo de un protocolo de pruebas para evaluar el SAR (Tasa de Absorción Específica) producido por terminales de tecnología 2G, en el*

- laboratorio de certificación.* Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/9860>
- La ATT homologa y certifica para Bolivia al Samsung Galaxy S4.* (14 de agosto de 2013). Obtenido de La Razón: http://www.la-razon.com/economia/ATT-Bolivia-Samsung-Galaxy-S4_0_1888011264.html
- López Narváez, S. M., & Molina Gavilanez, L. F. (octubre de 2013). *Propuesta de un protocolo de mediciones y pruebas técnicas a incluirse en el proceso de homologación de terminales HSPA+ empleando el equipamiento del laboratorio de la SUPERTEL.* Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6763/1/CD-5142.pdf>
- Martínez, E. (mayo de 2001). *La evolución de la telefonía móvil.* Obtenido de Eveliux: <http://www.eveliux.com/mx/La-evolucion-de-la-telefonía-móvil.html>
- Me preocupa la exposición, ¿ como puedo reducirla? (2014). En *Tecnología LTE y Salud* (pág. 6). Londres. Obtenido de LTE: Tecnología y Salud: <https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2014/06/GSMA-LTE-tecnología-salud.pdf>
- Molina, G. (14 de septiembre de 2015). *Fundamentos Basicos de la Telefonía Móvil.* Obtenido de Cursos Gratis Reparacion Smartphone: <http://cursoreparacionmoviles.blogspot.com/2015/09/tema-1-fundamentos-basicos-de-la.html>
- Plan Nacional de Frecuencias Estado Plurinacional de Bolivia.* (2012). Obtenido de https://www.oopp.gob.bo/vmtel/uploads/2012_RM294_-_Plan_Nacional_de_Frecuencias_-_Anexo.pdf
- Solano Eizaguirre, F. (julio de 2013). Ensayos de laboratorio para la medida de tasa de absorción específica (SAR) en dispositivos móviles. *Proyecto de Fin de Carrera.* Obtenido de http://oa.upm.es/21274/1/PFC_FRANCISCO_SOLANO_EIZAGUIRRE.pdf
- Specific Absorption Rate (SAR) for Cellular Telephones.* (14 de agosto de 2017). Obtenido de Federal Communications Commission: <https://www.fcc.gov/general/specific-absorption-rate-sar-cellular-telephones>

Tecnología 5G. Características del nuevo estándar para móvil. (27 de Febrero de 2018).

Obtenido de <https://www.tecnocosas.es/tecnologia-5g-caracteristicas-nuevo-estandar-movil/>

Telefonía móvil. (29 de julio de 2017). Obtenido de Tecnología:

<http://www.areatecnologia.com/telefonía-movil.htm>

Tipos de radiación. (2015). En A. J. Uriz, *Las radiaciones no ionizantes, el problema de los celulares en los jóvenes* (pág. 4). Argentina. Obtenido de

<http://www.guardianesambientales.com/pdfs/Radiaciones-no-ionizantes.pdf>

Unión Internacional de Telecomunicaciones. (17 de Junio de 2010). Obtenido de

<https://www.itu.int/net/ITU-R/index.asp?category=information&rlink=emergency-bands&lang=es>

ABREVIATURAS

3GPP

3rd Generation Partnership Project (Proyecto Asociación de Tercera Generación) es una colaboración de grupos de asociaciones de telecomunicaciones, conocidos como miembros organizativos.1, 21, 22, 32, 33, 34, 37, 44, 60, 61, 63, 64, 66, 67, 70, 72, 73, 74, 75, 104

ANSI

American National Standards Institute, en español Instituto Nacional Estadounidense de Estándares. Es una organización que supervisa el desarrollo de estándares para productos, servicios, procesos y sistemas en los Estados Unidos.17

CW

Onda continua. Es una onda electromagnética de constante amplitud y frecuencia. En análisis matemático es una onda de duración infinita.83, 92

dBm

Es una unidad de medida utilizada, principalmente, en telecomunicación para expresar la potencia absoluta mediante una relación logarítmica. El dBm se define como el nivel de potencia en decibelios en relación a un nivel de 1 [mW].36, 37, 38, 40, 42, 44, 46, 50, 61, 67, 70, 73, 83, 84

EDGE

Es el acrónimo para Enhanced Data Rates for GSM Evolution (tasas de Datos Mejoradas para la Evolución del GSM), es una tecnología de telefonía móvil celular, que actúa como puente entre las redes 2G y 3G.18, 21, 34, 36, 61, 67, 73

EDR

Enhanced Data Rate (Tasa de datos mejorado).....23

EGPRS

Enhanced GPRS (GPRS mejorado), es el siguiente estándar que aparece en la telefonía móvil para la transmisión de datos.....18, 61

FCC

Federal Communications Commission (Comisión federal de comunicaciones), es la encargada de la regulación de telecomunicaciones interestatales e internacionales por radio, televisión, redes inalámbricas, teléfonos, satélite y cable.....31, 32, 58, 77, 79, 84

GPIB

(Bus de interfaz de propósito general), es un bus de datos digitales.61

HSDPA

High Speed Downlink Packet Access (Acceso descendente de paquetes de

alta velocidad)19, 20, 21, 37, 38, 39, 42, 43, 44, 61

HSPA

High Speed Packet Access (Acceso de paquetes de alta velocidad).20, 21, 37, 61, 67, 74, 83

HSUPA

High Speed Uplink Packet Access (Acceso ascendente de paquetes de alta velocidad).19, 20, 21, 37, 39, 61, 67, 74

LTE

Long Term Evolution (Evolución a largo Plazo)20, 22, 28, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 61, 70, 72, 73, 74, 83

SMA

(SubMiniature version A) a un tipo de conector roscado para cable coaxial utilizado en microondas.....62

UIT

Union Internacional de Telecomunicaciones, es el organismo especializado en telecomunicaciones

de la Organización de las Naciones Unidas, encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras.....25, 58

UMTS

- Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles19

USB

Universal Serial Bus que se traduce como puerto de seriado universal y es el tipo más común de entrada y salida en una computadora para la conexión de dispositivos informáticos.....62

USIM

(Universal Subscriber Identity Module) o Módulo de Identificación del Abonado es una aplicación para telefonía móvil. Almacena la información de abonado para su identificación en la red y otras informaciones como mensajes de texto. Su función y, en muchos casos, su aspecto son similares a los de una tarjeta SIM.73