ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DESARROLLO DE UN PROCEDIMIENTO PARA LAS MEDICIONES Y EL ANÁLISIS DE LA TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA (SAR) EN UN TERMINAL CELULAR 3G EN EL LABORATORIO DE LA ARCOTEL

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

ANA MARÍA SUIKOUSKI PROAÑO

mery_ann13@hotmail.com

DIRECTOR: ING. PABLO WILIAN HIDALGO LASCANO

pablo.hidalgo@epn.edu.ec

Quito, Abril 2016

DECLARACIÓN

Yo, Ana María Suikouski Proaño declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

_____

Ana María Suikouski Proaño

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Ana María Suikouski Proaño, bajo mi supervisión.

_____

Ing. Pablo Hidalgo

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios, a quien debo todo, literalmente todo, por no abandonarme nunca y por el amor incondicional que me demuestra.

A mi mami, por la formación y los valores inculcados con amor, por las oportunidades brindadas, por cuidarme y por darme siempre lo mejor de sí, a Vane por ser simplemente la mejor hermana del mundo, a mi abuelita Zoilita y tía Fannycita porque en el transcurso del tiempo siempre estuvieron presentes con su cariño, su apoyo y consejos, y a toda mi familia por su cariño incondicional.

Al Ing. Pablo Hidalgo por ayudarme a cumplir con una de mis metas planteadas más importantes, por su predisposición, su apoyo y paciencia al dirigir este proyecto.

A la Dirección de Certificación de Equipos de la ARCOTEL, de manera especial a la Ing. María Teresa Avilés, Ing. César Miranda e Ing. Luis Molina por su guía, por sus ánimos diarios a continuar.

A los ingenieros y docentes que contribuyeron en mi formación académica, por brindarme el conocimiento que me permitió desarrollarme y crecer profesionalmente.

Y a todas las personas que de cualquier manera formaron parte de mi vida, que por medio de un consejo, su amistad, sus palabras sinceras, etc. me acompañaron en cada etapa vivida la cual permanecerá guardada en mi mente y corazón.

DEDICATORIA

A Dios, quien ha sido mi fortaleza y mi guía, quien me ha permitido compartir con las personas que más amo y cumplir con mis metas y sueños.

A mi mami, por ser mi ejemplo de lucha y de constancia, por brindarme su amor y apoyo diariamente y por impulsarme a seguir siempre hacia adelante.

A mi hermana Vane, quien ha sido mi pequeño ángel, quien me ha animado a continuar, que con su sonrisa y compañía siempre me ha hecho sentir que todo estará bien.

A toda mi familia, especialmente a mi abuelita Zoilita y mi tía Fannycita, parte importante de mi vida; por la ternura y cariño brindado desde que fuimos pequeñas.

A mis amigas/os y compañeras/os, por haber sido parte de esta hermosa etapa vivida.

Va por todas/os ustedes ya que se constituyen en lo más preciado de mi vida, gracias por ser el principal motor que me ha permitido alcanzar con alegría un logro más y por ser parte de ello.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1
VISIÓN GENERAL

1.1 INTRODUCCIÓN 1
1.2 OBJETIVOS 2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL 2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 2
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO 3
1.4 DEFINICIÓN DE SAR (*SPECIFIC ABSORPTION RATE*) 4
1.5 DIRECTRICES DADAS POR LA FCC PARA LA EXPOSICIÓN HUMANA A LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE RADIOFRECUENCIA 5
1.5.1 SECCIÓN 1: REGLAS DE LA FCC PARA EL CUMPLIMIENTO DE RADIOFRECUENCIA EN EQUIPOS MÓVILES Y PORTÁTILES 5
1.5.1.1 Equipos móviles 5
1.5.1.2 Equipos portátiles 5
1.5.1.3 Límites de exposición a las radiaciones no ionizantes 6
1.5.1.3.1 Exposición ocupacional controlada 6
1.5.1.3.2 Exposición poblacional no controlada 6
1.5.2 SECCIÓN 2: DIRECTRICES PARA LA EVALUACIÓN DE DISPOSITIVOS MÓVILES Y PORTÁTILES 6
1.5.2.1 Determinación de dispositivos y categorías de exposición 6
1.5.2.2 Evaluación de MPE en equipos móviles 7
1.5.2.3 Evaluación de SAR en dispositivos portátiles o móviles 7
1.5.2.3.1 Técnicas de evaluación de SAR 8
1.5.2.3.2 Posiciones de prueba para *handsets* y otros transmisores 8
1.5.2.3.3 Modelos de tejidos 9
1.5.2.4 Descripción y requerimientos del sistema para la medición de SAR 10
1.5.2.5 Condiciones del dispositivo bajo prueba 12
1.5.2.6 Procedimientos para medición de SAR 12
1.5.2.7 Directrices y descripciones del cálculo de SAR 12
1.5.2.8 Incertidumbre de medición 13
1.5.3 SECCIÓN 3: CUMPLIMIENTO DE EXPOSICIÓN DE RF PARA TRANSMISORES DE ESPECTRO ENSANCHADO 13
1.5.4 APÉNDICE A: CRITERIOS DE EXPOSICIÓN DE LA FCC 13
1.5.5 APÉNDICE B: INFORMACIÓN PARA DOCUMENTACIÓN Y CUMPLIMIENTO DE SAR 15
1.5.6 APÉNDICE C: PARÁMETROS DIELÉCTRICOS DEL TEJIDO 15
1.5.6.1 Parámetros dieléctricos de los tejidos para fantomas de cabeza y cuerpo .. 15
1.5.7 APÉNDICE D: PROCEDIMIENTOS PARA MEDICIÓN DE SAR 16
1.5.7.1 Consideraciones para los fantomas 16

1.5.7.1.1 Características recomendadas para el fantoma de cabeza y cuerpo 17
1.5.7.1.2 Posiciones de prueba recomendadas para dispositivos inalámbricos 18
1.5.7.1.3 Dispositivos que funcionan próximos a la oreja de una persona 18
1.5.7.1.4 Posiciones de prueba recomendadas para el cuerpo y otras configuraciones 20
1.5.7.2 Requerimientos apropiados del tejido dieléctrico 20
1.5.7.3 Características de la sonda de campo eléctrico y calibración 21
1.5.7.4 Verificación del sistema 22
1.5.7.5 Condiciones ambientales del sitio de prueba 25
1.5.7.6 Condiciones de operación del dispositivo bajo prueba 25
1.5.7.6.1 Potencia de salida 25
1.5.7.6.2 Opciones de batería 26
1.5.7.6.3 Capacidad de operación del dispositivo 26
1.5.7.6.4 Modos de operación del dispositivo 26
1.5.7.6.5 Tiempo promedio de señal basado en la fuente 27
1.5.7.7 Procedimientos recomendados para la medición de SAR 27
1.5.7.7.1 Procedimientos para la búsqueda del SAR pico 28
1.5.7.7.2 Procedimientos para determinar el SAR en 1 g 29
1.5.7.8 Incertidumbre de la Medición 30

CAPÍTULO 2

INCERTIDUMBRE Y TRAZABILIDAD

2.1 INTRODUCCIÓN 32
2.2 EXPRESIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDIDA 32
2.2.1 FUENTES POSIBLES DE INCERTIDUMBRE 33
2.2.2 INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR O TÍPICA 33
2.2.2.1 Modelo de medición 33
2.2.3 INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR TIPO A 34
2.2.4 INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR TIPO B 35
2.2.5 INCERTIDUMBRE TÍPICA COMBINADA 36
2.2.6 INCERTIDUMBRE EXPANDIDA O INCERTIDUMBRE GLOBAL 36
2.2.6.1 Determinación de la incertidumbre expandida 36
2.2.7 FACTOR DE COBERTURA 37
2.2.8 DIRECTRICES GENERALES PARA LA EXPRESIÓN DE LA INCERTIDUMBRE 38
2.2.9 DIRECTRICES ESPECÍFICAS PARA LA EXPRESIÓN DE LA INCERTIDUMBRE 38
2.3 CONSIDERACIONES PARA LA INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN EN EL SISTEMA DE MEDICIÓN DE SAR SEGÚN LA RECOMENDACIÓN IEEE 38
2.3.1 INDICATIVOS PARA LAS TABLAS 2.1 Y 2.2 41

2.4 APÉNDICE E 43
2.4.1 INTRODUCCIÓN (E.1).....*43*
2.4.2 INCERTIDUMBRE DE LA SONDA DE CAMPO E (E.2) *46*
2.4.2.1 Incertidumbre de la calibración de la sonda (*Probe Calibration*) (E 2.1)..... 46
2.4.2.1.1 Incertidumbre de calibración de temperatura (E 2.1.1) 46
2.4.2.2 Incertidumbre de la isotropía de la sonda - axial y hemisférica (*Axial isotropy and hemispherical isotropy*) (E.2.2) 47
2.4.2.3 Incertidumbre por efectos de contorno de la sonda (*Boundary effect*) (E.2.3) 48
2.4.2.4 Incertidumbre de la linealidad de la sonda (*Linearity*) (E.2.4)..... 49
2.4.2.5 Sensibilidad de la sonda de campo y la incertidumbre del límite de detección del sistema (*System detection limits*) (E.2.5) 50
2.4.2.6 Incertidumbre de la lectura electrónica de la sonda (*Readout electronics*) (E.2.6) 50
2.4.2.7 Incertidumbre del tiempo de respuesta a la señal paso (*Response time*) (E.2.7) 50
2.4.2.8 Incertidumbre del tiempo de integración de la sonda (*Integration time*) (E.2.8) 51
2.4.3 INCERTIDUMBRE DE LOS PARÁMETROS DEL FANTOMA Y DEL LÍQUIDO EQUIVALENTE AL TEJIDO (E.3).....*51*
2.4.3.1 Incertidumbre del fantoma (*Phantom uncertainty – shape and thickness tolerances*) (E.3.1)..... 51
2.4.3.2 Incertidumbre de los parámetros dieléctricos del líquido equivalente al tejido (*Liquid conductivity – deviation from target values*) (E.3.2) 52
2.4.3.3 Evaluación de las incertidumbres en la medición de los parámetros dieléctricos del líquido (*Liquid conductivity – Measurement uncertainty*) (E.3.3) 53
2.4.4 INCERTIDUMBRE DEL POSICIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO (E.4).....*54*
2.4.4.1 Incertidumbre debida a la perturbación por el soporte del dispositivo (*Device holder uncertainty*) (E.4.1)..... 54
2.4.4.1.1 Tolerancia debida a la perturbación del soporte para un dispositivo de prueba específico: Tipo B (E.4.1.1)..... 54
2.4.4.2 Tolerancia debida a la perturbación del soporte para un dispositivo de prueba específico: Tipo A (*Test simple positioning*) (E.4.2) 55
2.4.4.2.1 Tolerancia debida al posicionamiento de un dispositivo específico en un soporte específico (E.4.2.1)..... 56
2.4.4.2.2 Tolerancia de posicionamiento de un tipo específico de *handset* en un soporte específico (E.4.2.2) 57
2.4.5 INCERTIDUMBRE DEBIDA AL ALGORITMO DE INTERPOLACIÓN, EXTRAPOLACIÓN E INTEGRACIÓN (EXTRAPOLATION, INTERPOLATION AND INTEGRATION. ALGORITMS FOR MAX SAR EVALUATION) (E.5).....*57*
2.4.5.1 Evaluación de funciones de referencia (E.5.1) 58

2.4.5.2 Evaluación de la incertidumbre del algoritmo de procesamiento de datos (E.5.2) 59
2.4.5.2.1 Evaluación del *area scan* (E.5.2.1) 59
2.4.5.2.2 Evaluación del *zoom scan* (E.5.2.2) 60
2.4.5.3 Evaluación de SAR en superficies curvas (E.5.3) 61
2.4.6 OTROS COMPONENTES DE INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN DE SAR (E.6) *62*
2.4.6.1 Condiciones de RF en el ambiente (*RF ambient conditions – noise and conditions reflections*) (E.6.1) 62
2.4.6.2 Tolerancias mecánicas del posicionador de la sonda (*Probe positioner mechanical tolerance*) (E.6.2) 62
2.4.6.3 Tolerancia del posicionamiento de la sonda con respecto a la superficie del fantoma (*Probe positioning with respect to phantom shell*) (E.6.3) 63
2.4.6.4 Procedimiento de evaluación del SAR pico promedio para cada configuración de dispositivo (*Output power variation – SAR drift measurement*) (E.6.4) 63
2.4.6.4.1 Paso 1. Medición de la potencia de referencia (E.6.4.1) 63
2.4.6.4.2 Paso 2. *Area scan* (E.6.4.2) 64
2.4.6.4.3 Paso 3. *Zoom scan* (E.6.4.3) 64
2.4.6.4.4 Paso 4. Medición de la potencia de referencia (E.6.4.4) 65
2.5 INTRODUCCIÓN A LA METROLOGÍA 66
2.5.1 DEFINICIÓN DE METROLOGÍA *67*
2.5.2 LEY DEL SISTEMA ECUATORIANO DE CALIDAD *68*
2.6 TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES 68
2.6.1 IMPORTANCIA DE LA TRAZABILIDAD EN LABORATORIOS *68*
2.6.2 ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA TRAZABILIDAD *68*
2.6.3 TRAZABILIDAD EN SUSTANCIAS QUÍMICAS *69*
2.6.4 POLÍTICA DE TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES DEL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN ECUATORIANO (OAE) *70*
2.6.4.1 Alcance 70
2.6.4.2 Política referente a la trazabilidad de los laboratorios de calibración 71
2.6.4.3 Política referente a la trazabilidad de los laboratorios de ensayo 73
2.6.4.4 Política referente a la Trazabilidad de Materiales de Referencia (MR) y Material de referencia certificado (MRC) 74

CAPÍTULO 3

PRUEBAS DE SAR AL TERMINAL CELULAR Y RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS MEDICIONES

3.1 INTRODUCCIÓN 75
3.2 REFERENTE AL LABORATORIO DE CERTIFICACIÓN DE EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES DE LA ARCOTEL 76
3.2.1 FASE 1 ..... *76*

3.2.2 FASE 2 ..... *77*
3.3 SISTEMA DE MEDICIÓN DE SAR “COMOSAR” 77
3.3.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES *78*
3.3.2 PARTES PRINCIPALES DEL SISTEMA COMOSAR *78*
3.3.2.1 Robot 79
3.3.2.2 KR C4 80
3.3.2.3 KUKA *Smartpad* 80
3.3.3 ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE MEDICIÓN DE SAR *81*
3.3.3.1 Computadora principal 81
3.3.3.2 Pantalla de monitoreo del robot KUKA 82
3.3.3.3 Cámara semi-anecoica 82
3.3.3.4 *Software* OPENSAR 83
3.3.3.5 Fantomas 84
3.3.3.5.1 Fantoma de cabeza 84
3.3.3.5.2 Fantoma Plano 86
3.3.3.6 Sistemas de Posicionamiento 87
3.3.3.6.1 Soporte para terminales tipo *handset* (teléfonos celulares) 87
3.3.3.6.2 Soporte para *tablets*, *laptops* y *access point* 88
3.3.3.7 Líquidos 89
3.3.3.8 Dipolos de validación 90
3.3.3.9 Sondas 91
3.3.3.10 VPS (*Video Positioning System*) 91
3.3.3.11 *Stress sensor* 92
3.3.3.12 Antena de radio base 93
3.3.3.13 Reloj atómico 93
3.3.3.14 Accesorios varios 94
3.3.3.14.1 Medidor de temperatura y humedad 94
3.3.3.14.2 Sonda para medición de líquidos 94
3.3.3.14.3 Plataforma 94
3.3.3.14.4 Soporte para el cable 95
3.3.3.14.5 *Kit* de calibración 95
3.3.3.14.6 Termómetro 95
3.3.3.14.7 Medidor de potencia 96
3.3.3.14.8 Vasos precipitados 96
3.3.3.14.9 Espaciadores 96
3.3.3.14.10 Filtros pasa banda 97
3.3.3.14.11 Manguera 97
3.3.3.14.12 Recipiente de plástico 98
3.3.3.14.13 Torquímetro 98
3.3.3.14.14 Espátula 98
3.3.3.14.15 Toallas de papel 99
3.3.3.14.16 Regla 99
3.3.3.14.17 Tapas con llaves plásticas 99

3.3.3.14.18 Jeringas 100
3.3.4 EQUIPOS DE MEDICIÓN QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE MEDICIÓN DE SAR 100
3.3.4.1 Emulador de radio base redes 2G y 3G 100
3.3.4.1.1 Características técnicas 101
3.3.4.2 Medidor de potencia 101
3.3.4.2.1 Características técnicas 102
3.3.4.3 Analizador de redes 102
3.3.4.3.1 Características técnicas 102
3.3.4.4 Generador de señales vectoriales 103
3.3.4.4.1 Características técnicas 103
3.3.4.5 Multímetro digital 103
3.3.4.5.1 Tarjeta de exploración 104
3.3.4.6 Analizador de espectros 104
3.4 INTRODUCCIÓN A LAS TECNOLOGÍAS CELULARES 105
3.4.1 PRIMERA GENERACIÓN 105
3.4.1.1 Tecnologías predominantes 105
3.4.2 SEGUNDA GENERACIÓN 106
3.4.3 GENERACIÓN 2.5 107
3.4.4 TERCERA GENERACIÓN 107
3.4.5 CUARTA GENERACIÓN 109
3.5 CONSIDERACIONES PARA LA EVALUACIÓN DEL SAR PARA *HANDSETS* INALÁMBRICOS 110
3.5.1 Condiciones de exposición en la cabeza 110
3.5.2 Condiciones de exposición en el cuerpo 110
3.6 SAR EN DISPOSITIVOS DE SEGUNDA GENERACIÓN 111
3.6.1 REDUCCIÓN DE PRUEBAS DE SAR EN DISPOSITIVOS 2G 111
3.6.2 MEDICIÓN DE SAR EN DISPOSITIVOS 2G 112
3.6.2.1 Potencia de salida 112
3.7 SAR EN DISPOSITIVOS DE TERCERA GENERACIÓN 113
3.7.1 INTRODUCCIÓN 113
3.7.2 REQUISITOS GENERALES PARA LA REDUCCIÓN DE PRUEBAS DE SAR EN DISPOSITIVOS 3G 113
3.7.2.1 Procedimiento de reducción de pruebas de SAR en 3G 113
3.7.3 MEDICIÓN DE SAR EN DISPOSITIVOS QUE UTILIZAN WCDMA 114
3.7.3.1 Verificación de la potencia de salida 114
3.7.3.2 Medición de SAR en cabeza y cuerpo 115
3.7.4 MEDICIÓN DE SAR EN DISPOSITIVOS QUE UTILIZAN HSDPA (RELEASE 5) 115
3.7.4.1 Potencia de salida 116
3.7.4.2 Medición de SAR 116

3.7.5 MEDICIÓN DE SAR EN DISPOSITIVOS QUE UTILIZAN HSPA (HSDPA/ HSUPA) (RELEASE 6) *116*
3.7.5.1 Potencia de Salida 117
3.7.5.2 Medición de SAR 117
3.7.6 MEDICIÓN DE SAR EN DISPOSITIVOS QUE UTILIZAN HSPA+ *118*
3.8 SAR EN DISPOSITIVOS QUE UTILIZAN WIFI 119
3.8.1 MEDICIÓN Y REDUCCIÓN DE PRUEBAS DE SAR EN DISPOSITIVOS QUE UTILIZAN WIFI *119*
3.8.1.1 Requerimientos de medición de potencia 120
3.9 REFERENTE A LA NORMA TS 34.121-1 VERSIÓN 9.3.0 121
3.9.1 POTENCIA MÁXIMA DE SALIDA PARA DISPOSITIVOS QUE UTILIZAN WCDMA *121*
3.9.1.1 Requerimientos de la prueba 121
3.9.2 POTENCIA DE SALIDA MÁXIMA CON HS-DPCCH (RELEASE 6 EN ADELANTE) *122*
3.9.2.1 Definición y aplicabilidad 122
3.9.2.2 Propósito de la prueba 122
3.9.3 POTENCIA DE SALIDA MÁXIMA CON HS-DPCCH Y E-DCH *123*
3.9.3.1 Definición y aplicabilidad 123
3.9.3.2 Propósito de la prueba 123
3.10 MEDICIÓN DE POTENCIA DE SALIDA CONDUCIDA PARA SERVICIO MÓVIL AVANZADO 125
3.10.1 BANDAS DE FRECUENCIA Y CANALES *125*
3.10.2 DIAGRAMA DE CONEXIÓN *126*
3.10.3 PÉRDIDAS POR CABLES Y CONECTORES *127*
3.10.4 CONFIGURACIÓN DEL EMULADOR DE RADIO BASE E5515C 8960 PARA LA MEDICIÓN DE POTENCIA DE SALIDA CONDUCIDA *129*
3.10.4.1 Descripción del equipo 129
3.10.4.1.1 Sección de funciones 130
3.10.4.1.2 Sección de control 130
3.10.4.1.3 Sección numérica 130
3.10.4.1.4 Sección de menús principales 131
3.10.4.1.5 Sección de entradas y salidas 131
3.10.4.2 Potencia de la celda 131
3.10.4.3 Establecimiento de una llamada en estándar GSM 132
3.10.4.3.1 Potencia máxima de salida en el estándar GSM (Voz) 135
3.10.4.4 Establecimiento de la conexión de datos (GPRS) 137
3.10.4.4.1 Potencia de salida máxima en estándar GPRS 142
3.10.4.4.2 Potencia promediada en el tiempo basada en la fuente en estándar GPRS 144
3.10.4.5 Establecimiento de una llamada en estándar UMTS 144
3.10.4.5.1 Potencia de salida conducida en el estándar UMTS (Voz) 150

3.10.4.6 Establecimiento de la conexión de datos (HSDPA) 153
3.10.4.6.1 Potencia de salida máxima en el estándar HSDPA (Datos) 161
3.10.4.7 Establecimiento de la conexión de datos (HSUPA) 162
3.10.4.7.1 Potencia de salida máxima en el estándar HSUPA (Datos) 167
3.10.5 ESPECIFICACIONES CONSIDERADAS EN LA MEDICIÓN DE POTENCIA ..168
3.11 MEDICIÓN DE POTENCIA DE SALIDA CONDUCIDA EN WIFI 169
3.11.1 BANDAS DE FRECUENCIA Y CANALES 169
3.11.2 DIAGRAMA DE CONEXIÓN 169
3.11.3 PÉRDIDAS POR CABLES Y CONECTORES 170
3.11.4 MEDICIÓN EN EL ANALIZADOR DE ESPECTROS 171
3.11.4.1 Descripción del equipo 171
3.11.4.1.1 Sección de funciones 172
3.11.4.1.2 Sección de control 172
3.11.4.1.3 Sección numérica 173
3.11.4.1.4 Sección de menús principales 173
3.11.4.1.5 Sección de entradas y salidas 173
3.11.4.2 Medición de potencia 174
3.12 PROTOCOLO PARA LA MEDICIÓN DE SAR EN DISPOSITIVOS 2G Y 3G 177
3.12.1 INICIALIZACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE SAR 177
3.12.2 MEDICIÓN DE LÍQUIDOS 189
3.12.3 LLENADO DE LÍQUIDOS EN LOS FANTOMAS 205
3.12.4 VALIDACIÓN DEL SISTEMA 208
3.12.5 POSICIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO BAJO PRUEBA 224
3.12.5.1 Posicionamiento en el fantoma de cabeza 224
3.12.5.2 Posicionamiento en el fantoma de cuerpo 226
3.12.6 MEDICIÓN DE SAR 229
3.12.6.1 Configuración de una nueva banda 236
3.12.6.2 Conexión del simulador de radio base 238
3.12.6.2.1 Modo local 238
3.12.6.2.2 Modo remoto 239
3.12.6.3 Dimensiones del dispositivo 240
3.12.6.4 *Volumetric scan* 241
3.12.6.5 SAR *Post Processing* 244
3.12.6.6 Medición de SAR en WiFi 246
3.12.7 VACIADO DE LÍQUIDO CONTENIDO EN LOS FANTOMAS 247
3.12.8 ESPECIFICACIONES CONSIDERADAS EN LA MEDICIÓN DE SAR 250
3.13 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE LA ARCOTEL CON LOS DE UN LABORATORIO RECONOCIDO POR LA FCC 252
3.13.1 EQUIPOS UTILIZADOS POR EL LABORATORIO BACL 253
3.13.1.1 Descripción del sistema ALSAS-10U 253

3.13.1.2 Sonda isotrópica de campo eléctrico 253
3.13.1.3 Robot articulado de ejes 254
3.13.1.4 Estación de trabajo ALSAS 255
3.13.1.5 Posicionador de dispositivo universal 255
3.13.1.6 Fantomas 256
3.13.1.6.1 Fantoma SAM APREL 256
3.13.1.6.2 Fantoma universal APREL 256
3.13.2 LISTA DE EQUIPAMIENTO E INFORMACIÓN DE CALIBRACIÓN 257
3.13.3 COMPARACIÓN Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE SAR EN CADA LABORATORIO 257

CAPÍTULO 4
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES 259
4.2 RECOMENDACIONES 261

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 263

ANEXOS .....

A. REPORTE DE LA COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL REPORTE DEL LABORATORIO BACL ACREDITADO POR LA FCC Y LOS MEDIDOS EN EL LABORATORIO DE LA ARCOTEL
B. REPORTE DE LA MEDICIÓN DE SAR EMITIDO POR EL LABORATORIO DE LA ARCOTEL

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 LÍMITES MPE PARA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL CONTROLADA 14
TABLA 1.2 LÍMITES MPE PARA EXPOSICIÓN POBLACIONAL NO CONTROLADA 14
TABLA 1.3 LÍMITES SAR PARA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL CONTROLADA 14
TABLA 1.4 LÍMITES SAR PARA EXPOSICIÓN POBLACIONAL NO CONTROLADA 14
TABLA 1.5 PARÁMETROS DIELÉCTRICOS DE CABEZA Y CUERPO 15
TABLA 1.6 COMPOSICIÓN TÍPICA DE LOS LÍQUIDOS 16
TABLA 1.7 VALORES DE SAR OBJETIVO PARA LA VALIDACIÓN DEL SISTEMA COMOSAR 22
TABLA 1.8 PARÁMETROS DEL DIPOLO Y DEL FANTOMA 24
TABLA 2.1 EJEMPLO DE LAS CANTIDADES TÍPICAS QUE INFLUENCIAN LA INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN DE SAR EN UN TELÉFONO INALÁMBRICO DE PRUEBA 41
TABLA 2.2 EJEMPLO DE ALGUNOS DE LOS PARÁMETROS DE INCERTIDUMBRE QUE INFLUYEN EN EL SISTEMA DE VALIDACIÓN 43
TABLA 2.3 PROPIEDADES DIELÉCTRICAS DE LOS LÍQUIDOS DE REFERENCIA A 20°C 54
TABLA 3.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ROBOT KR 6-2 79
TABLA 3.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL KR C4 80
TABLA 3.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL *SMARTPAD* 81
TABLA 3.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FANTOMA DE CABEZA 85
TABLA 3.5 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO 88
TABLA 3.6 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS DIPOLOS DEL LABORATORIO 90
TABLA 3.7 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS SONDAS DEL LABORATORIO 91
TABLA 3.8 MÁXIMA POTENCIA EN MODULACIÓN GMSK 112
TABLA 3.9 VALORES B PARA EL *SUB-TEST* INDICADO CON HS-DPCCH Y E-DCH CON 16 QAM 118
TABLA 3.10 POTENCIA DE SALIDA MÁXIMA SEGÚN LA CLASE DE POTENCIA DEL DUT 122
TABLA 3.11 POTENCIA MÁXIMA DE SALIDA CON HS-DPCCH 122
TABLA 3.12 PARÁMETROS DE ACUERDO AL *SUB-TEST* SELECCIONADO 123
TABLA 3.13 POTENCIA DE SALIDA MÁXIMA CON HS-DPCCH Y E-DCH 124
TABLA 3.14 PARÁMETROS DE ACUERDO AL *SUB-TEST* APLICADO 124
TABLA 3.15 CANALES BAJO, MEDIO Y ALTO PARA 2G 125
TABLA 3.16 CANALES BAJO, MEDIO Y ALTO PARA 3G 125
TABLA 3.17 PÉRDIDAS INTRODUCIDAS POR CABLES Y CONECTORES 127
TABLA 3.18 CONFIGURACIÓN DE LOS CANALES Y DE LA POTENCIA DE TRANSMISIÓN 133
TABLA 3.19 PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DE LA POTENCIA EN EL SIMULADOR 136
TABLA 3.20 MODOS DE TRANSFERENCIA DE DATOS 140
TABLA 3.21 FACTOR DEL *DUTY CYCLE* PARA OBTENER LA POTENCIA PROMEDIADA EN EL TIEMPO BASADA EN LA FUENTE 144
TABLA 3.22 PARÁMETROS PARA CONFIGURAR UNA CONEXIÓN HSDPA 153
TABLA 3.23 CANALES CENTRALES PARA ESTÁNDARES IEEE 802.11 EN LA BANDA DE 2.4 GHZ 169
TABLA 3.24 PÉRDIDAS INTRODUCIDAS POR CABLES Y CONECTORES EN LA BANDA DE 2.4 GHZ 170

TABLA 3.25 PÉRDIDAS EN 835 MHZ, 1900 MHZ Y 2450 MHZ 209
TABLA 3.26 PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DEL GENERADOR DE RF 216
TABLA 3.27 COMPARACIÓN DE LA VALIDACIÓN EN EL LABORATORIO DE LA ARCOTEL CON LOS VALORES OBJETIVO PARA LÍQUIDO DE CABEZA. 220
TABLA 3.28 COMPARACIÓN DE LA VALIDACIÓN EN EL LABORATORIO DE LA ARCOTEL CON LOS VALORES OBJETIVO PARA LÍQUIDO DE CUERPO. 220
TABLA 3.29 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA SONDA UTILIZADA POR BACL 254
TABLA 3.30 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ROBOT UTILIZADO POR BACL 255
TABLA 3.31 EQUIPAMIENTO Y CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS EN BACL 257

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 VISTA CERCANA DEL FANTOMA QUE INDICA LA REGIÓN DE LA OREJA 19
FIGURA 1.2 POSICIÓN *CHEEK* / *TOUCH* 19
FIGURA 1.3 POSICIÓN *EAR* / *TILT* 20
FIGURA 2.1 COMPONENTES GENERALES QUE CONTRIBUYEN A LA INCERTIDUMBRE EN UN SISTEMA TÍPICO DE MEDICIÓN DE SAR 44
FIGURA 2.2 ORIENTACIÓN DE LA SONDA CON RESPECTO A LA LÍNEA NORMAL A LA SUPERFICIE MOSTRADA EN DOS UBICACIONES DIFERENTES. M1-M6 SON EJEMPLOS DE PUNTOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS PARA EXTRAPOLACIÓN. LOS ÁNGULOS α ENTRE EL EJE DE EVALUACIÓN Y LA LÍNEA NORMAL A LA SUPERFICIE DEBEN SER MÁS PEQUEÑOS QUE 30° 47
FIGURA 2.3 ESQUEMÁTICA DE LOS PLANOS *XY* EN LA GRILLA DEL VOLUMEN SOBRE LA SUPERFICIE DEL FANTOMA. LOS EJES CARTESIANOS SON UTILIZADOS COMO REFERENCIA Y NO REPRESENTAN EL ORIGEN DE LOS PLANOS 58
FIGURA 2.4 ILUSTRACIÓN DE LA FORMA Y ORIENTACIÓN RELATIVA A LA SUPERFICIE DEL FANTOMA CURVO Y VOLUMEN CÚBICO DISTORSIONADO PARA EL CÁLCULO DEL SAR PICO PROMEDIO 61
FIGURA 2.5 EJEMPLO DE UN *AREA SCAN* INCLUYENDO LA POSICIÓN DEL *HANDSET*. EL ÁREA ESCANEADA (PUNTOS BLANCOS) DEBE SER MÁS GRANDE QUE EL ÁREA PROYECTADA POR EL *HANDSET* Y SU ANTENA 64
FIGURA 2.6 LEY DEL SISTEMA ECUATORIANO DE LA CALIDAD 67
FIGURA 2.7 ELEMENTOS QUE INTEGRAN LA TRAZABILIDAD 69
FIGURA 3.1 EQUIPAMIENTO ADQUIRIDO EN LA FASE 1 DEL LABORATORIO 76
FIGURA 3.2 EQUIPAMIENTO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE SAR DEL LABORATORIO DE LA ARCOTEL 77
FIGURA 3.3 SISTEMA DE MEDICIÓN DE SAR IMPLEMENTADO EN EL LABORATORIO DE LA ARCOTEL 78
FIGURA 3.4 PARTES PRINCIPALES DEL SISTEMA COMOSAR. (1) ROBOT, (2) KRC (*KUKA ROBOT CONTROLLER*), (3) *SMARTPAD,* (4) CABLES DE DATOS Y PODER 79
FIGURA 3.5 ROBOT KUKA KR 6-2 79
FIGURA 3.6 CONTROLADOR KR C4 80
FIGURA 3.7 *SMARTPAD* 81
FIGURA 3.8 ELEMENTOS IMPLEMENTADOS EN EL LABORATORIO PARA LA MEDICIÓN DE SAR 81
FIGURA 3.9 COMPUTADORA PRINCIPAL 82
FIGURA 3.10 PANTALLA PARA MONITOREO DEL ROBOT 82
FIGURA 3.11 CUBIERTA DE MATERIAL ABSORBENTE 83
FIGURA 3.12 CÁMARA SEMI-ANECOICA DEL LABORATORIO 83
FIGURA 3.13 PANTALLA PRINCIPAL DEL *SOFTWARE* OPENSAR 84
FIGURA 3.14 FANTOMA SAM DE CABEZA 84
FIGURA 3.15 POSICIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL EN EL FANTOMA 85
FIGURA 3.16 LAS TRES PARTES DEL FANTOMA SAM 86
FIGURA 3.17 FANTOMA PLANO DEL LABORATORIO DE LA ARCOTEL 87
FIGURA 3.18 SOPORTE PARA TERMINALES TIPO *HANDSET* 88

FIGURA 3.19 PUNTERO 88
FIGURA 3.20 SOPORTE PARA *TABLETS*, *LAPTOPS* Y *ACCESS POINT* 89
FIGURA 3.21 LÍQUIDOS QUE SIMULAN EL TEJIDO HUMANO 89
FIGURA 3.22 DIPOLOS DE VALIDACIÓN UTILIZADOS EN EL LABORATORIO 90
FIGURA 3.23 SONDAS PARA MEDICIÓN DE SAR 91
FIGURA 3.24 VPS DEL LABORATORIO 92
FIGURA 3.25 CONEXIÓN DEL *STRESS SENSOR* 93
FIGURA 3.26 ANTENA DE RADIO BASE 93
FIGURA 3.27 RELOJ PRIMARIO DEL LABORATORIO 93
FIGURA 3.28 MEDIDOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD 94
FIGURA 3.29 SONDA PARA MEDICIÓN DE LÍQUIDOS 94
FIGURA 3.30 PLATAFORMA UTILIZADA EN LA MEDICIÓN DE LÍQUIDOS 94
FIGURA 3.31 SOPORTE DEL CABLE UTILIZADO EN EL PROCESO DE MEDICIÓN DE LÍQUIDOS 95
FIGURA 3.32 *KIT* DE CALIBRACIÓN PARA COMPENSAR LAS PÉRDIDAS DEL CABLE QUE UNE LA SONDA UTILIZADA EN LA MEDICIÓN DE LÍQUIDOS CON EL ANALIZADOR DE REDES 95
FIGURA 3.33 TERMÓMETRO PARA LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA DEL AGUA DES-IONIZADA Y DE LOS LÍQUIDOS QUE SIMULAN EL TEJIDO DE CABEZA Y CUERPO 95
FIGURA 3.34 MEDIDOR DE POTENCIA UTILIZADO EN LA VALIDACIÓN DEL SISTEMA 96
FIGURA 3.35 VASOS PRECIPITADOS 96
FIGURA 3.36 ESPACIADORES PARA LA COLOCACIÓN DEL DIPOLO 97
FIGURA 3.37 FILTROS PASA-BANDA DE ACUERDO A LA FRECUENCIA 97
FIGURA 3.38 MANGUERA UTILIZADA EN LA EVACUACIÓN DE LÍQUIDOS 97
FIGURA 3.39 ENVASE PLÁSTICO PARA RECOLECCIÓN DE AGUA 98
FIGURA 3.40 TORQUÍMETRO 98
FIGURA 3.41 ESPÁTULA UTILIZADA EN LA REMOCIÓN DE LÍQUIDOS 98
FIGURA 3.42 TOALLAS DE PAPEL UTILIZADAS EN EL SECADO DE LOS FANTOMAS 99
FIGURA 3.43 REGLA 99
FIGURA 3.44 TAPAS PLÁSTICAS 99
FIGURA 3.45 JERINGAS GRADUADAS 100
FIGURA 3.46 RADIO BASE 8960 SERIES 10 100
FIGURA 3.47 MEDIDOR DE POTENCIA N1913A 101
FIGURA 3.48 ANALIZADOR DE REDES E5071C 102
FIGURA 3.49 GENERADOR DE SEÑALES VECTORIALES N5182A 103
FIGURA 3.50 MULTÍMETRO DIGITAL 104
FIGURA 3.51 ANALIZADOR DE ESPECTROS N9010A 105
FIGURA 3.52 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA 105
FIGURA 3.53 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO 106
FIGURA 3.54 EVOLUCIÓN DE HSPA 109
FIGURA 3.55 CONEXIÓN RADIADA 126
FIGURA 3.56 CONEXIÓN CONDUCIDA 126

FIGURA 3.57 PÉRDIDAS DEL CABLE EN LAS BANDAS DE 850 MHZ Y 1900 MHZ 127
FIGURA 3.58 VISTA INTERNA CELULAR MARCA YEZZ MODELO A3.5 128
FIGURA 3.59 NIVEL DE RECEPCIÓN TECNOLOGÍAS 2G Y 3G 128
FIGURA 3.60 PÉRDIDAS PARA TECNOLOGÍA 2G 128
FIGURA 3.61 PÉRDIDAS PARA TECNOLOGÍA 3G 129
FIGURA 3.62 SECCIONES DEL EQUIPO E5515C 8960 129
FIGURA 3.63 SECCIÓN DE FUNCIONES DEL EQUIPO E5515C 8960 130
FIGURA 3.64 SECCIÓN DE CONTROL DEL EQUIPO E5515C 8960 130
FIGURA 3.65 SECCIÓN NUMÉRICA DEL EQUIPO E5515C 8960 131
FIGURA 3.66 SECCIÓN DE MENÚS PRINCIPALES DEL EQUIPO E5515C 8960 131
FIGURA 3.67 SECCIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL EQUIPO E5515C 8960 131
FIGURA 3.68 ESTÁNDAR GSM EN EL SIMULADOR 132
FIGURA 3.69 CELDA ACTIVA GSM EN EL SIMULADOR 133
FIGURA 3.70 CONFIGURACIÓN DE LA POTENCIA DE LA CELDA, BANDA Y CANAL EN EL SIMULADOR 134
FIGURA 3.71 TIPO DE CONEXIÓN DE DATOS "*AUTO*" EN EL SIMULADOR 134
FIGURA 3.72 CONEXIÓN GSM ESTABLECIDA Y NÚMERO IMEI EN EL SIMULADOR 135
FIGURA 3.73 CONFIGURACIÓN DE LA MÁXIMA POTENCIA PARA 850 MHZ EN EL SIMULADOR 136
FIGURA 3.74 PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DEL SIMULADOR PARA MEDIR LA MÁXIMA POTENCIA EN GSM 137
FIGURA 3.75 MODO DE OPERACIÓN GPRS EN EL SIMULADOR 137
FIGURA 3.76 CONFIGURACIÓN *MULTISLOT* EN EL SIMULADOR 138
FIGURA 3.77 ESQUEMA DE CODIFICACIÓN CS-4 EN EL SIMULADOR 139
FIGURA 3.78 CONFIGURACIÓN DEL MODO DE TRANSFERENCIA DE DATOS EN EL SIMULADOR 139
FIGURA 3.79 MODO DE INGENIERÍA PARA ACTIVAR LA CONEXIÓN GPRS EN EL DUT 140
FIGURA 3.80 HABILITAR EL ENGANCHE DEL SERVICIO GPRS 141
FIGURA 3.81 SERVICIO GPRS ENGANCHADO 141
FIGURA 3.82 EQUIPO ENGANCHADO A LA RADIO BASE 141
FIGURA 3.83 TRANSFERENCIA DE DATOS ESTABLECIDA EN EL SIMULADOR 142
FIGURA 3.84 MÁXIMO NIVEL DE RECEPCIÓN PARA CADA *BURST* EN EL SIMULADOR 143
FIGURA 3.85 PARÁMETROS DEL SIMULADOR PARA ESTABLECER LA MÁXIMA POTENCIA EN GPRS 143
FIGURA 3.86 POTENCIA DE SALIDA EN CADA *BURST* 144
FIGURA 3.87 CAMBIO DE AMBIENTE DEL SIMULADOR A WCDMA 145
FIGURA 3.88 CELDA DESACTIVADA EN EL SIMULADOR 145
FIGURA 3.89 CONFIGURACIÓN DEL SERVICIO DE VOZ EN EL SIMULADOR 146
FIGURA 3.90 CONFIGURACIÓN DE LOS CANALES DE DL Y UL EN EL SIMULADOR 146
FIGURA 3.91 RESTABLECIMIENTO DE LA SUB-CAPA RLC EN EL SIMULADOR 147
FIGURA 3.92 CONFIGURACIÓN DEL TIPO DE CANAL "12.2K RMC" EN EL SIMULADOR 148
FIGURA 3.93 CONFIGURACIÓN DEL MODO DE BUCLE TIPO 1 EN EL SIMULADOR 148
FIGURA 3.94 CELDA ACTIVA EN EL SIMULADOR 149
FIGURA 3.95 CONEXIÓN DE VOZ ESTABLECIDA EN EL SIMULADOR 149

FIGURA 3.96 CONFIGURACIÓN DE LA POTENCIA EN EL SIMULADOR SEGÚN LA CLASE DE POTENCIA DEL DUT 150
FIGURA 3.97 CONFIGURACIÓN DEL SIMULADOR "TODOS LOS BITS EN UNO" 151
FIGURA 3.98 CONFIGURACIÓN DEL ALGORITMO DE CONTROL DE POTENCIA EN EL SIMULADOR 151
FIGURA 3.99 POTENCIA DEL CANAL PARA TECNOLOGÍA 3G EN EL SIMULADOR 152
FIGURA 3.100 PARÁMETROS PARA LA MEDICIÓN DE POTENCIA EN EL SIMULADOR 152
FIGURA 3.101 POTENCIA DE SALIDA MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO EN EL SIMULADOR 153
FIGURA 3.102 PRE-CARGAR EL *SUB-TEST* ADECUADO EN EL SIMULADOR 154
FIGURA 3.103 CONFIGURACIÓN DEL CANAL DE *DOWNLINK* EN EL SIMULADOR 155
FIGURA 3.104 CONFIGURACIÓN DEL NÚMERO DE HS-PDSCHS EN EL SIMULADOR 156
FIGURA 3.105 CONFIRMAR LA SELECCIÓN EN EL SIMULADOR 156
FIGURA 3.106 CONFIGURACIÓN DE LA POTENCIA DE LA CELDA PARA TECNOLOGÍA 3G EN EL SIMULADOR 157
FIGURA 3.107 CONFIGURACIÓN DEL CANAL "*12.2K RMC + HSDPA"* EN EL SIMULADOR 157
FIGURA 3.108 CAMPO "*PS DOMAIN INFORMATION*" DEL SIMULADOR CONFIGURADO EN "*PRESENT*" 158
FIGURA 3.109 PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DE DATOS HSDPA EN EL SIMULADOR 158
FIGURA 3.110 CONFIGURACIÓN DEL MODO DE BUCLE TIPO 1 EN EL SIMULADOR 159
FIGURA 3.111 MODO DE DATOS PARA TECNOLOGÍA 3G EN EL SIMULADOR 160
FIGURA 3.112 CONEXIÓN HSDPA ESTABLECIDA EN EL SIMULADOR 160
FIGURA 3.113 POTENCIA DEL SIMULADOR EN HSDPA 161
FIGURA 3.114 CONFIGURACIÓN PRE-CARGADA EN EL SIMULADOR PARA CONEXIÓN HSUPA 162
FIGURA 3.115 CONFIGURACIÓN EN EL SIMULADOR DE LOS *SUB-TEST* SEGÚN LA CONFIGURACIÓN PRE-CARGADA 163
FIGURA 3.116 CANAL "*12.2K RMC + HSPA*" EN EL SIMULADOR 163
FIGURA 3.117 CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE *DOWNLINK* EN EL SIMULADOR 164
FIGURA 3.118 MÁXIMO NIVEL DE POTENCIA EN *UPLINK* EN EL SIMULADOR 165
FIGURA 3.119 CONFIGURACIÓN DE LOS CÓDIGOS DE CANALIZACIÓN EN EL SIMULADOR 165
FIGURA 3.120 CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS HSUPA EN EL SIMULADOR 166
FIGURA 3.121 CONEXIÓN HSDPA Y HSUPA ESTABLECIDA EN EL SIMULADOR 167
FIGURA 3.122 RESULTADOS DE LA POTENCIA MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO PARA LA CONEXIÓN HSUPA EN EL SIMULADOR 168
FIGURA 3.123 DIAGRAMA DE CONEXIÓN 169
FIGURA 3.124 PÉRDIDAS DEL CABLE DE RF EN 2.4 GHZ 170
FIGURA 3.125 PÉRDIDAS QUE INTRODUCE EL ATENUADOR EN LA BANDA DE 2.4 GHZ 171
FIGURA 3.126 VALOR COMPENSADO PARA 2.4 GHZ 171
FIGURA 3.127 VISTA DE LAS PARTES PRINCIPALES DEL ANALIZADOR DE ESPECTROS 172
FIGURA 3.128 SECCIÓN DE FUNCIONES DEL ANALIZADOR DE ESPECTROS 172
FIGURA 3.129 SECCIÓN DE CONTROL DEL ANALIZADOR DE ESPECTROS 172
FIGURA 3.130 SECCIÓN NUMÉRICA DEL ANALIZADOR DE ESPECTROS 173
FIGURA 3.131 SECCIÓN DE MENÚS PRINCIPALES DEL ANALIZADOR DE ESPECTROS 173

FIGURA 3.132 SECCIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL ANALIZADOR DE ESPECTROS 173
FIGURA 3.133 TECLA PARA INTRODUCIR LA FRECUENCIA CENTRAL 174
FIGURA 3.134 TECLADO PARA INGRESAR LA FRECUENCIA Y ESCOGER LAS UNIDADES 174
FIGURA 3.135 TECLA PARA CONFIGURAR LA MEDICIÓN DE POTENCIA 174
FIGURA 3.136 OPCIÓN "*MORE* 1 *OF* 2" 174
FIGURA 3.137 CONFIGURAR LAS UNIDADES DE POTENCIA 174
FIGURA 3.138 CONFIGURACIÓN DEL *SPAN* DE LA SEÑAL 175
FIGURA 3.139 INTRODUCIR UN *OFFSET* 175
FIGURA 3.140 UNIDADES DE LA COMPENSACIÓN INTRODUCIDA 175
FIGURA 3.141 MODO DE INGENIERÍA 176
FIGURA 3.142 PARÁMETROS CONFIGURABLES EN EL MODO DE INGENIERÍA 176
FIGURA 3.143 TRANSMISIÓN ACTIVA Y MEDICIÓN EN EL ANALIZADOR DE ESPECTROS 176
FIGURA 3.144 MEDICIÓN DE POTENCIA DEL DUT EN EL ESTÁNDAR IEEE 802.11 176
FIGURA 3.145 CONTROLADOR KR C4 DEL LABORATORIO 177
FIGURA 3.146 APAGADO Y ENCENDIDO DEL CONTROLADOR 177
FIGURA 3.147 SENSOR DE POTENCIA CONECTADO AL MULTÍMETRO 177
FIGURA 3.148 CALIBRACIÓN DEL MEDIDOR DE POTENCIA 178
FIGURA 3.149 PROCESO DE CALIBRACIÓN EN CURSO 178
FIGURA 3.150 COLOCACIÓN DEL SENSOR DE POTENCIA EN SU LUGAR INICIAL 178
FIGURA 3.151 CONFIGURACIÓN DE LA RED 179
FIGURA 3.152 PERMITIR SISTEMA DE VIDEO 179
FIGURA 3.153 SISTEMA DE VIDEO INICIALIZADO 180
FIGURA 3.154 ÍCONO DEL PROGRAMA OPENSAR 180
FIGURA 3.155 CREACIÓN DE UN PROYECTO NUEVO 180
FIGURA 3.156 COLOCAR NOMBRE AL PROYECTO 181
FIGURA 3.157 VOLTÍMETRO Y ROBOT EN ESTADO DESACTIVADO 181
FIGURA 3.158 ENCENDIDO DEL MULTÍMETRO Y VPS 181
FIGURA 3.159 ESTADO DEL *SMARTPAD* 181
FIGURA 3.160 CONTROL AUTOMÁTICO DEL ROBOT 182
FIGURA 3.161 ACTIVACIÓN DEL BOTÓN "I" 182
FIGURA 3.162 ACTIVACIÓN DEL BOTÓN "R" 183
FIGURA 3.163 BOTÓN *PLAY* DEL *SMARTPAD* 183
FIGURA 3.164 BOTONES "S", "I", "R" Y "AUT" DEL *SMARTPAD* 183
FIGURA 3.165 ICONO DEL ROBOT EN EL *SMARTPAD* 184
FIGURA 3.166 OPCIONES DESPLEGADAS EN EL *SMARTPAD* 184
FIGURA 3.167 ACTIVACIÓN DE LA CONEXIÓN 184
FIGURA 3.168 INICIALIZACIÓN DEL ROBOT Y DEL VOLTÍMETRO 185
FIGURA 3.169 DISPOSITIVOS ACTIVADOS 185
FIGURA 3.170 COLOCACIÓN DE LA SONDA 185
FIGURA 3.171 NÚMERO DE SERIE DE LA SONDA 185

FIGURA 3.172 SECCIÓN "*PROBE*" DEL *SOFTWARE* OPENSAR 186
FIGURA 3.173 SONDA PLÁSTICA DE PRUEBA 186
FIGURA 3.174 FANTOMA CABEZA (1) 186
FIGURA 3.175 FANTOMA CABEZA (2) 186
FIGURA 3.176 FANTOMA PLANO 187
FIGURA 3.177 FANTOMA EN LA REFERENCIA 187
FIGURA 3.178 CONFIRMAR LA SELECCIÓN 187
FIGURA 3.179 DESPLAZAMIENTO DEL BRAZO DEL ROBOT HACIA EL FANTOMA DE CABEZA Y CUERPO 187
FIGURA 3.180 REFERENCIA AUTOMÁTICA 188
FIGURA 3.181 CONFIRMAR LA SELECCIÓN DE ACUERDO AL FANTOMA DE CABEZA O CUERPO 188
FIGURA 3.182 POSICIONAMIENTO DE LA SONDA EN EL CENTRO DEL FANTOMA DE CABEZA 188
FIGURA 3.183 POSICIONAMIENTO DE LA SONDA EN EL CENTRO DEL FANTOMA DE CUERPO 189
FIGURA 3.184 ANALIZADOR DE REDES DEL LABORATORIO DE LA ARCOTEL 189
FIGURA 3.185 *KIT* DE CALIBRACIÓN 85052D 189
FIGURA 3.186 TERMINACIONES CIRCUITO ABIERTO, CORTOCIRCUITO Y CARGA 190
FIGURA 3.187 CONEXIÓN DEL CABLE DE RF CON EL ANALIZADOR DE REDES 190
FIGURA 3.188 BOTONES PARA CONFIGURAR EL RANGO DE FRECUENCIA 190
FIGURA 3.189 CONFIGURACIÓN DEL RANGO DE FRECUENCIA PARA CADA CASO 191
FIGURA 3.190 BOTÓN PARA REALIZAR LA CALIBRACIÓN 191
FIGURA 3.191 SELECCIÓN DEL *KIT* DE CALIBRACIÓN 191
FIGURA 3.192 PUERTO 1 DEL ANALIZADOR DE REDES 192
FIGURA 3.193 TERMINACIÓN "*OPEN*" EN EL CABLE DE RF 192
FIGURA 3.194 CALIBRACIÓN EN CIRCUITO ABIERTO 192
FIGURA 3.195 CALIBRACIÓN EN CIRCUITO CERRADO 193
FIGURA 3.196 CALIBRACIÓN CON CARGA 193
FIGURA 3.197 COLOCACIÓN DE LA SONDA PARA LA MEDICIÓN DE LÍQUIDOS 193
FIGURA 3.198 CONFIGURAR LÍQUIDO POR MEDIO DEL *SOFTWARE* 194
FIGURA 3.199 OPCIÓN PARA MEDIR EL LÍQUIDO EN EL *SOFTWARE* 194
FIGURA 3.200 VENTANA DE LA MEDICIÓN DE LA PERMITIVIDAD DEL LÍQUIDO 194
FIGURA 3.201 ESTÁNDAR DE ACUERDO A LA MEDICIÓN EN CABEZA O CUERPO 195
FIGURA 3.202 CONFIGURACIÓN DEL RANGO DE FRECUENCIA EN EL *SOFTWARE* OPENSAR 195
FIGURA 3.203 CONFIGURACIÓN DEL RANGO DE FRECUENCIA EN EL *SOFTWARE* DE ACUERDO A LA FRECUENCIA DE PRUEBA 196
FIGURA 3.204 MEDICIONES EN EL LÍQUIDO DE CUERPO 196
FIGURA 3.205 COLOCACIÓN DEL AGUA DES-IONIZADA 197
FIGURA 3.206 CONFIGURACIÓN DE LA CALIBRACIÓN EN EL *SOFTWARE* 197
FIGURA 3.207 TEMPERATURA DEL AGUA CONFIGURADA EN EL *SOFTWARE* 197
FIGURA 3.208 MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DEL AGUA DES-IONIZADA 198
FIGURA 3.209 MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DEL LÍQUIDO 198

FIGURA 3.210 MEDICIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES DEL LABORATORIO (TEMPERATURA Y HUMEDAD)..... 198
FIGURA 3.211 DESARROLLO DE LA CALIBRACIÓN..... 199
FIGURA 3.212 COLOCAR SONDA EN AIRE..... 199
FIGURA 3.213 SONDA EXPUESTA AL AIRE..... 199
FIGURA 3.214 COLOCAR SONDA EN AGUA..... 200
FIGURA 3.215 SONDA INTRODUCIDA EN AGUA DES-IONIZADA..... 200
FIGURA 3.216 CONFIRMACIÓN DE LA CALIBRACIÓN DE LA SONDA..... 200
FIGURA 3.217 LIMPIEZA DE LA SONDA DEL RESIDUO DE AGUA DES-IONIZADA..... 201
FIGURA 3.218 SONDA INTRODUCIDA EN LÍQUIDO SIMULADOR..... 201
FIGURA 3.219 MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS DIELÉCTRICOS..... 201
FIGURA 3.220 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS DIELÉCTRICOS DEL LÍQUIDO DE CABEZA PARA LA FRECUENCIA DE 850 MHZ..... 202
FIGURA 3.221 IMPORTAR LA MEDICIÓN..... 203
FIGURA 3.222 IMPORTAR LÍQUIDO DE CABEZA Y CUERPO PARA 850 MHZ..... 203
FIGURA 3.223 CONFIRMACIÓN DE LA IMPORTACIÓN DE LÍQUIDO..... 204
FIGURA 3.224 PARÁMETROS DIELÉCTRICOS PARA LA SEÑAL GSM EN 850 MHZ..... 204
FIGURA 3.225 PERILLA DE DESFOGUE DE LÍQUIDO EN EL FANTOMA..... 205
FIGURA 3.226 LÍQUIDO DE CABEZA PARA LA MEDICIÓN EN 1900 MHZ..... 205
FIGURA 3.227 LÍQUIDO DE CUERPO PARA LA MEDICIÓN EN 1900 MHZ..... 206
FIGURA 3.228 COLOCACIÓN DE LA LLAVE PLÁSTICA..... 206
FIGURA 3.229 POSICIÓN PARA VERTER EL LÍQUIDO EN LOS FANTOMAS..... 206
FIGURA 3.230 LLENADO DE LÍQUIDO EN EL FANTOMA..... 207
FIGURA 3.231 PROFUNDIDAD DEL LÍQUIDO SIMULADOR..... 207
FIGURA 3.232 COLOCACIÓN DE RECIPIENTES EN EL ÁREA DE LÍQUIDOS..... 207
FIGURA 3.233 LÍQUIDO EN LOS FANTOMAS DE CABEZA Y CUERPO..... 208
FIGURA 3.234 PUNTO DE MEDICIÓN AL INTERIOR DE LA CÁMARA SEMI-ANECOICA..... 208
FIGURA 3.235 PUNTO DE MEDICIÓN AL EXTERIOR DE LA CÁMARA SEMI-ANECOICA..... 209
FIGURA 3.236 DIPOLOS UTILIZADOS EN LA VALIDACIÓN DEL SISTEMA..... 209
FIGURA 3.237 DIPOLO, TORNILLO Y SOPORTE..... 210
FIGURA 3.238 COLOCACIÓN DEL DIPOLO EN EL SOPORTE PARA LA MEDICIÓN..... 210
FIGURA 3.239 “X” DE POSICIONAMIENTO EN EL FANTOMA..... 210
FIGURA 3.240 SEPARADORES DE ACUERDO A LA FRECUENCIA..... 211
FIGURA 3.241 DISTANCIA ENTRE LOS DIPOLOS Y LOS FANTOMAS DE ACUERDO A LA FRECUENCIA..... 211
FIGURA 3.242 AJUSTE DEL CABLE DE RF..... 212
FIGURA 3.243 POSICIONAMIENTO DE LOS DIPOLOS..... 212
FIGURA 3.244 TIPOS DE MEDICIONES PERMITIDOS POR EL *SOFTWARE*..... 212
FIGURA 3.245 OPCIONES DEL *SOFTWARE* PARA LA MEDICIÓN EN EL FANTOMA..... 213
FIGURA 3.246 OPCIONES DEL *SOFTWARE* PARA LA POSICIÓN DEL DISPOSITIVO..... 213
FIGURA 3.247 TIPO DE SEÑAL GENERADA POR EL *SOFTWARE*..... 213

FIGURA 3.248 BANDA DE ACUERDO A LA FRECUENCIA: 835 MHZ 214
FIGURA 3.249 CANAL DESHABILITADO EN PROCESO DE VALIDACIÓN 214
FIGURA 3.250 LÍQUIDO DE CABEZA O CUERPO 214
FIGURA 3.251 OPCIONES DE MEDICIÓN DEL *AREA SCAN* 215
FIGURA 3.252 MEDICIÓN RÁPIDA 215
FIGURA 3.253 COLOCACIÓN DEL FILTRO DE ACUERDO A LA FRECUENCIA ESTABLECIDA 215
FIGURA 3.254 FILTROS PASA-BANDA PARA LOS RANGOS DE FRECUENCIA DE LAS PRUEBAS 216
FIGURA 3.255 MENÚ "*TOOLS*" DEL *SOFTWARE* OPENSAR 216
FIGURA 3.256 PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN EN 835 MHZ 217
FIGURA 3.257 RANGO CORRECTO 217
FIGURA 3.258 RESULTADO DE LA CONFIGURACIÓN DEL GENERADOR DE RF EN 835 MHZ 218
FIGURA 3.259 OPCIONES EN EL *SOFTWARE* PARA INICIAR Y TERMINAR CON LA MEDICIÓN 218
FIGURA 3.260 INGRESAR UN COMENTARIO O NOMBRE DE LA ETIQUETA 218
FIGURA 3.261 VALIDACIÓN DEL SISTEMA EN LOS FANTOMAS DE CABEZA Y CUERPO 219
FIGURA 3.262 RESULTADO DE LA MEDICIÓN DE SAR EN CABEZA Y CUERPO EN 835 MHZ 219
FIGURA 3.263 RESULTADO DE LA MEDICIÓN DE SAR EN CABEZA Y CUERPO EN 1900 MHZ 219
FIGURA 3.264 RESULTADO DE LA MEDICIÓN DE SAR EN CABEZA Y CUERPO EN 2450 MHZ 219
FIGURA 3.265 MENSAJE DE ERROR QUE INDICA UNA VARIACIÓN DE POTENCIA MAYOR AL 5% 221
FIGURA 3.266 BOTÓN "LOCAL" DEL AMPLIFICADOR 221
FIGURA 3.267 AMPLIFICADOR DE RF PRENDIDO Y APAGADO 221
FIGURA 3.268 CONEXIÓN DEL CABLE DE RF CON EL MEDIDOR DE POTENCIA 221
FIGURA 3.269 BOTÓN DE ENCENDIDO / APAGADO Y BOTÓN DE CONFIGURACIÓN DE FRECUENCIA 221
FIGURA 3.270 VALOR DE POTENCIA QUE ALIMENTA INICIALMENTE AL DIPOLO 222
FIGURA 3.271 TECLA PARA INTRODUCIR *OFFSET* 222
FIGURA 3.272 CONTROL DE ATENUACIÓN 222
FIGURA 3.273 TECLADO PARA COMPENSAR LA POTENCIA 223
FIGURA 3.274 UNIDADES DE POTENCIA INTRODUCIDAS EN LA COMPENSACIÓN 223
FIGURA 3.275 VALOR FINAL DE POTENCIA COMPENSADO 223
FIGURA 3.276 COLOCACIÓN DE LA PUNTA EN EL FANTOMA 224
FIGURA 3.277 COLOCACIÓN DE LA PARTE SUPERIOR DEL SOPORTE 224
FIGURA 3.278 PARTE INFERIOR DEL SOPORTE UTILIZADO EN EL LABORATORIO 225
FIGURA 3.279 POSICIONES PARA LA CABEZA 225
FIGURA 3.280 POSICIÓN *RIGHT HEAD CHEEK* 225
FIGURA 3.281 POSICIÓN *LEFT HEAD CHEEK* 226
FIGURA 3.282 POSICIÓN *RIGHT HEAD TILT* 226
FIGURA 3.283 POSICIÓN *LEFT HEAD TILT* 226
FIGURA 3.284 DIMENSIONES DEL CELULAR 227
FIGURA 3.285 POSICIÓN *FRONT* 228
FIGURA 3.286 POSICIÓN *BACK* 228
FIGURA 3.287 POSICIÓN *RIGHT* 228

FIGURA 3.288 POSICIÓN *LEFT* 228
FIGURA 3.289 POSICIÓN *BOTTOM* 229
FIGURA 3.290 POSICIÓN *TOP* 229
FIGURA 3.291 INICIALIZACIÓN DEL SISTEMA 230
FIGURA 3.292 BANDA DE OPERACIÓN GSM 850 MHZ Y 1900 MHZ 231
FIGURA 3.293 OPCIONES DE LOS CANALES EN EL *SOFTWARE* 232
FIGURA 3.294 USUARIO DEFINIDO 232
FIGURA 3.295 OPTIMIZAR Y SELECCIONAR EL *PATH* PARA LA PRUEBA EN LA POSICIÓN DE CABEZA 232
FIGURA 3.296 *PATH* OPTIMIZADO EN EL FANTOMA DE CABEZA 233
FIGURA 3.297 *PATH* OPTIMIZADO EN EL FANTOMA DE CUERPO 233
FIGURA 3.298 PASOS DE *ZOOM SCAN* 234
FIGURA 3.299 CONFIRMACIÓN DE LA SONDA PARA INICIAR LA MEDICIÓN DE SAR 234
FIGURA 3.300 MEDICIÓN DE SAR EN EL FANTOMA DE CABEZA Y CUERPO 235
FIGURA 3.301 VARIACIÓN DE POTENCIA MENOR AL 5% 235
FIGURA 3.302 MEDICIONES A INCLUIR EN EL REPORTE 235
FIGURA 3.303 NOMBRE DEL REPORTE 236
FIGURA 3.304 PARÁMETROS PARA DEFINIR LA BANDA GPRS 850 MHZ 236
FIGURA 3.305 PARÁMETROS PARA DEFINIR LA BANDA GPRS 1900 MHZ 237
FIGURA 3.306 CARPETA OPENSAR_V4 EN LA COMPUTADORA 237
FIGURA 3.307 CARPETA DE LA SONDA UTILIZADA EN LA MEDICIÓN 237
FIGURA 3.308 ARCHIVOS CREADOS PARA LAS BANDAS GPRS 850 MHZ Y 1900 MHZ 238
FIGURA 3.309 MENÚ "*BTS_TEST_SET_CONTROL*" DEL *SOFTWARE* OPENSAR 239
FIGURA 3.310 EMULADOR DE RED EN ESTADO "*FAIL*" 239
FIGURA 3.311 INICIALIZAR EL EMULADOR DE RED POR *SOFTWARE* 239
FIGURA 3.312 EMULADOR DE RED GSM 850 MHZ 240
FIGURA 3.313 REPRESENTACIÓN DEL TELÉFONO EN EL FANTOMA DE CABEZA 240
FIGURA 3.314 POSICIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO 241
FIGURA 3.315 NOMBRE DEL DISPOSITIVO 241
FIGURA 3.316 TIPO DE *SCAN*: *VOLUMETRIC SCAN* 242
FIGURA 3.317 MEDICIÓN *VOLUMETRIC SCAN* 242
FIGURA 3.318 VENTANA DEL *VOLUMETRIC SCAN* 242
FIGURA 3.319 VISTA DEL TELÉFONO EN VISTA 2D 243
FIGURA 3.320 *SWITCH PATH UPDATE AUTO* 243
FIGURA 3.321 OPCIONES DE LA VENTANA DE *VOLUMETRIC SCAN* 244
FIGURA 3.322 OPCIÓN SELECCIONAR *PATH*. 244
FIGURA 3.323 INTERFAZ DEL *VOLUMETRIC SCAN* 244
FIGURA 3.324 ACCESO DIRECTO AL SAR *POST PROCESSING* 244
FIGURA 3.325 PANEL PARA EL CÁLCULO DE SAR EN UNA MEDICIÓN DE *VOLUMETRIC SCAN* 245
FIGURA 3.326 *SWITCH* ENTRE SAR COMBINADO Y SAR NORMAL 245
FIGURA 3.327 *SOFTWARE* PARA LA ADMINISTRACIÓN DEL *ROUTER* 246

FIGURA 3.328 RED "PRUEBA" CONFIGURADA DE ACUERDO A LOS PARÁMETROS NECESARIOS 246
FIGURA 3.329 PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DEL *ROUTER* UTILIZADO 247
FIGURA 3.330 *ACCESS POINT* UTILIZADO EN LA MEDICIÓN DE SAR 247
FIGURA 3.331 COLOCACIÓN DE LA MANGUERA EN EL FANTOMA..... 248
FIGURA 3.332 EVACUACIÓN DEL LÍQUIDO DE LOS FANTOMAS DE CABEZA Y CUERPO 248
FIGURA 3.333 USO DE LA ESPÁTULA PARA REMOVER EL LÍQUIDO 248
FIGURA 3.334 ENJUAGUE DEL FANTOMA DE CABEZA Y CUERPO..... 249
FIGURA 3.335 LLAVE ABIERTA PARA DESFOGUE DE AGUA 249
FIGURA 3.336 EVACUACIÓN DEL AGUA DE LOS FANTOMAS DE CABEZA Y CUERPO..... 250
FIGURA 3.337 DESECHO DEL AGUA EN EL CUARTO DE LÍQUIDOS..... 250
FIGURA 3.338 SECADO DE LOS FANTOMAS DE CABEZA Y CUERPO 250
FIGURA 3.339 SISTEMA DE MEDICIÓN ALSAS-10U..... 253
FIGURA 3.340 ROBOT ARTICULADO DE SEIS EJES 254
FIGURA 3.341 POSICIONADOR UNIVERSAL DE DISPOSITIVOS UTILIZADO POR BACL..... 255
FIGURA 3.342 FANTOMA SAM UTILIZADO EN EL LABORATORIO BACL..... 256
FIGURA 3.343 FANTOMA UNIVERSAL UTILIZADO EN EL LABORATORIO BACL 256

RESUMEN

En este proyecto se presenta un estudio de la tasa de absorción específica en un terminal, para servicio móvil avanzado, que trabaja con tecnologías 2G y 3G. Se establece una comparación entre los resultados de un reporte dado por un laboratorio acreditado por la Comisión Federal de Comunicaciones de USA para dicho dispositivo y los obtenidos de las pruebas con el equipamiento disponible en el Laboratorio de Certificación de Equipos de la ARCOTEL. El objetivo es determinar el cumplimiento de los límites que establece la norma americana, evitando de esta forma afectar la salud de las personas que utilizan este tipo de dispositivos.

El presente proyecto se encuentra dividido en cuatro capítulos:

En el capítulo 1 se indica la importancia del proyecto, objetivos, definición formal de SAR; además se realiza una revisión de las directrices dadas por la Comisión Federal de Comunicaciones para la exposición de seres humanos a campos de radiofrecuencia incluyendo especificaciones importantes y límites de exposición.

En el capítulo 2 se revisa la incertidumbre de la medición de SAR, se definen los términos más relevantes dentro de esta temática, se indica la importancia de la trazabilidad en los laboratorios y se menciona la política de trazabilidad del Organismo de Acreditación Ecuatoriano.

En el capítulo 3 se presentan los resultados de las pruebas de medición de SAR al terminal celular en las bandas operativas del país, incluyendo la inicialización del sistema, el procedimiento para dichas mediciones, medición de líquidos y la descripción del equipamiento utilizado tanto por el Laboratorio BACL acreditado por la Comisión Federal de Comunicaciones como por el Laboratorio de la ARCOTEL.

En el capítulo 4 se mencionan las conclusiones y recomendaciones del proyecto realizado.

Finalmente en los Anexos se incluyen el reporte de la medición de SAR emitido por el Laboratorio de la ARCOTEL, así como el reporte de la comparación de los resultados de los dos laboratorios.

PRESENTACIÓN

Debido a la masiva comercialización y fácil acceso al uso de equipos celulares, *smartphones*, *tablets*, etc. surge la necesidad de medir la cantidad de radiación que éstos emiten cuando se encuentran funcionando cerca al cuerpo humano y cómo esto puede afectar en la salud de las personas, lo cual permitiría tomar ciertas precauciones en lo que respecta al uso de estos equipos.

Organizaciones internacionales como la organización no gubernamental ICNIRP (*International Commission o Non- Ionizing Radiation Protection*) reconocido por la Organización Mundial de la Salud en el campo de protección de radiación no ionizante (NIR)[1], *Federal Communications Commision* y otros entes normativos han establecido directrices sobre límites de exposición para proteger a las personas de exposición NIR perjudicial.

Es deber de las autoridades que les compete este campo constatar que el SAR, parámetro que permite medir la energía de RF absorbida en el tejido humano no sobrepase los límites establecidos por las normas internacionales.

Realizar pruebas de medición de SAR sería un gran aporte para el país, ya que en el Ecuador no existe otro laboratorio implementado con equipamiento especializado y encargado de esta labor, la cual sería muy beneficiosa debido a la sensibilidad del tema.

[1] NIR (*Non Ionizing Radiation*), es la que tiene energía suficiente para mover átomos en una molécula o hacer que vibren, pero no la suficiente para quitar electrones. Ejemplos de este tipo de radiación son ondas sonoras, ondas de radio, luz visible y hornos microondas.

CAPÍTULO 1
VISIÓN GENERAL

1.1 INTRODUCCIÓN

Según estudios realizados por expertos en la materia, la alta exposición de los seres humanos a campos electromagnéticos puede producir efectos adversos en la salud, uno de ellos es el cáncer. Sin embargo, no se ha demostrado en la actualidad que la exposición a bajas cantidades de energía electromagnética produzca enfermedades que afecten significativamente a la salud; por esa razón es importante conocer los límites adecuados para establecer normas de seguridad que eviten estos efectos negativos en lo referente a la exposición de las personas a este tipo de campos.

Organismos internacionales especializados, así como autoridades de cada nación son los encargados de participar activamente en el desarrollo y cumplimiento de la normativa para regular este tema. Países como Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Costa Rica, Ecuador, Colombia, Perú, México y Venezuela actualmente cuentan con leyes y normas específicas basadas principalmente en recomendaciones internacionales [1].

Es importante tener en cuenta lo que refiere la norma, en la cual principalmente se incluyen los valores máximos de exposición aceptados, los lugares donde se permiten este tipo de radiaciones bajo condiciones apropiadas y los procedimientos que se deben utilizar para que los valores obtenidos de SAR[2] sean confiables y comparables con los valores expuestos en la norma.

Son algunas las normas internacionales que han establecido un límite para la exposición a campos de radiofrecuencia (RF); entre las más representativas se tienen: el estándar americano y el estándar europeo. Cada país adopta una norma

[2] SAR, Tasa de Absorción Específica, definido como "energía electromagnética absorbida por una masa contenida en un determinado volumen de una determinada densidad, en un período de tiempo medio" [2].

y se sujeta a un conjunto de especificaciones y consideraciones que cita dicha norma.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar y comparar las mediciones de SAR en un terminal celular 3G, realizadas en el Laboratorio de Certificación de Equipos de la ARCOTEL[3], con las obtenidas de un reporte de un laboratorio acreditado y reconocido por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC).

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer la normativa americana que rige la medición de la tasa de absorción específica SAR.
- Analizar un reporte de un laboratorio acreditado por la FCC para establecer condiciones realizables de pruebas de SAR, de acuerdo con la capacidad del equipamiento del laboratorio de la ARCOTEL.
- Realizar pruebas de SAR a un terminal celular marca YEZZ y modelo A3.5 en las bandas operativas en el país de 850 y 1900 MHz para las tecnologías 2G y 3G, así como para estándar IEEE 802.11 con los equipos existentes en el laboratorio de la ARCOTEL y comparar con los resultados obtenidos con los del reporte de la FCC.
- Verificar que el SAR medido del terminal celular, no exceda los niveles de exposición máxima que establece el estándar americano, para considerar su validación en el país.
- Realizar un reporte estandarizado que incluya los resultados obtenidos en las mediciones de SAR, revisando la incertidumbre de la medición y la

[3] ARCOTEL, Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, ejerce las funciones de regulación, control y administración atribuidas al Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL) y Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL) en la ley de comercio electrónico, firmas electrónicas y mensajes de datos, su Reglamento General y demás normativa: conforme a la disposición final cuarta de la ley Orgánica de Telecomunicaciones del Registro Oficial N° 439.

importancia de la trazabilidad en laboratorios para ser remitido al solicitante de la validación.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La ARCOTEL es el ente encargado de la regulación, control y administración de las telecomunicaciones en el país, tiene implementado un laboratorio que busca ser acreditado y reconocido nacional e internacionalmente para la certificación de equipos de telecomunicaciones.

El laboratorio consta de dos fases: La fase I contiene equipamiento para la realización de pruebas de radiofrecuencia y conectividad en equipos terminales de telecomunicaciones de diferente clase como: teléfonos móviles celulares, módems celulares, terminales de radio de sistemas troncalizados, terminales de radio de sistemas comunales de explotación, terminales que utilizan modulación digital de banda ancha, terminales para servicio satelital, y otros; con el fin de obtener su respectiva homologación[4]. Este procedimiento permitirá garantizar que un equipo opere en una red de telecomunicaciones específica y así evitar la interferencia entre servicios de telecomunicaciones. La fase II cuenta con los equipos necesarios para la medición de emisiones no ionizantes sobre el cuerpo humano, conformado principalmente por el robot “KUKA” y el *software* OPENSAR que permite controlar parámetros técnicos para la medición de la tasa de absorción específica en cabeza y cuerpo.

En la actualidad el laboratorio no realiza pruebas formales de SAR; sin embargo, se está desarrollando un procedimiento para la realización de estas mediciones, por lo que surge la necesidad de constatar que los resultados obtenidos sean válidos y comparables a los resultados obtenidos en un laboratorio acreditado que cuente con experiencia en este campo. Además, la realización de este tipo de pruebas será un gran aporte para el país ya que en Ecuador no existe otro laboratorio implementado con este tipo de equipos y dedicado a esta tarea.

[4] Homologación, "Es el proceso por el que un equipo terminal de telecomunicaciones de una clase, marca y modelo es sometido a verificación técnica para determinar si es adecuado para operar en una red de telecomunicaciones específica" [3].

Es necesario comprobar el cumplimiento de la normativa, la cual establece los límites máximos de exposición a energía RF que los dispositivos móviles producen para no afectar la salud de las personas y de esta manera garantizar una adecuada calidad de vida.

La definición de trazabilidad es importante ya que garantiza que los resultados obtenidos sean fácilmente comparables y reproducibles independientemente del lugar en que se efectúe la medición. Cada laboratorio debe ser capaz de demostrar que sus resultados están relacionados con un patrón superior por motivos de confiabilidad y calidad en las mediciones realizadas.

1.4 DEFINICIÓN DE SAR (*SPECIFIC ABSORPTION RATE*)

Es la derivada temporal de la energía incremental ***(dW)*** absorbida por una masa incremental ***(dm)*** contenida en un elemento de volumen ***(dv)*** de una determinada densidad ***(ρ)*** como se indica en la ecuación Ec.[1.1] [4]. El SAR se expresa en W/Kg.

$$SAR = \frac{d}{dt}\left(\frac{dW}{dm}\right) = \frac{d}{dt}\left(\frac{dW}{\rho dv}\right) \qquad \text{Ec. [1.1]}$$

El SAR se relaciona con el campo eléctrico en el tejido como se observa en la ecuación Ec.[1.2].

$$SAR = \frac{|E|^2\,\sigma}{\rho} \qquad \text{Ec. [1.2]}$$

Donde:

|E|= Magnitud RMS del campo eléctrico medido o calculado (V/m).

σ = Conductividad del tejido (S/m).

ρ = Densidad de masa del medio equivalente del tejido (Kg/m^3).

También se puede relacionar con la subida de la temperatura en el tejido como se indica en la ecuación Ec.[1.3].

$$SAR = \frac{c\,\Delta T}{\Delta t}\Big|_{t=0} \qquad \text{Ec. [1.3]}$$

Donde:

c= Calor específico del tejido (J/Kg °C).

ΔT = Cambio de la temperatura (°C).

Δt= Duración de la exposición (s).

1.5 DIRECTRICES DADAS POR LA FCC PARA LA EXPOSICIÓN HUMANA A LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE RADIOFRECUENCIA [5]

1.5.1 SECCIÓN 1: REGLAS DE LA FCC PARA EL CUMPLIMIENTO DE RADIOFRECUENCIA EN EQUIPOS MÓVILES Y PORTÁTILES

1.5.1.1 Equipos móviles

Se considera a aquellos equipos que son utilizados para transmisión de forma no fija a una distancia de 20 cm o más entre la antena y el cuerpo de la persona o personas cercanas.

Estos dispositivos son normalmente evaluados de acuerdo a los límites de MPE (*Maximum Permissible Exposure*) indicados en el Apéndice A de este capítulo (numeral 1.5.4); también se pueden evaluar con respecto a los límites de SAR.

1.5.1.2 Equipos portátiles

Se define como un dispositivo de transmisión diseñado para ser utilizado de modo que la estructura radiante del dispositivo esté en contacto directo con el cuerpo del usuario o a una distancia menor que 20 cm del cuerpo del usuario.

Los dispositivos portátiles se evalúan con respecto a los límites de SAR para exposición a radiofrecuencia. El límite de SAR aplicable a los transmisores portátiles utilizados por los consumidores es de 1.6 W/Kg el cual es promediado sobre 1 g de tejido.

Los límites que se utilizan para la evaluación general de SAR, se fundamentan en los criterios publicados por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) en el estándar IEEE “Niveles seguros con respecto a la exposición humana a campos electromagnéticos de radiofrecuencia entre 3 KHz y 300 GHz" [6]; estos criterios son similares a los recomendados por el Consejo Nacional de Protección y Medidas Radiológicas (NCRP) de los EEUU.

1.5.1.3 Límites de exposición a las radiaciones no ionizantes

Los límites están dados para personas expuestas en su profesión y para el público en general, excluyendo a médicos y pacientes que usan radiofrecuencia para detección y tratamiento de ciertas enfermedades.

1.5.1.3.1 Exposición ocupacional controlada

Los límites de exposición ocupacional controlada son aplicables a situaciones en las cuales las personas están expuestas a radiofrecuencia a causa de su empleo, es decir, están conscientes del potencial de exposición y pueden ejercer control sobre éste.

Esta categoría también es aplicable cuando la exposición es de carácter transitorio, debido al paso accidental por un lugar en el que los niveles de exposición pueden ser más altos que los correspondientes al de la población en general. Los límites de exposición se aplican de acuerdo con la frecuencia de exposición y estos límites equivalen aproximadamente a la densidad de potencia. Debido a que ya que algunas magnitudes son difíciles de medir, la mayoría de los documentos indican niveles de campo eléctrico, magnético o densidad de potencia.

1.5.1.3.2 Exposición poblacional no controlada

Este tipo de exposición es aplicable a situaciones en las que el público en general puede estar expuesto a radiofrecuencia y no está consciente de aquello, por lo tanto, no puede ejercer control sobre la exposición a la que está sujeto. Cuando se dice público en general se hace referencia a la exposición que no está relacionada con el trabajo, por ejemplo el uso de teléfonos celulares.

1.5.2 SECCIÓN 2: DIRECTRICES PARA LA EVALUACIÓN DE DISPOSITIVOS MÓVILES Y PORTÁTILES

1.5.2.1 Determinación de dispositivos y categorías de exposición

Se debe determinar si un dispositivo está considerado dentro de la categoría de "móvil" o de "portátil", y si la exposición es ocupacional controlada o poblacional no controlada. Estas consideraciones son las que determinan si un dispositivo es evaluado con respecto a la intensidad de campo, la densidad de potencia o los

límites de SAR, y qué conjunto de condiciones de exposición y límites deben ser utilizados para su cumplimiento.

1.5.2.2 Evaluación de MPE en equipos móviles

La exposición a emisiones de radiofrecuencia de los dispositivos móviles puede ser evaluada conforme a los límites de MPE adoptados por la FCC para campo eléctrico y magnético o densidad de potencia, según el caso, ya que se asume que las exposiciones ocurren a una distancia de 20 cm o más entre la antena y los usuarios.

La norma ANSI / IEEE especifica como mínimo una distancia de separación de 20 cm para la realización de mediciones fiables, las cuales determinan si éstas cumplen con los límites de MPE. Si la distancia mínima de separación entre un transmisor y personas cercanas es mayor que 20 cm bajo condiciones de operación normal, los límites de MPE también pueden ser determinados a dicha distancia del transmisor [7].

Los límites de intensidad de campo y densidad de potencia adoptados por la FCC están fundamentados en el promedio de la exposición en todo el cuerpo, esto significa que si alguno de estos valores de exposición local excede los límites no necesariamente implica incumplimiento.

Las mediciones de intensidad de campo y densidad de potencia se hacen típicamente en todas las direcciones alrededor de las estructuras radiantes del dispositivo móvil en funcionamiento normal, sin la influencia de personas cercanas u objetos. Las mediciones son espacialmente promediadas sobre las partes expuestas del cuerpo de una persona tipo para determinar su cumplimiento.

1.5.2.3 Evaluación de SAR en dispositivos portátiles o móviles

La exposición humana a emisiones de radiofrecuencia de dispositivos portátiles se evalúa con respecto a los límites adoptados de SAR. Los equipos móviles también pueden evaluarse con estos límites de SAR, pero es más simple valorar la intensidad de campo o densidad de potencia.

1.5.2.3.1 Técnicas de evaluación de SAR

Los transmisores portátiles funcionan típicamente en un rango de potencia de salida entre 100 mW y varios vatios, con modulación analógica o digital. Para la mayoría de teléfonos, la antena irradia a 1-2 cm de la cabeza o cuerpo del usuario. Incluso en los niveles de baja potencia, se esperan campos relativamente altos cerca de la antena.

La intensidad de campo y su distribución dependen altamente de la ubicación, orientación y características electromagnéticas de los objetos adyacentes tales como el cuerpo del usuario. El usuario de un teléfono móvil está en la región de campo cercano[5] de la antena, donde el campo electromagnético es en su mayoría no propagado.

El cumplimiento de SAR para transmisores de baja potencia se evalúa mediante la medición del campo eléctrico dentro de un tejido homogéneo o utilizando técnicas de modelado en el computador. Cualquiera sea el caso, el SAR se determina de acuerdo a la ecuación Ec. [1.2]. Sin embargo, para utilizar técnicas de temperatura se requiere usar alta potencia a fin de exponer el tejido a través de una muy corta duración para evitar errores de difusión térmica. Por lo tanto, los métodos de temperatura normalmente no son aplicables para la evaluación de SAR en transmisores de baja potencia.

1.5.2.3.2 Posiciones de prueba para handsets y otros transmisores

Debido a los efectos de acoplamiento del campo cercano, pequeños cambios en el posicionamiento de un dispositivo de prueba puede dar lugar a cambios inesperados en la absorción de energía en el tejido. Para abordar esta cuestión se han desarrollado posiciones de ensayo específico para los dispositivos de prueba. Estas posiciones de prueba se describen en el Apéndice D de este capítulo (numeral 1.5.7).

[5] Campo cercano, área menor a 10 λ. La señal se comporta como campos independientes de cada elemento de la antena, con su directividad individual.

Los teléfonos deben probarse en el lado izquierdo y derecho en un fantoma[6] de cabeza, con diversas configuraciones de prueba para obtener una estimación de la exposición.

El Comité Coordinador de Estándares IEEE SCC-34/SC-2 (*Standards Coordinating Committee*) recomienda un modelo específico de fantoma para la medición de SAR en cabeza.

El efecto de una mano que sostiene un teléfono también ha sido un problema para la obtención de mediciones precisas de SAR. No existe un modelo normalizado de mano por lo que los teléfonos deben ser probados en un soporte dieléctrico de bajas pérdidas para minimizar la incertidumbre de medición respecto al posicionamiento del dispositivo.

El cumplimiento de SAR para dispositivos que son diseñados para operar cerca de algunas partes del cuerpo tales como el hombro, la cintura o el pecho, debe usar un fantoma plano siguiendo los procedimientos descritos en el Apéndice D.

1.5.2.3.3 Modelos de tejidos

Las propiedades dieléctricas del tejido utilizado para la medición de SAR se especifican en el Apéndice C de este capítulo (numeral 1.5.6). La característica de absorción de energía de RF en el cuerpo está relacionado con la cantidad de agua. Los músculos y piel contienen altas cantidades de agua por lo que pueden absorber mayor energía de radiofrecuencia que aquellos tejidos con menor cantidad de agua como la grasa, los huesos y el cráneo.

En RF y microondas las propiedades del tejido están caracterizadas por su permitividad y conductividad a temperatura normal del cuerpo, es decir 37°C. Los parámetros dieléctricos son sensibles a los cambios de temperatura. En tejidos con alto contenido de agua, la permitividad puede disminuir en un 0.5% por °C y la conductividad puede incrementar en un 2% por °C.

[6] Fantoma, es un maniquí que simula la cabeza o cuerpo de una persona tipo que se utiliza en la medición de SAR; se ha demostrado que una cabeza más grande está expuesta a un mayor SAR.

Hay algunas fórmulas para simular tejidos con alto contenido de agua. Un gel opaco que contiene agua, sal, polvo de polietileno y un agente gelificante llamado TX-151 se utiliza para mediciones de SAR de alta potencia. Un líquido mezclado con agua, azúcar, sal, HEC[7] se utiliza para medir el SAR en transmisores de baja potencia. Entre 1.2 y 1.5 GHz el azúcar se reemplaza con glicol u otros agentes químicos para lograr los parámetros dieléctricos especificados en el Apéndice C. El glicol puede reaccionar con el plástico por lo que se debe utilizar con precaución.

El líquido que simula el tejido es transparente y homogéneo lo cual facilita las mediciones de SAR; este líquido está contenido en un fantoma que simula la cabeza y el cuerpo, típicamente moldeado de fibra de vidrio o de otros materiales plásticos que tienen baja absorción de RF. La constante dieléctrica medida y la conductividad del líquido deben estar dentro de la tolerancia que especifica el Apéndice C.

Cuando hay cambios o condiciones de altas tasas de temperatura que provocan evaporación, los parámetros dieléctricos del líquido que simula el tejido deben ser medidos todos los días.

Hay varias técnicas para caracterizar los parámetros dieléctricos del tejido, por ejemplo, se puede utilizar una sonda coaxial, una línea ranurada o línea TEM[8] junto con un analizador de red para medir los parámetros de reflexión del material del tejido.

1.5.2.4 Descripción y requerimientos del sistema para la medición de SAR

Un sistema para medición de SAR (Véase Figura 1.1) normalmente contiene una sonda isotrópica de campo eléctrico de diámetro pequeño, un sistema de posicionamiento de sonda de eje múltiple, un sujetador del dispositivo bajo prueba, fantomas, instrumentación para la sonda isotrópica, una computadora y otros elementos electrónicos para controlar la sonda y realizar las mediciones.

---

[7] HEC, *Hydroxyethyl Cellulose*, es un compuesto utilizado para ajustar la viscosidad del líquido [5].

[8] TEM, Modo Transversal Electromagnético, se caracteriza porque tanto el campo eléctrico como el campo magnético son perpendiculares a la dirección en que se propaga la energía, por lo que no existe componente en dirección axial [8].

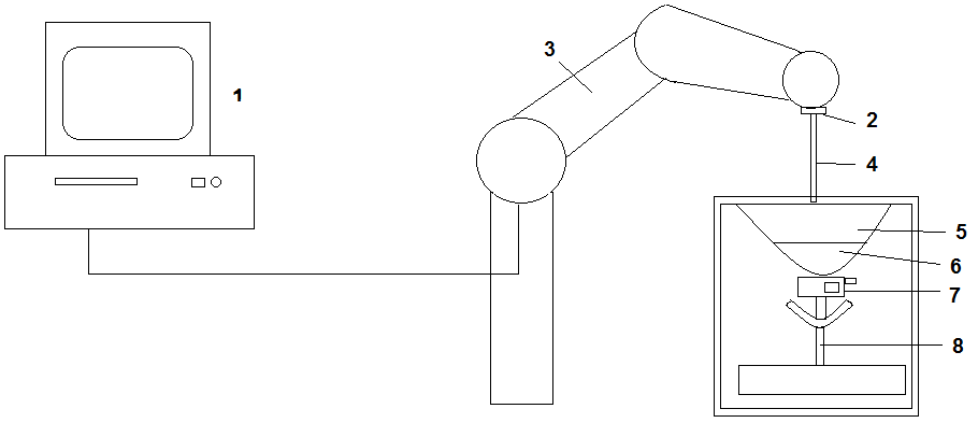


Figura 1.1 Representación de un sistema de medición de SAR (1) computadora, (2) *stress sensor*, (3) robot, (4) sonda isotrópica, (5) fantoma, (6) líquido que simula el tejido, (7) terminal de prueba, (8) sistema de posicionamiento [2]

Otros equipos de apoyo como analizador de redes, medidor de potencia y generadores de señal de radiofrecuencia, son necesarios para medir los parámetros dieléctricos y para verificar la exactitud de la medición de SAR.

Para realizar las mediciones de SAR se usan varios tipos de sondas de campo eléctrico. Las sondas están en el orden de 25 - 30 cm de largo. Se recomienda que el diámetro de la punta de la sonda sea menor a 8.0 mm para lograr una resolución espacial aceptable en la medición.

Estas sondas son construidas con tres dipolos miniatura, típicamente de 1.5 a 2.5 mm de largo, cargado con un diodo sensor para medir la intensidad del campo eléctrico en direcciones ortogonales. La señal de RF detectada es filtrada por líneas de alta resistencia dando como resultado una señal de muy baja frecuencia. Las señales se compensan con amplificadores y se pasan por convertidores A/D para ser procesadas por el *software* y así obtener los valores de SAR.

En la mayoría de sistemas de medición de SAR, las sondas de campo eléctrico e instrumentación asociada usualmente se calibran juntas en el tipo de tejido formulado para la frecuencia de prueba. Algunas sondas son calibradas en dos etapas, en aire y luego en el líquido que simula el tejido. Por debajo de 800 MHz las sondas utilizan técnicas térmicas, en altas frecuencias se pueden utilizar guías de onda con líquido.

Además de la calibración[9] de la sonda, se debe verificar la precisión del sistema de medición de SAR mediante la fuente de señal de RF la cual debe estar calibrada en la banda de transmisión del dispositivo de prueba.

Si los valores de SAR medidos sobre 1 g se desvían más del 10% del valor especificado por la fuente de RF, las discrepancias deben ser resueltas antes de continuar con la medición de SAR.

1.5.2.5 Condiciones del dispositivo bajo prueba

Para demostrar el cumplimiento de SAR, las baterías de los dispositivos que van a ser sujetos de prueba deben estar completamente cargadas. Dependiendo de la resolución de la medición y los procedimientos de exploración utilizados, cada medición puede durar entre 10 y 20 minutos por lo cual es importante comenzar cada prueba con el dispositivo completamente cargado. Se debe evitar el uso de adaptadores externos ya que podría perturbar el campo y cambiar las condiciones de exposición.

El rendimiento de un terminal inalámbrico puede variar dentro de una banda de transmisión debido a su diseño. En algunos casos puede cambiar debido a la carga dieléctrica del cuerpo del usuario, por ejemplo cuando se utilizan antenas de parche o helicoidales.

1.5.2.6 Procedimientos para medición de SAR

En el Apéndice D se encuentran descritos los procedimientos detallados para la realización de pruebas a los dispositivos inalámbricos.

1.5.2.7 Directrices y descripciones del cálculo de SAR

Las configuraciones para la medición de SAR, el posicionamiento del dispositivo, las condiciones de prueba y modelo del líquido que simula el tejido de cabeza y cuerpo deben evaluarse con métodos computacionales.

---

[9] Calibración, "operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación" [11].

1.5.2.8 Incertidumbre de medición

Aunque las técnicas de medición de SAR han mejorado en los últimos años, aún no se han establecido procedimientos estandarizados, por lo cual el margen de error está relacionado con los avances técnicos de la medición de SAR.

1.5.3 SECCIÓN 3: CUMPLIMIENTO DE EXPOSICIÓN DE RF PARA TRANSMISORES DE ESPECTRO ENSANCHADO

Los transmisores de espectro ensanchado deben operar de una manera que se asegure que el público no esté expuesto a niveles de RF por encima de las directrices de la FCC.

Se excluyen a los de evaluación de rutina debido a que funcionan a niveles relativamente bajos de energía y donde hay alta probabilidad de cumplimiento de las normas de exposición de RF.

Para garantizar el cumplimiento de las normas de exposición de RF en dispositivos de baja potencia y evitar que las personas se expongan por encima de los límites de MPE aplicables, se pueden utilizar instrucciones de instalación u operación, instrucciones de advertencia o etiquetas.

Se puede solicitar una evaluación de RF si el transmisor está diseñado para funcionar junto al cuerpo de un usuario o en las proximidades de las personas a una potencia mayor o igual a 0.5 vatios con un factor de trabajo[10] alto.

1.5.4 APÉNDICE A: CRITERIOS DE EXPOSICIÓN DE LA FCC

En la Tabla 1.1 se indican los límites dados por la FCC para MPE en exposición ocupacional controlada, mientras que en la Tabla 1.2 se indican los límites para la exposición poblacional no controlada.

En la Tabla 1.3 se indican los límites de SAR dados por la FCC para exposición ocupacional controlada, mientras que en la Tabla 1.4 se definen los límites de SAR para exposición poblacional no controlada.

---

[10] Factor de trabajo (*duty cycle*), es una medida de la fracción de tiempo en la que el dispositivo está funcionando [5].

Rango de Frecuencia (MHz)	Intensidad de Campo Eléctrico (E) (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (H) (A/m)	Densidad de Potencia (S) (mW/cm^2)	Tiempo de Exposición $\|E\|^2, \|H\|^2$ ó S $(minutos)$
0.3 - 3.0	614	1.63	(100)*	6
3.0 – 30	$1842/f$	$4.89/f$	$(900/f^2)$*	6
30 – 300	61.4	0.163	1.0	6
300 – 1500	--	--	$f/300$	6
1500 – 100,000	--	--	5	6

Tabla 1.1 Límites MPE para exposición ocupacional controlada (*Densidad de Potencia Equivalente de Onda Plana), donde *f* es la frecuencia en MHz

Rango de Frecuencia (MHz)	Intensidad de Campo Eléctrico (E) (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (H) (A/m)	Densidad de Potencia (S) (mW/cm^2)	Tiempo de Exposición $\|E\|^2, \|H\|^2$ ó S $(minutos)$
0.3 - 3.0	614	1.63	(100)*	30
3.0 – 30	$842/f$	$2.19/f$	$(180/f^2)$*	30
30 – 300	27.5	0.073	0.2	30
300 – 1500	--	--	$f/1500$	30
1500 – 100,000	--	--	1.0	30

Tabla 1.2 Límites MPE para exposición poblacional no controlada (*Densidad de Potencia Equivalente de Onda Plana), donde *f* es la frecuencia en MHz

Cuerpo entero	Partes del cuerpo	Manos, muñecas, pies y tobillos
0.4 W/Kg	8.0 W/Kg	20.0 W/Kg

Tabla 1.3 Límites SAR para exposición ocupacional controlada

Cuerpo entero	Partes del cuerpo	Manos, muñecas, pies y tobillos
0.08 W/Kg	1.6 W/Kg	4.0 W/Kg

Tabla 1.4 Límites SAR para exposición poblacional no controlada

El SAR en cuerpo entero se promedia sobre todo el cuerpo; el SAR en partes del cuerpo se promedia sobre 1 g de tejido; y, el SAR en manos, muñecas, pies y tobillos se promedia sobre 10 g de tejido con un volumen en forma de cubo.

Por encima de 6.0 GHz los límites de SAR no son aplicables y los límites de MPE para densidad de potencia se deben aplicar a distancias mayores o iguales a 5 cm del dispositivo transmisor.

1.5.5 APÉNDICE B: INFORMACIÓN PARA DOCUMENTACIÓN Y CUMPLIMIENTO DE SAR

La información indicada a continuación debe ser incluida en los reportes de prueba. Esta información es necesaria para evaluar los resultados de la prueba y determinar el cumplimiento de exposición de RF.

- Información del dispositivo de prueba y categorías de exposición
- Información específica para medición de SAR
- Información específica para el cálculo de SAR

1.5.6 APÉNDICE C: PARÁMETROS DIELÉCTRICOS DEL TEJIDO

A ciertas frecuencias no se puede conseguir fácilmente una tolerancia del 5% en los parámetros de líquido que simula el tejido; en tales circunstancias se puede utilizar una tolerancia del 10%.

1.5.6.1 Parámetros dieléctricos de los tejidos para fantomas de cabeza y cuerpo

Los parámetros dieléctricos del tejido que simulan la cabeza y cuerpo, recomendados por el IEEE SCC-34/SC-2, se muestran en la Tabla 1.5. Estos parámetros se derivan de modelos que simulan el SAR más alto esperado para las propiedades dieléctricas y variaciones de espesor del tejido.

Frecuencia (MHz)	Cabeza		Cuerpo	
	ε_r	σ (S/m)	ε_r	σ (S/m)
150	52.3	0.76	61.9	0.80
300	45.3	0.87	58.2	0.92
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
3000	38.5	2.40	52.0	2.73
5800	35.3	5.27	48.2	6.00

Tabla 1.5 Parámetros dieléctricos de cabeza y cuerpo (ε_r = permitividad relativa, σ = conductividad y ρ = 1000 kg/m^3)

En la Tabla 1.6 se indica la composición típica de los líquidos utilizados en los fantomas, entre los cuales se encuentran:

- Azúcar que contiene 98% de sacarosa pura,
- Agua des-ionizada con resistividad mínima de 16 MΩ,
- Sal con 99% de cloruro de sodio puro,
- DGBE: 99+% *Diethylene glycol butyl ether* [2-(2-*butoxyethoxy*) *ethanol*],
- HEC: *Hydroxyethyl Cellulose*,
- Triton X-100 (ultra puro): *Polyethylene glycol mono* [4-(1,1,3,3-*tetramethylbutyl*) *phenyl*] *ether*.

	Frecuencia (MHz)									
	450	450	835	835	915	915	1900	1900	2450	2450
Tipo de tejido	Cabeza	Cuerpo	Cabeza	Cuerpo	Cabeza	Cuerpo	Cabeza	Cuerpo	Cabeza	Cuerpo
Constante Dieléctrica	43.42	58.0	42.54	56.1	42.0	56.8	39.9	54.0	39.8	52.5
Conductividad (S/m)	0.85	0.83	0.91	0.95	1.0	1.07	1.42	1.45	1.88	1.78
Ingredientes (% en peso)										
Agua	38.56	51.16	41.45	52.4	41.05	56.0	54.9	40.4	62.7	73.2
Sal (NaCl)	3.95	1.49	1.45	1.4	1.35	0.76	0.18	0.5	0.5	0.04
Azúcar	56.32	46.78	56.0	45.0	56.5	41.76	0.0	58.0	0.0	0.0
HEC	0.98	0.52	1.0	1.0	1.0	1.21	0.0	1.0	0.0	0.0
Bactericida	0.19	0.05	0.1	0.1	0.1	0.27	0.0	0.1	0.0	0.0
Triton X-100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.8	0.0
DGBE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.92	0.0	0.0	26.7

Tabla 1.6 Composición típica de los líquidos

1.5.7 APÉNDICE D: PROCEDIMIENTOS PARA MEDICIÓN DE SAR

El SAR se evalúa utilizando un líquido que simula el tejido humano el cual está contenido en un fantoma que tiene forma humana, en el que se sumerge una sonda para medir el campo eléctrico dentro de las regiones del tejido expuesto al transmisor, el cual está configurado en funcionamiento normal.

1.5.7.1 Consideraciones para los fantomas

Para la realización de pruebas en terminales celulares, que funcionan junto al oído, se han probado dos tipos de fantomas de cabeza: con y sin un oído externo.

Para simular el oído, que es de un espesor de aproximadamente 2-3 mm y modelar la oreja de una persona comprimida por el auricular de un teléfono inalámbrico, se ha utilizado material dieléctrico de pérdida baja.

El IEEE SCC-34/SC-2 estableció criterios para desarrollar un modelo estandarizado de fantoma de cabeza para la realización de pruebas que permitan verificar el cumplimiento de SAR. Este modelo ha sido derivado de dimensiones tomadas de la cabeza de un hombre promedio del ejército de Estados Unidos.

Para minimizar los errores de posicionamiento del dispositivo de prueba se utiliza un plano de referencia, el cual está definido por tres puntos que consisten de un punto sobre cada oído los cuales se conocen como puntos de referencia del oído y un punto sobre la punta de la boca.

En algunas situaciones se utilizan modelos de cabeza divididos para la realización de pruebas a los equipos en el lado derecho e izquierdo de la cabeza. Se debe utilizar un fantoma plano para la realización de pruebas en el cuerpo y otras regiones relativamente planas como el pecho y el abdomen.

1.5.7.1.1 Características recomendadas para el fantoma de cabeza y cuerpo

La siguiente información es una guía adicional de los requisitos que deben cumplir los modelos de fantomas de cabeza y cuerpo para que sean considerados como aceptables para la evaluación de transmisores portables y *handsets*.

El Comité IEEE SCC-34/SC-2 considera lo siguiente:

- La forma, dimensiones y complejidad del fantoma de cabeza debe ser apropiado para evaluar la exposición de campo cercano en condiciones de funcionamiento normal del dispositivo bajo prueba.
- El fantoma de cabeza debe incluir una porción del cuello; los hombros no son necesarios.
- Para fantomas existentes antes del modelo dispuesto por el SCC-34/SC-2 se debe utilizar un espaciador sin pérdida, el cual proporciona 6.0 mm o menos de separación entre cualquier punto de la superficie del espaciador y el tejido.

- Las mediciones en el cuerpo deben ser probadas en un fantoma plano. El largo y el ancho del fantoma deben ser de al menos el doble del DUT[11] incluyendo su antena.
- El fantoma de cabeza y cuerpo debe ser elaborado de un material dieléctrico de baja pérdida con constante dieléctrica y tangente de pérdida[12] menor que 5.0 y 0.05 respectivamente. El grosor del fantoma para todas las regiones acopladas al equipo bajo prueba y su antena debe estar dentro de 2.0 ± 0.2 mm.

  El fantoma de cabeza y cuerpo debe ser llenado con una profundidad de hasta 15.0 ± 0.5 cm.

1.5.7.1.2 Posiciones de prueba recomendadas para dispositivos inalámbricos

Las posiciones de prueba específicas han sido prescritas por el SCC-34/SC-2 para dispositivos de prueba utilizando el modelo de cabeza recomendado. Para la evaluación de SAR, estas posiciones de prueba deben ser utilizadas en transmisores portables que operan sobre el lado de la cabeza cercana a la oreja de una persona. Para probar teléfonos y equipos PTT (*Push-to-talk*) que se pueden colocar frente a la cara del usuario o transmitir cerca del cuerpo mediante cinturones o accesorios similares se debe utilizar un fantoma plano.

1.5.7.1.3 Dispositivos que funcionan próximos a la oreja de una persona

Esta categoría incluye dispositivos inalámbricos que contienen una antena fija, retráctil o interna localizada en la parte superior del dispositivo que contenga o no una cubierta de teclado. El *handset* o dispositivo debe tener su auricular localizado dentro del 1/4 de la parte superior del mismo.

El dispositivo móvil debe estar en posición de funcionamiento normal, alineado con el punto de referencia del oído (Véase Figura 1.1).

Cuando el dispositivo de prueba está alineado al punto de referencia del oído sobre el fantoma de cabeza y, la línea central vertical está alineada al plano de

[11] DUT (*Device Under Test*), equipo sujeto de prueba.

[12] Tangente de pérdida, la razón $\varepsilon''/\varepsilon'$ se denomina tangente de pérdida, la cual es una medida de la pérdida de potencia en el medio, donde ε'' y ε' son componentes de la permitividad compleja $\varepsilon_c = \varepsilon' - j\varepsilon''$ [81].

referencia del fantoma, toma el nombre de posición de oído inicial. Mientras se mantienen estos alineamientos el dispositivo móvil está gradualmente ajustado a cada una de las siguientes posiciones para la evaluación de SAR:

POSICIÓN *CHEEK/TOUCH*: El dispositivo se lleva hacia la boca del fantoma usando el punto de referencia del oído o a lo largo de la línea N-F, la cual se muestra en la Figura 1.2. Esta posición de prueba se muestra en la Figura 1.3 y se establece de acuerdo con lo siguiente:

- Cuando cualquier punto del *display*, teclado o porción del dispositivo móvil está en contacto con el fantoma.
- Cuando cualquier porción del dispositivo móvil está en contacto con la mejilla o la boca del fantoma.

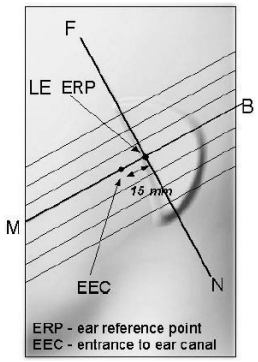


Figura 1.2 Vista cercana del fantoma que indica la región de la oreja [4]

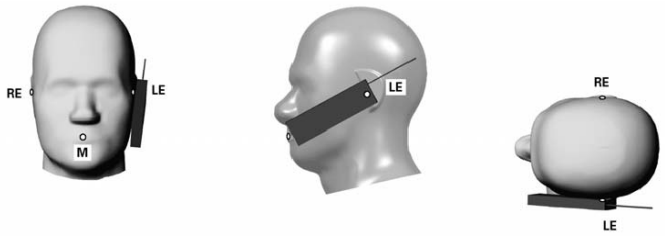


Figura 1.3 Posición *cheek* / *touch* [4]

POSICIÓN *EAR/TILT*: Con el dispositivo móvil alineado en la posición "*Cheek/Touch*", el dispositivo debe inclinarse lejos de la boca 15° con respecto al punto de referencia del dispositivo de prueba. Se puede observar esta posición en la Figura 1.4.

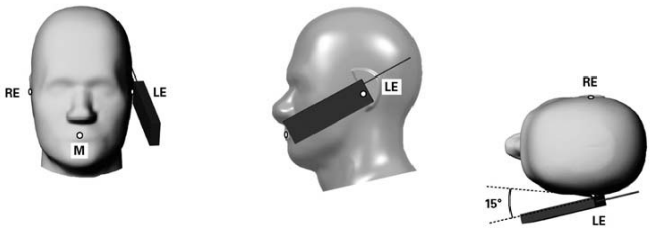


Figura 1.4 Posición *ear* / *tilt* [4]

El dispositivo debe ser probado sobre el lado derecho e izquierdo del fantoma de cabeza en las posiciones "*Cheek/Touch*" y "*Ear/Tilt*" en canales de frecuencia: bajo, medio y alto para cada modo de operación. Cuando sea aplicable, cada configuración debe ser probada con su antena extendida y retraída.

1.5.7.1.4 Posiciones de prueba recomendadas para el cuerpo y otras configuraciones

El funcionamiento de teléfonos cercanos al cuerpo se debe probar con cinturones enganchados al dispositivo y colocados sobre un fantoma plano bajo condiciones normales de funcionamiento. Los dispositivos deben ser probados con el auricular conectado, además se deben considerar los parámetros dieléctricos especificados en el Apéndice C.

Tanto la separación física del cuerpo del usuario como el dado por el accesorio y su material afectan la medición de SAR producido por el dispositivo transmisor. Para determinar los requerimientos para la realización de pruebas, los accesorios entran en dos categorías: aquellos que no contienen componentes metálicos y aquellos que si los contienen.

Es recomendable una distancia de separación de 1.5 cm entre la parte de atrás del dispositivo bajo prueba y el fantoma plano para el cumplimiento de SAR en el cuerpo. Se pueden utilizar otras distancias de separación pero éstas no deben exceder los 2.5 cm.

1.5.7.2 Requerimientos apropiados del tejido dieléctrico

El líquido que simula el tejido debe ser revisado al comienzo de las mediciones de SAR para determinar si los parámetros dieléctricos están dentro de la tolerancia de los valores objetivo especificados.

Los parámetros dieléctricos deben ser verificados diariamente y tan a menudo como las condiciones ambientales lo requieran, por ejemplo cuando la temperatura del líquido cambia más de 2°C de la registrada o bajo condiciones de humedad extremadamente bajas o tasas de evaporación muy altas.

Las mediciones de SAR deben desarrollarse bajo condiciones ambientales normales para los equipos de prueba, típicamente entre 20-26°C y 30-70% de humedad.

La temperatura del líquido que simula el tejido durante la medición de SAR debe estar dentro de ±2°C de la temperatura a la cual el parámetro dieléctrico fue medido.

La permitividad relativa y la conductividad del material del tejido deben estar dentro del 5% de los valores dados en el Apéndice C y 10% cuando no hay recetas precisas para ciertas frecuencias.

1.5.7.3 Características de la sonda de campo eléctrico y calibración

La sonda de campo eléctrico utilizada en las mediciones de SAR debe tener un rango dinámico de 0.01-100 W/Kg para cubrir los niveles de señal y características de modulación utilizadas en la mayoría de dispositivos inalámbricos portables.

En una sonda, la variación en la sensibilidad de los sensores debe ser correctamente compensada durante su calibración. Es altamente deseable que una sonda tenga una respuesta uniforme a todos los campos incidentes, independientemente de la polarización del campo y de la dirección de propagación. Sin embargo, la respuesta isotrópica de una sonda es a menudo no ideal debido a: las tolerancias de construcción, la asimetría en la ubicación del sensor, las diferencias en la sensibilidad del detector entre los canales, las diferencias en la línea de impedancia y la retroalimentación de las líneas de alimentación.

Es muy importante que estas características indeseables sean cuidadosamente evaluadas durante la calibración de la sonda, mediante la rotación de ésta a lo largo de su eje y la orientación de sus sensores en diferentes polarizaciones y direcciones de propagación. Los errores axiales y de isotropía hemisférica de una sonda deben estar dentro de ±0.25 y ±0.5 respectivamente durante la medición de SAR.

La sonda se calibra en medio del tejido con los parámetros dieléctricos especificados en el Apéndice C de acuerdo al rango de frecuencia de operación del dispositivo de prueba. Factores como ruido de radiofrecuencia, campos estáticos y ELF[13], temperatura, humedad y la proximidad de los líquidos a la sonda pueden afectar su calibración.

1.5.7.4 Verificación del sistema

Es necesario tener una rutina de mantenimiento que establezca el procedimiento para calibración y desarrollo de pruebas del sistema de medición de SAR. Para verificar la precisión de la medición del sistema se utiliza un fantoma plano irradiado por un dipolo λ/2 de acuerdo a la frecuencia de la prueba.

Para la verificación del sistema, la medida de SAR en 1 g debe estar dentro del 10% de los valores objetivo especificados para el fantoma y la fuente de RF.

Frecuencia (MHz)	Grosor de la superficie del fantoma (mm)	SAR en 1g (W/Kg)	SAR en 10 g (W/Kg)
750	2.0	8.49	5.55
835	2.0	9.56	6.22
900	2.0	10.9	6.99
1450	2.0	29.0	16.0
1500	2.0	30.5	16.8
1640	2.0	34.2	18.4
1750	2.0	36.4	19.3
1800	2.0	38.4	20.1
1900	2.0	39.7	20.5
1950	2.0	40.5	20.9
2000	2.0	41.1	21.1
2100	2.0	43.6	21.9
2300	2.0	48.7	23.3
2450	2.0	52.4	24.0
2600	2.0	55.3	24.6
3000	2.0	63.4	25.6
3500	2.0	67.1	25.0
3700	2.0	67.4	24.2
5000	2.0	77.9	22.1
5200	2.0	76.5	21.6
5500	2.0	83.3	23.4
5800	2.0	78.0	21.9

Tabla 1.7 Valores de SAR objetivo para la validación del sistema COMOSAR

[13] ELF, *Extremely Low Frequency*, es la banda comprendida entre 3 y 300 Hz.

Los valores objetivo son dados por la empresa fabricante SATIMO y se calcularon utilizando el método FDTD (*Finite Difference Time Domain*) y los parámetros de geometría dados por los documentos de referencia (OET 65, IEEE 1528-2003, IEC 62209-1/2), estos valores se encuentran normalizados a 1 W de potencia y se indican en la Tabla 1.7. Estos valores también se incluyeron en el reporte de calibración de acuerdo a la frecuencia de prueba.

A continuación se describe la configuración de prueba recomendada para la verificación del sistema de SAR utilizando un fantoma plano y una fuente dipolo para determinar si el sistema cumple con su rendimiento:

1. Se debe utilizar un dipolo λ/2 acoplado a la impedancia de la fuente del generador de señal. Se debe llenar el fantoma plano con el líquido del tejido en la frecuencia prevista. El espesor del dipolo no debe exceder del 20% de la separación entre el exterior del dipolo y la superficie del fantoma.
   La construcción del dipolo debe tener características operativas extremadamente estables en la frecuencia de prueba para producir distribuciones de SAR repetibles en el fantoma plano.
2. Antes de utilizar el dipolo para verificar el desempeño de los sistemas de medición de SAR, se debe caracterizar totalmente la radiación en la frecuencia de funcionamiento.
3. El espesor del material en el lado que se acopla al dipolo (parte inferior) no debe ser igual o mayor a 6.5 mm para frecuencias iguales o menores a 1.0 GHz y 5.0 mm en otras frecuencias. Las variaciones del espesor en regiones acopladas al dipolo deben ser iguales o mayores a ± 0.2 mm y en el resto iguales o menores a 10 mm.
4. La longitud del fantoma debe ser de al menos ¾ λ de la frecuencia más baja, en dirección paralela al dipolo y mayor o igual a ½ λ de ancho en la dirección perpendicular al dipolo. Se puede aceptar dimensiones menores si se demuestra que la medida de SAR en 1 g está dentro de ±1% de la producida por un fantoma con las dimensiones requeridas. El fantoma debe contener el líquido con una profundidad de 15 ± 0.5 cm.
5. El sistema de SAR debe verificarse preferiblemente utilizando un fantoma plano, en la frecuencia de la banda media del dispositivo bajo prueba.

6. Los parámetros dieléctricos del líquido empleado para verificar el sistema de SAR debe estar dentro del 5% de la referencia es decir deben satisfacer los requisitos especificados en el Apéndice C.
7. Se debe mantener una distancia de separación uniforme de 15.0 mm ± 0.2 mm entre el eje del dipolo y la superficie interior del fantoma en el punto de alimentación del dipolo. Con frecuencias a partir de 1.0 GHz la distancia de separación debe ser de 10.0 mm ± 0.2 mm. Se debe utilizar un espaciador de precisión de baja pérdida dieléctrica y soportes para mantener la repetibilidad del posicionamiento del dipolo.
8. Los extremos del dipolo no deben desviarse más de 2° del eje del dipolo respecto al punto de su alimentación. La flacidez del fantoma debido al peso del líquido en el sitio más cercano al punto de alimentación del dipolo debe estar dentro de 1° de la línea que une los dos puntos del fantoma que están más cerca a los extremos del dipolo.
9. La medida de SAR en 1 g en la superficie del fantoma, encima del punto de alimentación del dipolo, debe estar dentro del 10% del valor de referencia objetivo (Véase Tabla 1.7).

Frec. (MHz)	Long. Dipolo (mm)	Long. medio dipolo (mm)	Desviación del dipolo 2° (mm)	Flacidez del fantoma 1° (mm)	Espesor máximo del fantoma (mm)	Separación entre el dipolo y el líquido (mm)	Diámetro máximo del dipolo (mm)	Mínimo espacio (mm)	0.5 % de 0.6 λ flacidez (mm)
300	420.0	210.0	7.3	3.67	6.5	15.0	6.4	5.3	3.00
450	288.0	144.0	5.0	2.51	6.5	15.0	6.4	5.3	2.00
835	161.0	80.5	2.8	1.41	6.5	15.0	6.4	5.3	1.08
900	149.0	74.5	2.6	1.30	6.5	15.0	6.4	5.3	1.00
1450	89.1	44.6	1.6	0.78	5.0	10.0	3.8	3.1	0.62
1800	72.0	36.0	1.3	0.63	5.0	10.0	3.8	3.1	0.50
1900	68.0	34.0	1.2	0.59	5.0	10.0	3.8	3.1	0.47
2000	64.5	32.3	1.1	0.56	5.0	10.0	3.8	3.1	0.45
2450	51.8	25.9	0.9	0.45	5.0	10.0	3.8	3.1	0.37
3000	41.5	20.8	0.7	0.36	5.0	10.0	3.8	3.1	0.30

Tabla 1.8 Parámetros del dipolo y del fantoma

10. Las propiedades dieléctricas del fantoma y su espesor en las regiones acopladas al dipolo afectan a la impedancia y los valores medidos de SAR, los valores objetivo de SAR sólo pueden ser aplicables para una combinación específica de configuración de fantoma plano y dipolo. La Tabla 1.8 contiene un resumen de la gama aceptable del rango del dipolo y las distancias de separación del fantoma para las dimensiones del dipolo descritos en IEEE 1528.

1.5.7.5 Condiciones ambientales del sitio de prueba

Se debe caracterizar completamente la interferencia de RF y las condiciones ambientales en una instalación de pruebas para determinar su influencia en la medición de SAR. Puede entrar ruido de RF al equipo de medición, ya sea por conducción a través de cables o mediante campos radiados. Estas señales no deseadas pueden ser rectificadas por uniones metal-metal y dispositivos semiconductores resultando en una compensación DC.

Se debe evaluar regularmente los lazos de tierra y las condiciones del cable ya que puede cambiar la carga en la instrumentación, lo que resulta en ruido y oscilación. El impacto de la interferencia de RF puede verificarse con la medición de SAR con el dispositivo de prueba apagado.

1.5.7.6 Condiciones de operación del dispositivo bajo prueba

El rendimiento y las tolerancias de operación del dispositivo deben estar completamente caracterizados para asegurar su cumplimiento. Los transmisores deben ser probados en el nivel máximo de potencia para evitar cambios en la medida de SAR.

A menos de que se requiera un adaptador externo u otros cables (auriculares) para el funcionamiento del dispositivo en prueba, éstos no se deben utilizar en las mediciones de SAR.

1.5.7.6.1 Potencia de salida

Para determinar si la salida del dispositivo es estable durante la medición de SAR, se debe medir la potencia conducida en cada prueba.

1.5.7.6.2 Opciones de batería

La mayoría de teléfonos móviles funcionan con varias opciones de baterías como: baterías incorporadas, unidades de alimentación tradicionales, un paquete delgado para ahorrar espacio o un paquete de larga duración para un uso prolongado sin recargas frecuentes. Estas baterías a menudo tienen diferentes configuraciones de célula y dimensiones físicas.

En algunas situaciones, el diseño de las baterías puede interferir en el rendimiento del dispositivo y las variaciones de SAR. Si la potencia de salida emitida varía con las opciones de batería el correspondiente SAR también puede cambiar.

1.5.7.6.3 Capacidad de operación del dispositivo

Si un dispositivo o su batería no se encuentran diseñados para mantener una potencia media de salida constante, el SAR debe ser evaluado con respecto a la exposición más alta esperada en base a la capacidad de la batería.

No se debe utilizar un DUT más allá de su capacidad máxima prevista porque esto conduce a condiciones impredecibles las cuales entregan resultados inaceptables.

1.5.7.6.4 Modos de operación del dispositivo

Si el DUT tiene modos de prueba para evaluar la exposición más alta en funcionamiento normal, éstos deben utilizarse para la medición de SAR. En AMPS[14] se usa generalmente una portadora no modulada para modo de pruebas. Para el modo TDMA[15], la señal de prueba suele ser modulada por el factor de trabajo.

En dispositivos que operan con modulaciones complejas, el SAR debe ser medido con las características de transmisión correspondiente a la exposición más alta durante el funcionamiento normal. Cuando las señales de modo de prueba no

[14] AMPS*, Advanced Mobile Phone System*, es el sistema analógico de telefonía móvil de primera generación.

[15] TDMA, *Time Division Multiple Access*, varios usuarios comparten el mismo canal de frecuencia dividiendo la señal en distintas ranuras de tiempo [2].

están disponibles o no son apropiadas para probar el DUT, la señal debe ser activada a través de un simulador de estación base u otro equipo equivalente.

1.5.7.6.5 Tiempo promedio de señal basado en la fuente

Factores de servicio relacionados con el uso del dispositivo, programación del *software* y operaciones asíncronas que no son definidas por los protocolos de transmisión de la red inalámbrica, no siempre satisfacen los requisitos del tiempo promedio basado en la fuente. Sin embargo, se puede considerar un tiempo promedio basado en la fuente que se incluya en la señal de prueba para ciertos DUTs con *hardware* limitado por diseño y restringidos para operar con un factor máximo de RF.

1.5.7.7 Procedimientos recomendados para la medición de SAR

El protocolo de medición de SAR y los procedimientos de prueba deben ser documentados. La información sobre la calibración de las sondas y otros equipos de apoyo deben estar incluidos en los reportes de SAR, para cuando esta información sea requerida.

Las condiciones de funcionamiento del dispositivo, como la estabilidad de potencia de salida (*drifts*), las variaciones de rendimiento (tolerancias) u otras variaciones físicas, mecánicas y eléctricas que pueden introducir cambios en los resultados de SAR deben ser cuidadosamente caracterizados para determinar su cumplimiento. La muestra de ensayo utilizada en una evaluación de SAR debe ser lo más parecida a las unidades de producción para garantizar que los resultados de la prueba sean aceptables.

Para mediciones utilizando fantomas homogéneos, el SAR pico[16] generalmente se ubica cerca de la superficie del fantoma. El sistema de medición debe buscar estos picos y determinar el SAR más alto promediado sobre 1 g de tejido en la forma de un cubo a través de mediciones adicionales en una o más de estas ubicaciones.

[16] SAR pico, es el valor de SAR más alto durante una exploración inicial con resolución gruesa llamada *area scan*.

La sonda se calibra en el centro geométrico de sus elementos sensores, donde se define el punto de medición. El SAR más elevado ocurre cerca de la superficie del fantoma no homogéneo y puede medirse con una sonda de campo eléctrico con sus sensores situados a 2-4 mm por detrás de la punta de la sonda.

La resolución espacial de la sonda de campo está relacionada con un pequeño volumen que rodea a los sensores dentro de la sonda; el tamaño de este volumen de medición es dependiente de la misma. Para minimizar errores de medición no se deben utilizar sondas con un diámetro de punta superior a 8.0 mm [5].

Para minimizar errores de medición es necesario evitar hacer mediciones con la punta de la sonda en contacto directo con la superficie del fantoma; se debe mantener una separación de al menos la mitad del diámetro de la sonda entre la punta de ésta y la superficie del fantoma para evitar requerir procedimientos de compensación complejos.

1.5.7.7.1 Procedimientos para la búsqueda del SAR pico

No se han establecido procedimientos sobre cómo buscar el SAR pico y medir el SAR promedio[17] en 1 g en forma de un cubo. Para demostrar el cumplimiento y determinar el SAR más alto en 1 g, se han utilizado diferentes algoritmos de extrapolación, interpolación y de integración en los sistemas de medición.

Para buscar los lugares de SAR pico producido por el dispositivo de prueba en un fantoma de cabeza o cuerpo, la sonda de campo eléctrico debe escanear a lo largo de la superficie interior del fantoma con el líquido que simula el tejido requerido.

Se utiliza una exploración con resolución gruesa (*area scan*) para determinar las posiciones de SAR pico aproximadas cerca de la superficie del fantoma, típicamente en un área mayor que la proyectada por el transmisor y la antena. La medición debe realizarse a una distancia fija mayor a 8.0 mm de la superficie interior del fantoma, con variación menor a ±1.0 mm [5].

[17] SAR promedio, es determinado por un promedio numérico de los valores SAR locales en la grilla de interpolación, utilizando por ejemplo un algoritmo trapezoidal para la integración (promedio).

Los puntos de medición deben proporcionar una resolución espacial suficiente para que los algoritmos de interpolación del sistema de medición de SAR identifiquen las posiciones de SAR pico dentro de ±5.0 mm. Esto normalmente requiere una resolución de escaneo de 1-2 cm [5].

La distribución de SAR puede verificar las posiciones de SAR pico con respecto a las características de exposición del campo cercano del transmisor. Todos los picos dentro de 2.0 dB (58.5%) del pico más alto identificado por los datos interpolados, deben ser evaluados con una exploración de volumen con resolución fina (*zoom scan*), para determinar el SAR más alto promediado en 1 g.

Si la ubicación del SAR pico está cerca del borde de una región de exploración, dentro de 5.0 mm para 1 g de SAR y 10.8 mm para 10 g de SAR, el área de escaneado debe repetirse con un escaneo ampliado en la región [5].

1.5.7.7.2 Procedimientos para determinar el SAR en 1 g

La región del volumen de exploración con resolución fina ó *zoom scan*, debe estar centrada en los lugares de SAR pico, determinados por los datos extrapolados a partir de las mediciones de la zona escaneada. El número de puntos de medición requeridos en *zoom scan* para una medición precisa de SAR en 1 g depende de los gradientes de campo en la zona del SAR pico.

En gradientes suaves, el SAR promedio en 1 g se puede predecir correctamente con pocos puntos de medición. Cuando existen gradientes empinados se necesitan muchos puntos de medición distribuidos uniformemente dentro de 1 g de líquido para predecir el volumen promedio de SAR.

El *zoom scan* debe permitir que los algoritmos de interpolación obtengan valores de SAR en una cuadrícula de 2 mm con menos del 5% de error, lo cual requiere una resolución de 5-8 mm.

Los valores pico de los campos cercanos a la superficie del fantoma homogéneo por lo general no son medibles, ya que los sensores en la sonda se encuentran a 2-4 mm por detrás de la punta y el punto de medición se define en el centro geométrico de los sensores donde se realiza la calibración.

Estos valores SAR deben ser calculados mediante extrapolación de los puntos medidos más cercanos a la superficie del fantoma para determinar el promedio más alto de SAR en 1 g.

El algoritmo de extrapolación debe compensar la atenuación del campo basado en una serie de puntos de medición a lo largo de una línea recta, desde la superficie del fantoma a través de la ubicación del SAR pico en la región de *zoom scan*. Los dos primeros puntos de medición deben estar en el volumen promedio de 1 g. Ambos puntos deben estar 1.0 cm por debajo del fantoma y de la superficie del líquido.

El último punto de medición debe estar fuera del volumen promedio de 1 g, dentro de la región de *zoom scan*. El valor SAR para el último punto debe ser menor al 25% del valor medido para el primer punto más cercano a la superficie del fantoma. La distancia de separación entre puntos de medición adyacentes debe ser inferior a 5.0 mm.

Los coeficientes de extrapolación deben ser determinados con un algoritmo de ajuste de curva adecuado como un polinomio de orden cuarto con ajuste de mínimos cuadrados. El mismo conjunto de coeficientes se debe utilizar para extrapolar los valores de SAR que no pueden ser medidos dentro de la región del *zoom scan*. Los valores SAR extrapolados deben tener la misma resolución espacial que las mediciones de *zoom scan*.

Los valores de SAR interpolados y extrapolados a partir de la medición de *zoom scan* están integrados en la forma de un cubo de 1 o 10 g. El cumplimiento de SAR está determinado de acuerdo al SAR más alto medido en 1 o 10 g, para todos los *zoom scan* realizados en cada zona. Se debe analizar el error asociado con los algoritmos de extrapolación, interpolación e integración utilizados en el *zoom scan* y se debe incluir en la incertidumbre total de la medición.

1.5.7.8 Incertidumbre de la Medición

La incertidumbre de medición es el resultado de errores relacionados con la instrumentación del sistema, la respuesta de la sonda y su calibración, las propiedades dieléctricas del líquido, la colocación del dispositivo bajo prueba, el

posicionamiento de la sonda, los algoritmos utilizados para interpolar, extrapolar y determinar el promedio en 1 g de SAR.

En el Capítulo 2 se hará referencia de forma más detallada a la incertidumbre del sistema de medición de SAR.

CAPÍTULO 2

INCERTIDUMBRE Y TRAZABILIDAD

2.1 INTRODUCCIÓN

Al expresar el resultado de una medición[18] es importante indicar su fiabilidad para que pueda compararse, con patrones nacionales[19] o patrones internacionales[20]. Para ello se debe indicar un parámetro que sea universal, fácilmente entendido y adecuado de interpretar, este parámetro es la incertidumbre.

En un mundo globalizado, la evaluación de la incertidumbre debe ser uniforme, es decir debe poder aplicarse a toda clase de datos y mediciones. La incertidumbre consta generalmente de dos componentes que pueden incluirse dentro de un grupo según el modo en que se estime su valor. Unas pueden ser evaluadas a partir de una serie de mediciones y otras son resultado de distribuciones de probabilidad basadas en la experiencia.

2.2 EXPRESIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDIDA [10]

La incertidumbre se define como el "parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando[21], a partir de la información que se utiliza" [11].

Una medición adecuada comienza con la definición del mensurando, del método de medida y del procedimiento de medida. El resultado de dicha medición es solamente una estimación y sólo está completo cuando se encuentra acompañado de la incertidumbre.

---

[18] Medición, "proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios valores que pueden atribuirse razonablemente a una magnitud" [11].

[19] Patrón nacional de medida, "patrón reconocido por una autoridad nacional para servir, en un estado o economía, como base para la asignación de valores a otros patrones de magnitudes de la misma naturaleza" [11].

[20] Patrón internacional de medida, "patrón reconocido por los firmantes de un acuerdo internacional con la intención de ser utilizado mundialmente" [11].

[21] Mensurando, "magnitud que se desea medir " [11].

Es relevante no confundir los términos error de medida[22] e incertidumbre ya que los dos representan conceptos distintos.

2.2.1 FUENTES POSIBLES DE INCERTIDUMBRE

Estas fuentes no son necesariamente independientes pero pueden contribuir en el resultado final.

1. Definición incompleta del mensurando.
2. Equivocación en la definición del mensurando.
3. Muestra no representativa.
4. Falta de conocimiento de las condiciones ambientales que influyen en la medición.
5. Lectura errada en instrumentos analógicos.
6. Resolución[23] finita del instrumento de medida[24].
7. Valores inexactos de patrones de referencia.
8. Valores inexactos de constantes y otros parámetros de fuentes externas.
9. Aproximaciones e hipótesis debidas al método y al procedimiento de la medida.
10. Variaciones en observaciones repetidas en condiciones aparentemente constantes.

2.2.2 INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR O TÍPICA

Es aquella incertidumbre que se expresa en forma de desviación típica. Se la representa como $\boldsymbol{u(x_i)}$, donde x_i es una variable iésima.

2.2.2.1 Modelo de medición

El mensurando $\boldsymbol{Y}$ no se mide directamente, se determina a partir de otras $\boldsymbol{N}$ magnitudes $\boldsymbol{X_1, X_2, \dots, X_N}$ por medio de una relación funcional, como se muestra en la ecuación Ec.[2.1].

---

[22] Error de medida, "diferencia entre un valor medido de una magnitud y un valor de referencia" [11].

[23] Resolución, "mínima variación de la magnitud medida que da lugar a una variación perceptible de la indicación correspondiente" [11].

[24] Instrumento de medida, "dispositivo utilizado para realizar mediciones, solo o asociado a uno o varios dispositivos suplementarios" [11].

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \qquad \text{Ec. [2.1]}$$

La función $\boldsymbol{f}$ puede determinarse experimentalmente o a través de un algoritmo calculable numéricamente, y debe hacer referencia a cada magnitud incluyendo los factores de corrección[25].

Las magnitudes $\boldsymbol{X_1, X_2, \dots, X_N}$ pueden clasificarse en:

- Magnitudes cuyos valores e incertidumbres se determinan directamente en el transcurso de la medición, las cuales pueden ser obtenidas a partir de una sola observación o más observaciones. Pueden incluir correcciones a lecturas de instrumentos o a ciertas magnitudes como la temperatura, la humedad, etc.
- Magnitudes cuyos valores e incertidumbres se introducen por causas externas tales como valores dados en certificados, patrones de referencia, etc.

La estimación del mensurando $\boldsymbol{y}$ se puede obtener a partir de la estimación de las $\boldsymbol{N}$ magnitudes de entrada $\boldsymbol{x_1, x_2, \dots, x_N}$ como se indica en la ecuación Ec.[2.2].

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \qquad \text{Ec. [2.2]}$$

En algunos casos $\boldsymbol{y}$ se puede obtener como la media aritmética de $\boldsymbol{n}$ determinaciones independientes, teniendo cada una la misma incertidumbre y ocurriendo al mismo tiempo. Lo indicado se muestra en la ecuación Ec.[2.3].

$$y = \bar{Y} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} Y_k = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} f\left(x_1, x_2, \dots, x_N\right) \qquad \text{Ec. [2.3]}$$

2.2.3 INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR TIPO A

Es aquella incertidumbre que se utiliza cuando se realizan $\boldsymbol{n}$ observaciones independientes $\boldsymbol{q_k}$ bajo las mismas condiciones, tal como se indica en la ecuación Ec.[2.4]. Se puede observar una fluctuación o una dispersión siempre y cuando el

[25] Corrección, “compensación de un efecto sistemático estimado" [11].

procedimiento de medida disponga de resolución suficiente para notar esta variación.

$$\bar{q} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} q_k \qquad \text{Ec. [2.4]}$$

El número de observaciones $\boldsymbol{n}$ debe ser lo suficientemente grande para garantizar una estimación fiable.

2.2.4 INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR TIPO B

Este tipo de incertidumbre existe cuando no hay repetición de mediciones, por lo que se calcula mediante la información disponible, la cual puede contener: resultados de mediciones anteriores, especificaciones del fabricante, valores suministrados de los certificados de calibración, conocimiento del comportamiento y propiedades de materiales e instrumentos utilizados.

Es importante recalcar que la incertidumbre tipo B puede ser tan fiable como la incertidumbre tipo A, especialmente cuando en la incertidumbre tipo A se toma un grupo relativamente pequeño de observaciones.

Si la estimación de $\boldsymbol{x_i}$ se obtiene a partir de certificados de calibración, de datos dados por el fabricante o de alguna otra parte, la incertidumbre típica $\boldsymbol{u(x_i)}$ es el cociente entre el valor indicado y el factor de cobertura[26]. Su varianza estimada $\boldsymbol{u^2(x_i)}$ es el cuadrado del mencionado cociente.

La incertidumbre típica también puede ser definida dentro de un intervalo que corresponde a un determinado nivel de confianza $\boldsymbol{p}$: 90, 95 o 99 por ciento. Los factores de cobertura para los niveles de confianza mencionados anteriormente son: 1.64, 1.96 y 2.58. A menos de que se indique lo contrario se puede suponer una distribución normal[27] para calcular la incertidumbre.

---

[26] Factor de cobertura, "número mayor que uno por el que se multiplica una incertidumbre típica combinada para obtener una incertidumbre expandida" [11].

[27] Distribución normal, también llamada distribución de Gauss o distribución gaussiana, es una distribución de probabilidad de variable continua que con mayor frecuencia aparece en fenómenos reales. La gráfica de su función de densidad tiene una forma acampanada y es simétrica respecto de un determinado parámetro estadístico. Esta curva se conoce como campana de Gauss [21].

En otros casos en los que se tenga solamente la información de los límites superior e inferior (a_+ y a_- respectivamente) se puede asumir que $\boldsymbol{x_i}$ puede tener igual probabilidad en cualquier punto, es decir se puede asumir una distribución uniforme[28] o rectangular.

En este caso la varianza puede estar dada por la Ec.[2.5].

$$u^2(x_1) = \frac{(a_+ - a_-)^2}{12} \qquad \text{Ec. [2.5]}$$

El objetivo de clasificar la incertidumbre en Tipo A y Tipo B es indicar las dos formas diferentes de evaluar las componentes de incertidumbre, más no existe una diferencia de la naturaleza de las componentes resultantes de ambos tipos de evaluación.

2.2.5 INCERTIDUMBRE TÍPICA COMBINADA

Es la incertidumbre que se obtiene a partir de otras varias magnitudes; se la determina a partir de la desviación típica asociada a cada estimación, y se la representa por $\boldsymbol{u_c}$.

2.2.6 INCERTIDUMBRE EXPANDIDA O INCERTIDUMBRE GLOBAL

Define un intervalo en torno al resultado de una medición en la que se espera la mayor parte de valores atribuidos al mensurando. Se la representa por $\boldsymbol{U}$.

2.2.6.1 Determinación de la incertidumbre expandida

Las recomendaciones dadas por la INC-1 (1980) del grupo de trabajo sobre la expresión de las incertidumbres, indican que la incertidumbre expandida es un buen parámetro para cuantificar la incertidumbre en una medición. Ésta puede ser utilizada universalmente para expresar la incertidumbre de un resultado mediante un intervalo dentro del cual se puede esperar encontrar la mayor parte de valores del mensurando.

---

[28] Distribución uniforme, corresponde al caso en que una variable aleatoria sólo puede tomar valores comprendidos entre dos extremos a y b, todos los valores dentro de dicho rango (entre a y b) tienen la misma probabilidad [22].

La expresión mostrada en la Ec.[2.6] representa la incertidumbre expandida:

$$U = k\, u_c(y) \qquad \text{Ec. [2.6]}$$

Donde:

k: Factor de cobertura. La elección del factor $\boldsymbol{k}$ se fundamenta en el nivel de confianza requerido para el intervalo.

$u_c(y)$: Incertidumbre típica combinada.

Siempre que sea posible debe indicarse el nivel de confianza asociado al intervalo que se definió. Además es importante recalcar que cuando se multiplica la incertidumbre expandida por una constante no se agrega información nueva, sino que se presenta de manera diferente la información que ya se posee.

2.2.7 FACTOR DE COBERTURA

Es el factor que se utiliza como multiplicador de la incertidumbre típica combinada para la obtención de la incertidumbre expandida. Se lo representa por $\boldsymbol{k}$. Típicamente toma valores entre 2 y 3. En aplicaciones especiales puede estar fuera de este rango.

La elección del factor de cobertura puede ser tomada por experiencia o conocimiento; sin embargo, en la práctica esto no es fácil de lograr debido a que se debe conocer ampliamente la distribución de probabilidad y la incertidumbre de la medición.

La Recomendación INC-1 (1980) no incluye cómo se da la relación entre $\boldsymbol{k}$ y $\boldsymbol{p}$. Sin embargo, se puede asumir una propuesta más sencilla basándose en una distribución de probabilidad aproximadamente normal representada por $\boldsymbol{y}$ y $\boldsymbol{u_c(y)}$, y un número significativo de grados de libertad[29] efectivos de $\boldsymbol{u_c(y)}$. Con este caso se puede asumir *k* = 2 lo cual representa un intervalo con un nivel de confianza de aproximadamente 95%, y con *k* = 3 un intervalo con un nivel de confianza de aproximadamente 99%.

[29] Grados de libertad, "el número de términos de una suma, menos el número de restricciones sobre los términos de dicha suma" [10].

2.2.8 DIRECTRICES GENERALES PARA LA EXPRESIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

La información necesaria para la medición de la incertidumbre puede estar publicada como informes sobre métodos de calibración o ensayos, especificaciones dadas por el fabricante, certificados de calibración, manuales de instrucciones, normas nacionales, normas internacionales y reglamentaciones locales. Lo importante es que esta información debe estar actualizada.

Al momento de indicar la incertidumbre se debe:

- Describir los métodos utilizados para calcular el resultado de la medida y su incertidumbre.
- Listar las componentes de la incertidumbre mostrando cómo ha sido evaluada.
- Presentar datos, constantes y fuentes utilizadas.

2.2.9 DIRECTRICES ESPECÍFICAS PARA LA EXPRESIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

- Se debe mostrar la incertidumbre típica combinada indicando sus unidades respectivas.
- Hacer referencia al documento que la incluya.

El cálculo de la incertidumbre está basado en la recomendación IEEE 1528 "*Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques"; estos* valores fueron calculados por SATIMO, empresa fabricante del sistema de medición de SAR.

2.3 CONSIDERACIONES PARA LA INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN EN EL SISTEMA DE MEDICIÓN DE SAR SEGÚN LA RECOMENDACIÓN IEEE [4]

Para evaluar la incertidumbre en la medición de SAR es necesario poseer una alta experiencia, equipo especializado y un conocimiento integral del sistema de

prueba. La incertidumbre expandida de una evaluación de SAR se determina para un intervalo de confianza del 95%.

Algunos valores que influyen sobre la incertidumbre también pueden ser determinados a partir de las especificaciones proporcionadas por los fabricantes de los equipos.

La Tabla 2.1 muestra un ejemplo de las cantidades típicas que influencian la incertidumbre en la medición de SAR en un teléfono inalámbrico de prueba. La Tabla 2.2 muestra un ejemplo de algunos de los parámetros de incertidumbre que influyen en el sistema de validación[30], el cual debe realizarse antes de que el sistema de prueba sea utilizado para la medición de SAR en los dispositivos.

Las Tablas 2.1 y 2.2 difieren en cierta información, siendo la primera para un teléfono utilizando un fantoma en forma de cabeza y el segundo para un dipolo utilizando un fantoma plano.

Los componentes de la incertidumbre para posicionamiento del dispositivo, efectos del soporte del dispositivo, y cualquier desviación en la potencia de salida durante la medición de SAR se incluyen en la Tabla 2.1.

Los componentes de la incertidumbre que se indican en las Tablas 2.1 y 2.2 se describen en el Apéndice E de este capítulo (numeral 2.4). Todos los valores de tolerancia se encuentran en unidades lineales (porcentajes) ya que los límites de SAR también se especifican en unidades lineales.

Debido a que los fabricantes de los sistemas de SAR indican valores de incertidumbre fundamentados en condiciones genéricas para una prueba particular, el usuario final no necesita analizar de nuevo la incertidumbre del sistema. Por lo general, se debe conservar la incertidumbre suministrada por el fabricante con el fin de cubrir la mayoría de las condiciones de configuración posible para la ejecución de una prueba.

[30] Validación, " verificación de que los requisitos especificados son adecuados para un uso previsto" [11].

Se pueden incluir estimaciones de incertidumbre más bajas para condiciones específicas del sistema y del laboratorio. Dentro del alcance de esta recomendación no se toma en cuenta las variaciones de potencia en la salida del dispositivo.

Con una ejecución apropiada en la realización de pruebas de SAR, cumpliendo los protocolos según lo indica la recomendación del IEEE, el objetivo de la incertidumbre expandida de la medición para todos los componentes de la incertidumbre incluidos en las Tablas 2.1 y 2.2 debe ser inferior a ±30% para los valores de SAR pico promediados en el rango de 0.4 a 10 W/Kg.

Si la incertidumbre es más alta, el laboratorio debe evaluar cuál componente de la medición debe ser reducido para lograr el objetivo de ±30% y luego tomar acciones para implementar mejoras.

a	b	c	d	e= f(d,k)	f	g	h= c*f/e	i= c*g/e	k
Uncertainty Component	***Clause***	**Tol (±%)**	**Prob. Dist.**	**Div.**	**Ci (1g)**	**Ci (10g)**	**1g Ui (±%)**	**10g Ui (±%)**	**Vi**
Measurement System									
Probe calibration	E.2.1		N	1	1	1			∞
Axial Isotropy	E.2.2		R	$\sqrt{3}$	$(1-C_P)^{\frac{1}{2}}$	$(1-C_P)^{\frac{1}{2}}$			∞
Hemispherical Isotropy	E.2.2		R	$\sqrt{3}$	$\sqrt{C_P}$	$\sqrt{C_P}$			∞
Boundary effect	E.2.3		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
Linearity	E.2.4		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
System detection limits	E.2.5		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
Readout Electronics	E.2.6		N	1	1	1			∞
Reponse Time	E.2.7		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
Integration Time	E.2.8		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
RF ambient Conditions - Noise	E.6.1		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
RF ambient Conditions - Reflections	E.6.1		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
Probe positioner Mechanical Tolerance	E.6.2		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
Probe positioning with respect to Phantom Shell	E.6.3		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞

continúa…

Extrapolation, interpolation and integration Algoritms for Max. SAR Evaluation	E.5		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
Test sample Related									
Test sample positioning	E.4.2		N	1	1	1			N-1
Device Holder Uncertainty	E.4.1		N	1	1	1			N-1
Output power Variation - SAR drift measurement	E.6.4		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
Phantom and Tissue Parameters									
Phantom Uncertainty (Shape and thickness tolerances)	E.3.1		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
Liquid conductivity - deviation from target values	E.3.2		R	$\sqrt{3}$	0.64	0.43			∞
Liquid conductivity - measurement uncertainty	E.3.3		N	1	0.64	0.43			M
Liquid permittivity - deviation from target values	E.3.2		R	$\sqrt{3}$	0.6	0.49			∞
Combined Standard Uncertainty			RSS						v_{eff}
Expanded Uncertainty (95% Confidence interval)			k or t_p						

Tabla 2.1 Ejemplo de las cantidades típicas que influencian la incertidumbre en la medición de SAR en un teléfono inalámbrico de prueba [4]

2.3.1 INDICATIVOS PARA LAS TABLAS 2.1 Y 2.2

1. Títulos de las columnas ***a-k*** se utilizan como referencia.
2. Abreviaciones de los títulos de columna:
   a) **Tol**.- Tolerancia en las magnitudes de influencia. Cuando $c_i = 1$ es una tolerancia de SAR.
   b) Forma de distribución de probabilidad: normal (N), rectangular (R), en forma de U (U).

c) **Div**.- Divisor utilizado para obtener la incertidumbre estándar.

d) v_i.- Grados de libertad.

e) v_{eff}.- Grados de libertad efectivos.

3. Los componentes de la incertidumbre indicados en estas tablas se basan en los procedimientos de prueba y protocolos desarrollados para la recomendación de la IEEE.

   Cuando los protocolos y procedimientos de prueba varían, se pueden aplicar diferentes componentes de incertidumbre.

4. c_i es el coeficiente de sensibilidad que se debe aplicar para convertir la variabilidad de la componente de incertidumbre en una variabilidad de SAR.
5. Se puede utilizar una tolerancia para permitividad relativa provisional del 10% en soluciones a base de glicol en frecuencias superiores a 2 GHz.
6. Las incertidumbres del sistema de medición y parámetros de los fantomas y tejidos de la Tabla 2.1 deben ser iguales a las incertidumbres correspondientes a la Tabla 2.2.
7. En la columna v_i, N representa el número de pruebas y M es el número de grados de libertad para la medición de la incertidumbre de los parámetros dieléctricos del líquido.
8. Se debe utilizar una distribución rectangular y $v_i = \infty$ cuando la incertidumbre del soporte del dispositivo es solo de un dispositivo de prueba.

a	b	c	d	e= f(d,k)	f	g	h= c*f/e	i= c*g/e	k
Uncertainty Component	***Clause***	**Tol (±%)**	**Prob. Dist.**	**Div.**	**Ci (1g)**	**Ci (10g)**	**1g Ui (±%)**	**10g Ui (±%)**	**Vi**
Measurement System									
Probe calibration	E.2.1		N	1	1	1			∞
Axial Isotropy	E 2.2		R	$\sqrt{3}$	$(1-C_P)^{\frac{1}{2}}$	$(1-C_P)^{\frac{1}{2}}$			∞
Hemispherical Isotropy	E 2.2		R	$\sqrt{3}$	$\sqrt{C_P}$	$\sqrt{C_P}$			∞
Boundary effect	E 2.3		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
Linearity	E 2.4		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
System detection limits	E 2.5		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
Readout Electronics	E 2.6		N	1	1	1			∞
Reponse Time	E 2.7		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
Integration Time	E 2.8		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
RF ambient Conditions - Noise	E 6.1		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞

continúa…

RF ambient Conditions - Reflections	E 6.1		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
Probe positioner Mechanical Tolerance	E 6.2		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
Probe positioning with respect to phantom shell	E 6.3		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
Extrapolation, interpolation and integration Algoritms for Max. SAR Evaluation	E.5		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
Dipole									
Dipole axis to liquid Distance			R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
Input power and SAR drift measurement	E 6.4		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
Phantom and Tissue Parameters									
Phantom Uncertainty (Shape and thickness tolerances)	E 3.1		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
Liquid conductivity - deviation from target values	E 3.2		R	$\sqrt{3}$	0.64	0.43			∞
Liquid conductivity - measurement uncertainty	E 3.3		N	1	0.64	0.43			M
Liquid permittivity - deviation from target values	E 3.2		R	$\sqrt{3}$	0.6	0.49			∞
Liquid permittivity - measurement uncertainty	E 3.3		N	1	0.6	0.49			M
Combined Standard Uncertainty			RSS						v_{eff}
Expanded Uncertainty (95% Confidence interval)			k or t_p						

Tabla 2.2 Ejemplo de algunos de los parámetros de incertidumbre que influyen en el sistema de validación [4]

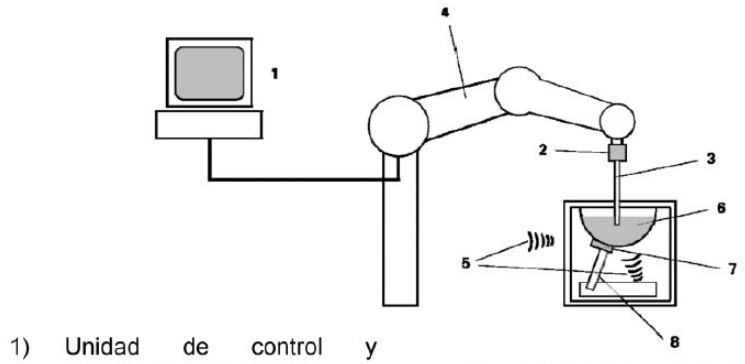
2.4 APÉNDICE E

2.4.1 INTRODUCCIÓN (E.1)

A continuación se presentan las guías para la estimación de la incertidumbre en la medición del SAR de acuerdo a los procedimientos y protocolos desarrollados dentro de la recomendación dada por la IEEE. En la Figura 2.1 se indican los componentes dominantes que contribuyen al total de la incertidumbre en un típico sistema de medición de SAR.

En el Apéndice E también se describen los procedimientos utilizados para obtener los componentes de incertidumbre incluidos en las Tablas 2.1 y 2.2. En la primera columna de cada tabla se coloca un nombre descriptivo.

Para calcular la incertidumbre estándar en 1 g y 10 g se utilizan las columnas que contienen la distribución de probabilidad, el coeficiente de sensibilidad[31] y los grados de libertad.



1) Unidad de control y adquisición de datos
2) Electrónica de transducción de la punta de prueba
3) Punta de prueba dosimétrica de campo eléctrico
4) Brazo robotizado posicionador de la punta de prueba
5) Campos electromagnéticos presentes
6) Phantom rellenado por líquido simulador
7) Terminal bajo prueba (UE)
8) Posicionador del terminal bajo prueba (UE)

Figura 2.1 Componentes generales que contribuyen a la incertidumbre en un sistema típico de medición de SAR [2]

Las Tablas 2.1 y 2.2 son plantillas utilizadas para documentar la incertidumbre de cada medición de SAR y su rendimiento.

Los procedimientos descritos a continuación intentan estimar los valores más significativos de la incertidumbre para todos los rangos de frecuencia esperados en las distribuciones de SAR, las posiciones de prueba del dispositivo y otras componentes de incertidumbre previstos en los protocolos de medición estipulados en esta recomendación.

En la mayoría de los componentes se eligen parámetros conservadores lo cual asegura que la incertidumbre no esté subestimada. Aunque se han simplificado los

[31] Coeficiente de sensibilidad, es un factor de conversión entre unidades del resultado y unidades de una magnitud de influencia.

procedimientos para mantener la simplicidad y practicidad, no se ha comprometido su validez.

Los componentes que se muestran en la Tabla 2.1 son independientes de las configuraciones de funcionamiento y variaciones del dispositivo bajo prueba.

Los procedimientos descritos más adelante son utilizados para estimar la incertidumbre debida al posicionamiento del DUT y a las perturbaciones introducidas por el soporte.

Para varias de estas incertidumbres relacionadas se asume un desvanecimiento exponencial en 3 GHz. Aunque esto no representa una condición conservadora, pueden ocurrir desvanecimientos más pronunciados a 3 GHz, sólo en el caso de dispositivos con antenas colocadas más cerca de 5 mm del tejido.

La incertidumbre estándar combinada $\boldsymbol{u_c}$ se calcula con el RSS[32] de las incertidumbres estándar de los componentes individuales, como se muestra en la Ec.[2.7].

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} c_i^2 . u_i^2} \qquad \text{Ec. [2.7]}$$

Donde:

c_i : Coeficiente de sensibilidad de cada componente de incertidumbre $\boldsymbol{u_i}$. Corresponde el valor de 1.

m: Número de magnitudes de influencia[33]

Cuando los grados de libertad efectivos de la incertidumbre típica combinada son lo suficientemente grandes, un factor de cobertura de $k = 2$ corresponde aproximadamente a un intervalo de confianza[34] de 95%.

---

[32] RSS, *Root Sum Square*, raíz cuadrada de la suma de los valores elevados al cuadrado.

[33] Magnitud de influencia, "magnitud que, en una medición directa, no afecta a la magnitud que realmente se está midiendo, pero sí afecta a la relación entre la indicación y el resultado de medida" [11].

[34] Intervalo de confianza, no es lo mismo que intervalo de cobertura para evitar confusión con el concepto estadístico [11].

2.4.2 INCERTIDUMBRE DE LA SONDA DE CAMPO *E* (E.2)

2.4.2.1 Incertidumbre de la calibración de la sonda (*Probe Calibration*) (E 2.1)

La incertidumbre provocada por la calibración de la sonda de campo ***E*** se calcula mediante los procedimientos descritos a continuación con las técnicas de calibración de temperatura y de guía de onda.

2.4.2.1.1 Incertidumbre de calibración de temperatura (E 2.1.1)

Los componentes que hacen referencia a los elementos de E.2 dentro de la Tabla 2.1 deben ser determinados de la siguiente manera:

1. La tolerancia[35] de la potencia enviada debe ser determinada de los datos de calibración del medidor de potencia.
2. La potencia reflejada debido al desajuste en la superficie dieléctrica y la interfaz del líquido dentro de la guía de onda debe ser determinada con un medidor de potencia o a partir del coeficiente de reflexión medido con un analizador de red.
3. Las tolerancias de permitividad y conductividad del líquido son evaluadas de acuerdo con los procedimientos indicados en E.3.3.
4. La tolerancia de la homogeneidad del campo ***E*** dentro de la guía de onda se evalúa realizando un escaneo de SAR a través del volumen de líquido dentro de la guía de onda, aproximadamente a 1 cm de los límites de líquido, para asegurar que no hay otros modos de orden superior que el modo TE_{10}.
5. La tolerancia de posicionamiento de la sonda es evaluada utilizando la profundidad de penetración real, determinada de acuerdo a los parámetros dieléctricos del líquido equivalente del tejido medido en la frecuencia de calibración.
6. Las incertidumbres lineales de la sonda de campo deben ser evaluadas de acuerdo a E.2.4.

[35] Tolerancia, es la cantidad total por la que se permite una cantidad variar; por lo tanto, la tolerancia es la diferencia algebraica entre los límites máximos y mínimos.

2.4.2.2 Incertidumbre de la isotropía de la sonda - axial y hemisférica (*Axial isotropy and hemispherical isotropy*) (E.2.2)

La isotropía de la sonda del campo ***E*** es una medida de la desviación en la respuesta de la sonda a campos de polarización arbitrarios. En general, los campos emitidos por un dispositivo son de polarización arbitraria. Sin embargo, los campos inducidos en el líquido equivalente al tejido tienen un componente de polarización predominante paralelo a la superficie, debido a la física del mecanismo de absorción.

La incertidumbre de la isotropía hemisférica está relacionada con la polarización de campos arbitrarios (incluyendo incertidumbre de la isotropía axial), y la incertidumbre de la isotropía axial está relacionada con los campos normales al eje de la sonda. La isotropía hemisférica y axial pueden ser evaluadas con el uso de un dipolo de media onda, ya sea con un fantoma plano o un fantoma esférico.

Cuando la componente dominante del campo es normal al eje de la sonda y la orientación de la sonda es normal a la superficie del fantoma durante la medición dentro de ±30 ° (Véase Figura 2.2) se pueden aplicar diferentes coeficientes de sensibilidad a las tolerancias de la isotropía axial y hemisférica.

En la Tabla 2.1 se asume una distribución de probabilidad rectangular para la incertidumbre de la isotropía de la sonda.

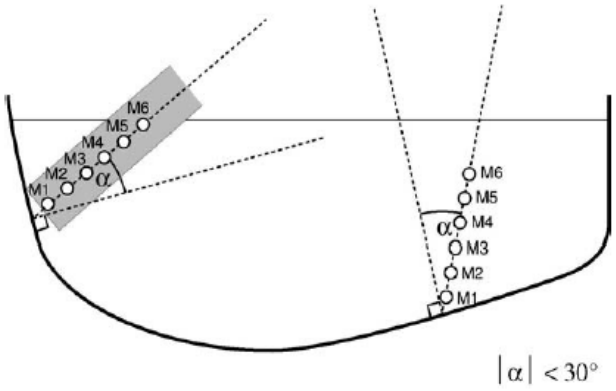


Figura 2.2 Orientación de la sonda con respecto a la línea normal a la superficie mostrada en dos ubicaciones diferentes. M1-M6 son ejemplos de puntos de medición utilizados para extrapolación. Los ángulos α entre el eje de evaluación y la línea normal a la superficie deben ser más pequeños que 30° [4]

2.4.2.3 Incertidumbre por efectos de contorno de la sonda (*Boundary effect*) (E.2.3)

El efecto de contorno de la sonda tiene un aumento de la tolerancia cerca de los contornos debido a los efectos de acoplamiento capacitivo entre la sonda y el contorno de la superficie del fantoma.

Para propósitos de esta recomendación, esta incertidumbre puede ser insignificante para la mayoría de diseños de sondas, si la distancia más cercana entre la punta de la sonda y la frontera es siempre mayor que la mitad del diámetro de la sonda (radio $\boldsymbol{r_p}$).

En algunos casos la sonda puede necesitar medir a una distancia más cercana que $\boldsymbol{r_p}$ para reducir las incertidumbres de interpolación y extrapolación.

Debido a que el efecto de contorno es una característica específica de la sonda, éste debe ser determinado durante su calibración (de acuerdo al valor de $\boldsymbol{r_p}$). Si se aplican algoritmos para compensar el efecto contorno entonces la tolerancia del SAR debe ser determinada con el mismo *hardware* y *software* utilizado en las mediciones de SAR.

El error del efecto contorno puede ser estimado según la siguiente fórmula, la cual basada en extrapolaciones lineales y exponenciales entre la superficie y las distancias $d_{be} + d_{step}$ a lo largo de las líneas que son aproximadamente normal a la superficie, como se muestra en la ecuación Ec.[2.8].

$$SAR_{tolerance}[\%] = SAR_{be}[\%]\frac{(d_{be}+d_{step})^2}{2d_{step}}\frac{e^{\frac{d_{be}}{\delta/2}}}{(\delta/2)} \qquad d_{be} + d_{step} < 10\ mm \qquad \text{Ec. [2.8]}$$

Donde:

d_{be} : distancia en mm entre la superficie y el punto de medición más cercano a M1 (Véase Figura 2.2).

d_{step} : es la distancia de separación en mm entre el primer y segundo punto de medición M1 y M2, dado que las incertidumbres del efecto de contorno en M2 son despreciables (Véase Figura 2.2).

δ: es la profundidad mínima de penetración en mm en los líquidos equivalentes al tejido de cabeza.

SAR_{be}: es la desviación entre el SAR medido y la distancia d_{be} del contorno y el valor analítico de la guía de onda SAR_{ref} el cual es calculado con la ecuación Ec.[2.9].

$$SAR(z) = \frac{4(P_f - P_r)}{\rho \delta ab} \, e^{\frac{-2z}{\delta}} \qquad \text{Ec. [2.9]}$$

Donde: la densidad $\boldsymbol{\rho}$ convencionalmente es 1000 $\mathrm{kg/m^3}$, ***ab*** es el área de sección transversal de la guía de onda, $\boldsymbol{P_f}$ y $\boldsymbol{P_r}$ son la potencia directa y potencia reflejada dentro de la sección sin pérdida de la guía de onda respectivamente. La profundidad de penetración $\boldsymbol{\delta}$, la cual es el recíproco del coeficiente de atenuación en modo de guía de onda $\boldsymbol{\alpha}$, se determina a partir de una exploración a lo largo del eje $\boldsymbol{z}$ y se compara con el valor teórico determinado por la ecuación Ec.[2.10] utilizando las propiedades dieléctricas medidas del líquido con pérdidas.

$$\delta = \alpha^{-1} = \left\{ Re\left[\sqrt{\left(\frac{\pi}{a}\right)^2 + jw\mu_0(\sigma + jw\varepsilon'_r\varepsilon_0)} \right] \right\} \qquad \text{Ec. [2.10]}$$

Donde: $\boldsymbol{a}$ es la dimensión de la guía de onda, $\boldsymbol{\varepsilon_0}$ es la permitividad en espacio libre ($8.854 * 10^{-12}$ F/m), $\boldsymbol{\varepsilon'_r}$ es la permitividad relativa o constante dieléctrica, $\boldsymbol{w}$ es la frecuencia angular en rad/seg, $\boldsymbol{\mu_0}$ es la permeabilidad en espacio libre ($4\pi * 10^{-7}$ $\mathrm{H/m}$), $\boldsymbol{\sigma}$ es la conductividad en S/m y $\boldsymbol{j} = \sqrt{-1}$.

Se debe notar que la calibración real debe ser realizada a distancias más grandes que $\boldsymbol{r_p}$, las cuales son consideradas entre la punta de la sonda y su contorno, donde el efecto de contorno es insignificante. Se puede asumir una distribución de probabilidad rectangular.

2.4.2.4 Incertidumbre de la linealidad de la sonda (*Linearity*) (E.2.4)

La incertidumbre de la linealidad de la sonda de campo eléctrico es evaluada de acuerdo al cuadrado de la intensidad de campo eléctrico medido. Se asume una distribución de probabilidad rectangular debido a que esta distribución es constante y simple de evaluar.

2.4.2.5 Sensibilidad de la sonda de campo y la incertidumbre del límite de detección del sistema (*System detection limits*) (E.2.5)

Puede surgir cuando la intensidad de campo medido está demasiado cerca del límite de detección de la sonda y el sistema de instrumentación asociado. La Tabla 2.1 asume una distribución de probabilidad rectangular para la tolerancia de la sensibilidad de la sonda.

Esta incertidumbre se debe evaluar con una señal CW y una señal de impulsos correspondiente al factor de servicio mínimo permitido o especificado para el sistema de pruebas de SAR.

2.4.2.6 Incertidumbre de la lectura electrónica de la sonda (*Readout electronics*) (E.2.6)

Todas las incertidumbres relacionadas con la lectura electrónica, incluyendo la ganancia y la linealidad del amplificador se suman a la incertidumbre de la sonda. Las diferentes incertidumbres deben ser combinadas con el método RSS. Para estos componentes la Tabla 2.1 supone una distribución de probabilidad normal.

Los rangos esperados de estos componentes de incertidumbre pueden ser evaluados mediante simulación y uso de especificaciones del fabricante en lugar de utilizar sondas de campo.

2.4.2.7 Incertidumbre del tiempo de respuesta a la señal paso (*Response time*) (E.2.7)

Se evalúa mediante la exposición de la sonda a un campo ***E*** de respuesta paso, produciendo al menos 2.0 W/Kg como medida cercana a la superficie del fantoma.

El tiempo de respuesta de la señal es determinado como el tiempo requerido por la sonda y su lectura electrónica en el cual se alcanza el 90% del valor final esperado, producido por la respuesta paso a través de la conmutación del encendido y apagado de la potencia de RF.

Para asegurar una incertidumbre insignificante de tiempo de respuesta de la señal de la sonda, ésta debe permanecer estacionaria en cada punto de la medición por lo menos el doble del tiempo de respuesta evaluada.

Bajo estas condiciones de medición se puede asumir un valor de tolerancia cero en la Tabla 2.1. De lo contrario, la incertidumbre debe ser evaluada utilizando las características de señal del dispositivo bajo prueba.

2.4.2.8 Incertidumbre del tiempo de integración de la sonda (*Integration time*) (E.2.8)

Puede surgir cuando los dispositivos de prueba no emiten una señal continua, como por ejemplo las modulaciones digitales utilizadas en algunos dispositivos.

La Tabla 2.1 asume una distribución de probabilidad rectangular. Dispositivos que operan en los modos FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) y CDMA (*Code Division Multiple Access*) se prueban con señales continuas o CW[36] equivalentes, por lo tanto, se introduce un valor de tolerancia cero.

2.4.3 INCERTIDUMBRE DE LOS PARÁMETROS DEL FANTOMA Y DEL LÍQUIDO EQUIVALENTE AL TEJIDO (E.3)

La incertidumbre de medición de SAR en el fantoma debe ser estimada de acuerdo a la tolerancia de producción de la superficie del fantoma, y las desviaciones de los parámetros dieléctricos del líquido equivalente al tejido. La tolerancia de producción del fantoma incluye la forma y el grosor de la superficie del fantoma.

Las tolerancias de los parámetros del líquido equivalente al tejido deben incluir las tolerancias de medición y las desviaciones de los valores medidos con respecto a los valores objetivo.

2.4.3.1 Incertidumbre del fantoma (*Phantom uncertainty – shape and thickness tolerances*) (E.3.1)

La incertidumbre de medición de SAR debido a la tolerancia de producción de la superficie del fantoma puede ser evaluada de acuerdo con los siguientes requisitos:

a) La forma interna y externa de la superficie del fantoma para el modelo de cabeza debe estar dentro de ± 0.2 mm de la especificada en el archivo CAD (*Computer-Aided Design*).

[36] CW, *Continuous Wave*, es una onda electromagnética de amplitud pico y frecuencia constante.

b) El grosor del fantoma de cabeza tal como se especifica en el archivo CAD debe ser de 2 ± 0.2 mm.

2.4.3.2 Incertidumbre de los parámetros dieléctricos del líquido equivalente al tejido (*Liquid conductivity – deviation from target values*) (E.3.2)

Los parámetros dieléctricos del líquido equivalente al tejido utilizado en las pruebas de SAR no deben exceder del ±5% de lo especificado en el Apéndice C del Capítulo 1.

La ubicación del SAR pico y su correspondiente distribución puede cambiar debido a las variaciones en la superficie del fantoma. Por ejemplo, a mayor conductividad del tejido se espera un aumento de SAR en la superficie del fantoma, pero los campos decaen rápidamente mientras se aleja de la superficie.

Los coeficientes de sensibilidad para conductividad $\boldsymbol{c_\sigma}$ y permitividad relativa $\boldsymbol{c_\varepsilon}$ están dados por las ecuaciones Ec. [2.11] y Ec. [2.12] respectivamente.

$$c_\sigma = \frac{\frac{d(SAR)}{SAR}}{\frac{d\sigma}{\sigma}} \qquad \text{Ec. [2.11]}$$

$$c_\varepsilon = \frac{\frac{d(SAR)}{SAR}}{\frac{d\varepsilon'_r}{\varepsilon'_r}} \qquad \text{Ec. [2.12]}$$

Los coeficientes más altos de sensibilidad determinados a partir del mecanismo de absorción de energía de campo cercano con un dipolo y un fantoma plano para pequeñas desviaciones de conductividad y permitividad relativa de los valores objetivo son $c_\sigma = 0.64$ y $c_\varepsilon = 0.60$ para 1 g, y $c_\sigma = 0.43$ y $c_\varepsilon = 0.49$ para 10 g. Estos coeficientes fueron determinados bajo la condición supuesta de un dipolo con un punto de alimentación de corriente constante.

Los valores reales también dependen de los cambios en la impedancia en el punto de alimentación de la antena causados por pequeñas desviaciones en la conductividad y permitividad relativa. Se puede asumir una corriente constante, lo cual brinda una estimación más conservadora.

2.4.3.3 Evaluación de las incertidumbres en la medición de los parámetros dieléctricos del líquido (*Liquid conductivity – Measurement uncertainty*) (E.3.3)

Para estimar la incertidumbre en la medición de los parámetros dieléctricos del líquido se puede utilizar la medición de materiales de referencia bien caracterizados, tal como se indica en el siguiente procedimiento.

a) Configurar y calibrar el analizador de red con un *span*[37] lo suficientemente grande alrededor de la frecuencia central de interés.
b) Medir el material de referencia para obtener la desviación media y estándar de la permitividad relativa y conductividad en cada banda central del dispositivo y en frecuencias cercanas.
c) En b) para verificar la validez de la calibración versus la frecuencia, se puede calcular las diferencias entre los datos medidos y su correspondiente referencia en cinco o más frecuencias dentro de la banda de transmisión del dispositivo, utilizando las ecuaciones Ec.[2.13].

$$\varepsilon'_{r\text{tolerance}}[\%] = 100 * \left| \frac{\varepsilon'_{r\text{medido}} - \varepsilon'_{r\text{ref}}}{\varepsilon'_{r\text{ref}}} \right| \qquad \text{Ec. [2.13]}$$

$$\sigma_{\text{tolerance}}[\%] = 100 * \left| \frac{\sigma_{\text{medido}} - \sigma_{\text{ref}}}{\sigma_{\text{ref}}} \right|$$

d) Estimar las incertidumbres tipo B para otros componentes en el rango de frecuencia bajo consideración.
e) Las incertidumbres estándar individuales para $\boldsymbol{\varepsilon'_r}$ y $\boldsymbol{\sigma}$ deben ser incluidas en las Tablas 2.1 y 2.2.
f) Medir un segundo material de referencia para verificar la validez de la calibración relativa.
g) Determinar que los datos medidos están de acuerdo con los valores de referencia indicados en la Tabla 2.3 como en el paso c).
   Si se sospecha alguna desviación en el equipo se debe volver a las pruebas de líquido de referencia en la etapa b).

[37] *Span*, es el conjunto de valores en los que funciona el instrumento [13].

Freq (MHz)	Methanol		DMS		DI		Ethanediol	
	ε_r'	σ	ε_r'	σ	ε_r'	σ	ε_r'	σ
300	33.33	0.05	47.07	0.03	80.19	0.02	39.01	0.14
450	32.94	0.11	46.99	0.06	80.16	0.05	34.49	0.30
835	31.37	0.35	46.64	0.20	80.03	0.17	29.15	0.75
900	31.04	0.41	46.56	0.24	80.00	0.20	28.00	0.83
1450	27.77	0.92	45.68	0.60	79.67	0.51	20.38	1.34
1800	25.51	1.27	44.94	0.91	79.38	0.78	17.23	1.58
1900	24.88	1.37	44.71	1.01	79.29	0.87	16.51	1.63
2000	24.25	1.47	44.46	1.11	79.19	0.96	15.85	1.69
2450	21.57	1.89	43.25	1.61	78.69	1.44	13.49	1.89
3000	18.76	2.33	41.59	2.31	77.96	2.13	11.56	2.07

Tabla 2.3 Propiedades dieléctricas de los líquidos de referencia a 20°C

2.4.4 INCERTIDUMBRE DEL POSICIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO (E.4)

Para mantener la posición del dispositivo de prueba con el fantoma durante la medición de SAR se utiliza un soporte. Debido a que el soporte puede influir en las características de la prueba, la incertidumbre debe evaluarse utilizando los procedimientos descritos en E.4.1.

En E.4.2. se discute las incertidumbres debido a las variaciones ocurridas como resultado de las tolerancias mecánicas del soporte del dispositivo.

2.4.4.1 Incertidumbre debida a la perturbación por el soporte del dispositivo (*Device holder uncertainty*) (E.4.1)

Las perturbaciones varían con la posición relativa del dispositivo bajo prueba y la posición de la antena con respecto al soporte. La incertidumbre de SAR para un dispositivo de prueba específico se evalúa comparando el SAR obtenido con y sin el soporte, utilizando los procedimientos descritos en E.4.1.1.

2.4.4.1.1 Tolerancia debida a la perturbación del soporte para un dispositivo de prueba específico: Tipo B (E.4.1.1)

Cuando se desconoce si el soporte del dispositivo perturba los campos del dispositivo bajo prueba, la incertidumbre debe ser evaluada en un fantoma plano mediante la comparación del SAR con y sin el soporte de acuerdo con las siguientes pruebas:

a) **Con soporte del dispositivo.-** El SAR pico promediado en 1 g se mide con el teléfono fijo al soporte de manera similar a la forma en que se llevó a cabo las pruebas en la posición de cabeza. La prueba debe ser desarrollada con la posición de la antena y configuración correspondiente al más alto SAR medido en la cabeza para cada banda de frecuencia.

b) **Sin soporte del dispositivo.-** El SAR pico promediado en 1 g se mide con el dispositivo colocado sobre un bloque de espuma de baja pérdida en posición idéntica a la realizada con el soporte del dispositivo.

La permitividad relativa y la tangente de pérdida del material de espuma debe ser inferior a 1.2 y 10^{-5}, respectivamente.

La tolerancia de SAR debida a la perturbación del soporte del dispositivo se calcula utilizando la ecuación Ec. [2.14]. En la Tabla 2.1 se asume una distribución de probabilidad rectangular y v_i = ∞ grados de libertad:

$$SAR_{tolerance}[\%] = 100 * \left(\frac{SAR_{\frac{w}{holder}} - SAR_{\frac{w}{o\ holder}}}{SAR_{\frac{w}{o\ holder}}} \right) \qquad \text{Ec. [2.14]}$$

Donde:

$SAR_{tolerance}[\%]$: es la incertidumbre en porcentaje.

$SAR_{\frac{w}{holder}}$: es el SAR con el soporte del dispositivo en W/Kg.

$SAR_{\frac{w}{o\ holder}}$: es el SAR sin el soporte del dispositivo en W/Kg.

2.4.4.2 Tolerancia debida a la perturbación del soporte para un dispositivo de prueba específico: Tipo A (*Test simple positioning*) (E.4.2)

La incertidumbre de SAR debido a desviaciones de posicionamiento del dispositivo puede variar por el diseño del dispositivo y los procedimientos utilizados por el operador de la prueba, y estos efectos suelen ser inseparables.

Los procedimientos dados en E.4.2.1 son utilizados para evaluar un diseño individual del equipo. En E.4.2.2 se describen los procedimientos que pueden

aplicarse para evaluar una serie de diseños de equipos que tienen la misma forma y dimensiones equivalentes, utilizando el mismo soporte del dispositivo. A menos que estos requisitos se cumplan, se deben utilizar los procedimientos en E.4.2. para evaluar cada dispositivo individual.

2.4.4.2.1 Tolerancia debida al posicionamiento de un dispositivo específico en un soporte específico (E.4.2.1)

La incertidumbre de posicionamiento de un dispositivo específico probado en un soporte específico se evalúa mediante mediciones repetidas de 1 g de SAR. Esta incertidumbre de posicionamiento debe ser evaluada utilizando la posición de la antena, canal de frecuencia, y la posición del dispositivo para el modo de funcionamiento que produce el SAR más alto entre todas las bandas de frecuencia. Además de la medición original de SAR, se debe colocar de nuevo el dispositivo y repetir la prueba al menos cuatro veces más.

Este mínimo de cinco pruebas debe ser suficiente para establecer un valor razonable para grados de libertad. Si se sospecha que la incertidumbre de posicionamiento de un dispositivo individual es grande, puede ser necesario realizar más pruebas para reducir el impacto en la incertidumbre total de medición.

Si se aumenta el número de pruebas aumentan los grados de libertad efectivos $\boldsymbol{v_{eff}}$ y disminuye el factor de cobertura. El SAR promedio para el número total de mediciones $\boldsymbol{N}$ se utiliza para determinar la incertidumbre del SAR de acuerdo con la desviación estándar y los grados de libertad $\boldsymbol{v_i = N - 1}$ del número de pruebas realizadas.

Mediante la fórmula de Welch-Satterthwaite indicada en la ecuación Ec.[2.15] se puede estimar $\boldsymbol{v_{eff}}$.

$$v_{eff} = \frac{{u_c}^2}{\sum_{i=1}^{m} \frac{{c_i}^4 {u_i}^4}{v_i}} \qquad \text{Ec. [2.15]}$$

Donde:

u_c: es la incertidumbre estándar combinada

m: número de magnitudes de influencia

v_i: grados de libertad

c_i : Coeficiente de sensibilidad de cada componente de incertidumbre $\boldsymbol{u_i}$

2.4.4.2.2 Tolerancia de posicionamiento de un tipo específico de handset en un soporte específico (E.4.2.2)

La incertidumbre de posicionamiento para un grupo específico de terminales con la misma forma y dimensiones sustancialmente equivalentes probadas con un soporte específico, puede ser evaluada utilizando los siguientes procedimientos.

Las pruebas deben incluir al menos seis dispositivos, cada uno debe ser evaluado de acuerdo con los procedimientos descritos en E.4.2.1. La mitad de las pruebas deben ser en la posición *cheek* y la otra mitad en la posición *tilt*.

Los grados de libertad se determinan de acuerdo al número de pruebas $\boldsymbol{N}$ desarrolladas en los $\boldsymbol{M}$ dispositivos incluidos en el grupo específico de dispositivos, con $\boldsymbol{v_i = (N * M) - 1}$.

2.4.5 INCERTIDUMBRE DEBIDA AL ALGORITMO DE INTERPOLACIÓN, EXTRAPOLACIÓN E INTEGRACIÓN (*EXTRAPOLATION, INTERPOLATION AND INTEGRATION. ALGORITMS FOR MAX SAR EVALUATION*) (E.5)

El uso de algoritmos de interpolación, extrapolación e integración para determinar el SAR pico más alto puede añadir incertidumbre debido a supuestos comportamientos del campo. Éstos pueden no predecir perfectamente la distribución del campo $\boldsymbol{E}$ en el líquido equivalente al tejido para un dispositivo.

La incertidumbre del algoritmo está en función de la resolución escogida para la medición y los métodos de post-procesamiento utilizados en el *area scan* y *zoom scan*.

La distribución del SAR en la ubicación pico fuertemente depende de la frecuencia de operación y diseño del *handset*, posición de prueba, y proximidad al líquido equivalente al tejido.

En algunos casos el SAR máximo no está en la superficie del fantoma debido a la cancelación de los campos magnéticos en la superficie. Las funciones de distribución analíticas de SAR presentadas a continuación intentan simular estas condiciones.

Los valores SAR en los puntos de la grilla mostrada en la Figura 2.3 correspondientes al *area scan* y *zoom scan,* se calculan de acuerdo con las tres distribuciones de SAR que figuran en E.5.1 y son procesados por algoritmos de interpolación, extrapolación e integración.

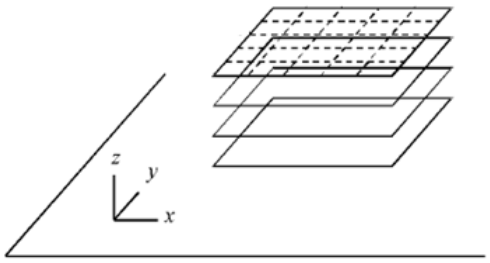


Figura 2.3 Esquemática de los planos *XY* en la grilla del volumen sobre la superficie del fantoma. Los ejes cartesianos son utilizados como referencia y no representan el origen de los planos [4]

Los procedimientos para la evaluación de la incertidumbre del SAR utilizando *area scan* y *zoom scan* después del procesamiento de los algoritmos se describen en E.5.2.

En E.5.3 se discute la aplicabilidad de estas funciones para interfaces curvas. En este método de estimación de incertidumbre se asume que no hay errores en la ubicación de los puntos de la grilla, los cuales fueron calculados con las funciones de distribución analítica.

2.4.5.1 Evaluación de funciones de referencia (E.5.1)

Las tres funciones analíticas dadas por la ecuaciones Ec.[2.16], Ec.[2.17] y Ec.[2.18] representan el posible rango de distribución de SAR esperado en *handsets* probados de acuerdo a las recomendaciones.

Una distribución espacial plana $\boldsymbol{f_1}$ y una distribución paso $\boldsymbol{f_3}$ cubren el rango esperado de gradientes de campo en las mediciones de SAR en un *handset*. La $\boldsymbol{f_2}$

se considera para condiciones de exposición con cancelación de campo magnético en la superficie del fantoma/tejido.

$$f_1(x,y,z) = Ae^{-\frac{z}{2a}}\cos\left(\frac{\pi}{2}\frac{\sqrt{x'^2+y'^2}}{5a}\right) \quad \text{Ec. [2.16]}$$

$$f_2(x,y,z) = Ae^{-\frac{z}{a}}\frac{a^2}{a^2+x'^2}(3-e^{-\frac{2z}{a}})cos^2\left(\frac{\pi}{2}\frac{y'}{3a}\right) \quad \text{Ec. [2.17]}$$

$$f_3(x,y,z) = A\frac{\mathrm{a}^2}{\frac{\mathrm{a}^2}{4}+\mathrm{x}'^2+\mathrm{y}'^2}\left(e^{-\frac{2z}{a}}+\frac{a^2}{2(a+2z)^2}\right) \quad \text{Ec. [2.18]}$$

Donde:

$x' = x + d$ dada en mm

$y' = y + d$ dada en mm

x y y: son el centro de la sección transversal de la guía de onda con pérdida.

d: proporciona un desplazamiento de la distribución de SAR de modo que la ubicación pico no está alineada con la grilla de medición; es expresada en mm. Este *offset* se utiliza para probar las subrutinas de búsqueda de pico en el *software* y su incertidumbre.

z: distancia longitudinal del separador dieléctrico.

A: es la amplitud constante la cual se fijó a 1 W/kg.

α: es el factor de decaimiento que fue arbitrariamente fijado a 20 mm.

2.4.5.2 Evaluación de la incertidumbre del algoritmo de procesamiento de datos (E.5.2)

2.4.5.2.1 Evaluación del area scan (E.5.2.1)

Los algoritmos de interpolación del *area scan* deben ser capaces de localizar las ubicaciones de SAR pico con una precisión de ± $\boldsymbol{L_z}/2$ mm o mejor, donde $\boldsymbol{L_z}$ es la longitud del lado del volumen del *zoom scan*.

En el *software* del sistema se incluyen los valores de funciones analíticas calculadas en los puntos de la grilla del *area scan*. El algoritmo de interpolación trata estos puntos de datos como si fuesen medidos para completar el *area scan* y determinar la ubicación de SAR pico ($\boldsymbol{x_{eval}, y_{eval}}$). Esto se compara con la ubicación pico definida por las funciones analíticas.

Los subíndices "*eval*" y "*ref*" se refieren a evaluado (análogo a la medida) y referencia (calculado), respectivamente.

Se deben cumplir las desigualdades que se muestran en las ecuaciones Ec.[2.19] y Ec.[2.20].

$$|x_{ref} - x_{eval}| \leq \left(\frac{L_z}{2}\right) mm \qquad \text{Ec. [2.19]}$$

$$|y_{ref} - y_{eval}| \leq \left(\frac{L_z}{2}\right) mm \qquad \text{Ec. [2.20]}$$

La capacidad del *area scan* en 2D para localizar exactamente el SAR pico depende de la resolución espacial (Δ_x, Δ_y) de la grilla del *area scan*, la resolución espacial de los valores interpolados (Δ_{xi}, Δ_{yi}), tipo de funciones de interpolación [$\boldsymbol{g(x)}, \boldsymbol{g(y)}$] utilizadas, ubicación de la grilla de evaluación con respecto a la ubicación del pico ($\boldsymbol{x_t}, \boldsymbol{y_t}$) y número de puntos de evaluación utilizados ($\boldsymbol{N_x}, \boldsymbol{N_y}$).

2.4.5.2.2 Evaluación del zoom scan (E.5.2.2)

El *zoom scan* es evaluado de la comparación del más alto valor en 1 g ó 10 g de SAR con los valores de referencia indicados a continuación.

$$SAR_{ref} = (f_1)_{1g} = 0.881 \frac{W}{kg}, \qquad SAR_{ref} = (f_1)_{10g} = 0.759 \frac{W}{kg}$$

$$SAR_{ref} = (f_2)_{1g} = 1.796 \frac{W}{kg}, \qquad SAR_{ref} = (f_2)_{10g} = 1.375 \frac{W}{kg}$$

$$SAR_{ref} = (f_3)_{1g} = 3.049 \frac{W}{kg}, \qquad SAR_{ref} = (f_3)_{10g} = 1.385 \frac{W}{kg}$$

A partir del procedimiento del *area scan* descrito en E.5.2.1, la ubicación pico verdadera ($\boldsymbol{x_{ref}}, \boldsymbol{y_{ref}}$) será desplazada de la ubicación pico estimada ($\boldsymbol{x_{eval}}, \boldsymbol{y_{eval}}$) con una cantidad dada por las ecuaciones Ec.[2.19] y Ec.[2.20]. Este desplazamiento se contabiliza en las funciones de referencia de las ecuaciones Ec.[2.16], Ec.[2.17], y Ec.[2.18] incorporando la distancia $\boldsymbol{d}$.

Puesto que este desplazamiento varía en la práctica, el valor de $\boldsymbol{d}$ debe estar en el rango de:

$$|d| \leq \frac{L_z - L_c}{2}$$

Donde $\boldsymbol{L_c}$ es la longitud del lado del cubo (1 cm para 1 g y 2.15 cm para 10 g) y $\boldsymbol{L_z}$ es la longitud del lado del volumen del *zoom scan*.

Las condiciones de cálculo utilizado como: el número de puntos de retícula, dimensión de las etapas de muestreo, y el número de puntos de apoyo en las tres direcciones deben ser las mismas para las tres funciones.

2.4.5.3 Evaluación de SAR en superficies curvas (E.5.3)

Los procedimientos dados en E.5.2 asumen que el tejido y el contorno del fantoma es plano. Sin embargo, la incertidumbre evaluada con dichas funciones para tejido y contorno del fantoma plano son también válidas para las superficies curvas suaves, siempre que la línea central del cubo esté dentro de 30º de la dirección normal a la superficie del fantoma.

Si se esperan mayores ángulos de inclinación, los procedimientos de ensayo y la incertidumbre adicional no se describe dentro de esta recomendación. Para asegurar que la condición de 30º sea satisfecha en todos los puntos de medición se puede ajustar por ejemplo la sonda y la orientación relativa del fantoma.

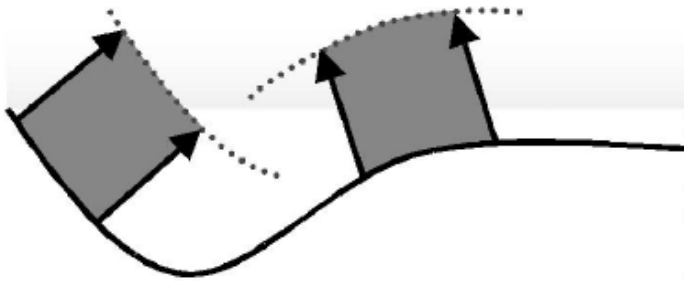


Figura 2.4 Ilustración de la forma y orientación relativa a la superficie del fantoma curvo y volumen cúbico distorsionado para el cálculo del SAR pico promedio [4]

La Figura 2.4 ilustra un método aceptable para la conformación del cubo durante el post-procesamiento de SAR.

2.4.6 OTROS COMPONENTES DE INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN DE SAR (E.6)

2.4.6.1 Condiciones de RF en el ambiente (*RF ambient conditions – noise and conditions reflections*) (E.6.1)

En la medición puede ocurrir incertidumbre cuando las señales de RF están presentes en el ambiente durante una prueba de SAR. El nivel de RF en el ambiente puede ser evaluado mediante la realización de mediciones de SAR utilizando la misma configuración de equipo pero con la potencia de RF desactivada.

Se requiere que la incertidumbre debido a estos efectos ambientales sea menor que el 3% de la sensibilidad mínima del sistema. Además, el ruido ambiental de RF debe ser determinado por la realización de mediciones de SAR con todas las fuentes de RF locales apagadas.

Los efectos de reflexiones de RF y campos ambientales debe ser menor que 0.012 W/Kg lo cual corresponde al 3% de 0.4 W/Kg para proporcionar una suficiente relación señal a ruido según lo especificado en la recomendación.

Cuando las medidas de SAR son desarrolladas en un entorno controlado como una cámara anecoica, los efectos ambientales de RF deben ser evaluados al menos una vez por año para asegurar que ninguna fuente no periódica cercana, por ejemplo *walkie-talkie*s afecten a las mediciones de SAR.

2.4.6.2 Tolerancias mecánicas del posicionador de la sonda (*Probe positioner mechanical tolerance*) (E.6.2)

Las tolerancias mecánicas del posicionador de la sonda pueden introducir incertidumbre. La máxima desviación del punto de medición objetivo, debido a la tolerancia del posicionador de la sonda, es $\boldsymbol{d_{ss}}$ la cual está definida como la tolerancia máxima entre la posición objetivo del centro de los sensores de la sonda y la posición actual con respecto a un punto de referencia indicado por el fabricante del sistema.

Se evalúa la tolerancia de SAR de acuerdo a un decaimiento exponencial utilizando la aproximación de error de primer orden mostrada en la ecuación Ec.[2.21].

$$SAR_{tolerance}[\%] = 100 * \frac{d_{ss}}{\frac{\delta}{2}} \quad \text{Ec. [2.21]}$$

La profundidad de penetración más pequeña para los parámetros de líquido equivalente al tejido de cabeza debe ser utilizado para $\boldsymbol{\delta}$. Si la tolerancia mecánica del posicionador de la sonda no es especificada por el fabricante del sistema, ésta debe ser evaluada de acuerdo con la precisión relativa de los movimientos de la sonda dentro de la región del *area scan*.

2.4.6.3 Tolerancia del posicionamiento de la sonda con respecto a la superficie del fantoma (*Probe positioning with respect to phantom shell*) (E.6.3)

Los procedimientos de posicionamiento de la sonda afectan a la tolerancia dada por la distancia de separación entre la punta de la sonda y la superficie del fantoma.

La incertidumbre de SAR resultante se evalúa de acuerdo con un decaimiento exponencial utilizando la aproximación de error de primer orden y se muestra en la ecuación Ec.[2.22].

$$SAR_{tolerance}[\%] = 100 * \frac{d_{ph}}{\frac{\delta}{2}} \quad \text{Ec. [2.22]}$$

Donde $\boldsymbol{d_{ph}}$ es la desviación máxima de la distancia entre la punta de la sonda y la superficie del fantoma.

2.4.6.4 Procedimiento de evaluación del SAR pico promedio para cada configuración de dispositivo (*Output power variation – SAR drift measurement*) (E.6.4)

2.4.6.4.1 Paso 1. Medición de la potencia de referencia (E.6.4.1)

Antes de realizar la prueba de SAR, para monitorear las variaciones de potencia durante la prueba se debe medir el SAR en un punto de referencia espacial el cual se encuentre por encima del nivel de ruido.

2.4.6.4.2 Paso 2. Area scan (E.6.4.2)

El *area scan* debe ser desarrollado de acuerdo a las siguientes recomendaciones.

Los procedimientos de medición para la evaluación de SAR en los teléfonos inalámbricos, comienzan típicamente con una rejilla de medición gruesa para determinar la ubicación aproximada de los valores de SAR local máximo. Este proceso se conoce como *area scan*.

La distribución de SAR es escaneada a lo largo de la superficie interior del lado del fantoma de cabeza al menos en un área mayor que la proyección del *handset* y su antena. Un ejemplo de grilla se muestra en la Figura 2.5.

La distancia entre los puntos medidos y la superficie del fantoma debe ser menor a 8 mm y se debe mantener constante durante el escaneo completo para determinar la ubicación del SAR pico local con una suficiente precisión.

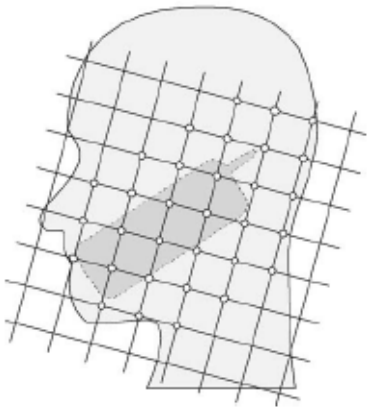


Figura 2.5 Ejemplo de un *area scan* incluyendo la posición del *handset*. El área escaneada (puntos blancos) debe ser más grande que el área proyectada por el *handset* y su antena [4]

2.4.6.4.3 Paso 3. Zoom scan (E.6.4.3)

Si el volumen del cubo dentro del *zoom scan* elegido para calcular el SAR pico promedio topa cualquier perímetro del volumen del *zoom scan*, éste debe ser repetido con el centro del volumen del *zoom scan* desplazado a la nueva ubicación del máximo SAR.

El Paso 3 debe repetirse cuando cualquier pico secundario encontrado en el Paso 2 se encuentra dentro de 2 dB del pico máximo y no están dentro del *zoom scan*.

El *zoom scan* debe ser desarrollado de acuerdo a las siguientes recomendaciones.

Para evaluar el valor de SAR pico promediado para un cubo de 1 g o 10 g se realizan exploraciones de resolución fina llamadas *zoom scan*. Éstas son desarrolladas en las ubicaciones de SAR pico identificadas durante el *area scan*.

El mínimo tamaño del volumen de *zoom scan* debe extenderse al menos 1.5 veces la dimensión del borde de 1 g de cubo en todas las direcciones del centro del volumen de exploración para ambas evaluaciones de SAR pico promediado en 1 g y 10 g.

La ubicación del SAR pico local, la cual fue determinada en el *area scan* (valores intercalados), debe ser utilizada para los centros del *zoom scan*. Si el volumen de exploración no puede ser centrado debido a la proximidad de la forma del fantoma, la sonda debe estar inclinada para permitir la ampliación de la exploración del volumen. Si la inclinación de la sonda no es factible, el origen del *zoom scan* puede ser desplazado, pero no por más de la mitad de la dimensión del borde del cubo de 1 g o 10 g.

Después de la medición del *zoom scan*, se desarrollan extrapolaciones de los puntos de medición más cercanos a la superficie, por ejemplo, a lo largo de líneas paralelas a la línea central del *zoom scan*, e interpolaciones a una resolución más fina entre todos los puntos medidos y extrapolados.

El SAR pico promediado es finalmente determinado por un promedio numérico de los valores SAR locales en la grilla de interpolación, utilizando por ejemplo un algoritmo trapezoidal para la integración (promedio).

2.4.6.4.4 Paso 4. Medición de la potencia de referencia (E.6.4.4)

La ubicación del SAR debe ser medido en exactamente la misma ubicación como en el Paso 1. El valor absoluto de la desviación (*drift*) de la medición (la diferencia

entre el SAR medido en el Paso 4 y el Paso 1) debe ser registrado en el presupuesto de incertidumbre[38] (Tabla 2.1).

Es recomendable que la desviación se encuentre dentro de $\pm 5\%$. Si esto no es posible, incluso con la repetición de la prueba se debe utilizar información adicional, por ejemplo, el SAR local frente a los datos de tiempo, para demostrar que la potencia de salida aplicada durante la prueba es adecuada para la evaluación del dispositivo.

2.5 INTRODUCCIÓN A LA METROLOGÍA [14], [15] y [16]

Las mediciones están incluidas en todas las actividades realizadas en la vida diaria de las personas y son importantes en la ejecución de todos los procesos porque permiten conocer de forma cuantitativa las propiedades físicas y químicas de los objetos.

Es un requisito fundamental de la sociedad tener mediciones exactas y confiables además de contar con procesos productivos en los que se controlen las características del producto. Con esto se logra el cumplimiento de las expectativas requeridas ya que a partir de éstas se puede asegurar la calidad de los bienes para mantener la competividad en el mercado y facilitar las transacciones comerciales.

La Metrología es probablemente la ciencia más antigua del mundo y su aplicación es una necesidad fundamental. Por tal motivo, las actividades relacionadas con la Metrología dentro de un país son responsabilidad de una o varias instituciones autónomas o gubernamentales y se clasifica según su campo de aplicación.

En la Figura 2.6 se indica dicha clasificación, mientras que en la Figura 2.7 se muestra cómo se encuentra constituida la ley del sistema ecuatoriano de la calidad.

[38] Presupuesto de incertidumbre, también conocido como contribuciones a la incertidumbre lo cual se define como "declaración de una incertidumbre de medida y las componentes de esa incertidumbre, junto con su cálculo y combinación" [11].

Figura 2.6 Clasificación de la Metrología [17]

Figura 2.7 Ley del sistema ecuatoriano de la calidad [17]

2.5.1 DEFINICIÓN DE METROLOGÍA [11]

Según el Vocabulario Internacional de Metrología (VIM), el término Metrología se refiere a la "ciencia de las mediciones y sus aplicaciones"

"NOTA: La Metrología incluye todos los aspectos teóricos y prácticos de las mediciones, cualesquiera que sean su incertidumbre de medida y su campo de aplicación."

2.5.2 LEY DEL SISTEMA ECUATORIANO DE CALIDAD [18]

De acuerdo al artículo 35 de la Ley del Sistema Ecuatoriano de Calidad de febrero del 2007, publicada en registro oficial Suplemento 26: “El INEN es la entidad responsable de la Metrología en el país y como tal actúa en calidad de organismo nacional competente.

El aseguramiento de las mediciones se fundamentará en la trazabilidad de los patrones nacionales hacia patrones internacionales del Sistema Internacional de Unidades SI, de mayor jerarquía”.

La Metrología cubre tres actividades principales:

- Definición de unidades de medida que son internacionalmente aceptadas.
- La realización de las unidades de medida por métodos científicos.
- Establecimiento de cadenas de trazabilidad determinando y documentando el valor y la exactitud delas mediciones.

2.6 TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES

2.6.1 IMPORTANCIA DE LA TRAZABILIDAD EN LABORATORIOS [17]

La trazabilidad es un término importante cuando se trata de obtener resultados confiables, comparables y reproducibles independientemente del lugar donde se los haya realizado. Dentro de la norma ISO/IEC 17025:2006 es un requisito para aquellos laboratorios que buscan la acreditación dentro de su campo de acción.

2.6.2 ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA TRAZABILIDAD [19]

La trazabilidad es caracterizada a partir de los elementos mostrados en la Figura 2.8.

1. **CADENA ININTERRUMPIDA DE COMPARACIONES**
   Se relaciona con un patrón adecuado sea nacional o internacional.

2. **INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN**
   La incertidumbre es transferible en cada paso de la cadena de trazabilidad.

3. **DOCUMENTACIÓN**

   En la cadena de trazabilidad se utilizan procedimientos de calibración reconocidos. Se deben incluir los resultados.

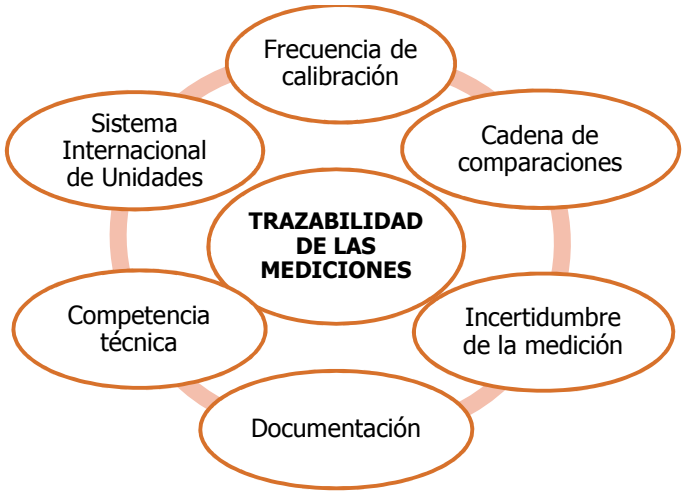


Figura 2.8 Elementos que integran la trazabilidad [19]

4. **COMPETENCIA TÉCNICA**

   Los laboratorios pueden mostrar su competencia técnica mediante la acreditación o el cumplimiento de los requisitos de la ISO/IEC 17025.

5. **REFERENCIA A LAS UNIDADES DEL SI**

   La cadena de comparaciones finaliza en patrones primarios.

6. **FRECUENCIA DE CALIBRACIÓN**

   Las calibraciones deben ser realizadas cada cierto tiempo dependiendo por ejemplo de la frecuencia de uso de los equipos, la estabilidad de los mismos, la incertidumbre requerida, etc.

2.6.3 TRAZABILIDAD EN SUSTANCIAS QUÍMICAS [14]

Para medir el SAR se requiere un líquido que simule las características del tejido humano, por lo que es necesario que se revise la trazabilidad en sustancias químicas, la cual se refiere a la cadena ininterrumpida de comparaciones de las sustancias químicas con valores referencia, estándares, etc.

La validación es un factor clave al establecer la trazabilidad porque permite comprobar si el método está suficientemente definido e incorpora todos los elementos necesarios.

Se puede establecer la trazabilidad y comparabilidad de un resultado de la siguiente manera:

- Utilizar un procedimiento definido.
- Utilizar un material apropiado de referencia certificado.
- Participar en Pruebas de Competencia.

Internacionalmente, la Metrología en sustancias químicas está a cargo de instituciones como las siguientes:

- *European Committee for Standardization* (CEN).- Estandarización de métodos analíticos.
- *Community Bureau of Reference* (BCR) e *Institute for Reference Materials and Measurements* (IRMM).- Materiales de referencia (MR)[39].
- *Working group* (EEE-PT).- Pruebas de aptitud además de desarrollar políticas comunes y consultorías técnicas en las áreas de ensayos, mediciones y análisis para mejorar la confiabilidad europea. También se utiliza como fórum de discusión.

2.6.4 POLÍTICA DE TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES DEL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN ECUATORIANO (OAE[40]) [20]

2.6.4.1 Alcance

Esta política es aplicada por laboratorios de ensayo y calibración acreditados o en busca de acreditación. También se utiliza para otras actividades como inspección y certificación de productos.

---

[39] Material de Referencia (MR), "Material suficientemente homogéneo y estable con respecto a propiedades especificadas, establecido como apto para su uso previsto en una medición o en un examen de propiedades cualitativas"

[40] OAE (Organismo de Acreditación Ecuatoriano), actualmente conocido como SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano), institución referente de la calidad y de la acreditación de evaluación de la conformidad a nivel nacional e internacional [83].

2.6.4.2 Política referente a la trazabilidad de los laboratorios de calibración

El OAE requiere que los laboratorios acreditados y en proceso de acreditación obtengan la trazabilidad de una de las entidades que se mencionan en la Figura 2.9.

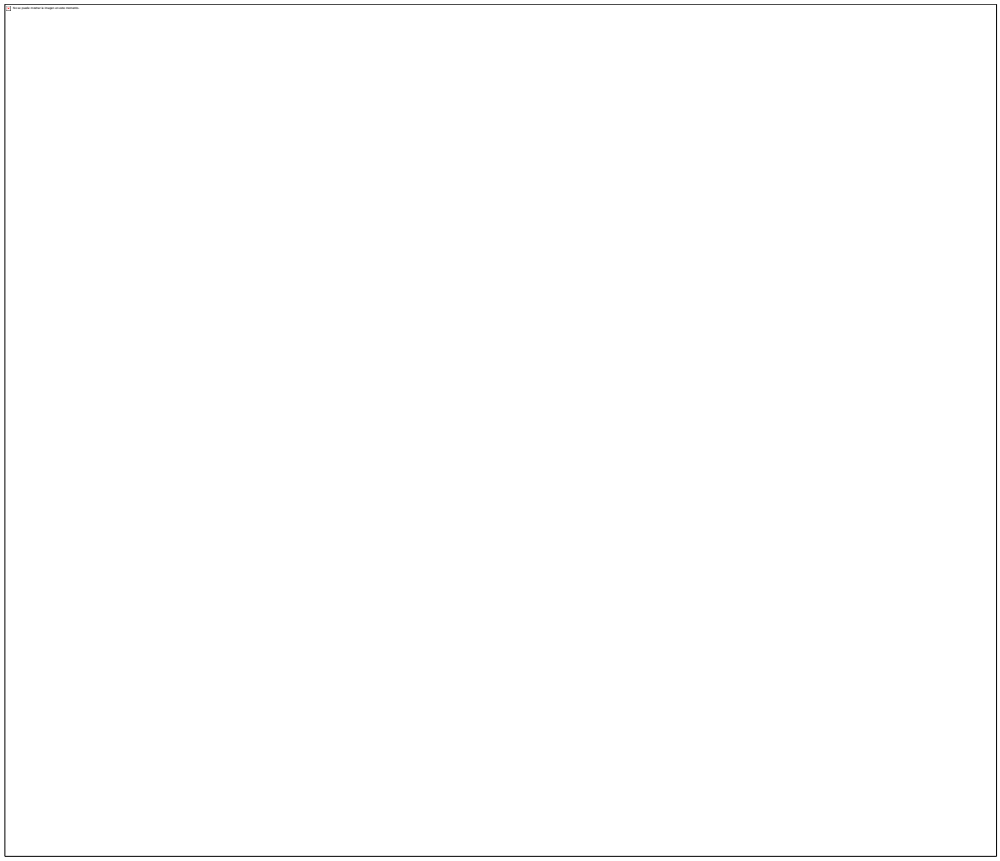


Figura 2.9 Entidades que pueden dar trazabilidad [20]

Se debe notificar al INEN cuando por razones técnicas la trazabilidad de los patrones o de las mediciones de los laboratorios acreditados no provenga de patrones nacionales conforme lo establece la ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad. Entre las razones técnicas se tienen:

- La capacidad de medición y calibración (CMC) disponible en el país es insuficiente para los fines del usuario por ejemplo: rango, procedimiento, incertidumbre.
- Equipamiento nuevo adquirido con certificado de calibración que cumpla con los puntos 2.2 o 2.4 indicados en la Figura 2.9.

- Imposibilidad de cumplimiento con el programa de calibración de los laboratorios debido a la capacidad de respuesta de los laboratorios acreditados o Instituto Nacional de Metrología.
- Incompatibilidad del instrumento a ser calibrado (fluidos, niveles de voltaje, etc.) con la instrumentación y materiales auxiliares utilizados en la calibración.

Mientras sea técnicamente posible los laboratorios de calibración deben utilizar los servicios prestados por 2.1 indicado en la Figura 2.9. Se aceptan los puntos 2.5 y 2.6 de la misma figura cuando se demuestra mediante evidencias que estas opciones proporcionan la trazabilidad metrológica e incertidumbre adecuada para su uso correspondiente, para lo cual se debe revisar el cumplimiento como mínimo de los siguientes puntos de la norma ISO/IEC 17025:2005 de las instituciones mencionadas en los puntos 2.5 y 2.6 de la Figura 2.9.

- Registros de validación de los procedimientos de calibración.
- Procedimientos de estimación de la incertidumbre.
- Trazabilidad metrológica documentada.
- Evidencia documentada del aseguramiento de la calidad de los resultados.
- Evidencia documentada de la competencia técnica del personal.
- Evidencia documentada de las condiciones ambientales.

El OAE es el ente encargado de verificar la competencia técnica en las capacidades de medición que no están cubiertas por el acuerdo de reconocimiento del CIPM del laboratorio del INEN. Esta verificación se realiza considerando los requisitos de la Norma ISO/IEC 17025:2005 antes mencionada. La frecuencia de verificación del laboratorio del INEN por el OAE se la realiza cada dos años.

Los laboratorios de calibración acreditados o en proceso de acreditación deben demostrar que la calibración de los equipos críticos[41] y los resultados generados por éstos son trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI).

[41] Equipo crítico, es aquel equipo que es necesario para la realización de un ensayo o calibración de acuerdo con el alcance de la acreditación y que ejercen influencia significativa en la incertidumbre de dicha medición.

Cuando no se cumplen los puntos 2.1 al 2.6 mostrados en la Figura 2.9 se puede aplicar la cláusula 5.6.2.1.2 de la norma ISO/IEC 17025 y queda en el laboratorio la responsabilidad de escoger el mecanismo adecuado y proveer la evidencia necesaria la cual debe ser evaluada por el OAE.

La cláusula 5.6.2.1.2 de la norma ISO/IEC 17025 cita: "Existen ciertas calibraciones que actualmente no se pueden hacer estrictamente en unidades del SI. En estos casos la calibración debe proporcionar confianza en las mediciones al establecer la trazabilidad a patrones de medición apropiados tales como:

- El uso de materiales de referencia certificados provistos por un proveedor competente con el fin de caracterizar física o químicamente un material de manera confiable;
- La utilización de normas y/o métodos consensuados, claramente descritos y acordados por todas las partes concernientes.

Siempre que sea posible se requiere la participación en un programa adecuado de comparaciones inter-laboratorios."

Los laboratorios de calibración acreditados o que se encuentran en proceso de acreditación deben documentar la trazabilidad metrológica haciendo uso de cartas de trazabilidad[42] actualizadas que permitan demostrar la trazabilidad de sus mediciones a patrones nacionales o internacionales.

2.6.4.3 Política referente a la trazabilidad de los laboratorios de ensayo

Si la calibración de instrumentos o equipos utilizados en el ensayo contribuye significativamente a la incertidumbre total se debe aplicar la misma política de trazabilidad utilizada para laboratorios de calibración.

La trazabilidad no necesita ser demostrada si la calibración no es un factor dominante en el resultado del ensayo. El laboratorio debe demostrar que la

[42] Carta de trazabilidad, "es un diagrama que muestra la relación de calibraciones o comparaciones entre un resultado y las referencias determinadas. Una carta de trazabilidad muestra los elementos que constituyen la cadena de trazabilidad respectiva, es decir, los sistemas de medición o los patrones y los métodos, las incertidumbres de cada calibración o medición, y la referencia al documento o procedimiento que soporta cada calibración o medición. En caso de que el valor resultante de una medición se derive de la medición de varias magnitudes, indica las cadenas relativas a cada una de esas magnitudes."

contribución asociada a la calibración contribuye de manera insignificante al resultado y a la incertidumbre de la medición.

2.6.4.4 Política referente a la Trazabilidad de Materiales de Referencia (MR) y Material de referencia certificado[43] (MRC)

Para que el resultado de una medición sea comparable debe ser referido a bases comunes preferiblemente conocidas internacionalmente.

Cuando sea posible los materiales de referencia deben ser trazables al SI o al material de referencia certificado. Si por el contrario esto no se cumple el laboratorio debe demostrar con evidencias objetivas esta salvedad y buscar la forma de demostrar la trazabilidad para los ensayos.

[43] Material de Referencia Certificado (MRC), "Material de referencia acompañado por la documentación emitida por un organismo autorizado, que proporciona uno o varios valores de propiedades especificadas, con incertidumbres y trazabilidades asociadas, empleando procedimientos válidos."

CAPÍTULO 3

PRUEBAS DE SAR AL TERMINAL CELULAR Y RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS MEDICIONES

3.1 INTRODUCCIÓN [82]

El uso de celulares es muy popular hoy en día, ya que permiten mantener la comunicación independientemente del lugar donde la persona se encuentre; además, se encuentran implementados con funciones adicionales como cámaras, agenda y algunos otros servicios con lo cual su uso se vuelve inevitable. Para funcionar, los dispositivos celulares reciben y emiten continuamente ondas electromagnéticas, que se envían entre la antena del celular y la radio base; en este proceso el cuerpo del usuario está expuesto a radiación no ionizante principalmente en la cabeza cuando se habla por teléfono y en el cuerpo al utilizar datos o conexión WiFi.

A pesar de que la radiación emitida por este tipo de equipos es no ionizante y no altera el ADN de las células, si se utiliza por períodos largos se provoca un calentamiento de los tejidos lo cual a corto o largo plazo afecta a la salud de las personas ya que expertos creen que este calentamiento tiene relación con la aparición de tumores benignos y malignos cercanos al cerebro.

Varias organizaciones así como normas internacionales tratan de indicar un límite de radiación que indique que el dispositivo no representa una amenaza para la salud de quienes hacen uso de este tipo de tecnología. El SAR es el parámetro utilizado para indicar cuánta radiación es absorbida por el tejido humano; este valor se encuentra mayormente entre 1.6 W/Kg y 2 W/Kg para la mayoría de *handsets*. Con este propósito para verificar el cumplimiento, antes de que un dispositivo sea comercializado, el SAR debe ser medido utilizando el equipamiento adecuado, así como utilizando los procedimientos dados por las recomendaciones internacionales con experiencia en este campo.

La peligrosidad de estos dispositivos ha sido un tema muy debatido y controversial y aunque no existen investigaciones concluyentes que demuestren

claramente los efectos adversos de estos equipos en la salud, se cree que el mejor camino es la prevención; por lo cual escoger un celular con un menor valor de SAR, así como utilizarlo de manera más responsable siempre será lo más sensato por hacer.

3.2 REFERENTE AL LABORATORIO DE CERTIFICACIÓN DE EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES DE LA ARCOTEL [23]

La Dirección de Certificación de Equipos (DCI) de la ARCOTEL es la encargada del proceso de homologación de equipos terminales de telecomunicaciones de acuerdo a la clase, marca y modelo específico. Para alcanzar este fin, cuenta con un laboratorio que fue implementado en dos fases; en este lugar se ejecuta la verificación técnica, que consiste en la realización de pruebas técnicas a cualquier dispositivo que se considere un equipo terminal de telecomunicaciones, que haga uso del espectro radioeléctrico y que utilice una potencia mayor a 50 mW (17 dBm).

3.2.1 FASE 1

La primera fase del laboratorio fue implementada en el año 2011 y consta de equipamiento para ser utilizado en la realización de pruebas de radiofrecuencia a teléfonos celulares, módems, terminales de radio de sistemas troncalizados, terminales de radio de sistemas comunales de explotación, sistemas que utilizan modulación digital de banda ancha, terminales para el servicio satelital, entre otros. En la Figura 3.1 se pueden observar los equipos que conforman la primera etapa.

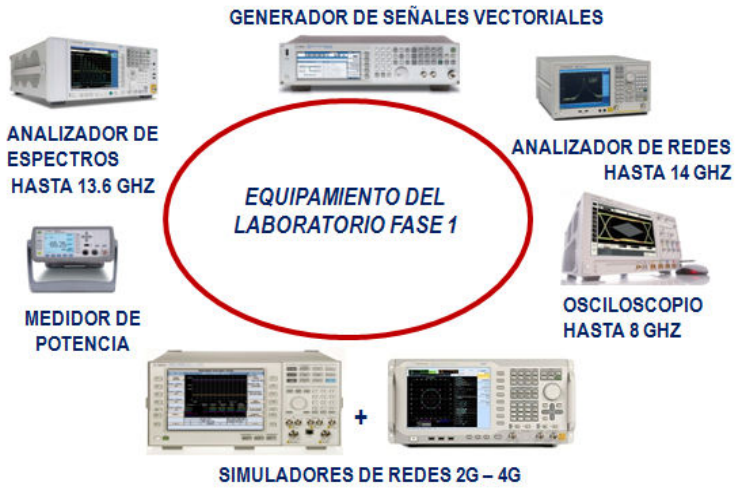


Figura 3.1 Equipamiento adquirido en la Fase 1 del laboratorio [23]

3.2.2 FASE 2

La Fase 2 fue implementada en el año 2013 y está conformada de un sistema que permite cuantificar las emisiones radioeléctricas, que emiten los equipos de telecomunicaciones en las cercanías del cuerpo de una persona, bajo condiciones de funcionamiento normal del dispositivo.

El sistema COMOSAR está conformado por una cámara semi-anecoica, el robot "KUKA" el cual es controlado mediante el *software* OPENSAR y equipamiento adicional que permite la configuración del sistema para medición de SAR. El sistema de medición de SAR se muestra en la Figura 3.2.

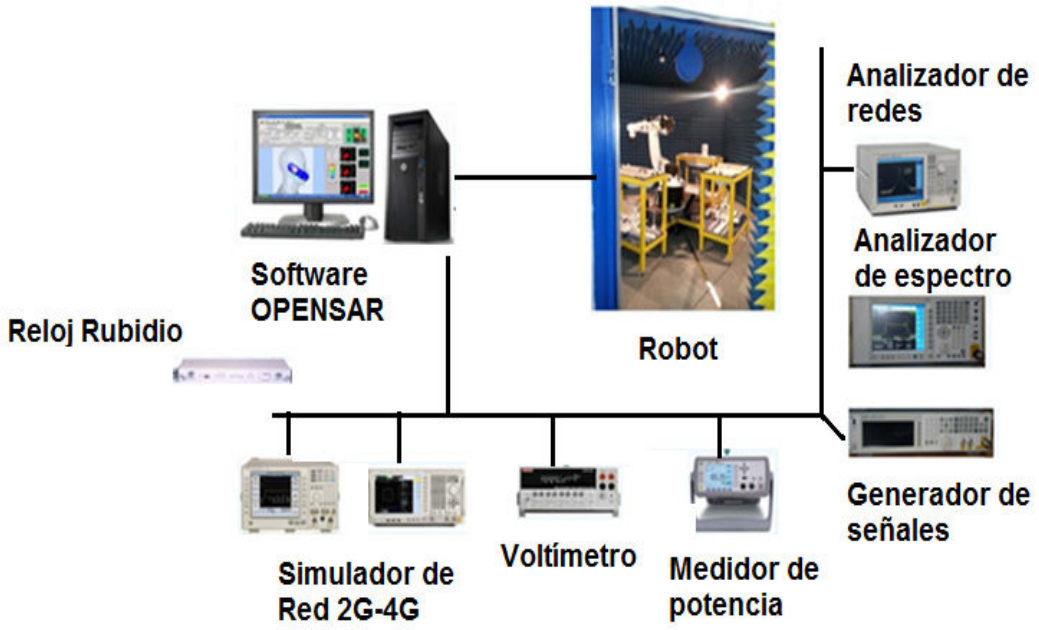


Figura 3.2 Equipamiento del sistema de medición de SAR del Laboratorio de la ARCOTEL [23]

3.3 SISTEMA DE MEDICIÓN DE SAR "COMOSAR" [24]

En la Figura 3.3 se muestra el robot "KUKA" y los tres fantomas que son utilizados en el laboratorio para la medición de SAR, en equipos de telecomunicaciones que ingresan al Laboratorio de la ARCOTEL.

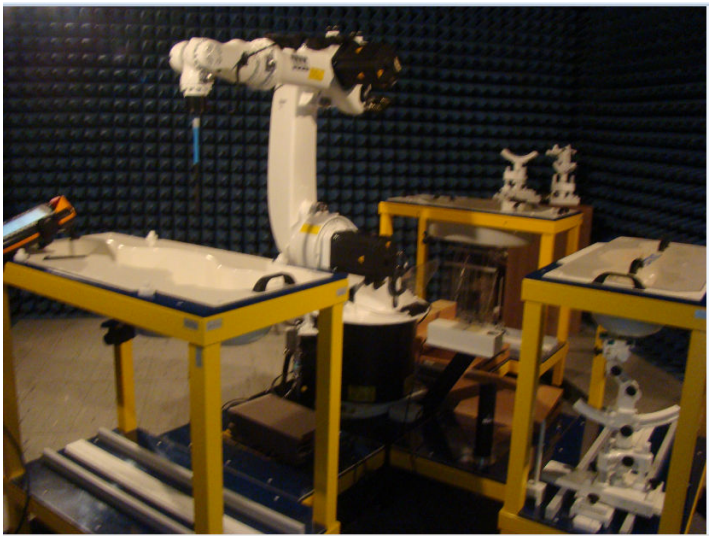


Figura 3.3 Sistema de medición de SAR implementado en el laboratorio de la ARCOTEL

3.3.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

El sistema COMOSAR trabaja en el rango de frecuencia desde 30 MHz hasta 6 GHz. Cumple con los siguientes estándares:

- IEEE 1528
- FCC OET Boletín 65 (Ed. 97-01) Suplemento C
- IEC 62209-1/ IEC 62209-2
- EN 50360 / 50361:2001
- EN 50383

El sistema COMOSAR está en posibilidades de medir el cumplimiento de las normas para medición de SAR, que establece el SAR en 1 g o 10 g de tejido según lo indica la norma europea y americana que mencionan los límites de 2.0 W/Kg y 1.6 W/Kg respectivamente.

3.3.2 PARTES PRINCIPALES DEL SISTEMA COMOSAR

En la Figura 3.4 se indican las partes principales que conforman el sistema de medición de SAR.

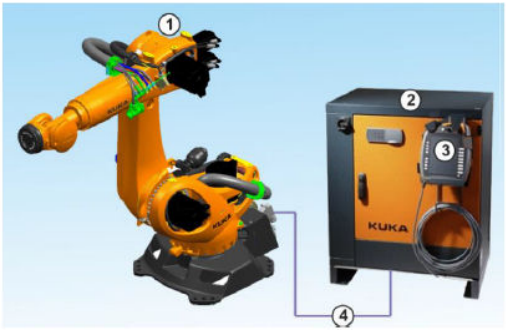


Figura 3.4 Partes principales del sistema COMOSAR. (1) Robot, (2) KRC (*Kuka Robot Controller*), (3) *Smartpad* (4) Cables de datos y poder [25]

3.3.2.1 Robot

El robot KUKA KR 6-2 de la Figura 3.5 es uno de los robots más versátiles, se utiliza para sujetar la sonda durante la medición de SAR.

Figura 3.5 Robot KUKA KR 6-2 [26]

En la Tabla 3.1 se indican algunas características técnicas con las que cumple el robot KR 6-2.

Alcance máximo	1.611 mm
Carga útil nominal	6 Kg
Carga máxima total	36 Kg
Cantidad de ejes	6 ejes
Posición de montaje	Piso, pared o techo
Repetibilidad de posición	±0.05 mm
Temperatura en servicio	+5°C hasta +55°C
Tipo de protección	IP 65
Conexión	7.3 kVA
Nivel de ruido	<75 dB

Tabla 3.1 Características técnicas del robot KR 6-2

3.3.2.2 KR C4 [27]

El KR C4 de la Figura 3.6 es un controlador que ofrece rendimiento, seguridad, flexibilidad e inteligencia adecuados que sirve para el control del robot. Reduce los costes de integración, mantenimiento y conservación en la automatización, aumentando de esta manera la eficacia de los sistemas de forma duradera.

Figura 3.6 Controlador KR C4 [28]

En la Tabla 3.2 se indican algunas características técnicas con las que cumple el KR C4.

Dimensiones del controlador	960 x 792 x 558 mm
Procesador	Tecnología *Multi-core*
Interfaces	USB, Gb Ethernet, DVI-I
Número de ejes máximos	8 ejes
Frecuencia principal	49 a 61 Hz
Grado de protección	IPS4
Temperatura ambiente	+5°C a +45°C
Peso	150 Kg

Tabla 3.2 Características técnicas del KR C4

3.3.2.3 KUKA *Smartpad* [29]

El *smartpad* de la Figura 3.7 sirve para establecer la conexión del controlador con el robot, es universalmente compatible con todos los robots KUKA y controladores KR C4; puede ser conectado y desconectado en cualquier momento. Posee pantalla táctil, e interacción flexible; además tiene integrado un puerto USB lo que permite cargar configuraciones de manera más rápida.

En la Tabla 3.3 se indican algunas características técnicas con las que cumple el *smartpad*.

Figura 3.7 *Smartpad* [27]

Tipo	KUKA *smartpad*
Pantalla	Resistente a rayaduras
Tamaño de la pantalla	8.4″
Dimensiones	240 x 290 x 50 mm
Peso	1100 g

Tabla 3.3 Características técnicas del *smartpad*

3.3.3 ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE MEDICIÓN DE SAR [25 y 30]

En la Figura 3.8 se pueden observar los elementos típicos utilizados en el sistema de medición de SAR.

Figura 3.8 Elementos implementados en el laboratorio para la medición de SAR

3.3.3.1 Computadora principal

La computadora principal que se muestra en la Figura 3.9 controla el robot, el multímetro y toda la instrumentación utilizada por el sistema de medición, cuyas características son:

- *Pentium* 4 @ 2.8 GHz
- *Windows* XP + MS *Office*
- Tarjeta GPIB NSI y cables
- Monitor LCD 17 pulgadas

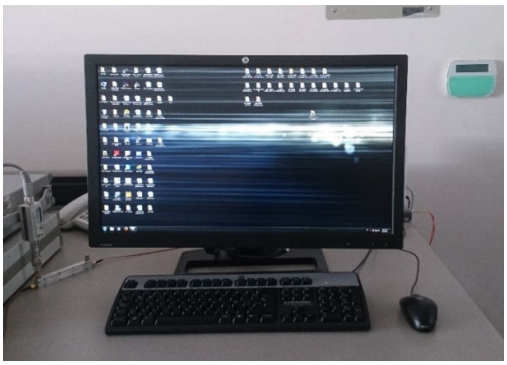


Figura 3.9 Computadora principal

3.3.3.2 Pantalla de monitoreo del robot KUKA

En la Figura 3.10 se indica la pantalla SONY 46” para monitoreo del robot.

Figura 3.10 Pantalla para monitoreo del robot

3.3.3.3 Cámara semi-anecoica

Para llevar a cabo las mediciones de SAR se utiliza una cámara semi-anecoica, la cual recibe este nombre debido a que sus cuatro paredes y techo, excluyendo el suelo, poseen una cubierta de material absorbente electromagnético, la cual se puede observar en la Figura 3.11. Ésta permite atenuar las señales externas para evitar algún tipo de interferencia radioeléctrica hacia los dispositivos inalámbricos

que están sujetos a prueba. En la Figura 3.12 se puede observar la cámara semi-anecoica.

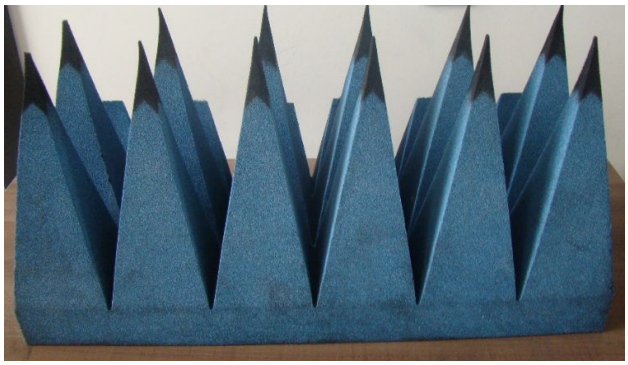


Figura 3.11 Cubierta de material absorbente

Figura 3.12 Cámara semi-anecoica del laboratorio

La cámara semi-anecoica tiene una dimensión de 4.8 m de ancho, 4.8 m de largo y 3 m de altura. Posee una puerta hermética blindada que protege de la interferencia. El piso es de material antiestático y su resistencia de puesta a tierra es menor a 3 Ω. Además en su interior contiene un sistema de video que permite la visualización de la realización de pruebas.

3.3.3.4 *Software* OPENSAR

El *software* OPENSAR de la Figura 3.13 ha sido desarrollado por SATIMO y se utiliza para realizar las mediciones de SAR en compatibilidad con los estándares internacionales. El *software* OPENSAR utiliza algoritmos optimizados, además de una interfaz amigable para el usuario.

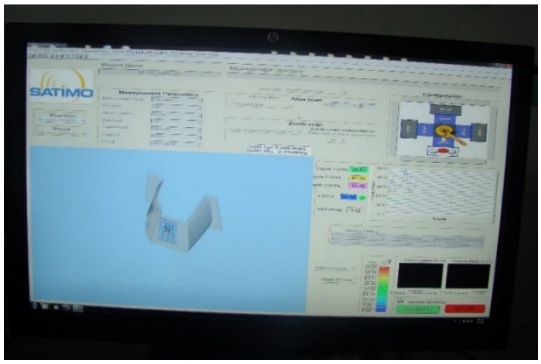


Figura 3.13 Pantalla principal del *software* OPENSAR

Además, el *software* es capaz de realizar mediciones de *area scan* y *zoom scan* así como de las propiedades del líquido dieléctrico.

3.3.3.5 Fantomas

3.3.3.5.1 Fantoma de cabeza

El laboratorio cuenta con dos fantomas horizontales del tipo “SAM *TWIN*” como se muestra en la Figura 3.14. El modelo SAM (*Standard Anthropomorphic Model*) es un fantoma normalizado que permite una medida confiable de la exposición a RF.

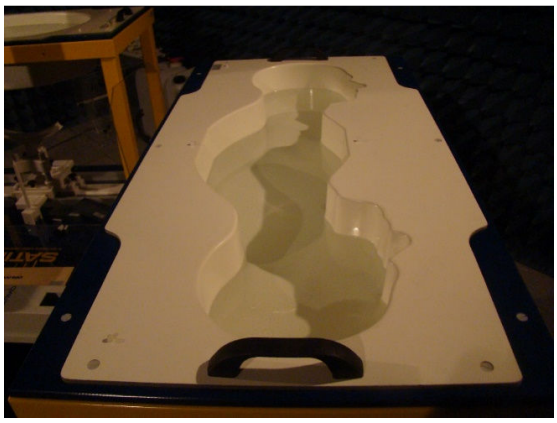


Figura 3.14 Fantoma SAM de cabeza

De acuerdo a los estándares, el fantoma SAM debe estar construido de materiales de baja pérdida y baja permitividad. Los fantomas existentes en el laboratorio son de material resistente al glycol y ofrecen alta rigidez, ya que están compuestos de material basado en fibra de vidrio. La mesa del fantoma está

constituida por una tapa de plástico que previene la evaporación del líquido que simula el tejido de cabeza y cuerpo.

El fantoma también ha sido diseñado para que se puedan reproducir ciertas posiciones de prueba (posiciones *cheek* y *tilt*) de manera fácil, incluyendo puntos de referencia para posicionar el DUT y la sonda.

En la Tabla 3.4 se indican algunas características técnicas con las que cumplen los fantomas de cabeza utilizados en el laboratorio.

Espesor de la superficie del fantoma	2 mm ± 0.2 mm
Volumen de llenado del fantoma	27 litros
Dimensiones del fantoma	Largo: 1000 mm Ancho: 500 mm Altura: 200 mm
Contiene 4 puntos de plástico para referencia de alta precisión. Cuenta con 6 tornillos de nylon.	

Tabla 3.4 Características técnicas del fantoma de cabeza

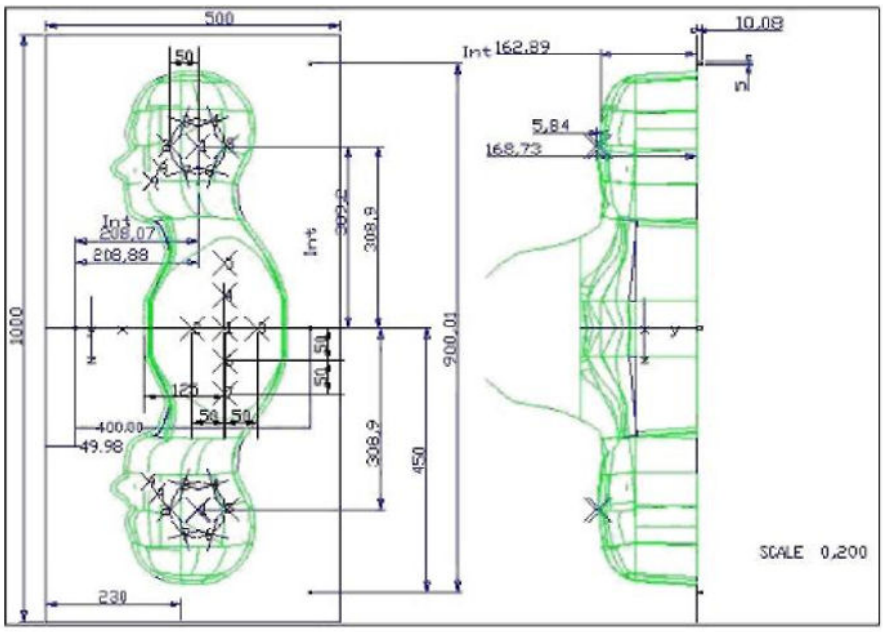


Figura 3.15 Posición de los puntos de control en el fantoma [25]

Como dato adicional, el archivo CAD incluye los datos en 3D de la forma interna de la superficie del fantoma, esto es utilizado por el *software* de control para definir

los movimientos relativos para posicionar apropiadamente los seis ejes del robot y que la sonda se encuentre correctamente ubicada para realizar las mediciones.

El fantoma SAM también contiene puntos de referencia en el centro del área plana para mediciones con el dipolo, y cerca de la boca y oreja para propósitos de posicionamiento del equipo bajo prueba. Dichos puntos se pueden observar en la Figura 3.15. El fantoma además contiene un grifo que se utiliza para drenar el líquido simulador al finalizar la medición.

El fantoma SAM está compuesto de tres partes como se muestra en la Figura 3.16. Los lados derecho e izquierdo son utilizados para medir el SAR en las cercanías de la cabeza cuando se utiliza un teléfono, mientras que la parte plana se utiliza en el proceso de validación con los dipolos.

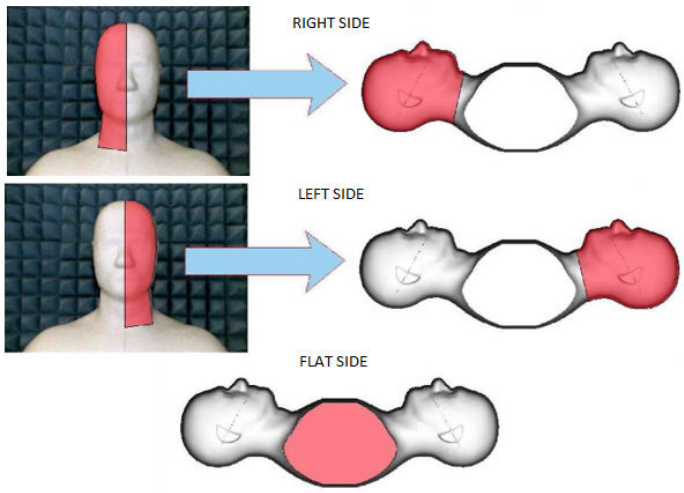


Figura 3.16 Las tres partes del fantoma SAM [31]

3.3.3.5.2 Fantoma Plano

Adicionalmente el laboratorio cuenta con un fantoma plano de tipo elíptico, construido de un material de baja pérdida con una permitividad relativa ≤ 5 y tangente de pérdida ≤ 0.05.

El fantoma es resistente al líquido que simula el cuerpo (glycol). Su máximo volumen de llenado es 25 litros y también cumple con las normas internacionales: IEEE, IEC, EN, FCC, OET Boletín 65 y su correspondiente Suplemento. Éste también contiene una cubierta de plástico para evitar la evaporación del líquido.

En la Figura 3.17 se puede observar el fantoma plano que se dispone en el laboratorio de la ARCOTEL.

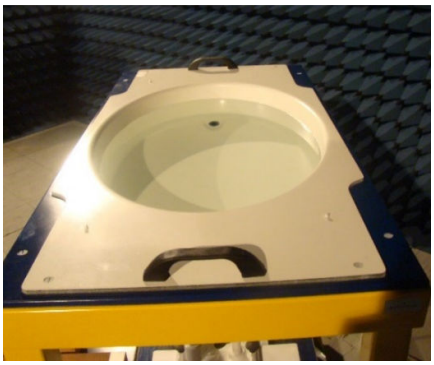


Figura 3.17 Fantoma plano del Laboratorio de la ARCOTEL

3.3.3.6 Sistemas de Posicionamiento

3.3.3.6.1 Soporte para terminales tipo handset (teléfonos celulares)

El sistema de posicionamiento también cumple con los estándares internacionales, ya que una apropiada posición es esencial para obtener mediciones fiables y reproducibles.

El sistema de posicionamiento está fabricado de un material extremadamente estable, que garantiza una manipulación fácil y reproducible del dispositivo. Éste también permite el correcto posicionamiento de los dipolos.

El sistema está fabricado de material PETP que ofrece una constante dieléctrica baja de 3.2 y baja pérdida, con una tangente de pérdida de 0.005 para minimizar la influencia del DUT en los resultados de la medición.

El sistema de posicionamiento desarrollado por SATIMO (Véase Figura 3.18) permite un posicionamiento con resolución mejor a 1 mm, ya que permite la transición del DUT a lo largo de los ejes X, Y, Z. El carril inferior "eje X", permite que se mueva de izquierda a derecha de manera más fácil, se puede mover en el "eje Y" y además se puede adaptar la altura.

Contiene también un carril curvado en la parte superior el cual permite que se conmute de manera más rápida desde la mejilla a la posición de inclinación.El ángulo de 15° requerido para la posición de inclinación se puede comprobar

fácilmente gracias a una escala impresa en el carril curvado con una tolerancia de ±1.

Figura 3.18 Soporte para terminales tipo *handset*

Se puede determinar la posición correcta fácilmente gracias al uso del puntero que se muestra en la Figura 3.19; con esta herramienta adicional la precisión y la repetibilidad del posicionamiento se logra con una tolerancia menor a 1 mm.

Figura 3.19 Puntero

En la Tabla 3.5 se indican algunas características técnicas de los soportes utilizados en el laboratorio.

Diseño totalmente libre de metal.
Cumplimiento de dimensiones con teléfonos móviles o PDA.
Permite alta repetibilidad.

Tabla 3.5 Características técnicas de los sistemas de posicionamiento

3.3.3.6.2 Soporte para tablets, laptops y access point

Está construido de los mismos materiales que el sistema de posicionamiento para *handsets*; está perfectamente adaptado a dispositivos más grandes, como un

computador portable o una *tablet*. En la Figura 3.20 se puede observar este tipo de soporte.

Figura 3.20 Soporte para *tablets*, *laptops* y *access point*

3.3.3.7 Líquidos

Los líquidos de SATIMO cumplen con las normas internacionales de medición del SAR, siendo utilizados para la simulación de los tejidos de cabeza y cuerpo. En la Figura 3.21 se pueden observar los líquidos simuladores del tejido.

Para realizar mediciones apropiadas es importante tener en cuenta lo siguiente:

- El líquido no debe contener ninguna burbuja de aire en el área de medición.
- Se debe evitar cambiar la temperatura del líquido en el transcurso de la configuración de la prueba, ya que los parámetros del líquido varían con la temperatura.
- Cuando el líquido se ha abierto por un largo tiempo, la falta de agua debido a la evaporación, cambia la composición y los parámetros dieléctricos. Para ajustar los parámetros se puede añadir agua des-ionizada u otros elementos como NaCl, glycol, DGBE, etc.

Figura 3.21 Líquidos que simulan el tejido humano

Es importante tener en cuenta que ingerir los líquidos es peligroso para la salud y en caso de contacto con los ojos se debe lavar inmediatamente y consultar con un especialista.

3.3.3.8 Dipolos de validación

Los dipolos de validación son utilizados para comprobar que toda la cadena de medición funciona correctamente. Esto sucede mediante el envío de señales CW a través de los dipolos para realizar mediciones en el líquido contenido en los fantomas.

Cada dipolo corresponde a una banda de frecuencia. Los dipolos cumplen con los siguientes estándares internacionales: IEEE/IEC/EN/FCC. En la Figura 3.22 se observan los dipolos utilizados en la validación del sistema para cada frecuencia de prueba: 835 MHz, 1900 MHz, 2450 MHz. Esta información se encuentra en sus correspondientes reportes de calibración.

Figura 3.22 Dipolos de Validación utilizados en el laboratorio

En la Tabla 3.6 se indican algunas características de los dipolos utilizados en la validación del sistema de SAR.

Frecuencias en las que trabajan los dipolos	835 MHz, 1900 MHz, 2000 MHz, 2450 MHz, 3000 MHz
Máxima potencia de entrada permitida por el dipolo	100 W
Tipo de conectores del dipolo	SMA (hembra)
Dimensiones del dipolo	Altura: entre 200 mm y 300 mm Longitud: entre 25 mm y 83 mm Esto depende de la frecuencia del dipolo

Tabla 3.6 Características técnicas de los dipolos del laboratorio

3.3.3.9 Sondas

Las sondas que se muestran en la Figura 3.23 permiten la medición de campos eléctricos o magnéticos en líquidos o en el aire.

Figura 3.23 Sondas para medición de SAR

Las sondas se componen de tres dipolos ortogonales o bucles vinculados a diodos Schottky con bajos umbrales de detección. Tienen un rango de medición en líquidos de 0.001 W/Kg a 100 W/Kg.

En la Tabla 3.7 se indican algunas características de las sondas utilizadas en la medición de SAR.

Rango de Frecuencia que trabaja la sonda	100 MHz - 30 GHz
Longitud de la sonda	330 mm
Longitud del dipolo interno	4.5 mm
Diámetro máximo externo de la sonda	8 mm
Diámetro externo de la punta de la sonda	5 mm
Distancia entre dipolos y la punta de la sonda	< 2.7 mm
Resistencia del dipolo	1 MΩ a 2 MΩ
Isotropía axial de la sonda	± 0.25 dB
Isotropía hemisférica de la sonda	± 0.5 dB
Linealidad de la sonda	± 0.5 dB
Máximo SAR operativo de la sonda	100 W/Kg
Umbral de detección más bajo de SAR para la sonda	0.0015 W/Kg
Número de conectores (Tipo de conectores)	6 (SR30)

Tabla 3.7 Características técnicas de las sondas del laboratorio

3.3.3.10 VPS (*Video Positioning System*)

El VPS asegura una posición de la sonda en ± 0.1mm. El VPS es utilizado por el sistema OPENSAR para chequear la sonda y está compuesto por una cámara LED, un espejo y partes mecánicas.

Mediante la colocación de la sonda justo por encima del espejo, el *software* OPENSAR mide la sonda automáticamente y permite que se mueva de forma segura con una alta precisión.

En la Figura 3.24 se puede observar el VPS que se encuentra en el laboratorio.

Figura 3.24 VPS del laboratorio

3.3.3.11 *Stress sensor*

El *stress sensor* está compuesto de dos partes:

- **Parte mecánica**

Esta parte se fija al robot como un soporte de la sonda. Se incluye un muelle y un interruptor electromecánico.

Cuando el *stress sensor* detecta que la sonda choca contra algún objeto este interruptor pasa de estado "cerrado" a "abierto". La parte electrónica del sensor detecta este cambio.

- **Parte electrónica**

Esta parte se encuentra conectada a la parte mecánica por medio de un cable. Ésta también se encuentra conectada a la entrada de emergencia del controlador del robot y al ordenador.

Cuando la parte electrónica detecta un cambio del *switch,* se envía una "señal de emergencia" para que el controlador del robot detenga el robot. Luego se envía un mensaje a la computadora. En la Figura 3.25 se puede observar la conexión del *stress sensor.*

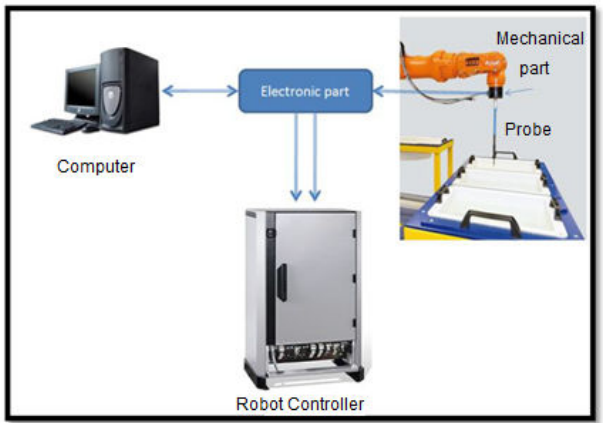


Figura 3.25 Conexión del *stress sensor [25]*

3.3.3.12 Antena de radio base

En la Figura 3.26 se puede observar un arreglo de antenas calibradas en 835 MHz, 1900 MHz, 2000 MHz, 2450 MHz y 5200 – 5800 MHz; que propaga la señal de los equipos emuladores de radio base dispuestos en el laboratorio.

Figura 3.26 Antena de radio base

3.3.3.13 Reloj atómico

En la Figura 3.27 se puede observar el reloj que permite la sincronización de los equipos.

Figura 3.27 Reloj primario del laboratorio

3.3.3.14 Accesorios varios

3.3.3.14.1 Medidor de temperatura y humedad [32]

En la Figura 3.28 se visualiza el equipo marca *FLUKE* y modelo 1620A "*Dewk*" el cual permite obtener los valores de temperatura y humedad del ambiente con alta precisión.

Figura 3.28 Medidor de temperatura y humedad [32]

3.3.3.14.2 Sonda para medición de líquidos

En la Figura 3.29 se visualiza la sonda utilizada en el procedimiento de medición de líquidos.

Figura 3.29 Sonda para medición de líquidos

3.3.3.14.3 Plataforma

En la Figura 3.30 se muestra la plataforma disponible en el laboratorio, que se utiliza para ajustar el nivel en el proceso de medición de líquidos.

Figura 3.30 Plataforma utilizada en la medición de líquidos

3.3.3.14.4 Soporte para el cable

En la Figura 3.31 se muestra el soporte disponible en el laboratorio, que permite sostener el cable de manera fija durante el proceso de medición de líquidos.

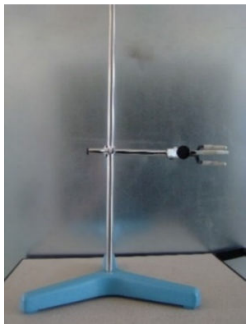


Figura 3.31 Soporte del cable utilizado en el proceso de medición de líquidos

3.3.3.14.5 Kit de calibración

En la Figura 3.32 se muestra el *kit* de calibración utilizado en el procedimiento de medición de líquidos.

Figura 3.32 *Kit* de calibración para compensar las pérdidas del cable que une la sonda utilizada en la medición de líquidos con el analizador de redes

3.3.3.14.6 Termómetro

Figura 3.33 Termómetro para la medición de temperatura del agua des-ionizada y de los líquidos que simulan el tejido de cabeza y cuerpo

En la Figura 3.33 se muestra el termómetro disponible en el laboratorio, que se utiliza para la medición de la temperatura del agua des-ionizada y del líquido que simula las características de permitividad y conductividad del tejido humano.

3.3.3.14.7 Medidor de potencia

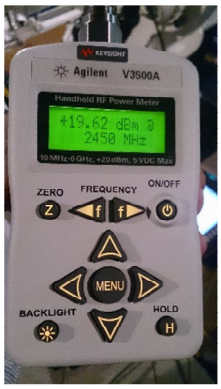


Figura 3.34 Medidor de potencia utilizado en la validación del sistema

En la Figura 3.34 se muestra el medidor de potencia utilizado para asegurar la potencia en el procedimiento de validación del sistema.

3.3.3.14.8 Vasos precipitados

En la Figura 3.35 se muestran los vasos precipitados disponibles en el laboratorio, los cuales son utilizados para la colocación de las muestras de los líquidos utilizados en el proceso de medición.

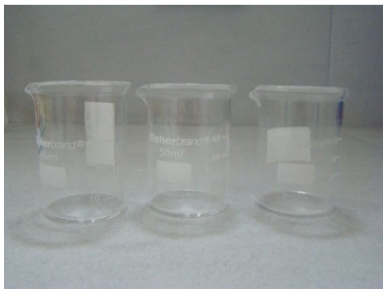


Figura 3.35 Vasos precipitados

3.3.3.14.9 Espaciadores

En la Figura 3.36 se pueden visualizar los espaciadores utilizados en el posicionamiento de los dipolos de acuerdo a la frecuencia de prueba en el proceso de validación.

Figura 3.36 Espaciadores para la colocación del dipolo

3.3.3.14.10 Filtros pasa banda

En la Figura 3.37 se pueden observar los filtros pasa-banda utilizados en el sistema de medición de SAR, los cuales están dados para un determinado rango de frecuencia.

Figura 3.37 Filtros pasa-banda de acuerdo a la frecuencia

3.3.3.14.11 Manguera

En la Figura 3.38 se muestra la manguera disponible en el laboratorio, la cual se utiliza para la evacuación de líquidos contenidos en los fantomas.

Figura 3.38 Manguera utilizada en la evacuación de líquidos

3.3.3.14.12 Recipiente de plástico

En la Figura 3.39 se observa el recipiente utilizado para la recolección de agua y limpieza de los fantomas después de que éstos han sido ocupados en la medición de SAR.

Figura 3.39 Envase plástico para recolección de agua

3.3.3.14.13 Torquímetro

En la Figura 3.40 se muestra el torquímetro disponible en el laboratorio, que se utiliza en el ajuste de los conectores de los cables para no ocasionar daños a éstos.

Figura 3.40 Torquímetro

3.3.3.14.14 Espátula

En la Figura 3.41 se presenta la espátula disponible en el laboratorio, que se utiliza para ayudar a remover los líquidos dispuestos en los fantomas.

Figura 3.41 Espátula utilizada en la remoción de líquidos

3.3.3.14.15 Toallas de papel

En la Figura 3.42 se visualiza las toallas utilizadas en el secado de los fantomas.

Figura 3.42 Toallas de papel utilizadas en el secado de los fantomas

3.3.3.14.16 Regla

En la Figura 3.43 se muestra la regla que se utiliza para asegurar la profundidad del líquido en el fantoma, así como el posicionamiento del dispositivo bajo prueba.

Figura 3.43 Regla

3.3.3.14.17 Tapas con llaves plásticas

En la Figura 3.44 se muestran las tapas plásticas que se utilizan para facilitar la colocación del líquido en los respectivos fantomas para la posterior medición de SAR.

Estas llaves permiten controlar la cantidad de líquido que se coloca en los fantomas, y así evitar que éste se derrame.

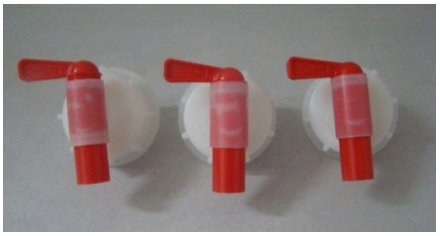


Figura 3.44 Tapas plásticas

3.3.3.14.18 Jeringas

En la Figura 3.45 se muestran las jeringas disponibles en el laboratorio, éstas pueden ser utilizadas para recoger muestras de líquido, o aumentar de manera controlada ciertos ingredientes para compensar los parámetros dieléctricos del líquido simulador del tejido de cabeza y cuerpo.

Figura 3.45 Jeringas graduadas

3.3.4 EQUIPOS DE MEDICIÓN QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE MEDICIÓN DE SAR [33]

3.3.4.1 Emulador de radio base redes 2G y 3G

El equipo marca *AGILENT,* modelo *E5515C 8960 Series 10,* que se muestra en la Figura 3.46 es un equipo de radio comunicación inalámbrica para estándares de telefonía celular de primera, segunda y tercera generación. Permite una emulación de red con alto rendimiento, alta velocidad de prueba, precisión y facilidad de programación.

La radio base se encuentra conectada al sistema COMOSAR mediante una interfaz GPIB[44] y permite establecer una conexión de voz o datos entre la radio base y el dispositivo bajo prueba.

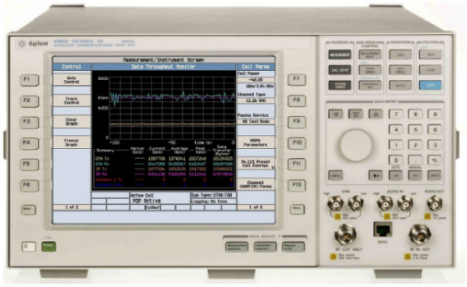


Figura 3.46 Radio base 8960 Series 10 [34]

[44] GPIB (*General Purpose Interface Bus*), “es un estándar de conexión que permite la comunicación de un ordenador con instrumentos electrónicos de medida” [85].

3.3.4.1.1 Características técnicas

- Posee interfaz GPIB.
- Precisión de la medición de la potencia del canal < ±1.0 dB.
- Nivel de salida con modulación en el rango de -110 dBm a -13 dBm.
- Soporta GSM / GPRS / EGPRS / EDGE, W-CDMA / HSPA / HSPA +, CDMA2000[45] / 1xEV-DO[46] / eHRPD[47], TD-SCDMA[48] / TD-HSDPA / TD-HSUPA, IS-95[49], TIA/EIA-136[50] y AMPS para realización de pruebas a equipos inalámbricos
- Rango de frecuencias desde 292 MHz a 2700 MHz incluye todas las bandas de frecuencia comercial 3GPP[51] y 3GPP2[52].
- VSWR[53] < 1.2 en 1 400 a 2000 MHz.

3.3.4.2 Medidor de potencia

Figura 3.47 Medidor de potencia N1913A [35]

[45] CDMA2000, es una familia de estándares de telecomunicaciones móviles de tercera generación que utilizan CDMA [44].
[46] 1xEV-DO (1x *Evolution - Data Only*), es la segunda fase evolutiva de los sistemas CDMA2000 que ofrecen una velocidad de 2.4 Mbps [45].
[47] eHRPD (*Envolved High Rate Packet Data*), comúnmente conocido como 1xEV-DO [46].
[48] TD-SCDMA (*Time Division Synchronous Code Division Multiple Access*) es el standard 3G desarrollado y utilizado por China [47].
[49] IS-95 (*Interim Standard 95*), es un estándar de telefonía móvil celular basado en CDMA [48].
[50] TIA/EIA-136, es un estándar que define los requerimientos para un sistema celular que utilizan TDMA [49].
[51] 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), es una colaboración de grupos de asociaciones de telecomunicaciones cuyo objetivo es asentar las especificaciones de un sistema global de comunicaciones de tercera generación para móviles iincluyendo otras tecnologías de radio acceso [50].
[52] 3GPP2 (*3rd Generation Partnership Project 2*), especifica los estándares para otra tecnología 3G basada en IS-95 (CDMA) comúnmente conocida como CDMA2000 [50].
[53] VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*), está en función del coeficiente de reflexión el cual describe la potencia reflejada de la antena [51].

El equipo marca *AGILENT,* modelo *N1913A EPM Series,* permite realizar mediciones de potencia de manera precisa y rápida. El medidor de potencia de la serie EPM que se muestra en la Figura 3.47 permite la medición de hasta cuatro canales para acelerar y simplificar las mediciones de potencia. Contiene una pantalla LCD de alta resolución.

El medidor de potencia se encuentra conectado por medio de la interfaz GPIB y se utiliza para determinar las pérdidas de la señal en el proceso de validación del sistema.

3.3.4.2.1 Características técnicas

- Rango de potencia: -70 dBm a +44 dBm (100pW a 25 W).
- Velocidad de medición sobre las 400 lecturas/segundo.
- Precisión absoluta de ±0.02 dB en escala logarítmica y ±0.5% lineal.

3.3.4.3 Analizador de redes

El analizador de redes marca *AGILENT* y modelo *E5071C ENA Series*, que se observa en la Figura 3.48 ofrece el rendimiento de RF más alto y la velocidad más rápida de su clase, contiene una amplia gama de frecuencias y funciones versátiles.

Figura 3.48 Analizador de redes E5071C [36]

El analizador de redes se utiliza para la medición de las propiedades dieléctricas del líquido que simula el tejido humano. Este equipo se encuentra conectado con el sistema COMOSAR mediante una interfaz GPIB.

3.3.4.3.1 Características técnicas

- Rango de frecuencia: 300 kHz a 14 GHz.

- Contiene 2 puertos.
- Rápida velocidad de medición: 8 ms en los 2 puertos, 401 puntos.
- Alta estabilidad de temperatura: 0.005 dB/°C.

3.3.4.4 Generador de señales vectoriales

Para las comunicaciones celulares y redes inalámbricas, el generador de señales vectoriales marca *AGILENT,* modelo *N5182A MXG* que se observa en la Figura 3.49 añade modulación vectorial y el mejor rendimiento de la industria para la velocidad del modelo analógico, por lo que es ideal para la fabricación de componentes de alto volumen.

Figura 3.49 Generador de señales vectoriales N5182A [37]

El generador de señales es utilizado para producir ondas CW necesarias en el procedimiento de la validación del sistema a una frecuencia establecida.

3.3.4.4.1 Características técnicas

- Rango de frecuencia de 100 KHz a 6 GHz.
- Generador interno de banda de base de 100 MHz con ecualización en tiempo real para excelente rendimiento.
- Puerto USB para la transferencia rápida de archivos en memoria flash.
- Modulación analógica exacta incluyendo AM, FM y pulsos para pruebas de propósito general.
- Entrada de referencia sintonizable de 1 a 50 MHz.

3.3.4.5 Multímetro digital

El multímetro digital, marca *KEITHLEY* modelo 2000, indicado en la Figura 3.50, es un instrumento de alta velocidad, precisión y estabilidad de fácil operación. Entre

sus especificaciones se encuentran un voltaje DC de 100 nV a 1KV con una resistencia de 100 $\mu\Omega$ a 100 MΩ. Permite añadir tarjetas para multiplexar hasta 20 señales para aplicaciones de medición multipunto.

En la cadena de medición el multímetro mide los voltajes devueltos por cada dipolo mediante una tarjeta de exploración la cual está integrada en éste. Luego los resultados son enviados al PC por la interfaz GPIB.

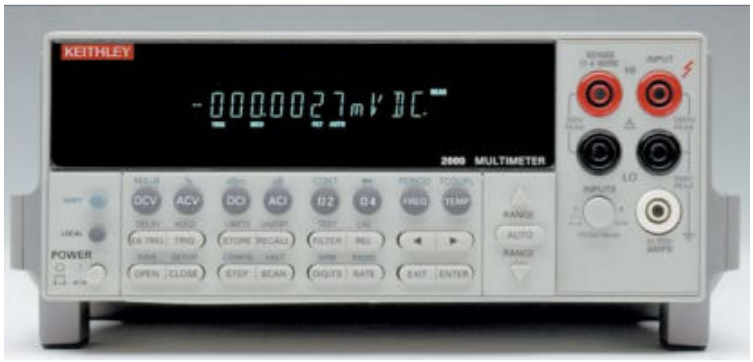


Figura 3.50 Multímetro digital [38]

3.3.4.5.1 Tarjeta de exploración [25]

La tarjeta de exploración permite realizar mediciones en varios canales, en este caso 10 canales. Las sondas de detección poseen 3 sensores ortogonales. Para cada punto de medición de campo, se leen tres valores de tensión. La tarjeta de exploración permite cambiar entre los 3 canales.

3.3.4.6 Analizador de espectros

El analizador de espectros marca *AGILENT,* modelo *N9010A,* que se indica en la Figura 3.51 trabaja en un rango de frecuencia desde 9 KHz hasta 13.6 GHz.

El equipo proporciona velocidad, rendimiento y flexibilidad para satisfacer las necesidades presentes mejorando el rendimiento de la prueba. Esta herramienta se enfrenta a exigentes aplicaciones de ondas milimétricas.

Este equipo fue utilizado para la medición de la potencia conducida en los estándares IEEE 802.11 del equipo bajo prueba, condición necesaria antes de la medición de SAR.

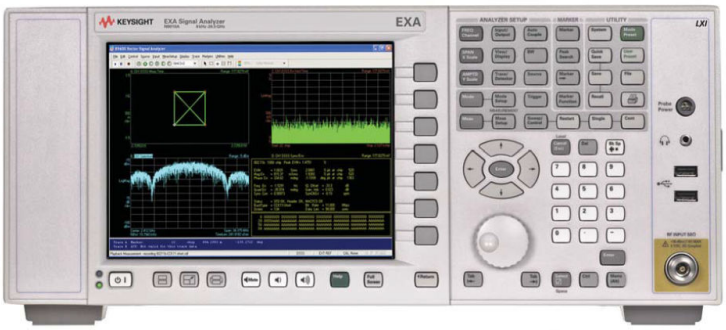


Figura 3.51 Analizador de espectros N9010A [39]

3.4 INTRODUCCIÓN A LAS TECNOLOGÍAS CELULARES [40, 41 y 42]

3.4.1 PRIMERA GENERACIÓN

Se caracterizó por ser analógica y estrictamente para voz, tenía menor capacidad y la calidad del enlace de voz era baja; estaba basada en FDMA (Véase Figura 3.52) / FDD (*Frequency Division Duplex*).

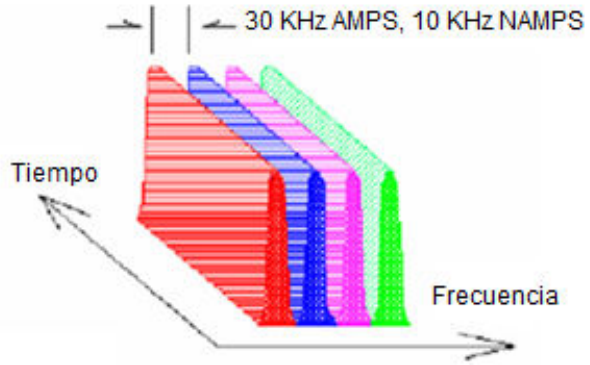


Figura 3.52 Acceso múltiple por división de frecuencia [42]

3.4.1.1 Tecnologías predominantes

AMPS (*Advanced Mobile Phone System*): Opera en las bandas de 800 a 900 MHz y en 1800 a 2000 MHz.

NAMPS: (*Narrowband* AMPS): Variante de AMPS desarrollada por MOTOROLA. Sistema compatible con AMPS. El tamaño del canal fue reducido lo cual incrementó el precio de los terminales, lo que la hizo de uso limitado.

Al mismo tiempo que se desarrollaba AMPS, la conferencia Nórdica de las Telecomunicaciones desarrolló otro estándar NMT (*Nordisk Mobil Telefoni*) el cual era un sistema abierto. El último de los estándares es TACS (*Total Access Communications System*), el cual presentó mejor cobertura constituyéndose en la mayor red de telefonía móvil antes de la instalación de GSM.

A partir de los años 80 países como Alemania, Japón, Francia desarrollaron otros estándares entre los cuales se tienen: C-450, RC-2000, NNT (*Nippon Telegraph and Telephone*) los cuales no tuvieron gran trascendencia. Debido a que otros proveedores utilizaban el estándar TACS y Japón quiso entrar en la competencia tuvo la necesidad de desarrollar el sistema J-TACS.

3.4.2 SEGUNDA GENERACIÓN

GSM (*Global System for Mobile Communications*) fue impulsado debido al crecimiento exponencial de los usuarios que requerían usar los servicios de telefonía celular; fue diseñado desde cero es decir sin importar la compatibilidad con estándares anteriores. Entró en vigencia a partir de los años 90 lo que dio origen a la segunda generación (2G) de telefonía móvil. GSM utiliza conmutación de circuitos.

Los protocolos empleados en los sistemas de 2G soportan altas velocidades de información para voz, pero éstas son limitadas para datos.

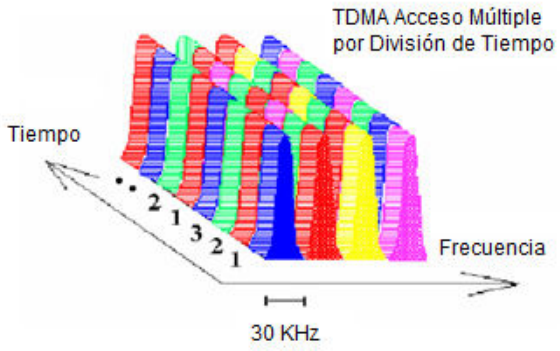


Figura 3.53 Acceso múltiple por división de tiempo [42]

Los sistemas GSM utilizan FDMA/TDMA que se muestra en la Figura 3.53 lo cual posibilita transmitir voz y datos a diferentes velocidades desde 64 Kbps a 120 Kbps, para brindar servicios de fax, mensajes, multimedia y videoconferencia.

Además de eso, TDMA ofrece una estructura de celdas jerárquicas, lo cual permite una alta cobertura y ofrece beneficio económico ya que permite actualizar los sistemas analógicos a digitales.

3.4.3 GENERACIÓN 2.5

Debido al aumento de usuarios de servicios de telefonía móvil e Internet surgió la necesidad de fusionar las dos redes. La Generación 2.5 ofrece características extendidas como GPRS (*General Packet Radio System*), la cual está basada en la conmutación de paquetes a través de un núcleo basado en IP (*Internet Protocol*) y donde los canales de comunicación se comparten entre los diferentes usuarios de forma dinámica.

La tecnología EDGE (*Enhanced Data Rates for Global Evolution*) es una optimización que permite una mejora en la tasa de datos, teóricamente hasta 384 Kbps. Se introduce una nueva técnica de modulación y codificación MCS (*Modulation and Coding Scheme*). Se diseñaron nueve esquemas de codificación del MCS1 al MCS9 de los cuales los cuatro primeros utilizan modulación GMSK[54] y los demás 8-PSK[55].

GPRS y EDGE están basadas en paquetes y se paga solo por los datos enviados y recibidos, más no por el tiempo que requiera la utilización de la conexión. EDGE brinda servicio de datos de alta capacidad con el objetivo de avanzar hacia UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System)*.

3.4.4 TERCERA GENERACIÓN

La tercera generación (3G) está regida bajo los requerimientos de IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications-2000*) de la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) para alcanzar el objetivo de que un terminal 3G pueda interactuar con cualquier red 3G del mundo.

---

[54] GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*), es un esquema de modulación digital por desplazamiento de frecuencia de fase continua [55].

[55] 8-PSK (*Phase Shift Keying*) es una forma de modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos. Dependiendo del número de fases que toma recibe diferentes denominaciones, para este caso son 8 fases [56].

Los protocolos empleados en los sistemas de 3G soportan altas velocidades, lo cual permite acceso a Internet, *roaming*[56] internacional, entornos multimedia para transmisión de imágenes y video en tiempo real y servicios de banda ancha.

La 3GPP comenzó a denominar los sistemas móviles de 3G como UMTS, que promueve la utilización de UTRA (UMTS *Terrestrial Radio Access*). También se lo llama WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) debido a que utiliza esta tecnología de radio.

La red de acceso (WCDMA) puede estar basada en FDD y TDD (*Time Division Duplex*). FDD hace uso de diferentes bandas de frecuencia para *Downlink* (DL) y *Uplink* (UL) lo que permite tener grandes distancias entre el móvil y la radio base. El modo FDD utiliza el esquema CDMA de espectro extendido. TDD es útil para pequeñas distancias, es decir varios cientos de metros logrando altas velocidades de transmisión. TDD utiliza una combinación entre CDMA, FDMA y TDMA.

Debido a que hay una descarga mayoritaria de datos desde la red hacia el terminal, la versión 5 de la 3GPP introduce HSDPA (*High Speed Dowlink Packet Access*) como primer paso en la evolución de la interfaz de radio, la cual habilita velocidades de transmisión mayores a las utilizadas actualmente en el enlace descendente. La versión 6 de la 3GPP hace referencia a HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*), que permite velocidades altas en el enlace ascendente. De la misma manera se desarrolla HSPA (*High Speed Packet Access*) y HSPA+ (*High Speed Packet Access Plus*) caracterizadas por el incremento de la capacidad.

HSPA+ es una actualización a las redes HSPA, se incluyó en el *Release* 7 de la 3GPP y su estandarización continuó hasta el *Release* 10. HSPA+ mejora la interfaz de radio mediante modulación de orden superior[57], doble portadora[58], etc. El *Release* 7 incluye MIMO[59] lo que permite aumentar las tasas de datos.

---

[56] *Roaming*: Es la capacidad de seguimiento de la posición de las estaciones móviles, facilita al usuario su movilidad por la red o redes [42].

[57] Modulación de orden superior: Permite aumentar la tasa de datos debido a que utiliza mayor cantidad de bits de información por símbolo.

[58] Doble portadora: La característica multiportadora agrega múltiples portadoras creando una tubería con mayor capacidad para el transporte de datos con lo cual se espera mayor rendimiento y menor latencia.

[59] MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), es el acrónimo de múltiples entradas y múltiples salidas que se refiere a sistemas con múltiples antenas para transmisión como para recepción, utilizado para incrementar las tasas de transmisión mediante varios flujos en paralelo.

A partir del *Release* 8 se incluye doble portadora en HSDPA también conocido como DC-HSDPA (*Dual-Carrier* HSDPA), el cual permite aumentar el rendimiento de la red.

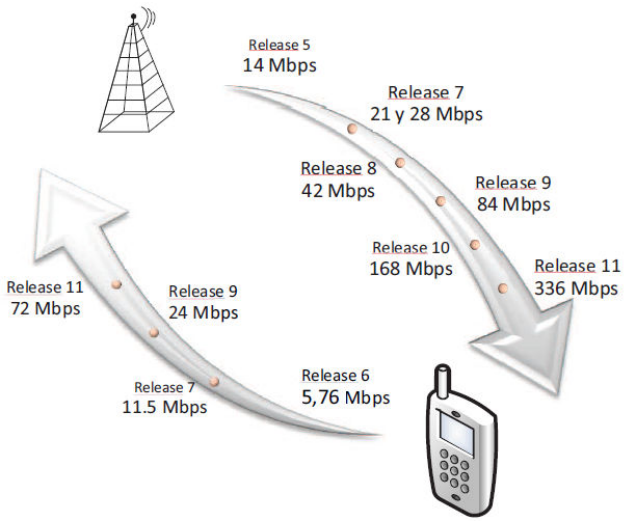


Figura 3.54 Evolución de HSPA [40]

En versiones posteriores al *Release* 8 se incrementa en el UL el número de portadoras lo que se denomina *Multi Carrier*-HSPA. Por lo que HSPA+ se convierte en una versión mejorada con velocidades comparables a las redes nuevas LTE. En la Figura 3.54 se puede observar el desarrollo de HSPA en relación a las velocidades en el enlace de subida y bajada.

3.4.5 CUARTA GENERACIÓN

La tecnología LTE (*Long Term Evolution*) se presenta como una solución a la creciente demanda de tráfico en la actualidad, ya que permite que todos los servicios incluyendo el envío de voz sean soportados por los protocolos IP, el cual brinda mayores velocidades.

La 3GPP estableció el objetivo de una velocidad de 100 Mbps para enlace descendente y 50 Mbps para enlace ascendente con un ancho de banda de 20 MHz. LTE y LTE-*Advanced* son propuestos como una evolución de HSPA+. LTE también utiliza MIMO.

Como parte fundamental LTE utiliza en el enlace descendente un esquema de acceso múltiple llamado OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*)

mientras que en el ascendente utiliza SC-FDMA (*Single Carrier – Frequency Division Multiple Access*).

3.5 CONSIDERACIONES PARA LA EVALUACIÓN DEL SAR PARA *HANDSETS* INALÁMBRICOS

A continuación se describen algunos requerimientos para la evaluación de SAR en *handsets* inalámbricos que operan cerca de la cabeza y el cuerpo y que soportan tecnologías como WWAN[60], WLAN[61] y *Bluetooth*.

3.5.1 Condiciones de exposición en la cabeza

La exposición en cabeza es limitada para dispositivos que operan en modo de voz cerca a la oreja. El cumplimiento de SAR en la cabeza debe ser probado de acuerdo a las posiciones de prueba definidas en el estándar IEEE 1528-2003 utilizando un fantoma tipo SAM.

Otras condiciones de exposición de cabeza, por ejemplo, en frente de la cara, deben ser probados utilizando un fantoma plano.

3.5.2 Condiciones de exposición en el cuerpo

La exposición en el cuerpo aparte de ser evaluada para modo de datos es también típicamente relacionada con operaciones en modo de voz cuando los *handsets* se encuentran cerca al cuerpo del usuario por el uso de accesorios como auriculares.

La evaluación de SAR en el cuerpo debe ser medido en un fantoma plano con el DUT en funcionamiento normal sin auriculares conectados a éste. Cuando el SAR reportado para el cuerpo en modo de voz o datos es ≥ 1.2 W/Kg el SAR debe ser medido con los auriculares conectados al dispositivo, en el caso contrario no se requieren mediciones adicionales de SAR.

---

[60] WWAN (*Wireless Wide Area Network*), es una red que puede brindar cobertura inalámbrica en un área geográfica relativamente grande [78].

[61] WLAN (*Wireless Local Area Network*), "es una red de tipo local cuyos equipos no necesitan estar vinculados a través de cables para conectarse" [80].

El cumplimiento de SAR en el cuerpo debe fundamentarse en una única mínima distancia de separación de prueba para todos los modos de operación inalámbricos del dispositivo aplicables al cuerpo, de acuerdo al relevante modo de transmisión (voz / datos). Si el equipo soporta solamente voz en sus condiciones normales de uso, no se requiere probar el cumplimiento en el cuerpo para modo de datos.

Los requerimientos de transmisión para voz y datos deben ser determinados de acuerdo a las tecnologías inalámbricas y características de operación del dispositivo.

3.6 SAR EN DISPOSITIVOS DE SEGUNDA GENERACIÓN [53 y 54]

3.6.1 REDUCCIÓN DE PRUEBAS DE SAR EN DISPOSITIVOS 2G

Los procedimientos descritos en las secciones siguientes pueden considerarse para determinar los requisitos para reducción de pruebas de SAR en los dispositivos que operan en los modos: GSM/GPRS/EDGE para demostrar el cumplimiento de exposición de RF.

- Sección 1: Modo de operación: Puede ser aplicada para reducir los requerimientos de pruebas de SAR para modos GPRS y EDGE, cuando la potencia de salida promediada en el tiempo basada en la fuente para cada modo de datos es menor que en el modo de voz GSM.
- Sección 2: Modos TDMA: Cuando se pueden utilizar múltiples ranuras, el dispositivo debe ser probado para la máxima potencia de salida promediada en el tiempo basada en la fuente.
- Sección 3: Evaluación de SAR: Cuando el SAR medido en 1 g es $\leq$ 0.8 W/Kg probar en canal bajo y alto es opcional. Esto es equivalente a utilizar el canal de salida más alto en lugar del canal central.

Cuando se realizan pruebas de SAR en modo EDGE o EGPRS es necesario utilizar una modulación GMSK para minimizar el error de medición, debido a que en la modulación 8-PSK se encuentra inherente una mayor potencia promedio pico. Se puede aplicar el procedimiento de reducción de pruebas de SAR a EDGE con modulación 8-PSK tomando como modo primario a GPRS / EDGE con modulación GMSK. Esta consideración es tomada en cuenta para el desarrollo de las pruebas

en este proyecto, por lo cual las mediciones de SAR para datos solamente se realizarán en modo GPRS.

3.6.2 MEDICIÓN DE SAR EN DISPOSITIVOS 2G

El SAR debe ser medido con un enlace de radio establecido entre el *handset* y la radio base, donde el *handset* transmita a la máxima potencia. Es importante diferenciar si el DUT pertenece a la clase A, B y C teniendo en cuenta si el dispositivo utiliza servicios GSM y GPRS simultáneamente. Existen tres clases de terminales de acuerdo a la utilización de servicios GSM y GPRS. El equipo utilizado en este proyecto pertenece a la clase B.

- Clase A: Utilizan simultáneamente servicios de GSM y GPRS.
- Clase B: Solo se puede utilizar uno de los dos servicios a la vez, es decir, se suspende el servicio de datos mientras se ejecuta una llamada y viceversa. La mayoría de equipos celulares son de este tipo.
- Clase C: Los dos servicios se conectan de forma manual alternadamente.

El SAR para modo GPRS debe ser medido en el *slot* perteneciente a la mayor potencia promediada en el tiempo basada en la fuente. Para el caso de las pruebas realizadas en este proyecto, se realizaron las pruebas en el *slot* 4 para la banda de 850 MHz y en el *slot* 2 para la banda de 1900 MHz.

3.6.2.1 Potencia de salida [57]

Se debe medir la potencia para las tecnologías GSM y GPRS por lo cual es importante conocer los límites y tolerancias aplicadas para dicha medición.

Clase de Potencia	Potencia de Salida Máxima Nominal GSM 400, GSM 900, GSM 850, GSM 700	Potencia de Salida Máxima PCS[62] 1900	TOLERANCIA EN dB PARA CONDICIONES	
			NORMALES	EXTREMAS
1	---	1 W (30 dBm)	±2	±2.5
2	8 W (39 dBm)	0.25 W (24 dBm)	±2	±2.5
3	5 W (37 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

Tabla 3.8 Máxima potencia en modulación GMSK

[62] PCS (*Personal Communication Systems*), es el nombre de la banda de 1900 con disponibilidad en América [59].

La potencia de salida máxima será especificada de acuerdo a la clase de potencia del dispositivo. El dispositivo utilizado en este proyecto pertenece a la clase 3. La Tabla 3.8 hace referencia a la máxima potencia utilizando modulación GMSK.

Los límites en este caso serán dados por la Tabla 3.8 debido a que tanto GSM y GPRS utilizan modulación GMSK.

3.7 SAR EN DISPOSITIVOS DE TERCERA GENERACIÓN [54 y 40]

3.7.1 INTRODUCCIÓN

A continuación se describen los procedimientos operacionales para medir el SAR en los dispositivos 3G de consumo típico.

Tanto la potencia máxima y tolerancia especificada en las unidades de producción como la potencia medida en las muestras de prueba, son utilizadas para reducir el número de pruebas de SAR en cada banda de frecuencia para los modos inalámbricos con características equivalentes de transmisión, tales como diferentes combinaciones de velocidad y modulación.

Para establecer algunos parámetros de operación, algunos dispositivos requieren que se utilice FTM (*Factory Test Mode*) a través de algún *software* propietario que opera sobre un ordenador a través de un puerto USB.

3.7.2 REQUISITOS GENERALES PARA LA REDUCCIÓN DE PRUEBAS DE SAR EN DISPOSITIVOS 3G

Cuando el mismo transmisor y la antena son utilizados por modos inalámbricos con características de transmisión similares o equivalentes, el SAR medido en uno de los modos inalámbricos puede ser reducido de acuerdo con la potencia de salida máxima de los modos equivalentes. Esto se realiza para facilitar la reducción de pruebas de SAR.

3.7.2.1 Procedimiento de reducción de pruebas de SAR en 3G

El modo probado para SAR se conoce como modo primario. Los modos equivalentes considerados para la reducción de pruebas de SAR se denotan como

modos secundarios. Ambos modos primario y secundario deben estar en la misma banda de frecuencia.

La medición de SAR no se requiere para el modo secundario:

a) Cuando la potencia de salida máxima especificada para las unidades de producción en un modo secundario es ≤ ¼ dB más que el modo primario.
b) O cuando el mayor SAR registrado en el modo primario es reducido por la relación entre la potencia máxima de salida especificada en el modo secundario a primario y el SAR ajustado es ≤ 1,2 W/Kg.

Esto se conoce como el procedimiento de reducción de pruebas de SAR en 3G, donde el modo primario es identificado en el modo inalámbrico aplicable y el modo secundario es el modo que se considera para la reducción de pruebas de SAR mediante este procedimiento. Cuando el procedimiento de reducción de pruebas no se satisface, se debe medir el SAR también para el segundo modo.

3.7.3 MEDICIÓN DE SAR EN DISPOSITIVOS QUE UTILIZAN WCDMA

Los siguientes procedimientos son aplicables a *handsets* que utilizan WCDMA/UMTS que operan bajo el *Release* 99*, Release* 5 y *Release* 6 de la 3GPP. La configuración por *default* de la prueba es medir el SAR con un enlace de radio entre el DUT y la radio base utilizando 12.2 Kbps RMC (*Reference Measurement Channel*) configurado en *Test Loop Mode* 1 (modo de bucle de prueba).

La medición de SAR es confirmada selectivamente para otros modos: HSDPA y HSUPA de acuerdo a la potencia de salida, condiciones de exposición y capacidades de operación del dispositivo.

Cuando se requiera tanto en UL como DL se debe configurar el mismo RMC y AMR (*Adaptive Multi-rate*).

3.7.3.1 Verificación de la potencia de salida

La potencia debe ser medida en canal bajo, medio y alto de acuerdo a los procedimientos descritos en la sección 5.2 de la norma TS 34.121 de la 3GPP, para cubrir todas las condiciones dentro del rango de la banda, utilizando un RMC o AMR

apropiado con TPC (*Transmit Power Control*) configurado en “todo 1” para mantener la potencia de salida máxima

Para la medición de potencia de salida conducida más adelante se hace referencia a la norma TS 34.121-1 VERSIÓN 9.3.0 de la 3GPP, debido a que el equipo que se dispone en el laboratorio de la ARCOTEL soporta esta versión. La norma indica algunos parámetros de configuración que deben ser incluidos en la medición de potencia conducida.

3.7.3.2 Medición de SAR en cabeza y cuerpo

Para medir el SAR cercano a la oreja y en el cuerpo se debe utilizar un RMC de 12.2 Kbps con un TPC configurado en “todo 1” para realizar la medición a la máxima potencia.

3.7.4 MEDICIÓN DE SAR EN DISPOSITIVOS QUE UTILIZAN HSDPA (*RELEASE 5)*

El procedimiento de reducción de pruebas en 3G es aplicado a HSDPA en el cuerpo utilizando 12.2 Kbps RMC como modo primario. De otra manera, el SAR es medido para HSDPA utilizando el procedimiento descrito a continuación.

El siguiente procedimiento es aplicable a dispositivos que tienen HSDPA y operan bajo el *Release* 5 de la 3GPP y el SAR es requerido para dispositivos que operan cerca del cuerpo.

HSDPA opera en conjunto con WCDMA y requiere un DPCCH[63] activo. La configuración de prueba por *default* es medir el SAR en WCDMA con HSDPA inactivo mediante un enlace de radio entre el DUT y el simulador utilizando 12.2 Kbps RMC configurado en *Test Loop Mode* 1. El SAR para HSDPA es selectivamente medido utilizando la configuración del SAR reportado más alto en WCDMA, con un FRC (*Fixed Reference Channel*) en H-*set* 1 y 12.2 Kbps RMC.

El SAR es selectivamente confirmado para otras configuraciones de canal de acuerdo a las capacidades de operación del dispositivo, condiciones de exposición

[63] DPCCH (*Dedicated Physical Control Channel*), canal físico en el cual la señalización es transmitida [66].

y potencia de salida máxima especificada por las unidades de producción aplicando los procedimientos de reducción de pruebas en 3G.

3.7.4.1 Potencia de salida

La potencia de salida máxima es verificada en canal bajo, medio y alto de acuerdo a los procedimientos descritos en la sección 5.2 de la norma 3GPP TS 34.12.1. Cuando HSDPA se encuentra activo, la potencia de salida es medida de acuerdo a los *sub-test* 1-4 de la Tabla 3.13.

3.7.4.2 Medición de SAR

Cuando las condiciones de exposición cercanas a la cabeza son aplicables a WCDMA / HSDPA, el SAR en cabeza es medido de acuerdo a los procedimientos indicados en el punto 3.7.3.2.

El SAR en cuerpo es medido de acuerdo a lo citado en el punto 3.7.3.2. La reducción de pruebas de SAR en 3G es aplicada a las mediciones de SAR en cuerpo en HSDPA con 12.2 Kbps RMC como modo primario. El SAR en cuerpo para HSDPA es medido utilizando un FRC con H-*Set* 1 en *sub-test* 1 y 12.2 Kbps RMC configurado en modo *Test Loop Mode* 1, para la configuración de SAR reportado más alto en 12.2 Kbps sin HSDPA.

HSDPA es configurado de acuerdo a la categoría del DUT. Para mantener la consistencia en la configuración de prueba y condiciones de transmisión estables, se utiliza QPSK (*Quadrature Phase- Shift Keying*) para las pruebas de SAR.

3.7.5 MEDICIÓN DE SAR EN DISPOSITIVOS QUE UTILIZAN HSPA (HSDPA/HSUPA) (*RELEASE* 6) [60 y 54]

El procedimiento de reducción de pruebas en 3G es aplicado a HSPA (HSDPA/HSUPA) para la configuración en cuerpo con 12.2 Kbps RMC como modo primario. De otra manera el SAR es medido de acuerdo al siguiente procedimiento.

Este procedimiento es aplicable a dispositivos que operan con HSPA (HSUPA / HSDPA) bajo el *Release* 6 de la 3GPP. HSUPA opera en conjunto con WCDMA y HSDPA. El SAR es inicialmente medido en WCDMA con HSPA inactivo. La

configuración de prueba *default* es establecida mediante un enlace de radio entre el DUT y el emulador de radio base configurado en 12.2 Kbps RMC con *Test Loop Mode* 1.

El SAR para HSPA es selectivamente medido con HS-DPCCH[64], E-DPDCH[65] y E-DPCCH[66], habilitados con 12.2 Kbps RMC utilizando la configuración del SAR reportado más alto en WCDMA con 12.2 Kbps RMC solamente. Un FRC es configurado de acuerdo a HS-DPCCH *subtest*-1 utilizando H-*set* 1 y QPSK. HSPA es configurado de acuerdo a los requerimientos del *sub-test* 5 para E-DCH[67].

3.7.5.1 Potencia de Salida

La potencia de salida máxima es verificada en canales bajo, medio y alto de acuerdo a los procedimientos de acuerdo al *Release* 6 de la sección 5.2 de la norma 3GPP TS 34.121. Cuando HSPA se encuentra activo la potencia debe ser medida para los *sub-test* 1-5 indicados en la Tabla 3.15.

3.7.5.2 Medición de SAR

Cuando las condiciones de exposición cercanas a la cabeza son aplicables a WCDMA / HSPA, el SAR en cabeza es medido de acuerdo a los procedimientos indicados en el punto 3.7.3.2.

El SAR en cuerpo es medido de acuerdo a lo citado en el punto 3.7.3.2. La reducción de pruebas de SAR en 3G es aplicada a la medición de SAR en cuerpo para HSPA con 12.2 Kbps RMC como modo primario.

El SAR en cuerpo para HSPA es medido con E-DCH *sub-test* 5 utilizando H-set 1 y QPSK para FRC y 12.2 Kbps RMC configurado en modo *Test Loop Mode* 1 y algoritmo de control de potencia 2, para la configuración de SAR reportado más alto en 12.2 Kbps sin HSPA.

---

[64] HS-DPCCH (*High Speed Dedicated Physical Control Channel*), lleva reportes CQI (*Channel Quality Indicator*) y confirmaciones HARQ (*Hybrid Automatic Repeat Request*) [43].

[65] E-DPDCH (*Enhanced Dedicated Physical Data Channel*), este canal de enlace ascendente lleva los datos de usuario [43].

[66] E-DPCCH (*Enhanced Dedicated Physical Control Channe*l), es un canal que permite llevar los datos de control para decodificar los canales de enlace ascendente [43].

[67] E-DCH (*Enhanced Dedicated Channel*), es un canal de transporte del enlace ascendente [43].

Las configuraciones FRC H-set 1, 12.2 Kbps RMC y E-DCH están configurados de acuerdo a los valores β descritos en la Tabla 3.15.

3.7.6 MEDICIÓN DE SAR EN DISPOSITIVOS QUE UTILIZAN HSPA+

El SAR es requerido para HSPA+ (*Release* 7) cuando el SAR es requerido para HSPA (*Release* 6), de otra manera el procedimiento de reducción de pruebas en 3G es aplicado a HSPA+ (*Uplink*) con 12.2 Kbps RMC como modo primario.

El procedimiento para el *Release* 6 es más conservador que para el *Release* 7 (HSPA+) y brinda la base para medir el SAR en HSPA+.

Ya que 16 QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) no es utilizado en el *Uplink*, la categoría en HSUPA es la misma que el *release* (categoría 6 y *release* 6) no es necesario que la potencia conducida sea medida.

Si HSPA+ soporta 16 QAM en el *Uplink* la potencia es medida de acuerdo a la configuración establecida en la Tabla 3.9 de la norma 3GPP TS 34.121.-1 para determinar la reducción de pruebas de SAR.

Sub-test	β_c	β_d	β_{HS}	β_{ec}	β_{ed} **(2xSF2)**	β_{ed} **(2xSF4)**	***CM*[68] *(dB)***	***MPR (dB)***	***AG Index***	***E-TFCI***	***E-TFCI (boost)***
1	1	0	30/15	30/15	$\beta_{ed}1$: 30/15 $\beta_{ed}2$: 30/15	$\beta_{ed}3$: 24/15 $\beta_{ed}4$: 24/15	3.5	2.5	14	105	105

Tabla 3.9 Valores β para el *sub-test* indicado con HS-DPCCH y E-DCH con 16 QAM

Donde:

β_c: factor de ganancia del canal DPCCH.

β_d: factor de ganancia del canal DPDCH[69].

β_{HS}: factor de ganancia del canal HS-DPCCH.

β_{ec}: factor de ganancia del canal E-DPCCH.

---

[68] CM (*Cubic Metric*) Métrica cúbica, es un valor para predecir la reducción de potencia de transmisión para asegurar el rendimiento deseado en *Uplink*. Describe la razón entre las componentes cúbicas de la señal observada y las componentes cúbicas de la señal de referencia [64].

[69] DPDCH (*Dedicated Physical Data CHannel*), es el canal físico de la interfaz de radio en el que la carga útil así como la señalización se transmite tanto en el enlace ascendente y descendente [84].

β_{ed}: factor de ganancia del canal E-DPDCH.

AG (*Absolute Grant*) *Index*: valor de potencia que se utiliza para la transmisión de datos.

SF*: Spreading Factor*

E-TFCI: Algoritmo basado en la cantidad de potencia para la transmisión de datos.

MPR: *Maximum Power Reduction*

En el caso de este proyecto no se debe medir el SAR en modos HSDPA y HSPA debido a que el procedimiento indica que cuando la potencia de salida máxima promediada de cada canal de RF con HSDPA activo es menor que 0.25 dB más alto de lo medido sin HSDPA (es decir en WCDMA), o el máximo SAR para WCDMA es menor o igual que 75% del límite de SAR no es requerida la medición de SAR. Lo mismo se aplica para el modo HSPA. De la misma manera no es necesario realizar las mediciones de SAR en HSPA+ debido a lo indicado en la sección 3.7.6

3.8 SAR EN DISPOSITIVOS QUE UTILIZAN WiFi [61 y 65]

3.8.1 MEDICIÓN Y REDUCCIÓN DE PRUEBAS DE SAR EN DISPOSITIVOS QUE UTILIZAN WIFI

El SAR se mide utilizando el canal de potencia de salida más alto y se puede reducir pruebas para los distintos modos de acuerdo a la potencia de salida máxima o al SAR reportado en las mediciones iniciales. Cuando el SAR para 1 g es $\leq$ 0.8 W/Kg realizar las pruebas en los canales bajo y alto es opcional. Esto es equivalente a utilizar el canal de salida más alto en lugar del canal central.

Los estándares IEEE 802.11 b/g son probados en los canales 1, 6 y 11; sin embargo, si la reducción de potencia de salida es necesaria para los canales 1 y 11, para satisfacer los requerimientos de banda restringido, los canales de salida con potencia más alta deben ser probados en su lugar.

Dentro de la banda de 2.4 GHz el estándar IEEE 802.11n debe ser probado en los canales 1, 6 y 11 para un ancho de banda de 20 MHz y en el canal 6 si tiene un ancho de banda de 40 MHz.

3.8.1.1 Requerimientos de medición de potencia

La potencia de salida de los transmisores que utilizan los estándares IEEE 802.11 pueden variar dependiendo los modos de transmisión, bandas de frecuencia, implementación de la antena y condiciones de operación.

La potencia de salida máxima se mide tomando en cuenta ciertas consideraciones:

- La potencia debe ser medida en cada puerto de la antena transmisora.
- Cuando la especificación de potencia de salida máxima se aplique a múltiples modos de transmisión. La potencia debe ser medida con una configuración que establezca el uso del canal más alto, la modulación de orden más baja y la menor velocidad para el estándar IEEE 802.11 que pertenezca.
- Para cada modo de transmisión la potencia debe ser medida para canales bajo y alto, y en canal medio cuando hay al menos tres canales según la configuración soportada por el modo IEEE 802.11.

En este proyecto el SAR es medido en el canal 11 y con una modulación establecida por el estándar IEEE 802.11 b debido a que es la menos robusta y obliga a los dispositivos a emitir a su máxima potencia.

Para la medición de SAR el dispositivo debe utilizar el mayor factor de trabajo soportado por el modo de prueba, es decir debe transmitir de manera continua a una tasa de datos requerida, en un canal predefinido y con un ancho de banda determinado, por lo cual se utiliza un *software* de pruebas el cual permite realizar estos cambios y asegura estas condiciones de funcionamiento.

En este caso de acuerdo a lo expuesto en el procedimiento no es necesario la medición de SAR en los estándares IEEE 802.11 g y n debido a que la potencia de salida máxima es menor que 0.25 dB más que lo medido en el canal correspondiente en IEEE 802.11 b.

Además, cuando el mayor SAR reportado en modo DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) (IEEE 802.11b) es ajustado por la relación de la potencia de

salida máxima en modo OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) (IEEE 802.11 g/n) a modo DSSS es ≤ 1.2 W/Kg la medición de SAR no es requerida para modos OFDM.

La FCC define que para los sistemas que utilizan técnicas de modulación digital la potencia de salida máxima permitida es +30 dBm (1 W).

A pesar de que la norma indica que las pruebas deben ser realizadas con un *software* de pruebas para asegurar las condiciones de exposición, por efectos de pruebas la medición de SAR también fue realizada con el DUT conectado a un *router* para simular condiciones de funcionamiento normal.

3.9 REFERENTE A LA NORMA TS 34.121-1 VERSIÓN 9.3.0 [62 y 40]

En el reporte se deben incluir las mediciones de potencia para WCDMA, HSDPA y HSUPA. Para entender los parámetros que se deben configurar se menciona a continuación las secciones de la norma utilizadas para la medición de potencia.

3.9.1 POTENCIA MÁXIMA DE SALIDA PARA DISPOSITIVOS QUE UTILIZAN WCDMA

La potencia máxima de salida y su tolerancia están definidas de acuerdo a la clase de potencia del equipo bajo prueba. El DUT utilizado en el desarrollo del proyecto pertenece a la clase de potencia 3.

La potencia de salida máxima es una medida de la potencia que el equipo bajo prueba puede transmitir suponiendo que no hay errores en la medición, en un ancho de banda de al menos (1+∝) veces[70] la velocidad de chip[71] (3.84 Mcps) del modo de acceso de radio.

3.9.1.1 Requerimientos de la prueba

La potencia de salida máxima no debe exceder el rango prescrito por los valores de potencia y tolerancia indicados en la Tabla 3.10.

---

[70] α es el roll-off definido en 0.22.

[71] Chip, una vez que los bits se hayan expandido la unidad sería chips. Para expandir los bits se utilizan códigos [40].

Operating Band	*Power Class* 1		*Power Class* 2		*Power Class* 3		*Power Class* 3 bis		*Power Class* 4	
	Power (dBm)	Tol (dB)	*Power* (dBm)	Tol (dB)	*Power* (dBm)	Tol (dB)	*Power* (dBm)	Tol (dB)	*Power* (dBm)	Tol (dB)
Band II	-	-	-	-	+24	+1.7/-3.7	+23	+2.7/-2.7	+21	+2.7/-2.7
Band V	-	-	-	-	+24	+1.7/-3.7	+23	+2.7/-2.7	+21	+2.7/-2.7

Tabla 3.10 Potencia de salida máxima según la clase de potencia del DUT

3.9.2 POTENCIA DE SALIDA MÁXIMA CON HS-DPCCH (*RELEASE* 6 EN ADELANTE) [63]

3.9.2.1 Definición y aplicabilidad

La potencia de salida máxima con HS-DPCCH y su tolerancia están definidas de acuerdo a la Reducción de Potencia Máxima (MPR) del DUT para la potencia de salida máxima nominal. El MPR permite que el DUT en ciertas condiciones disminuya la potencia de salida para cumplir con los requisitos en la calidad de la señal.

La potencia de salida máxima con HS-DPCCH es una medida de la potencia máxima que el DUT puede transmitir cuando HS-DPCCH transmite completamente o parcialmente durante un *timeslot*. El periodo de medición debe ser de al menos un *timeslot*. Estos requerimientos se deben aplicar a todos los tipos de UTRA para equipos en modo FDD que soportan HSDPA sin E-DCH.

3.9.2.2 Propósito de la prueba

Verificar que el error de la potencia de salida máxima del DUT con HS-DPCCH no exceda el rango prescrito por la potencia de salida máxima y la tolerancia indicada en la Tabla 3.11.

Un exceso de potencia de salida puede interferir con otros canales u otros sistemas y por el contrario una potencia pequeña decrece el área de cobertura.

Sub-test	*Power Class* 3		*Power Class* 4	
	Potencia (dBm)	Tol (dBm)	Potencia (dBm)	Tol (dBm)
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

Tabla 3.11 Potencia máxima de salida con HS-DPCCH

En la Tabla 3.12 se indican los parámetros que varían de acuerdo al *sub-test* aplicado. Cada *sub-test* especifica ciertos parámetros para establecer la configuración deseada.

Sub-test	β_c	β_d	β_d **(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

Tabla 3.12 Parámetros de acuerdo al *sub-test* seleccionado

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.

Los 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 configuración de la 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.

3.9.3 POTENCIA DE SALIDA MÁXIMA CON HS-DPCCH Y E-DCH

3.9.3.1 Definición y aplicabilidad

La potencia de salida máxima nominal con HS-DPCCH y E-DCH es una medida de la potencia máxima que el DUT puede transmitir cuando HS-DPCCH y E-DCH está parcialmente o completamente transmitiendo durante un *timeslot* DPCCH. El periodo de medición debe ser de al menos un *timeslot*.

Estos requerimientos aplican para *Release* 6, *Releases* posteriores y todo tipo de UTRA para equipos en modo FDD que soportan HSDPA y E-DCH.

3.9.3.2 Propósito de la prueba

Verificar que el error de la potencia de salida máxima del DUT con HS-DPCCH y E-DCH no exceda el rango prescrito por la potencia de salida máxima y la tolerancia indicada en la Tabla 3.13.

Sub-test	*Power Class* 3		*Power Class* 4	
	Potencia (dBm)	Tol (dBm)	Potencia (dBm)	Tol (dBm)
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

Tabla 3.13 Potencia de salida máxima con HS-DPCCH y E-DCH

Sub - test	β_c	β_d	β_d (SF)	β_c/β_d	β_{HS}	β_{ec}	β_{ed}	β_{ed} (SF)	β_{ed} *(Codes)*	CM (dB)	MPR (dB)	AG *Index*	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	β_{ed}1: 47/15 β_{ed}2: 47/15	4 4	2	2.0	1.0	15	92
4	2/15	15/15	64	2/15	4/15	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

Tabla 3.14 Parámetros de acuerdo al *sub-test* aplicado

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.

β_{ec}: factor de ganancia del canal E-DPCCH.

β_{ed}: factor de ganancia del canal E-DPDCH.

AG (*Absolute Grant*) *Index*: valor de potencia que se utiliza para la transmisión de datos.

E-TFCI: Algoritmo basado en la cantidad de potencia para la transmisión de datos.

En la Tabla 3.14 se indican los parámetros que varían de acuerdo al *sub-test* aplicado. Cada *sub-test* especifica ciertos parámetros para establecer la configuración deseada.

Los factores de ganancia se emplean para describir una relación de amplitud específica que se asume por el canal observado en relación al canal DPCCH.

Como se indicó anteriormente es importante medir la potencia de salida ya que de acuerdo a estos valores se puede aplicar la reducción de pruebas de SAR. A

continuación se hace referencia al procedimiento que debe seguirse para la obtención de los resultados de esta medición.

3.10 MEDICIÓN DE POTENCIA DE SALIDA CONDUCIDA PARA SERVICIO MÓVIL AVANZADO [40]

3.10.1 BANDAS DE FRECUENCIA Y CANALES

Para el servicio móvil avanzado las bandas de frecuencia asignadas en el país son:

Banda de 850 MHz	**Banda de 1900 MHz**
UL: 824 MHz – 849 MHz DL: 869 MHz – 894 MHz	UL: 1850 MHz – 1910 MHz DL: 1930 MHz – 1990 MHz

Para la tecnología 3G la Banda V se refiere a 850 MHz y la Banda II a 1900 MHz.

Las pruebas deben ser desarrolladas en canales bajo, medio y alto. A continuación se detallan los canales centrales para cada tecnología. En la Tabla 3.15 se indican los canales centrales para dispositivos de segunda generación.

MODO/BANDA	**CANALES**					
	BAJO		MEDIO		ALTO	
	N° CANAL	FRECUENCIA (MHz)	N° CANAL	FRECUENCIA (MHz)	N° CANAL	FRECUENCIA (MHz)
GSM 850 MHz	128	824.2	190	836.6	251	848.8
PCS 1900 MHz	512	1850.2	661	1880.0	810	1909.8

Tabla 3.15 Canales bajo, medio y alto para 2G

CANALES CENTRALES BANDA II					
CANALES UPLINK		FRECUENCIA (MHz)	**CANALES DOWNLINK**		FRECUENCIA (MHz)
Bajo	9262	1852.4	Bajo	9662	1932.4
Medio	9400	1880.0	Medio	9800	1960.0
Alto	9538	1907.6	Alto	9938	1987.6
CANALES CENTRALES BANDA V					
CANALES UPLINK		FRECUENCIA (MHz)	**CANALES DOWNLINK**		FRECUENCIA (MHz)
Bajo	4132	826.4	Bajo	4357	871.4
Medio	4183	836.6	Medio	4407	881.4
Alto	4233	846.6	Alto	4458	891.6

Tabla 3.16 Canales bajo, medio y alto para 3G

En la Tabla 3.16 se indican los canales centrales para enlace ascendente y descendente para equipos de tercera generación.

3.10.2 DIAGRAMA DE CONEXIÓN

El diagrama de conexión se muestra en la Figura 3.55 y consta del emulador de radio base y un cable que permite la conexión del emulador con el dispositivo bajo prueba.

El DUT se puede conectar de dos formas:

1. De forma radiada: Se coloca el DUT dentro de la jaula de Faraday y se utiliza la antena interna para establecer la conexión de forma radiada (Véase Figura 3.55). Con esta forma de conexión es difícil calcular de forma exacta las pérdidas introducidas.

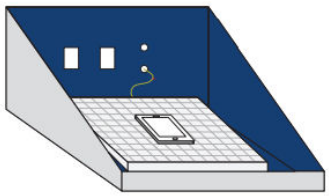


Figura 3.55 Conexión radiada [40]

2. De forma conducida: Se la realiza cuando se puede acceder directamente al conector de RF del celular por medio del cable propio del fabricante (Véase Figura 3.56). Esta medición permite obtener mediciones más precisas.

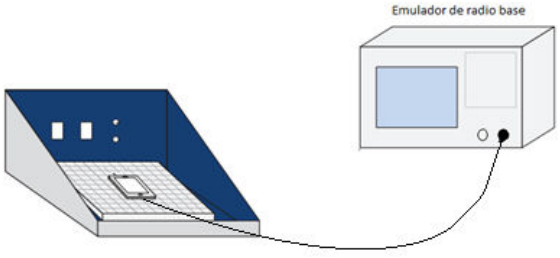


Figura 3.56 Conexión conducida [40]

Las pruebas de potencia para este proyecto serán realizadas de forma conducida, mientras que las pruebas de medición de SAR serán de forma radiada utilizando la cámara semi-anecoica.

3.10.3 PÉRDIDAS POR CABLES Y CONECTORES

El uso de cables y conectores introducen una pérdida que debe ser compensada. Las pérdidas son medidas utilizando el analizador de redes. En la Tabla 3.17 se indican las pérdidas introducidas por los componentes.

En la Figura 3.57 se observan las pérdidas en el cable de RF medidas mediante el analizador de redes.

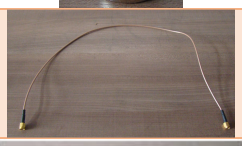
ELEMENTO	FOTO	PÉRDIDAS (dB)	
		BANDA 850 MHz	BANDA 1900 MHz
Adaptador de precisión		-0.1	-0.1
Cable de RF		-0.5431	-0.7982
Cable RF fabricante		-----	-----
TOTAL		-0.6431	-0.8982

Tabla 3.17 Pérdidas introducidas por cables y conectores

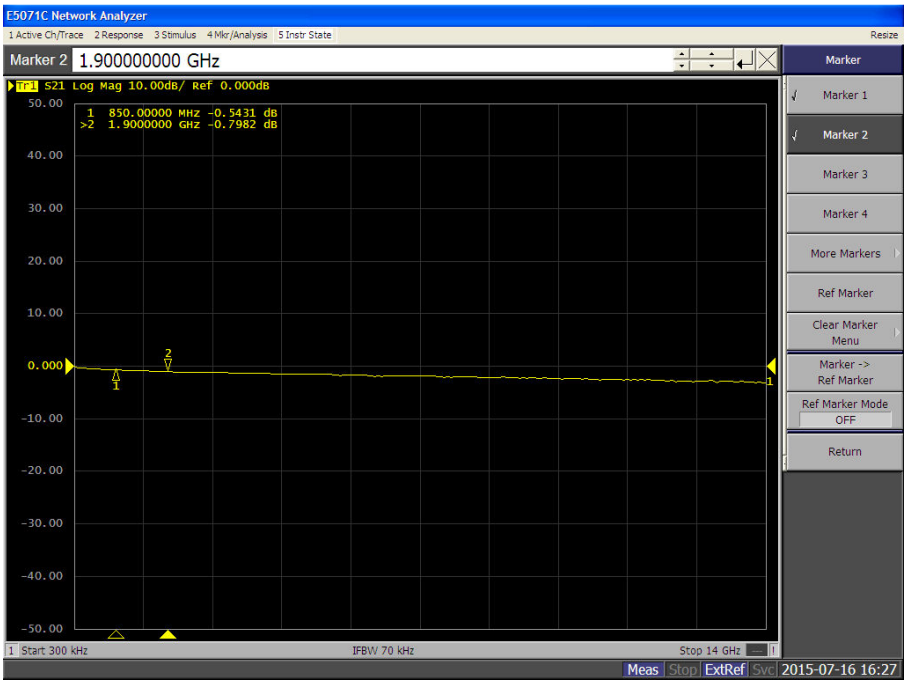


Figura 3.57 Pérdidas del cable en las bandas de 850 MHz y 1900 MHz

Como el celular de prueba no poseía los conectores de RF expuestos se debió soldar un cable de RF (Véase Figura 3.58) lo cual introduce mayor pérdida; estas pérdidas también deben ser compensadas tomando en cuenta el nivel de recepción de potencia recibido y enviado como se muestra en la Figura 3.59.

Figura 3.58 Vista interna celular marca YEZZ modelo A3.5

El valor de recepción debe ser similar a la potencia de la celda indicada en el punto 3.10.4.2 La Figura 3.59 muestra el nivel de recepción para tecnologías 2G y 3G.

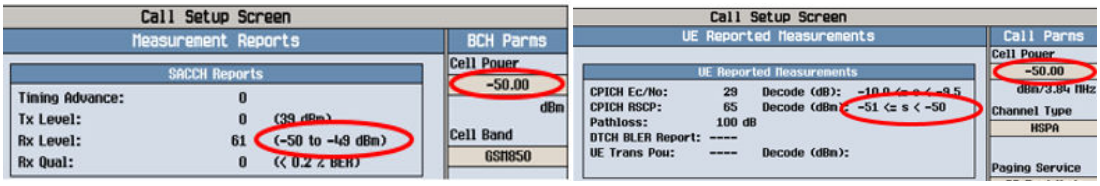


Figura 3.59 Nivel de recepción tecnologías 2G y 3G

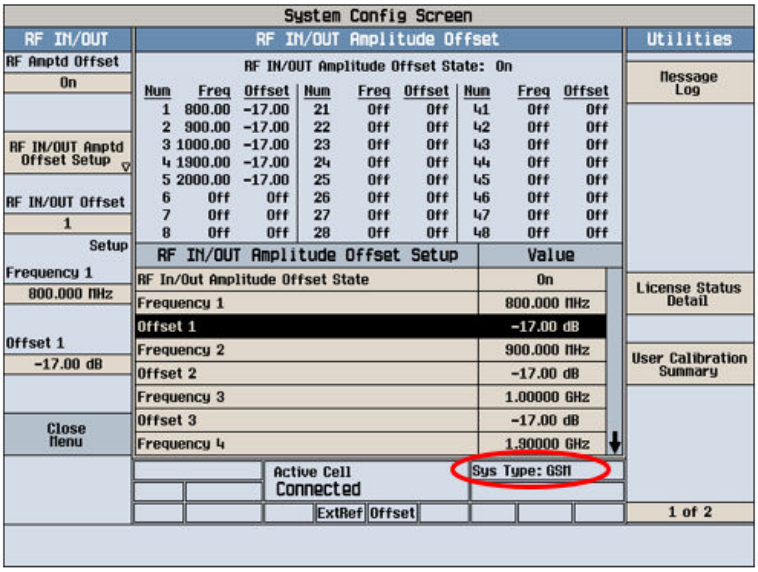


Figura 3.60 Pérdidas para tecnología 2G

El valor redondeado de pérdidas compensado fue -17 dB para tecnologías 2G y -18 dB para tecnología 3G, el cual se muestra en las Figuras 3.60 y 3.61.

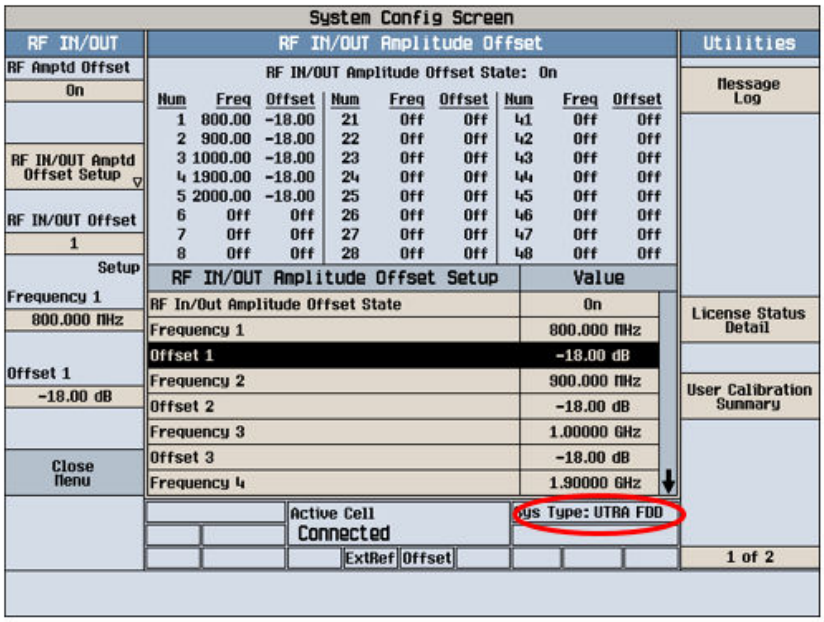


Figura 3.61 Pérdidas para tecnología 3G

3.10.4 CONFIGURACIÓN DEL EMULADOR DE RADIO BASE E5515C 8960 PARA LA MEDICIÓN DE POTENCIA DE SALIDA CONDUCIDA [40, 67, 68, 69 y 70]

3.10.4.1 Descripción del equipo

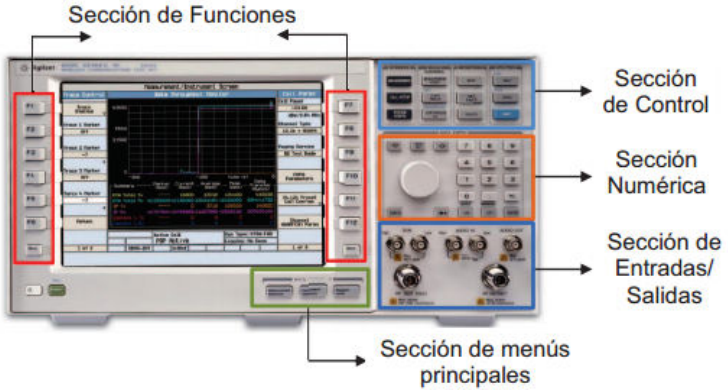


Figura 3.62 Secciones del equipo E5515C 8960 [40]

En la Figura 3.62 se muestran las secciones principales por las que se encuentra conformado el equipo, entre ellas: sección de funciones, sección de control, sección numérica, sección de menús principales y sección de entradas y salidas.

3.10.4.1.1 Sección de funciones

Esta sección está conformada por las teclas F1 hasta F12, incluidas las teclas "*More*" de los lados izquierdo y derecho del equipo como se muestra en la Figura 3.63.

Figura 3.63 Sección de funciones del equipo E5515C 8960 [40]

3.10.4.1.2 Sección de control

Esta sección contiene los bloques indicados en la Figura 3.64.

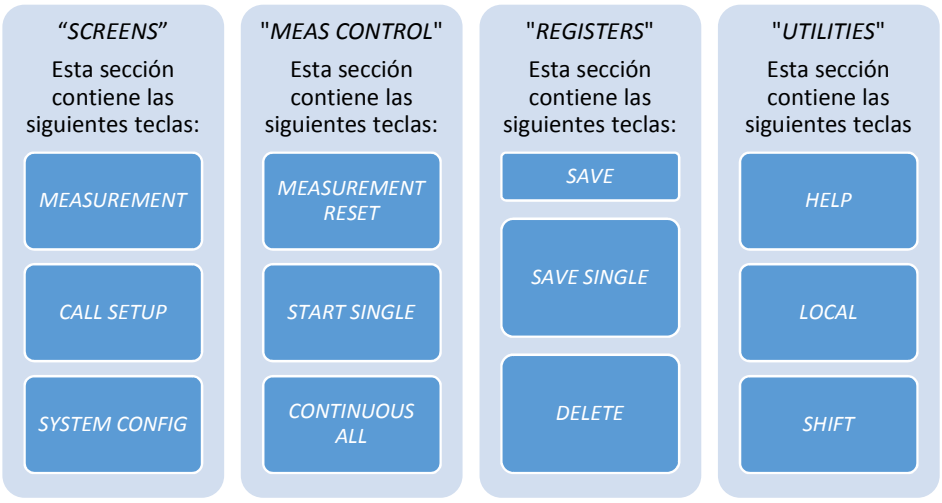


Figura 3.64 Sección de control del equipo E5515C 8960 [40]

3.10.4.1.3 Sección numérica

En esta sección se encuentra el teclado numérico, las teclas de navegación entre otras funciones que se muestran en la Figura 3.65.

Figura 3.65 Sección numérica del equipo E5515C 8960 [40]

3.10.4.1.4 Sección de menús principales

En esta sección se pueden observar las teclas: "*Measurement selection*", "*Instrument selection*" y "*Register recall*" tal como se indica en la Figura 3.66.

Figura 3.66 Sección de menús principales del equipo E5515C 8960 [40]

3.10.4.1.5 Sección de entradas y salidas

En esta sección se encuentran los conectores de entrada y salida de acuerdo a lo que se muestra en la Figura 3.67.

Figura 3.67 Sección de entradas y salidas del equipo E5515C 8960 [40]

3.10.4.2 Potencia de la celda

En el simulador *Wireless Communication Test Set* se encuentra el parámetro *Cell Power,* el cual configura el nivel de potencia absoluta de los canales físicos en dBm.

La potencia que entrega el simulador de radio base al DUT se encuentra dentro del rango de -13 dBm/3.874 MHz a -115 dBm/3.84 MHz; para realizar las pruebas dicho valor se establece en -50 dBm/3.84 MHz.

3.10.4.3 Establecimiento de una llamada en estándar GSM

1. Una vez introducida la SIM *CARD* de prueba se debe conectar el terminal celular al emulador *Agilent* 8960 por medio del cable propio del fabricante, según el esquema de conexión indicado en la Figura 3.56.

2. Para seleccionar el estándar GSM se debe presionar el botón "*SYSTEM CONFIG*", después presionar la tecla F2 que corresponde a "*Format Switch*" y escoger la opción "GSM/GPRS" tal como se muestra en la Figura 3.68.

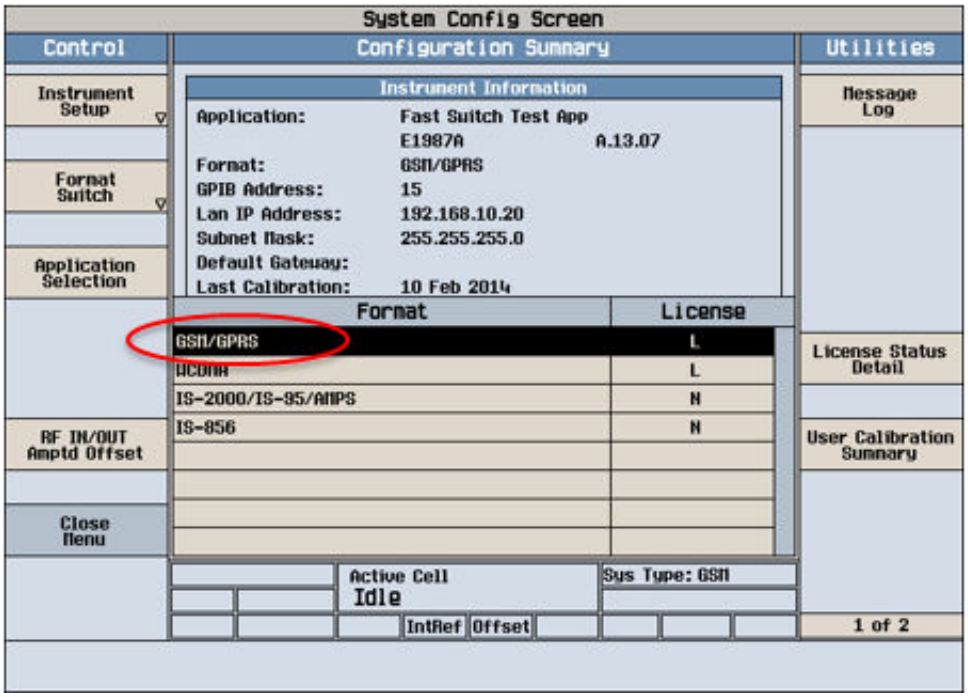


Figura 3.68 Estándar GSM en el simulador

3. Presionar la tecla "*CALL SETUP*" que se encuentra en el área "*SCREENS*", después la tecla F1 que corresponde a "*Operating Mode*", y seleccionar "*Active Cell* (GSM)" como se muestra en la Figura 3.69. De esta manera ha quedado habilitada la red celular GSM.

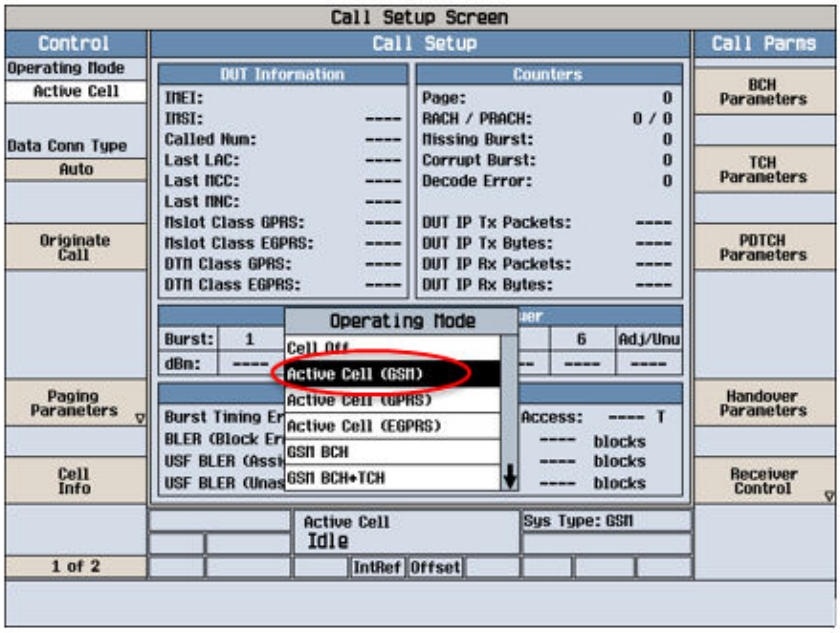


Figura 3.69 Celda activa GSM en el simulador

4. Para configurar el canal de control BCCH, el canal de tráfico, etc. se debe presionar F7 que corresponde a "BCH *Parameters*" tal como se muestra en la Figura 3.70. Una vez aquí, se pueden editar los valores según la Tabla 3.18. Se debe presionar F7 para cambiar la potencia de la celda "*Cell Power*", F8 para editar la "*Cell Band*" y F9 para el "*Broadcast Chan*". Al finalizar presionar F12 "*Return*".

Parámetro	Dato	Comentario
Banda de Trabajo	850	Espectro de frecuencias de 824 a 849 MHz y 869 a 894 MHz.
Canal de *Broadcast*	128	Se puede elegir un canal válido para el celular.
Canal de Tráfico	128	Elegir el canal según sea bajo, medio o alto que corresponde dentro de la banda de frecuencia en la que se está probando según la Tabla 3.16.
Potencia de Transmisión	-50 dBm	Potencia de la radio base.

Tabla 3.18 Configuración de los canales y de la potencia de transmisión

5. Para configurar los parámetros del canal de tráfico y el tipo de conexión, presionar F8 "TCH *Parameters*", después F9 "*Traffic Channel*" y colocar el canal según sea bajo, medio o alto. Para la conexión escoger tecla F2 "*Data Conn Type*" y elegir "*Auto*". Lo mencionado se muestra en la Figura 3.71.

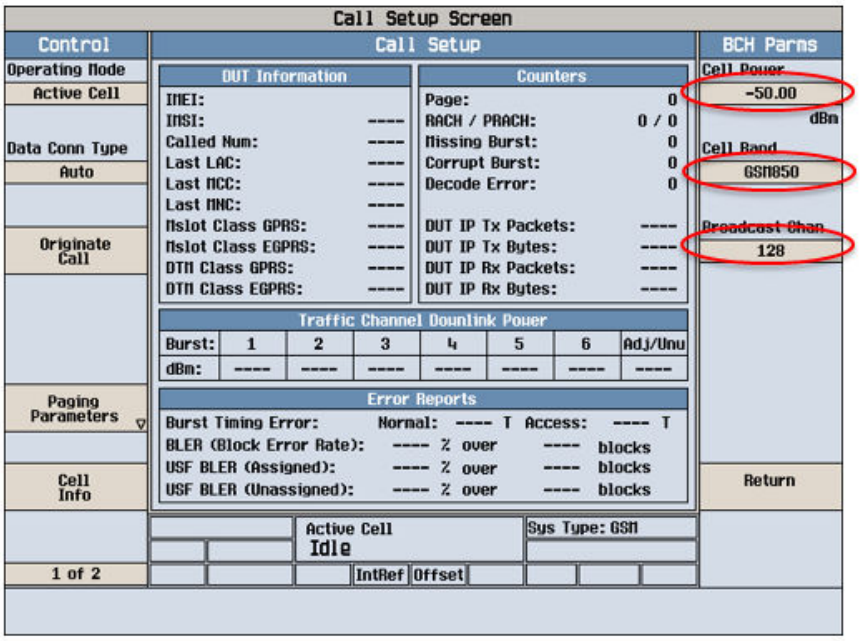


Figura 3.70 Configuración de la potencia de la celda, banda y canal en el simulador

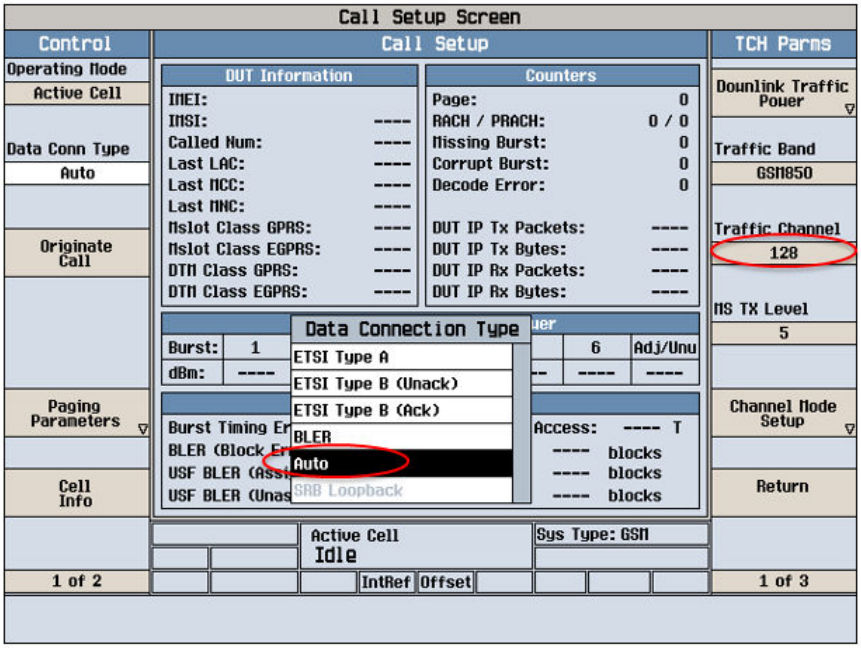


Figura 3.71 Tipo de conexión de datos "*Auto*" en el simulador

6. Para ejecutar una llamada se debe presionar F3 "*Originate Call*" o marcar un número de al menos tres dígitos desde el celular. Una vez establecida la conexión se puede observar "*Connected*" como se muestra en la Figura 3.72.

En el estado Conectado también se puede observar el número de identificación del celular IMEI (*International Mobile Equipment Identity*) y el de la SIM *CARD* IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*).

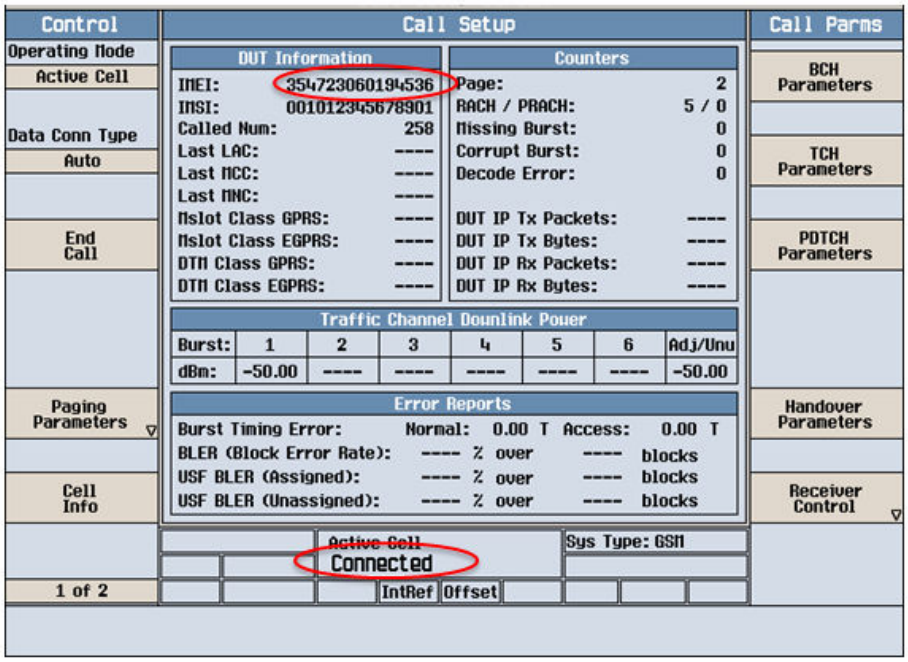


Figura 3.72 Conexión GSM establecida y número IMEI en el simulador

3.10.4.3.1 Potencia máxima de salida en el estándar GSM (Voz)

Para iniciar con las mediciones el equipo debe estar en estado conectado para lo cual se debe generar una llamada de acuerdo a lo indicado en la sección 3.10.4.3.

Las mediciones deben ser realizadas en canal bajo, medio y alto. A continuación, se indican los parámetros que se deben cambiar para configurar la potencia.

1. En la pantalla principal presionar la tecla "*CALL SETUP*", una vez en esta pantalla seleccionar F8 "TCH *Parameters*", luego F10 "MS TX *Level*" para modificar la potencia de transmisión del celular y simular que el equipo terminal se acerca o se aleja de la radio base.

   Para obtener la máxima potencia colocar 5 en este campo para la banda de 850 MHz como se muestra en la Figura 3.73, mientras que para la banda de 1900 MHz el valor es 0.

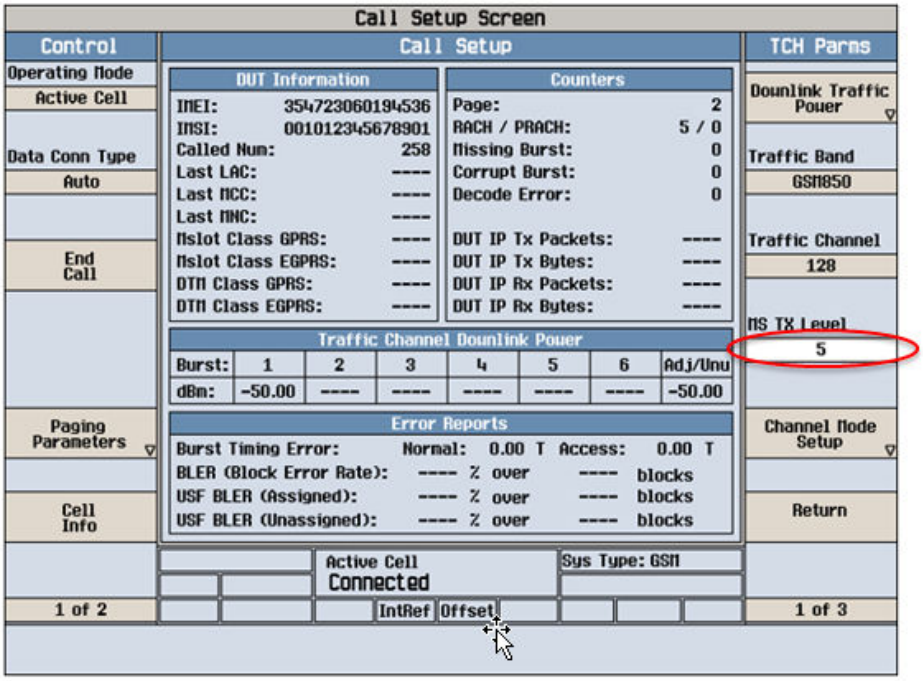


Figura 3.73 Configuración de la máxima potencia para 850 MHz en el simulador

2. En el área de "*MAIN MENUS*" presionar la tecla "*Measurement Selection*" y elegir "*Transmit Power*"

3. Presionar F1 "*Transmit Power Setup*" y cambiar en el menú mostrado en la Figura 3.74 los parámetros según la Tabla 3.19.

Multi - Measurement Count	200	Este parámetro se refiere al número de mediciones que el equipo realizará.
Trigger Arm	*Single / Continuous*	Con *single* se toma la captura de una medición y la fija en ese valor. Con *continuous* se realiza un barrido constante. Para el caso de este proyecto esta opción se la fija en *Continuous*.
Burst Capture Range	*All*	Muestra la potencia en todos los *slots* para el caso de mediciones en GPRS.

Tabla 3.19 Parámetros de configuración de la potencia en el simulador

4. Una vez cambiados los parámetros anteriores presionar F6 "*Close Menu*" para observar el valor de potencia medido.

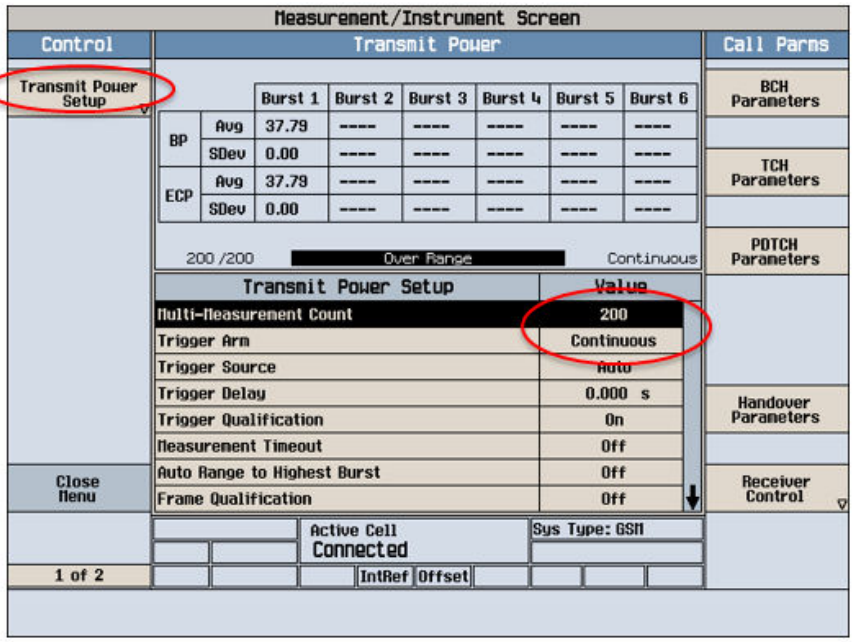


Figura 3.74 Parámetros de configuración del simulador para medir la máxima potencia en GSM

3.10.4.4 Establecimiento de la conexión de datos (GPRS)

1. Para configurar el equipo emulador se configuran los datos de la Tabla 3.18 de acuerdo a las necesidades de la prueba.

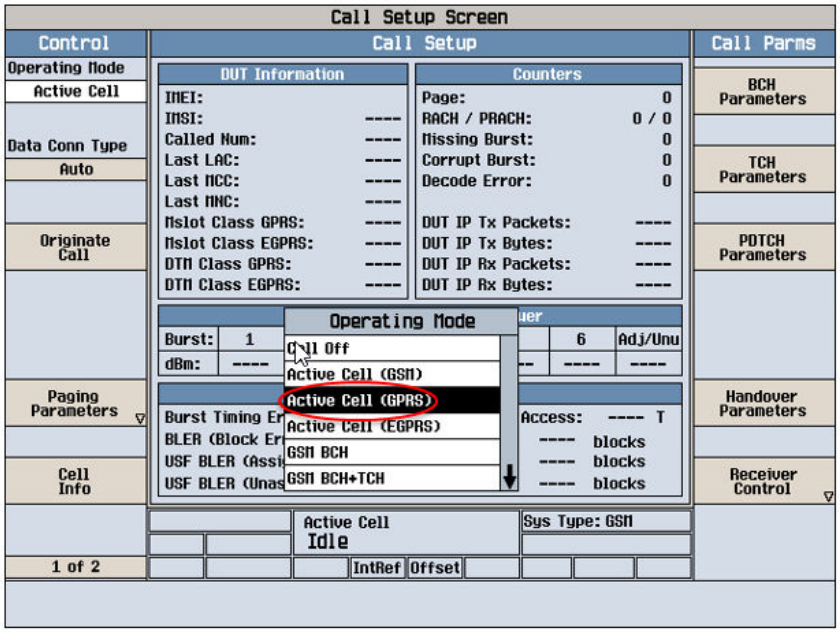


Figura 3.75 Modo de operación GPRS en el simulador

2. Presionar el botón “*CALL SETUP*”, luego escoger F1 “*Operating Mode*” y cambiar al modo de red “*Active Cell* (GPRS)” como se indica en la Figura 3.75.

3. Para configurar el número de ranuras que se emplean en *Uplink* y *Downlink* presionar F9 “PDTCH *Parameters*”, a continuación seleccionar F11 “*Multislot Config*” para escoger “1 *Down*, 4 *Up*” como se muestra en la Figura 3.76. Esta opción se escoge debido a que el DUT pertenece a la clase de *multislot* 12 y representa la mayor potencia.

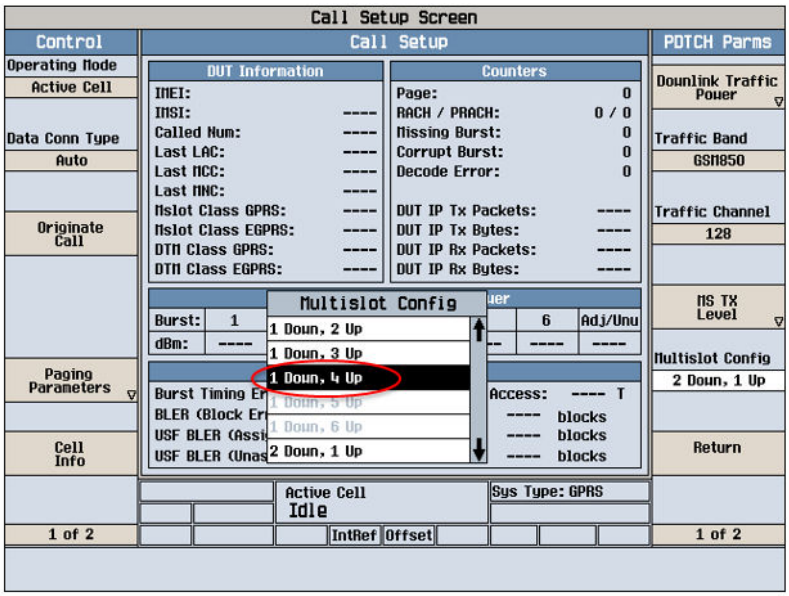


Figura 3.76 Configuración *Multislot* en el simulador

4. Para seleccionar el esquema de codificación entre CS-1, CS-2, CS-3 o CS-4 se debe tener en cuenta que CS-1 posee un mayor número de bits adicionales de protección llamados bits de FEC (*Forward Error Correction*), estos bits son utilizados por el *Coder/Encoder* para la detección y corrección de errores.

   En los siguientes esquemas mencionados los bits de FEC se reducen siendo el esquema CS-4 el utilizado debido a que el canal de comunicación tiene buena señal y por ende se puede transmitir mayor cantidad de bits de información que de control de errores.

   Para cambiar el esquema de codificación se debe presionar “*More*” del lado derecho, después F7 “*Coding Scheme*” y escoger CS-4 tal como se muestra en la Figura 3.77.

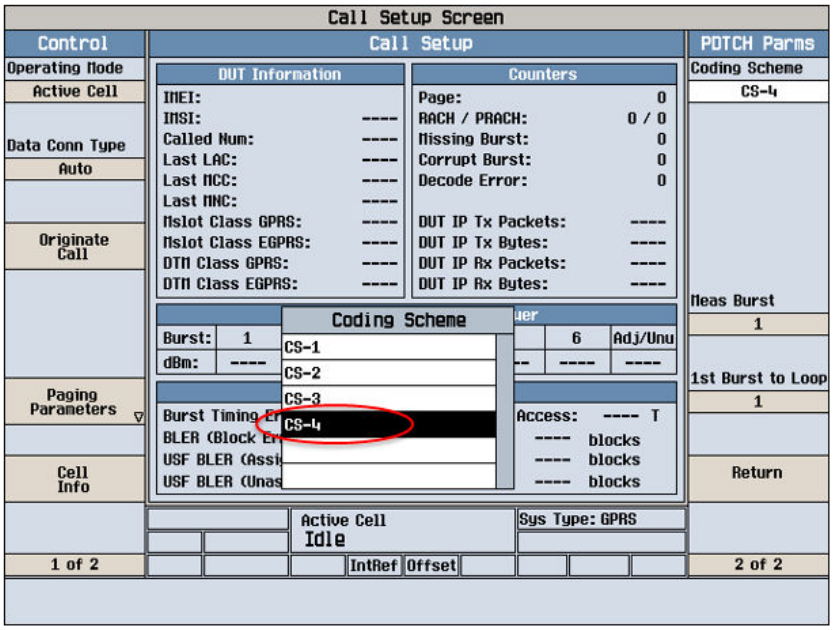


Figura 3.77 Esquema de codificación CS-4 en el simulador

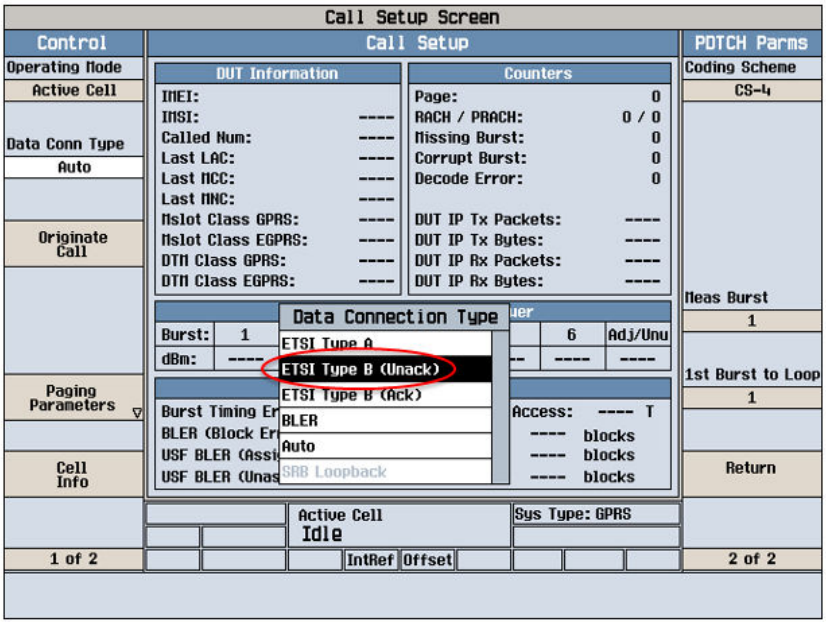


Figura 3.78 Configuración del modo de transferencia de datos en el simulador

5. En el siguiente paso se debe escoger el modo en el que se genere la transferencia de datos. Para seleccionar el modo se debe seleccionar F2 "*Data Conn Type*" y escoger la opción "ETSI *Type* B (*Unack*)" como se muestra en la Figura 3.78. Al activar este modo se habilitan las opciones para realizar una llamada y establecer una conexión de datos. A continuación, en la Tabla 3.20 se indica los casos en los que se utiliza cada uno.

Auto	Se utiliza para establecer un modo para llamada. En este modo el control se lleva a través del canal de tráfico TCH.
ETSI *Type* A	Se utiliza para conexión de datos pero únicamente para transmisión (Tx).
ETSI *Type* B (Unack)	Se utiliza para una conexión que permite transmisión y recepción (Rx) de datos. El equipo emulador genera una secuencia aleatoria de bits hacia el celular.
ETSI *Type* B (Ack)	Es similar al ETSI *Type* B (Unack) pero implementa un Ack (*Acknowledged*) cuando el celular recibe correctamente el paquete. En caso que el paquete no se reciba y por ende el Ack tampoco llegue, la radio base reenvía la información hasta obtener el Ack.
BLER	Se utiliza para una conexión de Tx y Rx de datos, emplea un esquema de modulación GMSK para la transmisión. También se utiliza Ack enviado por el celular cuando los datos fueron recibidos correctamente.
SRB *Loopback*	Esta opción se habilita cuando se activa la red EGPRS. Se utiliza en una conexión de datos para Tx y Rx manejando los esquemas de modulación GMSK y 8PSK.

Tabla 3.20 Modos de transferencia de datos

6. Conectar el equipo de acuerdo al esquema mostrado en la Figura 3.56 incluyendo la SIM de prueba. Además, se debe habilitar en el DUT la opción de datos móviles. Activar en el dispositivo el modo avión de manera que al desactivar esta opción el DUT se enganche a la radio base.

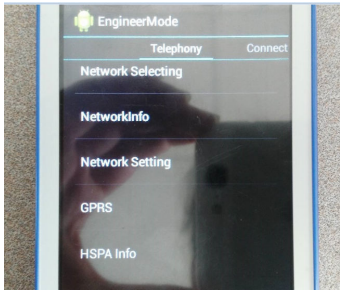


Figura 3.79 Modo de ingeniería para activar la conexión GPRS en el DUT

Hay dispositivos que al activar los datos móviles en el DUT es suficiente para que éste se conecte en la tecnología de datos GPRS; sin embargo, para el dispositivo utilizado en este proyecto se debe activar la conexión en GPRS mediante el código *#*#3646633#*#* para acceder al modo de ingeniería. Una vez en la pantalla principal se debe escoger la opción “GPRS” de la Figura 3.79.

Después, se debe seleccionar la opción “*Attached*” (Véase Figura 3.80) para que el equipo se enganche con lo cual se obtiene el mensaje “*GPRS Attached succeeded*”, seleccionar “OK” de la Figura 3.81.

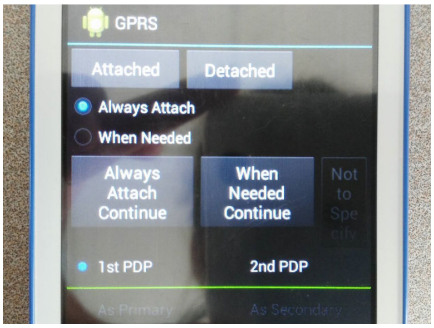


Figura 3.80 Habilitar el enganche del servicio GPRS

En la Figura 3.82 se puede observar que el equipo se encuentra enganchado.

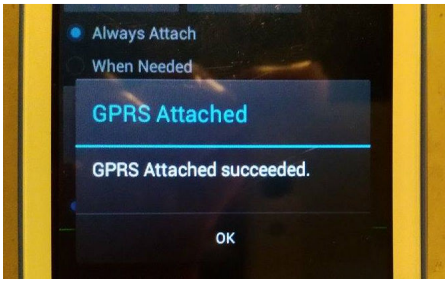


Figura 3.81 Servicio GPRS enganchado

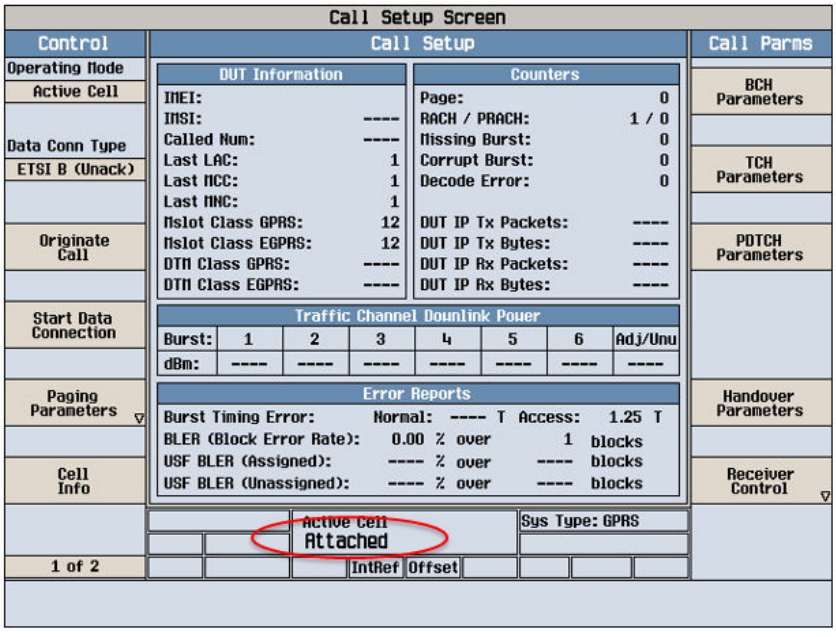


Figura 3.82 Equipo enganchado a la radio base

7. Finalmente para realizar la transferencia de datos se debe presionar la tecla F4 "*Start Data Connection*". Si la transferencia de datos se ejecuta en la pantalla

inferior se puede observar el mensaje "*Transferring*" tal como se muestra en la Figura 3.83.

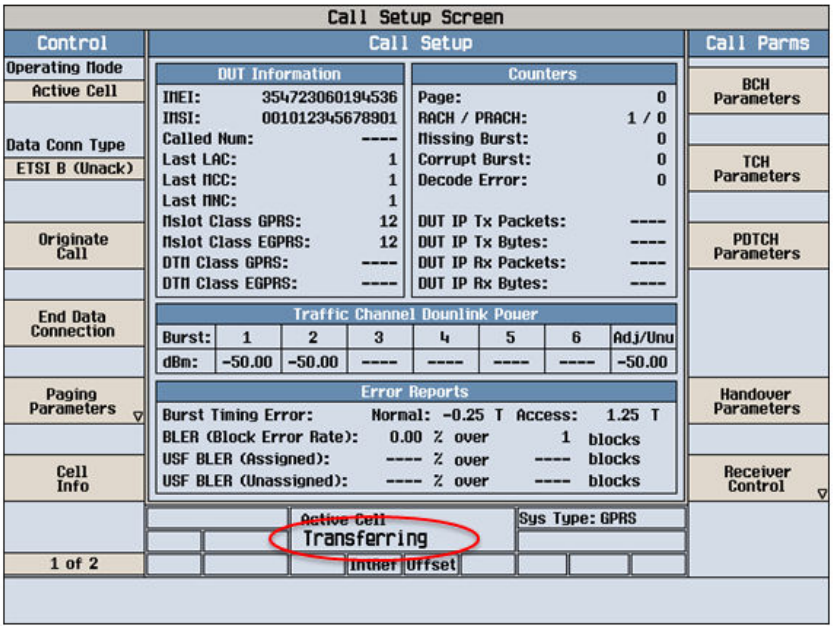


Figura 3.83 Transferencia de datos establecida en el simulador

3.10.4.4.1 Potencia de salida máxima en estándar GPRS

Para la medición de la potencia conducida el equipo debe estar conectado en GPRS y realizando una transferencia de datos, para lo cual se sigue el procedimiento señalado en el numeral 3.10.4.4. En la transferencia de datos se utilizan una o más ranuras de tiempo, por lo que se debe medir la potencia máxima en cada *burst*.

1. En la pantalla principal seleccionar F8 "*TCH Parameters*", después F10 "*MS TX Level*" para modificar la potencia de transmisión del celular y simular que el equipo terminal se acerca o se aleja de la radio base. Para obtener la máxima potencia colocar 5 en este campo para 850 MHz mientras que para 1900 MHz se debe colocar 0.

2. Para volver a la pantalla principal presionar "*CALL SETUP*" y seleccionar F9 "*PDTCH Parameters*" y en F10 "*MS TX Level*" cambiar el nivel máximo de recepción de cada *burst* "*MS TX Level Burst* 1" a 5 para la banda de 850 MHz y 0 para la banda de 1900 MHz. Este paso se debe repetir para los 4 *slots*. Lo mencionado en este paso se muestra en la Figura 3.84.

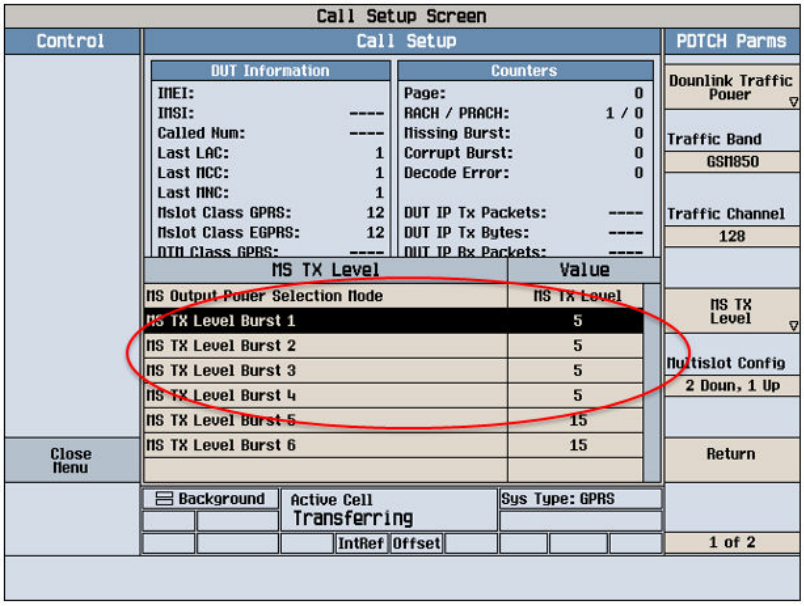


Figura 3.84 Máximo nivel de recepción para cada *burst* en el simulador

3. Presionar "*Measurement Selection*" y escoger la opción "*Transmit Power*"

4. Presionar F1 "*Transmit Power Setup*" y cambiar en el menú que aparece en la Figura 3.85 los parámetros según lo mencionado en la Tabla 3.19.

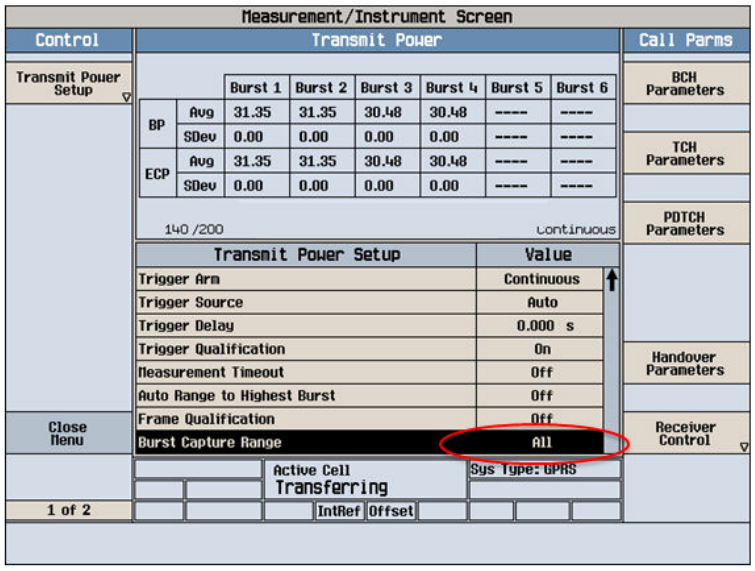


Figura 3.85 Parámetros del simulador para establecer la máxima potencia en GPRS

5. Una vez cambiados los parámetros mencionados presionar F6 "*Close Menu*" para obtener la Figura 3.86 en la cual se pueden observar los valores de potencia en cada *burst*.

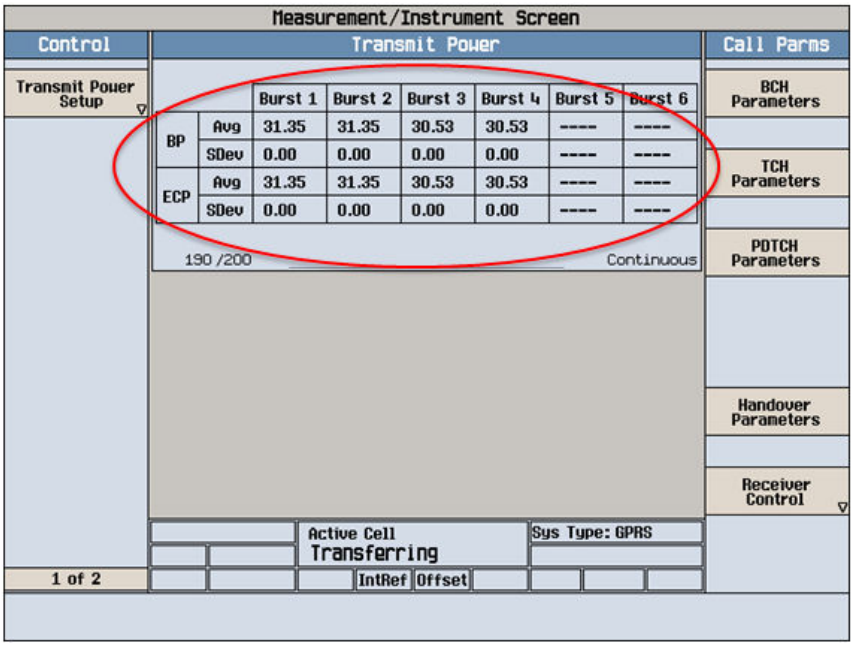


Figura 3.86 Potencia de salida en cada *burst*

3.10.4.4.2 Potencia promediada en el tiempo basada en la fuente en estándar GPRS

Para el SAR la potencia promediada en el tiempo basada en la fuente es relevante y este valor depende del *duty cycle* de la señal TDMA.

Número de *timeslot*	**1**	**2**	**3**	**4**
Duty Cycle	1:8	1:4	1:2.66	1:2
Factor del *duty cycle*	-9 dB	-6 dB	-4.25 dB	-3 dB
Factor de Cresta	8	4	2.66	2

Tabla 3.21 Factor del *duty cycle* para obtener la potencia promediada en el tiempo basada en la fuente

Para obtener este valor se debe restar del valor de la potencia máxima explicada en la sección 3.10.4.4.1 el valor del factor del *duty cycle* que corresponda al número *de time slot* que se muestra en la Tabla 3.21.

3.10.4.5 Establecimiento de una llamada en estándar UMTS

1. Primero colocar la SIM CARD de prueba dentro del DUT y conectarlo al emulador de radio base por medio del cable propio del fabricante como se indica en la Figura 3.56.

2. Para cambiar el entorno del emulador de radio base de GSM definido por *default* a WCDMA se debe presionar el botón "*SYSTEM CONFIG*", después F2 "*Format Switch*", girar la perilla y seleccionar "WCDMA" tal como se muestra en la Figura 3.87.

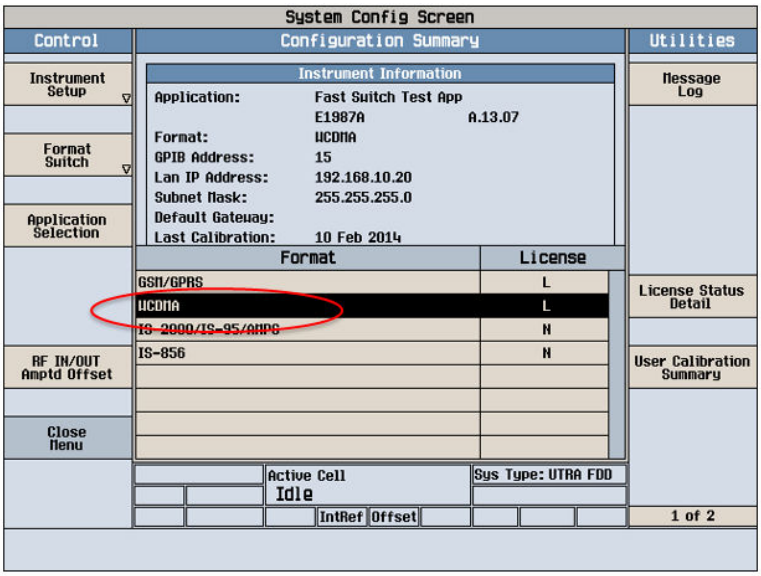


Figura 3.87 Cambio de ambiente del simulador a WCDMA

3. Para registrar el celular se debe primeramente desactivar la celda, para lo cual se debe presionar "*CALL SETUP*", después F1 "*Operating Mode*" y seleccionar "*Cell Off*" como se indica en la Figura 3.88.

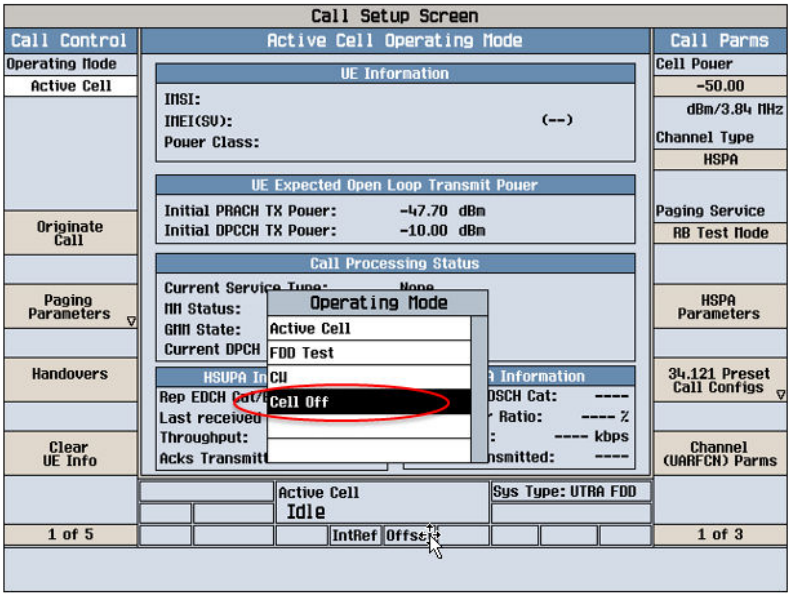


Figura 3.88 Celda desactivada en el simulador

4. Introducir el nivel de potencia -50 dBm presionando F7 que corresponde a "*Cell Power*"; como siguiente paso se debe seleccionar el modo de voz con F9 "*Paging Service*" y colocar "AMR *Voice*" tal como se muestra en la Figura 3.89.

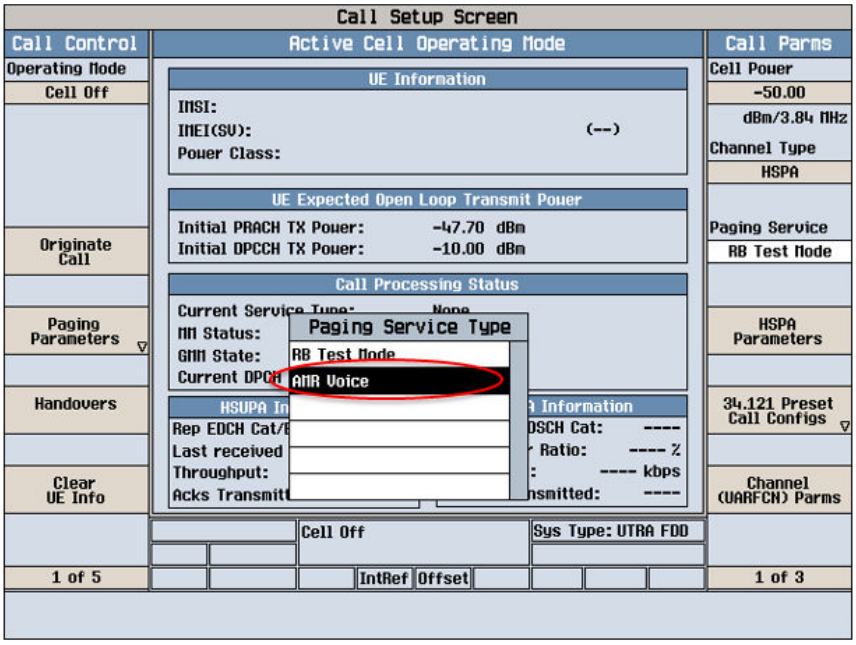


Figura 3.89 Configuración del servicio de voz en el simulador

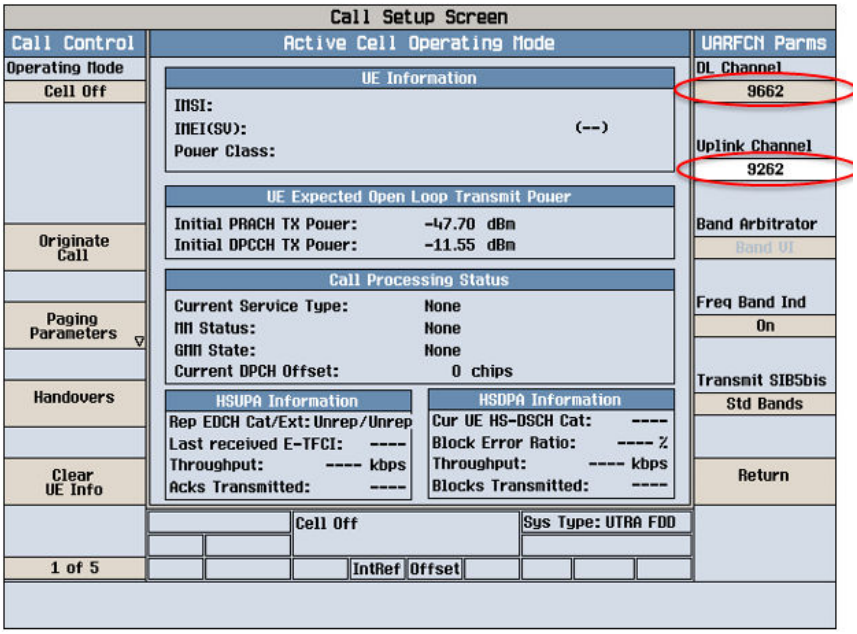


Figura 3.90 Configuración de los canales de DL y UL en el simulador

5. Presionar F12 “*Channel (UARFCN) Parms*” seguido de F7 “*DL Channel*” para introducir el canal ya sea bajo, medio o alto. Presionar F8 “*UL Channel*” e introducir el canal adecuado, según la Tabla 3.16.

   Para regresar a la pantalla anterior escoger F12 “*Return*”. Lo mencionado en este paso se muestra en la Figura 3.90.

6. Ya que algunos circuitos integrados (*Chip set*) introducidos en los equipos celulares no soportan el restablecimiento de la sub-capa control de enlace de radio (*Radio Link Control*) encargada de la transferencia de datos de usuario, encriptado, detección y corrección de errores entre otros, es necesario deshabilitar esta función en la radio base.

   Para realizar esto se debe presionar la tecla “*More*” del lado derecho del emulador, después F9 “*RLC Reestablish*” y cambiar de la opción “*Auto*” a “*Off*” como se observa en la Figura 3.91.En algunos terminales celulares se debe habilitar esta opción.

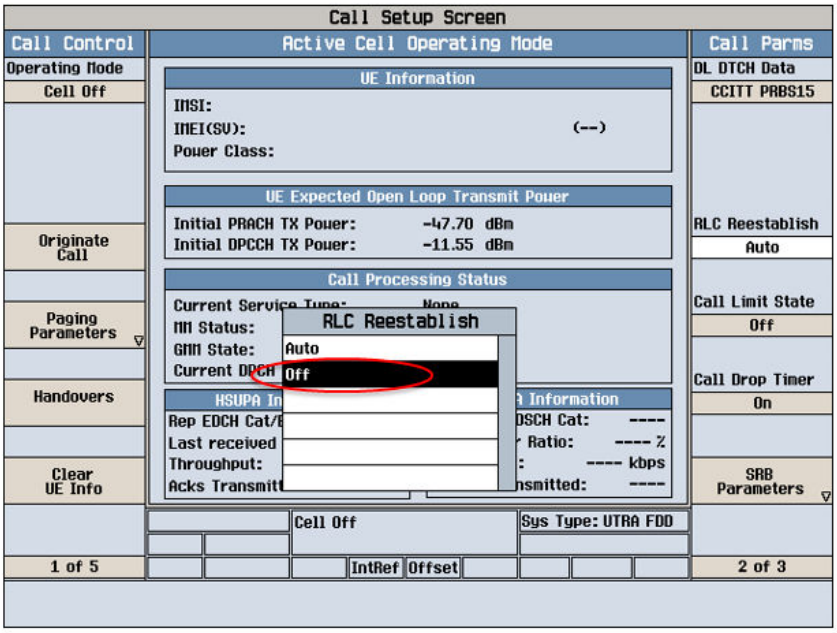


Figura 3.91 Restablecimiento de la sub-capa RLC en el simulador

7. Para la medición de SAR se debe configurar el tipo de canal, para lo cual se debe presionar F8 “*Channel Type*” y escoger la opción “*12.2k RMC*” tal como se indica en la Figura 3.92.

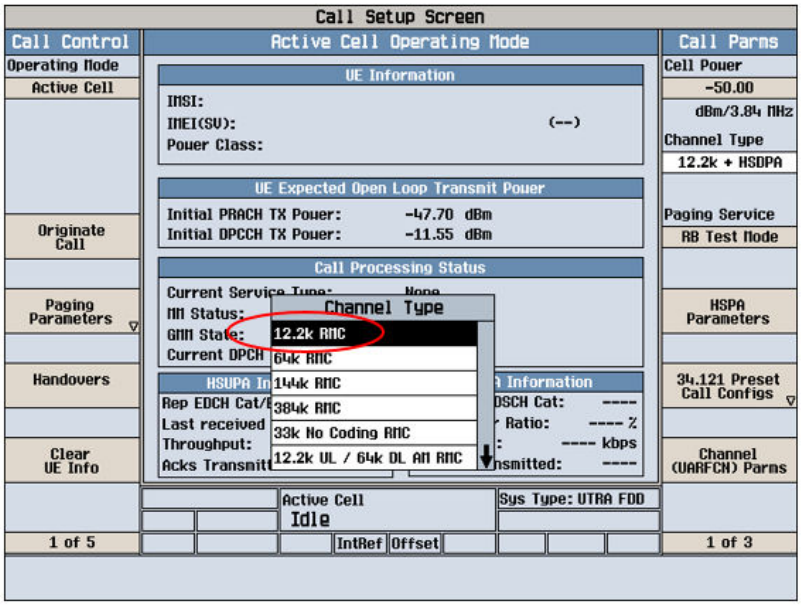


Figura 3.92 Configuración del tipo de canal "12.2k RMC" en el simulador

8. De la misma manera se debe activar el modo "*Loopback Type* 1" para lo cual se debe presionar tres veces la tecla "*More*" que se encuentra al lado izquierdo del emulador hasta obtener la pantalla 3 de 5 y seleccionar F6 "*RB Test Mode Setup*", como resultado se despliega una ventana en la cual se debe seleccionar la opción "*UE Loopback Type*"; una vez seleccionada esta opción se debe escoger "*Type 1*" tal como se muestra en la Figura 3.93.

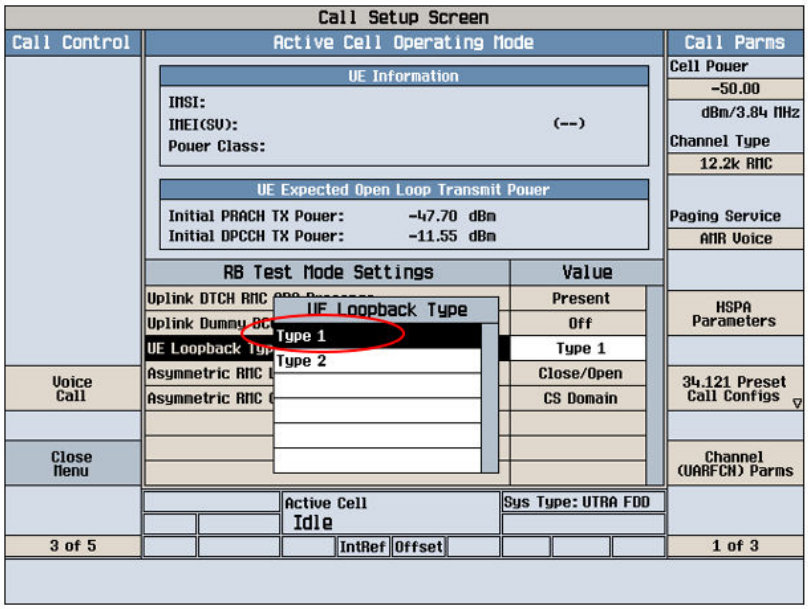


Figura 3.93 Configuración del modo de bucle tipo 1 en el simulador

9. Finalmente, para originar la llamada se debe presionar F1 "*Operation Mode*" y seleccionar "*Active Cell*" como se observa en la Figura 3.94.

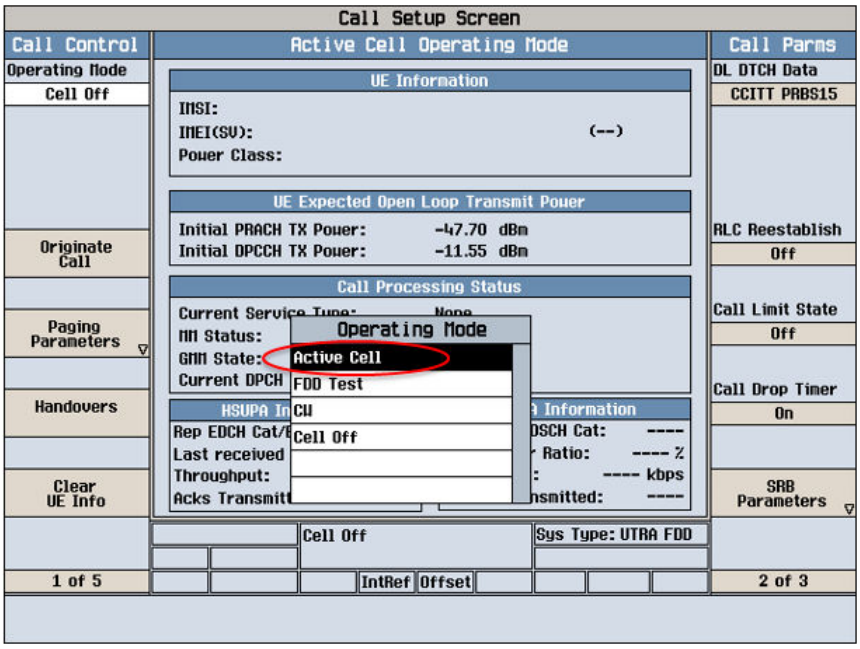


Figura 3.94 Celda activa en el simulador

Es importante recordar que se debe cambiar la configuración en los ajustes del teléfono y escoger el tipo de red para que éste se enganche con la radio base.

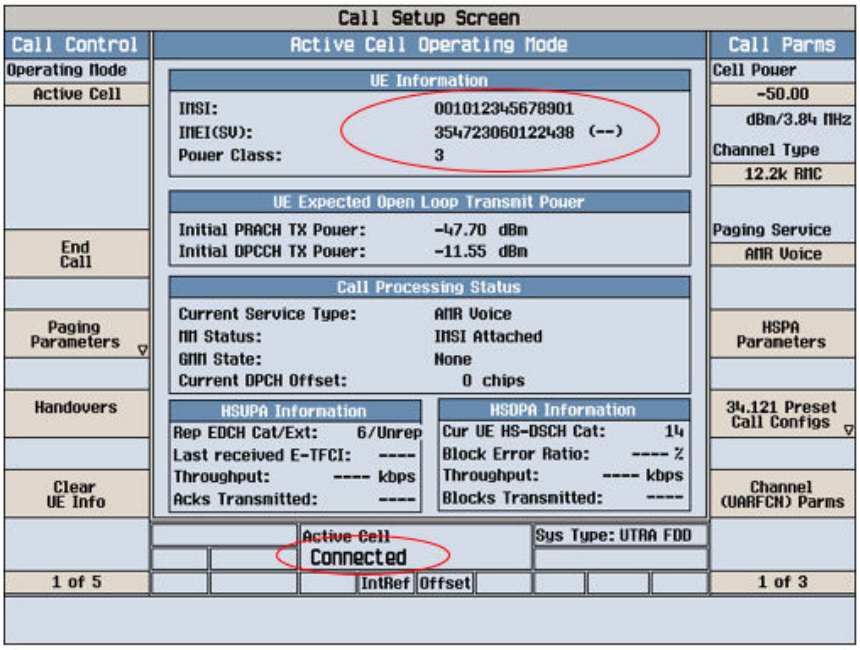


Figura 3.95 Conexión de voz establecida en el simulador

Una vez registrado se debe presionar la tecla F3 "*Originate Call*" y contestar la llamada desde el celular, con lo cual se observará "*Connected*". Se puede observar además otra información relevante como el IMEI, el IMSI y la clase de potencia (*Power Class* 3), véase la Figura 3.95. Para terminar la llamada se debe presionar la tecla F3 "*End Call*".

3.10.4.5.1 Potencia de salida conducida en el estándar UMTS (Voz)

1. Para configurar la máxima potencia se debe presionar la tecla "*More*" del lado derecho del emulador dos veces hasta obtener la pantalla 3 de 3. Una vez en esta pantalla presionar la tecla F7 "*UE Target Power*" y colocar un nivel de potencia de 24 dBm ya que es un celular con clase de potencia 3. Lo mencionado se puede observar en la Figura 3.96.

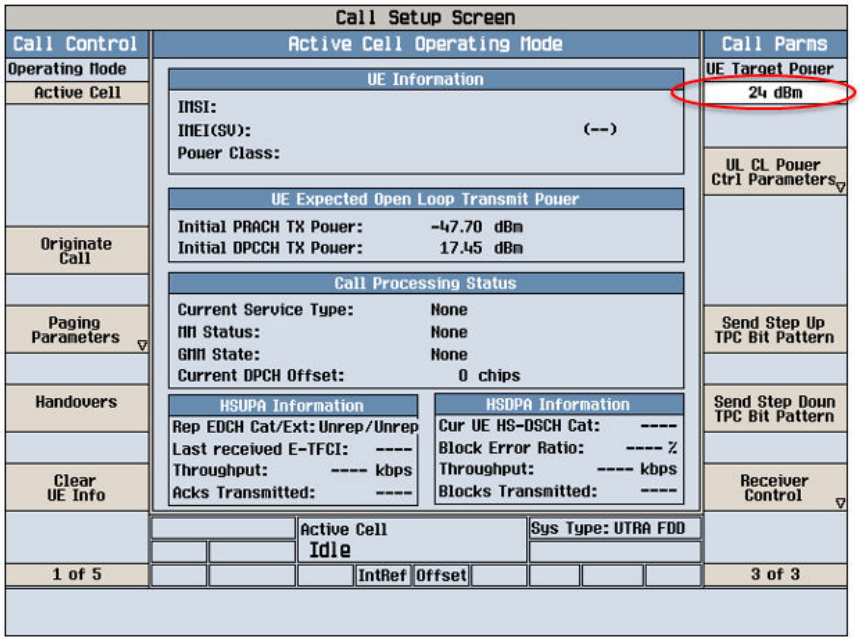


Figura 3.96 Configuración de la potencia en el simulador según la clase de potencia del DUT

2. Para medir la potencia de salida conducida presionar F8 "*UL CL Power Ctrl Parameters*", y en la opción "*UL CL Power Ctrl Mode*" colocar "*Active Bits*". Esta opción es válida para máxima potencia siempre y cuando se establezca de manera manual el valor máximo.

   De otra manera para que el DUT transmita a la máxima potencia, se debe colocar la opción "*All Up Bits*" como se mira en la Figura 3.97.

3. Verificar que "*UL CL Power Ctrl Mode*" se encuentre en "*Two*". La Figura 3.98 indica los parámetros cambiados.

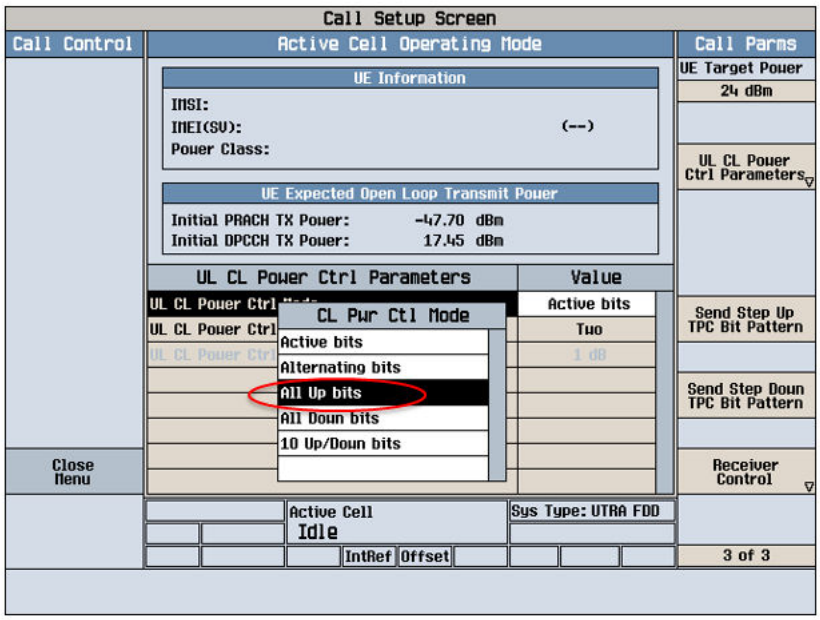


Figura 3.97 Configuración del simulador "todos los bits en uno"

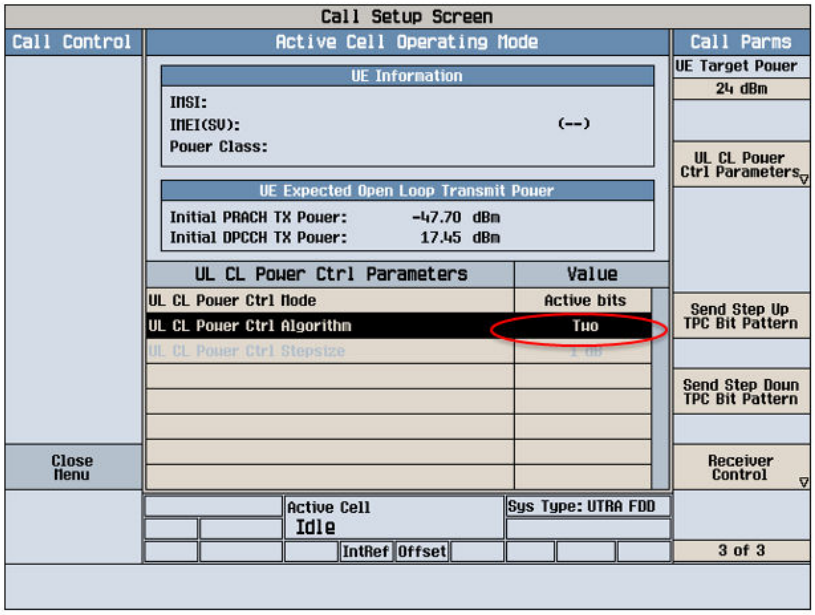


Figura 3.98 Configuración del algoritmo de control de potencia en el simulador

De igual manera que en los casos anteriores para iniciar con la medición, el equipo debe estar en estado conectado, para lo cual se debe generar una llamada de acuerdo a lo indicado en el numeral 3.10.4.5.

1. En el área de "*MAIN MENUS*" presionar la tecla "*Measurement Selection*", girar la perilla y elegir "*Channel Power*" como se muestra en la Figura 3.99.

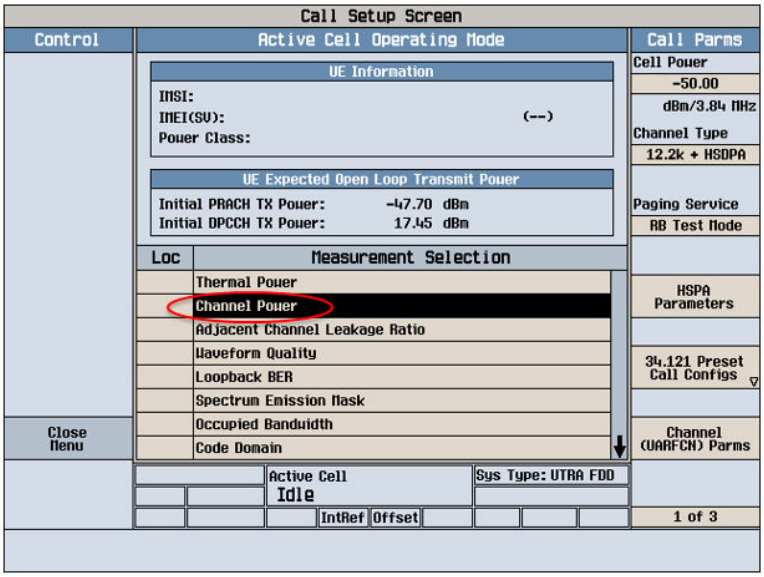


Figura 3.99 Potencia del canal para tecnología 3G en el simulador

2. Presionar F1 "*Transmit Power Setup*" y cambiar en el menú los parámetros acoplados según la Tabla 3.19. Lo mencionado se muestra en la Figura 3.100.

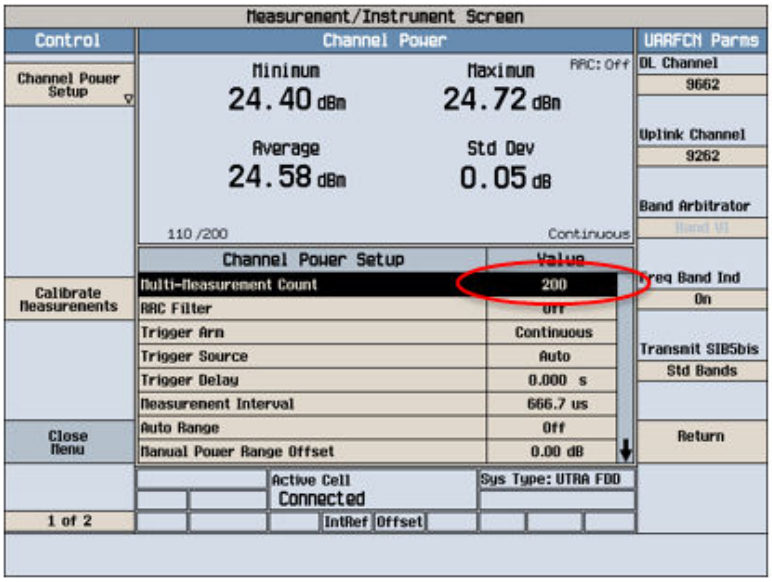


Figura 3.100 Parámetros para la medición de potencia en el simulador

3. Una vez cambiados los parámetros anteriores presionar F6 "*Close Menu*" para obtener la Figura 3.101, en la cual se puede observar el valor de potencia máxima, potencia mínima y promedio.

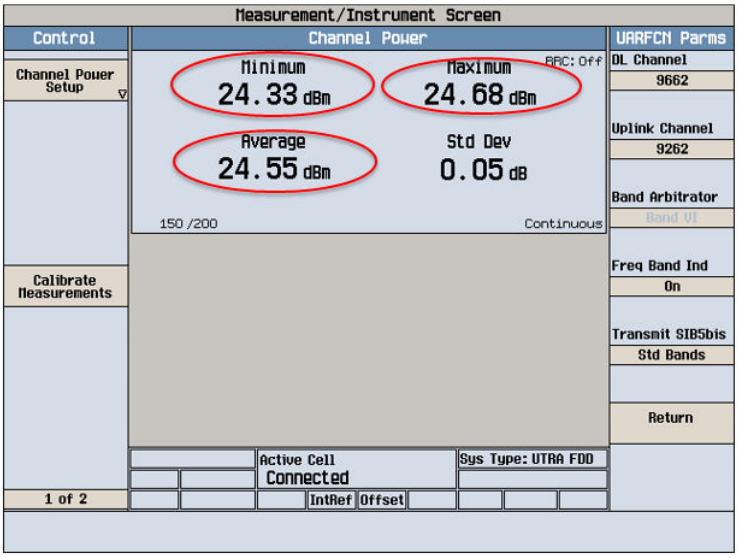


Figura 3.101 Potencia de salida máxima, mínima y promedio en el simulador

3.10.4.6 Establecimiento de la conexión de datos (HSDPA)

Categoría del DUT	Número de HS-PDSchS activos	Tipo de Modulación	*Transport Block Size Index* k_1	*Inter* - TTI *Interval*	Número de procesos HARQ	*User Defined Explicit UE IR Buffer Size (per HARQ process)*	*Nominal Avg. Inf. Bit Rate*
1	5	16QAM	48 (7298 bits)	3	2	19200/2=9600	1.22 Mbps
2	5	16QAM	48 (7298 bits)	3	2	28800/2=14400	1.22 Mbps
3	5	16QAM	48 (7298 bits)	2	3	28800/3=9600	1.83 Mbps
4	5	16QAM	48 (7298 bits)	2	3	38400/3=12800	1.83 Mbps
5	5	16QAM	48 (7298 bits)	1	6	57600/6=9600	3.65 Mbps
6	5	16QAM	48 (7298 bits)	1	6	67200/6=11200	3.65 Mbps
7	10	16QAM	48 (14411 bits)	1	6	115200/6=19200	7.21 Mbps
8	10	16QAM	48 (14411 bits)	1	6	134400/6=22400	7.21 Mbps
9	15	16QAM	44 (20251 bits)	1	6	172800/6=28800	10.13 Mbps
10	15	16QAM	62 (27952 bits)	1	6	172800/6=28800	13.976 Mbps
11	5	QPSK	48 (3630 bits)	2	3	14400/3=4800	908 Kbps
12	5	QPSK	48 (3630 bits)	1	6	28800/6=4800	1.82 Mbps
13	15	64QAM	52 (35280 bits)	1	6	259200/6=43200	17.640 Mbps
14	15	64QAM	62 (42192 bits)	1	6	259200/6=43200	21.096 Mbps
21	15	16QAM	52 (23370 bits)	1	6	345600/2/6=28800	23.4 Mbps (Dos celdas combinadas)
22	15	16QAM	62 (27952 bits)	1	6	345600/2/6=28800	28 Mbps (Dos celdas combinadas)
23	15	64QAM	52 (35280 bits)	1	6	518400/2/6=43200	35.3 Mbps (Dos celdas combinadas)
24	15	64QAM	62 (42192 bits)	1	6	518400/2/6=43200	42.2 Mbps (Dos celdas combinadas)

Tabla 3.22 Parámetros para configurar una conexión HSDPA

Para establecer una conexión HSDPA se deben configurar los parámetros según lo indicado en la Tabla 3.22.

1. Como ya se está en un ambiente 3G debido a la configuración anterior, se debe realizar una re-inicialización de los parámetros, es decir, un blanqueamiento de la celda, para lo cual se debe presionar la tecla "*SHIFT*" del menú "*UTILITIES*" y después la tecla "*Preset*" en la parte inferior del simulador.

2. Para configurar el número de HS-PDSCHs se debe desactivar la celda presionando F1 "*Operating Mode*" y seleccionar "*Cell Off*"

3. En el menú *Call Parms* seleccionar "34.121 *Preset Call Configs"* para escoger la prueba que se desea realizar. Para el presente caso en la pantalla principal se debe seleccionar la tecla F11 "34.121 *Preset Call Configs*" y escoger la opción "5.2A, 5.2AA, 5.9A, 5.10AA: HSDPA:QPSK" como se muestra en la Figura 3.102.

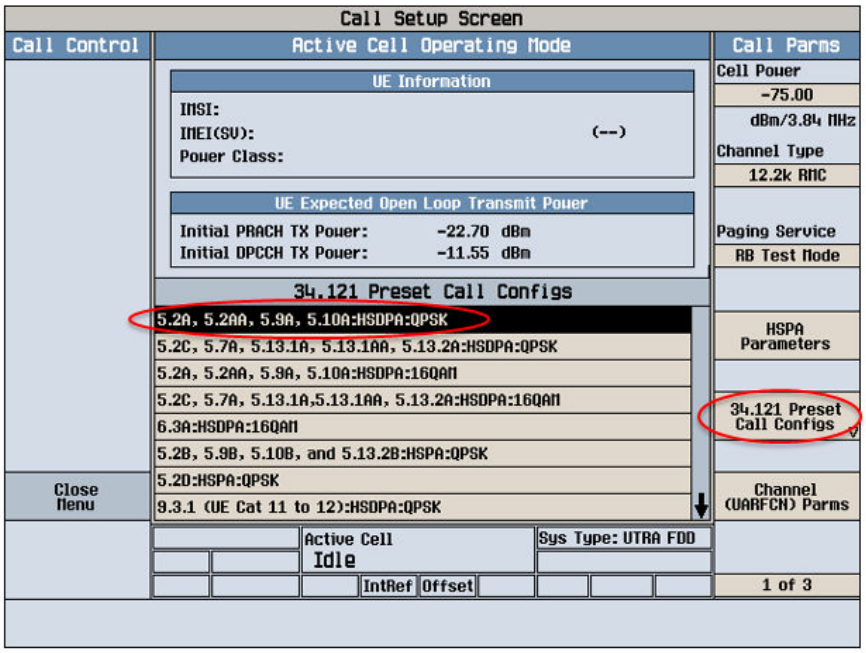


Figura 3.102 Pre-cargar el *sub-test* adecuado en el simulador

Esta opción cumple con los parámetros citados con los literales de la sección 5.2 de la norma 3GPP. HSDPA posee una modulación y codificación adaptativa, es decir cambia en función de cada usuario dependiendo de la

calidad de la señal y el uso de celdas. El esquema inicial es QPSK pero en buenas condiciones puede utilizar 16 QAM y 64 QAM.

En el submenú que aparece escoger "*Sub-test* 1" y escoger "Yes". Los parámetros definidos se encuentran explicados en la Tabla 3.12.

Las mediciones de potencia van a ser realizadas utilizando los 4 *sub-test* de la Tabla 3.12.

4. Presionar la tecla "*More*" del lado izquierdo hasta obtener la pantalla 2 de 5 para presionar F3 "*Generator Info*" después se debe seleccionar F4 "*Downlink Channel Configs*" como se muestra en la Figura 3.103.

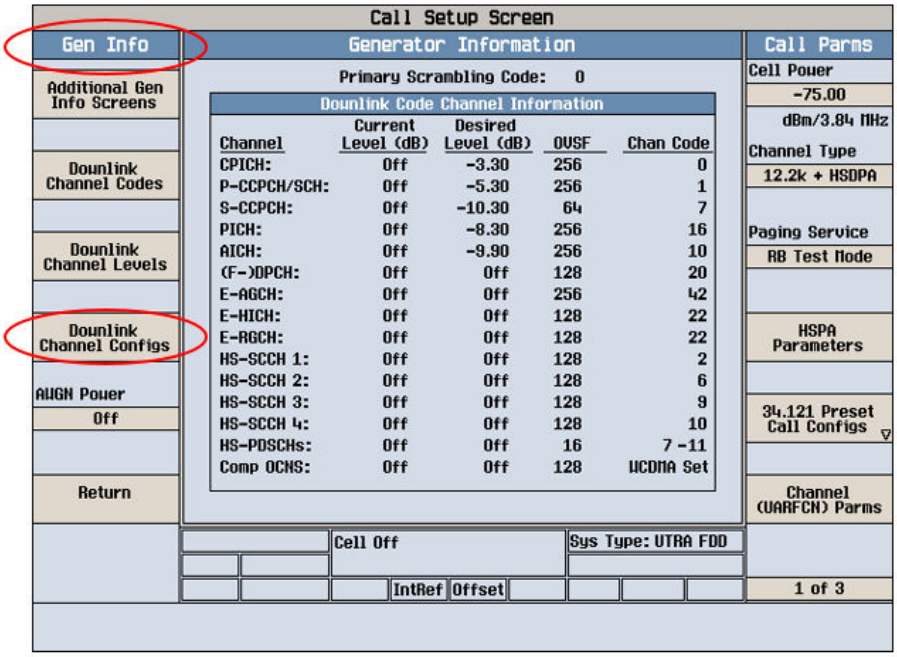


Figura 3.103 Configuración del canal de *Downlink* en el simulador

5. Después seleccionar F5 "*DL Chan Code Preset Configs*" con lo que se despliega un submenú y escoger la opción "34.121 *Tables* E.6.2.3.4 (HSDPA 15 HS-PDSCHs)" como en la Figura 3.104 según la categoría del DUT, que en este caso como el celular es categoría 14 corresponde a 15 HS-PDSCHs según la Tabla 3.22.

6. Confirmar la selección escogiendo "*Yes*" como se muestra en la Figura 3.105.

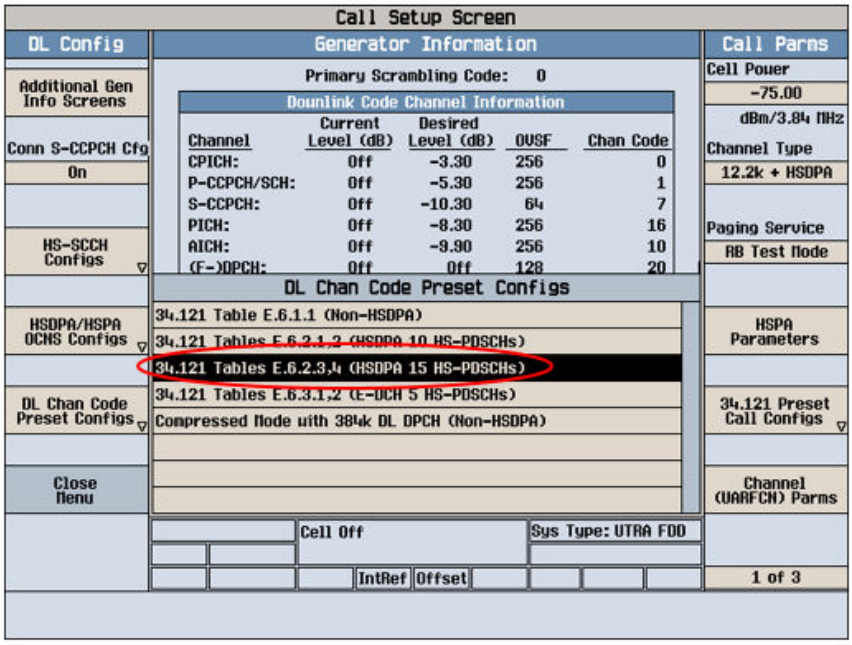


Figura 3.104 Configuración del número de HS-PDSCHs en el simulador

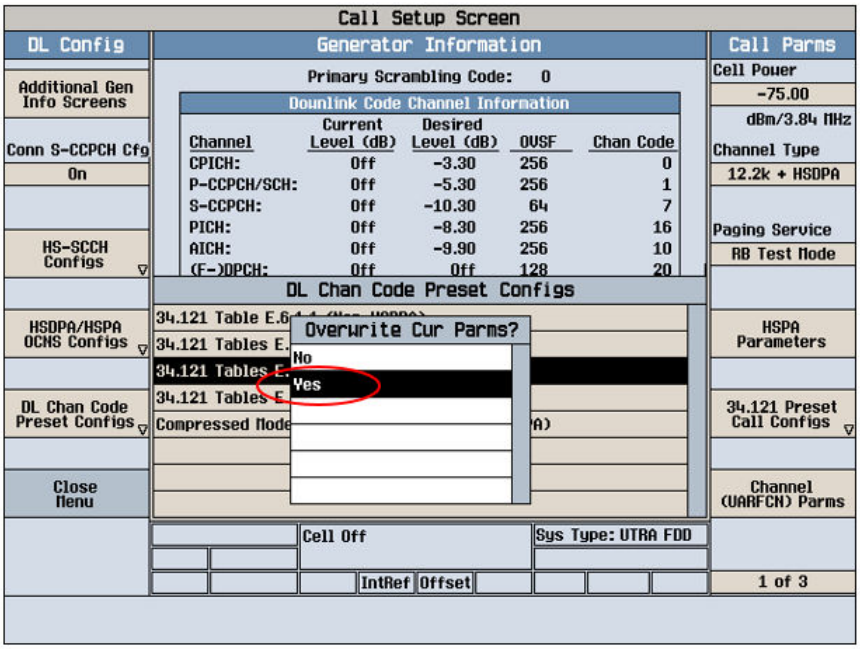


Figura 3.105 Confirmar la selección en el simulador

7. Presionar "*CALL SETUP*", después F12 "*Channel* (UARFCN) *Parms*" y editar el canal presionando F7 "*DL Channel*" y F8 "*UL Channel*" e introducir el número de canal respectivo de acuerdo a la Tabla 3.16. Para regresar presionar F12 "*Return*".

8. Para cambiar la potencia de la celda presionar F7 "*Cell Power*" e introducir el valor de potencia. Para este caso se utiliza -50.00 dBm tal como se indica en la Figura 3.106.

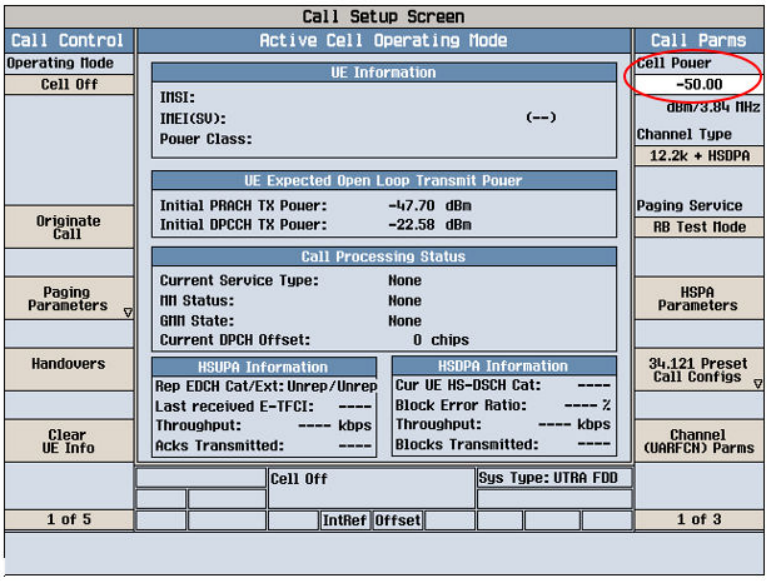


Figura 3.106 Configuración de la potencia de la celda para tecnología 3G en el simulador

9. Para escoger la tecnología con la que trabaja la celda se debe presionar en la pantalla principal la tecla F8 "*Channel Type*" y seleccionar "*12.2k RMC + HSDPA*" tal como se muestra en la Figura 3.107.

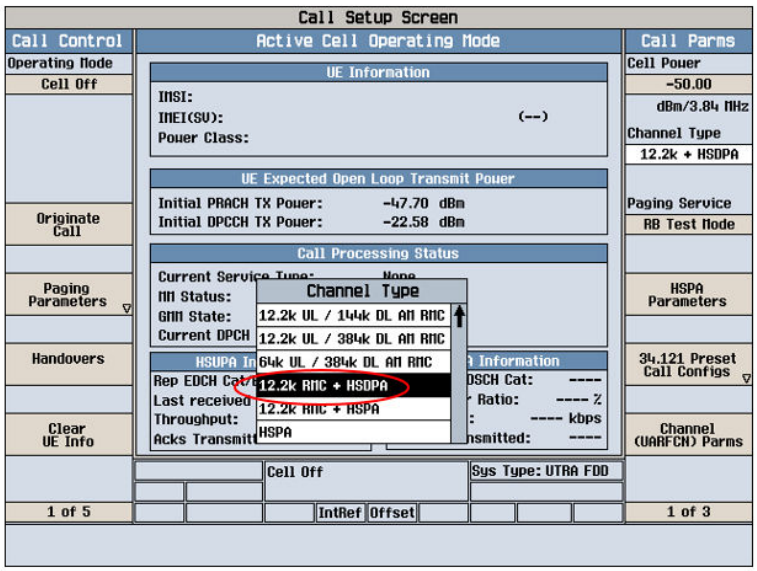


Figura 3.107 Configuración del canal "*12.2k RMC + HSDPA*" en el simulador

10. Presionar "*CALL SETUP*" y presionar "*More*" del lado izquierdo y después F2 "*Cell Parameters*". Girar la perilla y cambiar el campo "*PS Domain Information*" de "*Absent*" a "*Present*" como se indica en la Figura 3.108.

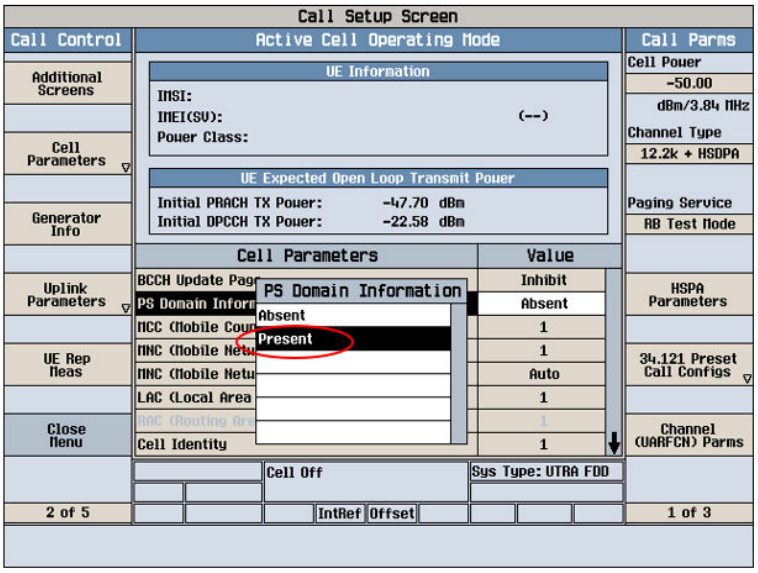


Figura 3.108 Campo "*PS Domain Information*" del simulador configurado en "*Present*"

11. En la pantalla principal presionar la tecla F10 "*HSPA Parameters*" en la cual escoger F10 "*HSDPA Parameters*", seleccionar F8 "*HSDPA RB Test Mode Setup*" y nuevamente F8 "*HSDPA RB Test Mode Settings*".

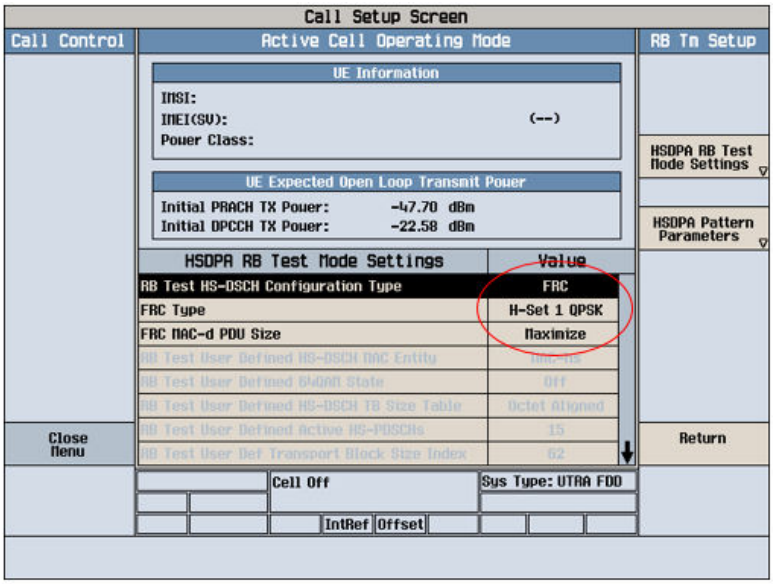


Figura 3.109 Parámetros de configuración de datos HSDPA en el simulador

En el menú desplegado anteriormente se deben verificar los siguientes campos:

- El campo "*RB Test HS-DSCH Configuration Type*" debe encontrarse en "*FRC*".
- De la misma manera en el campo "*FRC Type*" debe estar la opción "H-*Set 1 QPSK*"
- Y en el campo "*FRC MAC-d PDU Size*" debe estar la opción "*Maximize*"

Lo mencionado se indica en la Figura 3.109.

12. Verificar que el modo de bucle de prueba "*UE Loopback Type*" se encuentre en "*Type* 1" como se indica en la Figura 3.110.

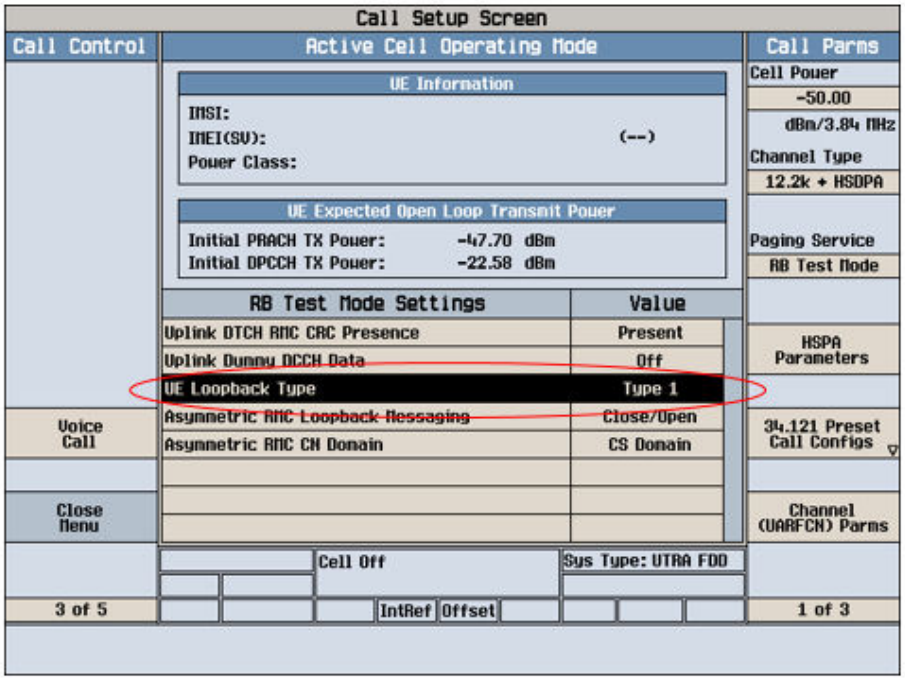


Figura 3.110 Configuración del modo de bucle tipo 1 en el simulador

13. Para realizar la conexión de datos presionar la tecla F9 "*Paging Service*" y seleccionar "*RB Test Mode*" tal como se muestra en la Figura 3.111.

14. Para habilitar la celda presionar "*CALL SETUP*" después F1 "*Operating Mode*" y seleccionar "*Active Cell*".

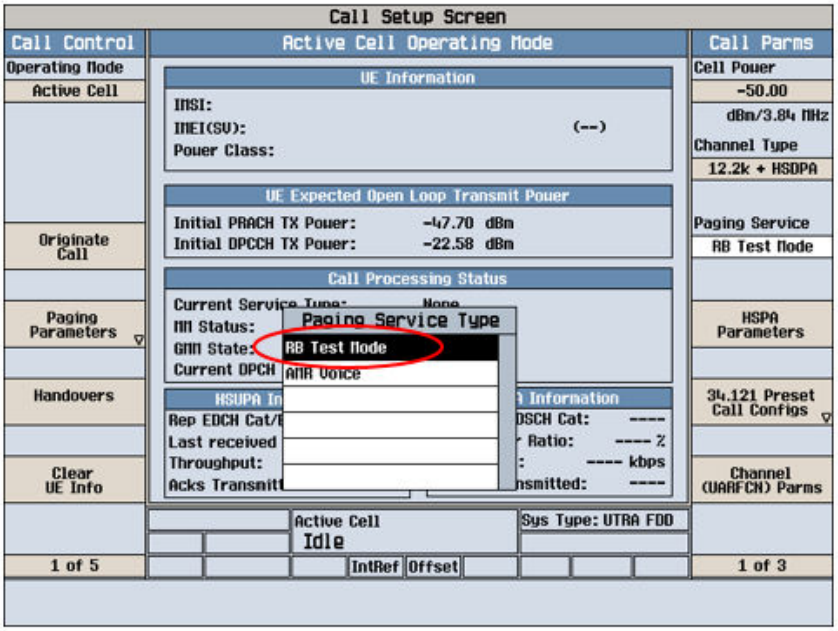


Figura 3.111 Modo de datos para tecnología 3G en el simulador

15. Para establecer la conexión se debe configurar en el dispositivo la red y el funcionamiento de los datos, después activar el modo avión y desactivarlo para que el dispositivo se enganche. Una vez enganchado seleccionar F3 "*Originate Call*". El mensaje "*Connected*" que se muestra en la Figura 3.112 indica que la conexión ha sido establecida satisfactoriamente.

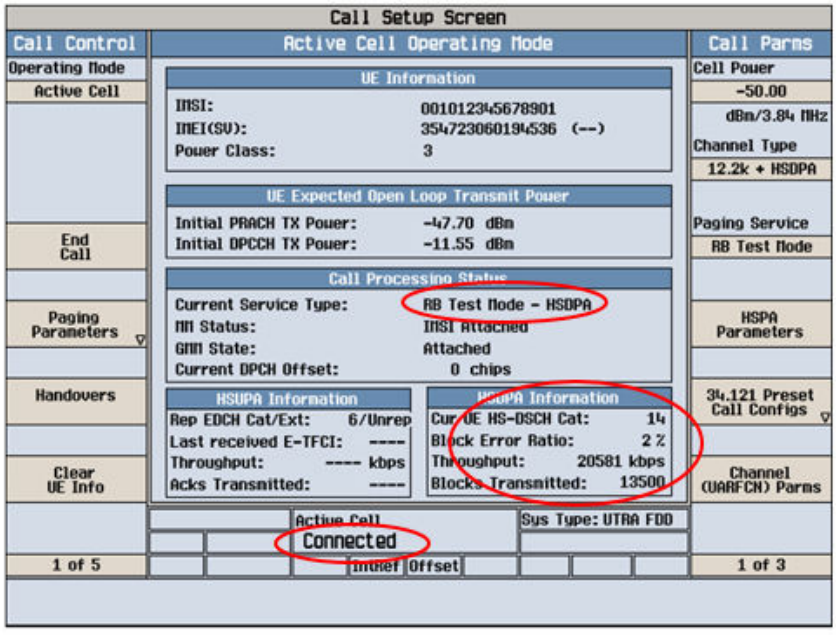


Figura 3.112 Conexión HSDPA establecida en el simulador

3.10.4.6.1 Potencia de salida máxima en el estándar HSDPA (Datos)

1. Para comenzar con la medición de la potencia se debe establecer una conexión HSDPA según lo indicado en el numeral 3.10.4.6.

2. Para configurar la máxima potencia según la clase de potencia del DUT, se debe presionar la tecla "*More*" del lado derecho del emulador dos veces hasta obtener la pantalla 3 de 3. Una vez en esta pantalla, presionar la tecla F7 "*UE Target Power*" y colocar un nivel de potencia de 24 dBm ya que es un celular con clase de potencia 3 como se indica en la Figura 3.96.

3. Para medir la potencia de salida conducida presionar F8 "*UL CL Power Ctrl Parameters*", y en la opción "*UL CL Power Ctrl Mode*" colocar "*Active Bits"*.

   También se puede hacer que el DUT transmita a la máxima potencia colocando en la opción "*UL CL Power Ctrl Mode*" "*All Up Bits*".

   Verificar que "*UL CL Power Ctrl Mode*" se encuentre en "*Two*". Lo mencionado se encuentra indicado en la Figura 3.98.

4. Para escoger la medición de la potencia se debe presionar la tecla "*Measurement Selection*" y en el menú desplegado escoger "*Channel Power*" En la Figura 3.113 se observa la potencia del canal.

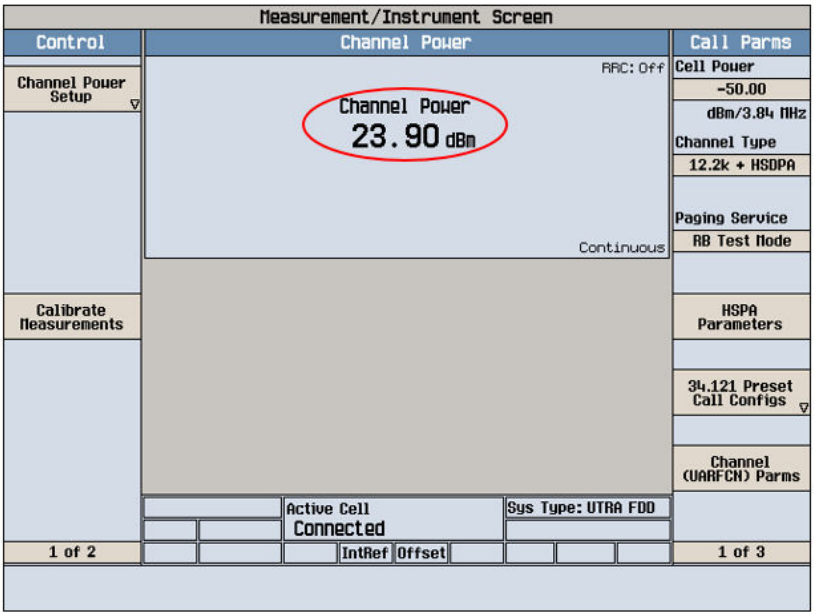


Figura 3.113 Potencia del simulador en HSDPA

5. Presionar F1 "*Channel Power Setup*" y cambiar los parámetros indicados en la Tabla 3.19.

3.10.4.7 Establecimiento de la conexión de datos (HSUPA)

1. Conservando la configuración realizada para HSDPA se procede a cambiar ciertos parámetros los cuales permiten además tener una conexión en el enlace de *Uplink*.

2. Para realizar cualquier cambio en la configuración del equipo se debe desactivar la celda, para lo cual se debe presionar F1 "*Operating Mode*" y girar la perilla hasta escoger "*Cell Off*".

3. En el menú "*Call Parms"* seleccionar "34.121 *Preset Call Configs*" para escoger la prueba que se desea realizar.

   Para el presente caso en la pantalla principal seleccionar la tecla F11 "*34.121 Preset Call Configs*" y escoger la opción "5.2B, 5.9B, 5.10B, and 5.13.2B:HSPA:QPSK" como se muestra en la Figura 3.114. Esta opción cumple con los parámetros citados con los literales de la sección 5.2 de la norma 3GPP para un enlace de *Uplink* que utiliza un canal E-DCH.

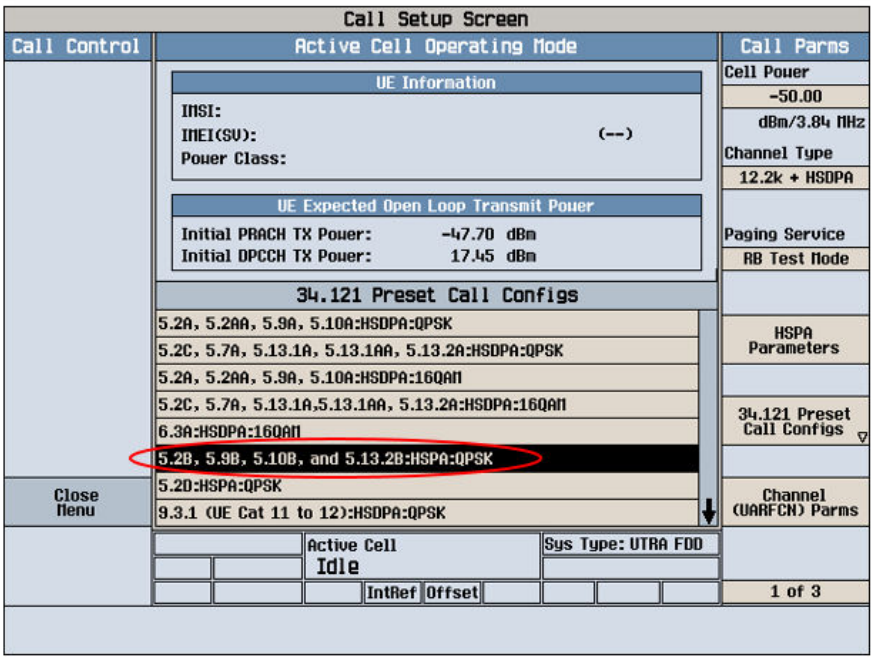


Figura 3.114 Configuración pre-cargada en el simulador para conexión HSUPA

En el submenú que aparece escoger "*Sub-test 1*" como se muestra en la Figura 3.115, enseguida escoger "Yes" para aceptar los cambios. Los parámetros definidos se encuentran explicados en la Tabla 3.14.

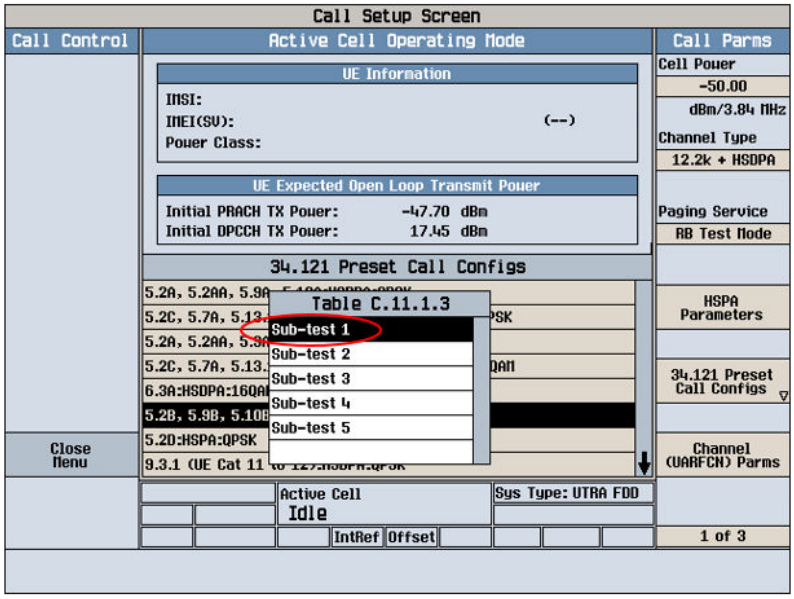


Figura 3.115 Configuración en el simulador de los *sub-test* según la configuración pre-cargada

Las mediciones de potencia van a ser realizadas utilizando los 5 *sub-test* de la Tabla 3.14.

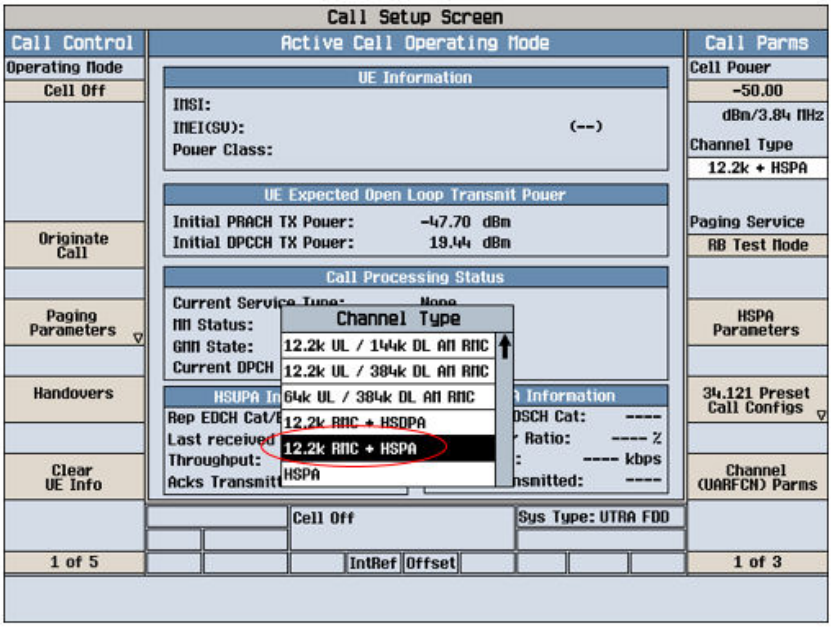


Figura 3.116 Canal "*12.2k RMC + HSPA*" en el simulador

4. Para escoger la tecnología en la pantalla principal presionar F8 "*Channel Type*" y en el menú desplegado seleccionar la opción "*12.2k RMC + HSPA*" tal como se muestra en la Figura 3.116.

5. Presionar la tecla "*More*" del lado izquierdo hasta obtener la pantalla 2 de 5 dentro de la cual se debe presionar la tecla F2 "*Cell Parameters*". Aquí se debe activar la conmutación de paquetes cambiando de "*Absent*" a "*Present*" en el campo "*PS Domain Information*" como se muestra en la Figura 3.108.

6. Presionar F3 "*Generator Info*" después F4 "*Downlink Channel Configs*", a continuación F2 "*Conn S-CCPCH Cfg*" y cambiar a "*Off*" como en la Figura 3.117.

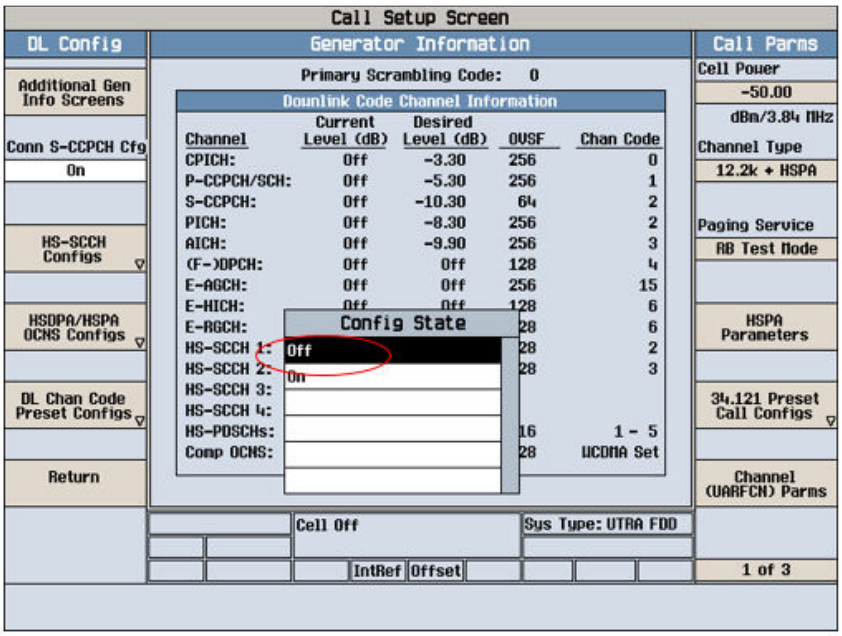


Figura 3.117 Configuración de los parámetros de *Downlink* en el simulador

7. En la misma pantalla 2 de 5 seleccionar F4 "*Uplink Parameters*", en el parámetro "*Maximum Uplink Transmit Power Level*" se debe editar de acuerdo a la clase de potencia del DUT. Como el equipo es clase de potencia 3 se coloca el valor de 24 dBm como se muestra en la Figura 3.118.

8. También en la pantalla 2 de 5 presionar F3 "*Generator Info*", después F2 "*Downlink Channel Codes*", luego F4 "*HSDPA/HSPADL Channel Codes*" y cambiar los parámetros de acuerdo a lo siguiente:

- “HSDPA/HSPA DPCH 30 ksps (OVSF 128) *Code*” colocar 4.
- “E-AGCH *Channelization Code*” colocar 15.
- “E-HICH/E”-RGCH *Channelization Code*” colocar 6.
- “HS-SCCH1 *Channelization Code*” colocar 2.
- “HS-SCCH2 *Channelization Code*” colocar 3.

En la Figura 3.119 se observa lo indicado.

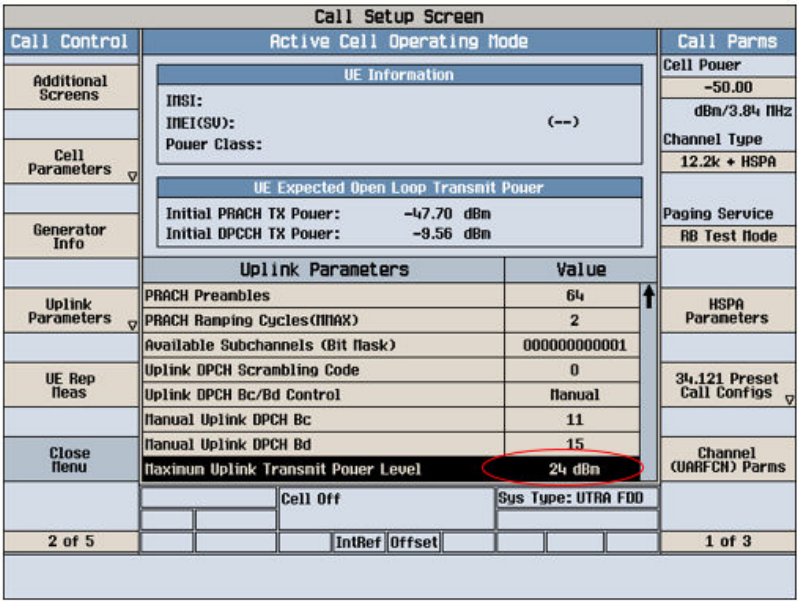


Figura 3.118 Máximo nivel de potencia en *Uplink* en el simulador

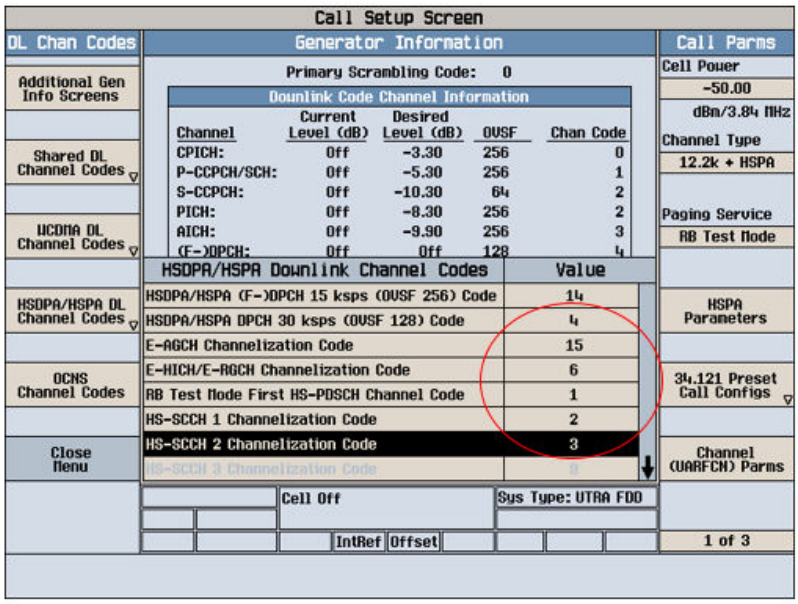


Figura 3.119 Configuración de los códigos de canalización en el simulador

9. Presionar "*CALL SETUP*" y en la pantalla principal seleccionar la tecla F12 "*Channel* (UARFCN*) Parms*" y dentro del menú desplegado editar los canales según la Tabla 3.16.

10. Presionar la tecla "*CALL SETUP*" y una vez en la pantalla principal seleccionar la tecla F10 "HSPA *Parameters*", escoger F9 "HSUPA *Parameters*" y F8 "HSUPA RB *Test Mode Setup*".

    En el menú desplegado que se muestra en la Figura 3.120 cambiar lo siguiente:

    - En el campo "RB E-DPDCH *Max Channel Codes (12.2k+HSPA)*" cambiar a "*2SF2*" para minimizar el PAR (*Peak to Average Power Ratio*), lo cual permite que el amplificador de potencia opere eficientemente.
    - Para obtener la máxima tasa de datos en HSDPA colocar el máximo valor "*35232*" en el campo "*E-DCH RLC SDU Size"*.

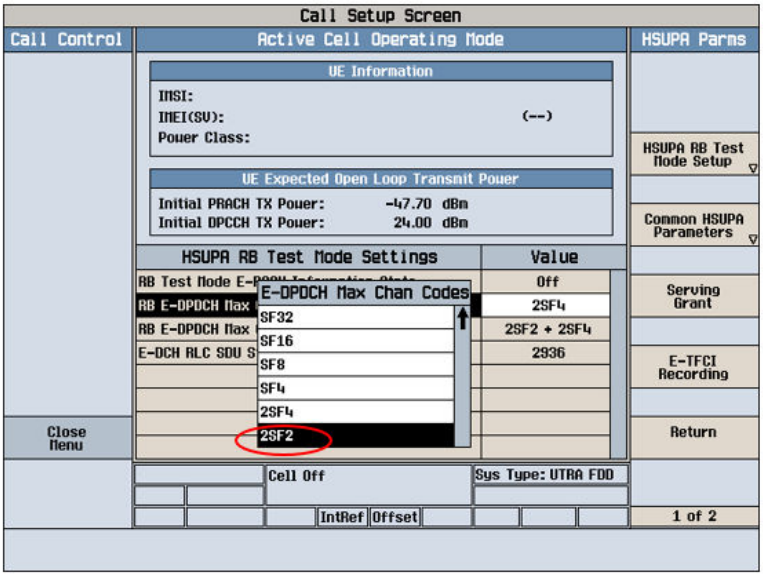


Figura 3.120 Configuración de parámetros HSUPA en el simulador

11. Activar la celda presionando F1 "*Operating Mode*" y seleccionar "*Active Cell*".

12. Conectar el DUT de acuerdo a lo indicado en la Figura 3.56 y activar el modo avión y enseguida desactivarlo para esperar que se produzca el enganche del equipo en la radio base. Cuando el equipo se engancha se muestran datos como el IMSI, IMEI y clase de potencia.

En la Figura 3.121 en la parte "*HSDPA Information*" y "*HSUPA Information*"; se puede observar que el DUT pertenece a la clase 14 y a la clase 6 en *Downlink* y *Uplink* respectivamente, además del *throughput* en cada enlace.

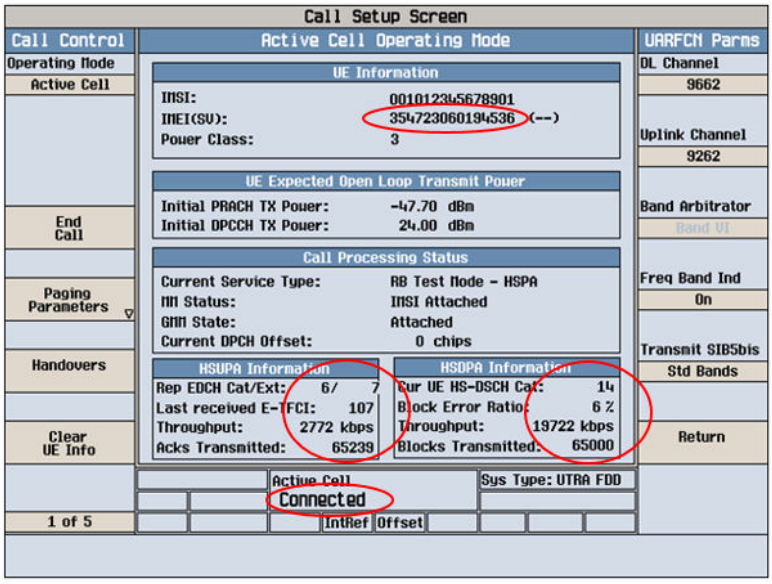


Figura 3.121 Conexión HSDPA y HSUPA establecida en el simulador

3.10.4.7.1 Potencia de salida máxima en el estándar HSUPA (Datos)

1. Para comenzar con la medición de la potencia se debe establecer una conexión HSUPA según lo indicado en la sección 3.10.4.7.

2. Para configurar la máxima potencia según la clase de potencia del DUT se debe presionar la tecla "*More*" del lado derecho del emulador dos veces hasta obtener la pantalla 3 de 3. Una vez en esta pantalla presionar la tecla F7 "*UE Target Power*" y colocar un nivel de potencia de 24 dBm ya que es un celular con clase de potencia 3.

3. Para medir la potencia de salida conducida presionar F8 "UL CL *Power Ctrl Parameters*", y en la opción "UL CL *Power Ctrl Mode*" colocar "*Active Bits*".

   Para la medición de SAR es importante hacer que el DUT transmita a la máxima potencia por lo cual también se puede colocar en la opción "UL CL *Power Ctrl Mode*" "*All Up Bits*".

4. Verificar que "UL CL *Power Ctrl Mode*" se encuentre en "*Two*".

5. Para escoger la medición de la potencia se debe presionar la tecla "*Measurement Selection*" y en el menú desplegado escoger "*Channel Power*".

6. Presionar F1 "*Channel Power Setup*" y cambiar los parámetros indicados en la Tabla 3.19. Finalmente cerrar el menú para observar el resultado de la potencia como se indica en la Figura 3.122.

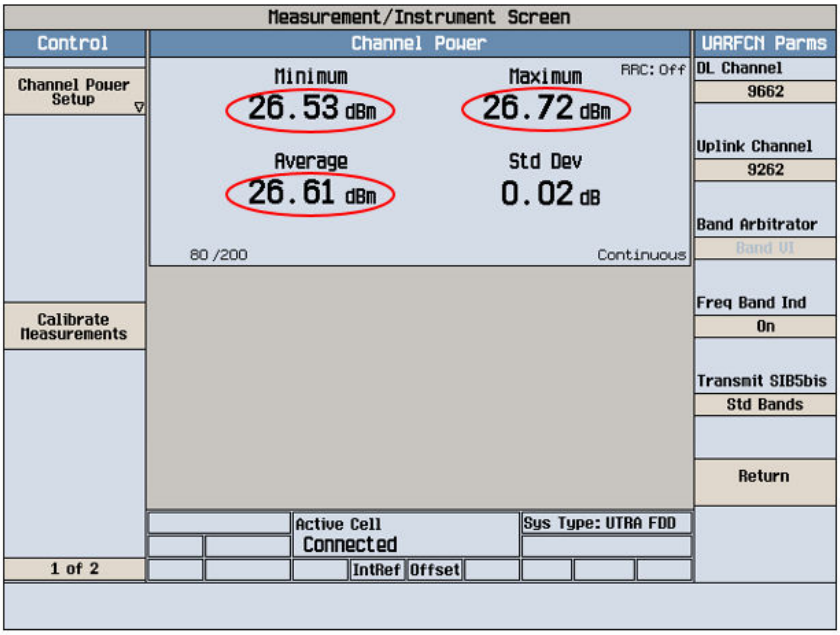


Figura 3.122 Resultados de la potencia máxima, mínima y promedio para la conexión HSUPA en el simulador

3.10.5 ESPECIFICACIONES CONSIDERADAS EN LA MEDICIÓN DE POTENCIA

- Las mediciones fueron realizadas en canal bajo, medio y alto en las bandas autorizadas en el país (850 MHz y 1900 MHz).
- Las pérdidas por cables y conectores han sido debidamente compensadas.
- Al momento de desarrollar la medición, la batería del DUT se encontraba cargada mínimo con un 90 %.
- Las pruebas fueron ejecutadas de forma conducida y utilizando el diagrama mostrado en la Figura 3.56.
- Las pruebas fueron desarrolladas dentro del rango de temperatura en condiciones normales: +15°C a +35°C con humedad relativa de hasta 75% [62].

3.11 MEDICIÓN DE POTENCIA DE SALIDA CONDUCIDA EN WIFI

3.11.1 BANDAS DE FRECUENCIA Y CANALES

En el Ecuador de acuerdo a la norma para implementación y operación de sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha (MDBA), las bandas de frecuencia asignadas en el país para dispositivos que utilizan los estándares IEEE 802.11 (WiFi) son:

- 2400.0 – 2483.5 MHz
- 5150.0 – 5350.0 MHz
- 5470.0 – 5725.0 MHz
- 5725.0 – 5850.0 MHz

A continuación, se detallan los canales centrales para cada tecnología. En la Tabla 3.23 se indican los canales centrales para los estándares IEEE 802.11 en la banda de 2.4 GHz.

MODO/BANDA	CANALES					
	BAJO		MEDIO		ALTO	
	N° CANAL	FRECUENCIA (MHz)	N° CANAL	FRECUENCIA (MHz)	N° CANAL	FRECUENCIA (MHz)
WiFi 802.11b	1	2412	6	2437	11	2462
WiFi 802.11g	1	2412	6	2437	11	2462
WiFi 802.11n (BW 20MHz)	1	2412	6	2437	11	2462
WiFi 802.11n (BW 40MHz)	3	2422	6	2437	9	2452

Tabla 3.23 Canales centrales para estándares IEEE 802.11 en la banda de 2.4 GHz

3.11.2 DIAGRAMA DE CONEXIÓN

El diagrama de conexión se muestra en la Figura 3.123 y consta del analizador de espectros, un atenuador y un cable que permite la conexión del analizador con el dispositivo bajo prueba.

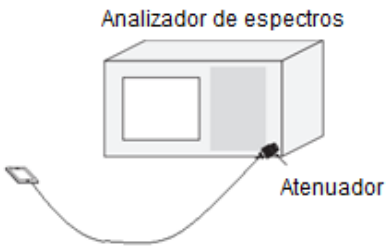


Figura 3.123 Diagrama de conexión [40]

3.11.3 PÉRDIDAS POR CABLES Y CONECTORES

Las pérdidas son medidas utilizando el analizador de redes. Según el diagrama de conexión de la Figura 3.123 las pérdidas se indican en la Tabla 3.24.

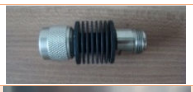
ELEMENTO	FOTO	PÉRDIDAS (dB) BANDA 2450 MHz
Atenuador (30 dB)*		-30.901
Adaptador		-0.2401
Cable de RF		-1.0867
Cable RF fabricante		-----
TOTAL		-32.2278

Tabla 3.24 Pérdidas introducidas por cables y conectores en la banda de 2.4 GHz

***El atenuador es utilizado por cumplir el protocolo de seguridad del equipo del laboratorio**

En la Figura 3.124 se observa las pérdidas en el cable de RF mientras que en la Figura 3.125 se muestra las pérdidas del atenuador medidas con el analizador de redes.

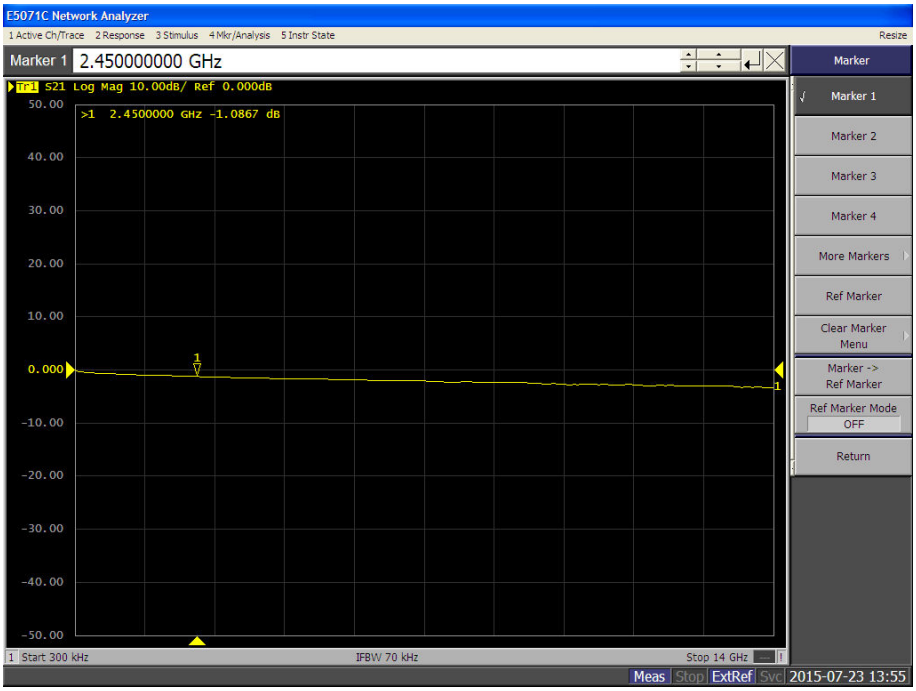


Figura 3.124 Pérdidas del cable de RF en 2.4 GHz

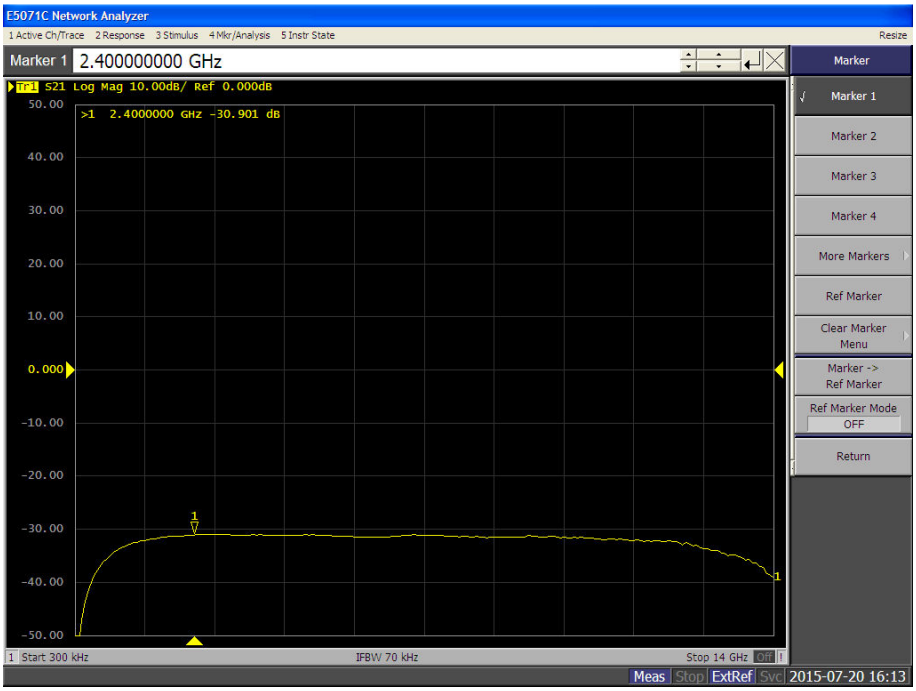


Figura 3.125 Pérdidas que introduce el atenuador en la banda de 2.4 GHz

El valor redondeado de pérdidas compensado fue 32.33 dB para 2.4 GHz como se visualiza en la Figura 3.126.

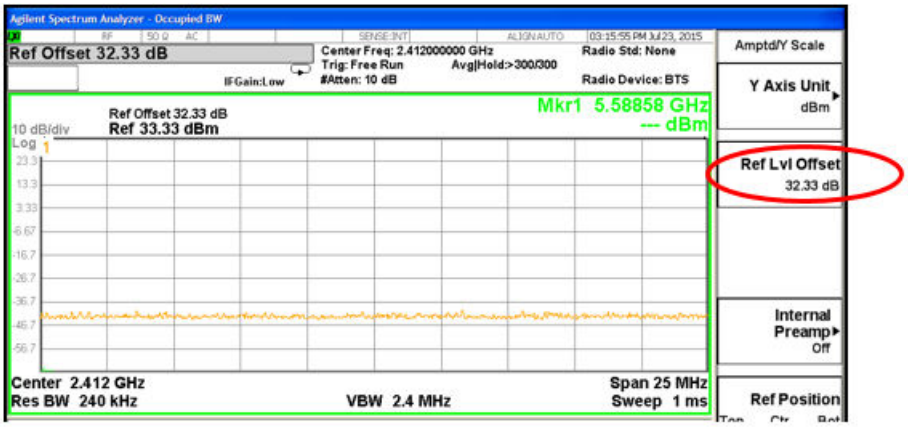


Figura 3.126 Valor compensado para 2.4 GHz

3.11.4 MEDICIÓN EN EL ANALIZADOR DE ESPECTROS

3.11.4.1 Descripción del equipo

En la Figura 3.127 se muestran las partes principales que conforman el equipo, entre ellas: sección de funciones, sección de control, sección numérica, sección de menús principales y sección de entradas y salidas.

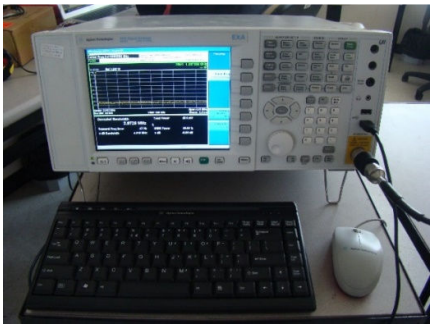


Figura 3.127 Vista de las partes principales del analizador de espectros

3.11.4.1.1 Sección de funciones

Esta sección está conformada por las teclas del lado derecho del analizador de espectros. Se utiliza para seleccionar las opciones dadas por el equipo tal como se muestra en la Figura 3.128.

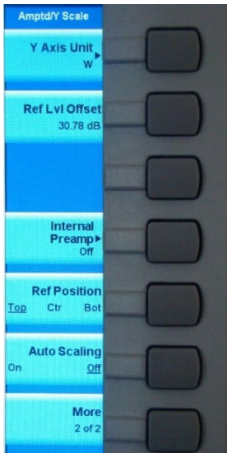


Figura 3.128 Sección de funciones del analizador de espectros

3.11.4.1.2 Sección de control

Esta sección contiene los bloques indicados en la Figura 3.129.

Figura 3.129 Sección de control del analizador de espectros

3.11.4.1.3 Sección numérica

Esta sección contiene los bloques indicados en la Figura 3.130.

Figura 3.130 Sección numérica del analizador de espectros

3.11.4.1.4 Sección de menús principales

Esta sección contiene los bloques indicados en la Figura 3.131.

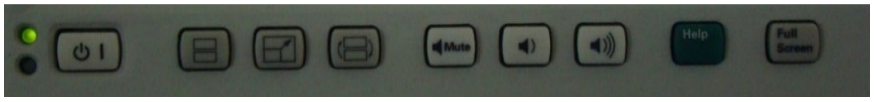


Figura 3.131 Sección de menús principales del analizador de espectros

3.11.4.1.5 Sección de entradas y salidas

Esta sección contiene los conectores de entrada y salida indicados en la Figura 3.132.

Figura 3.132 Sección de entradas y salidas del analizador de espectros

3.11.4.2 Medición de potencia

Energizar el analizador de espectros y conectar el DUT como se muestra en la Figura 3.123. Presionar la tecla “FREQ *Channel*” (Véase Figura 3.133) e introducir la frecuencia central con el teclado mostrado en la Figura 3.134 y escoger las unidades de acuerdo a lo requerido.

Figura 3.133 Tecla para introducir la frecuencia central

Figura 3.134 Teclado para ingresar la frecuencia y escoger las unidades

Para escoger las unidades en las que se requiere medir la potencia, presionar la tecla “AMPTD Y *Scale*” de la Figura 3.135, después escoger la opción “*More* 1 *of* 2” y en la opción “Y *Axis Unit*” escoger “W” (Véase Figuras 3.136 y 3.137).

Figura 3.135 Tecla para configurar la medición de potencia

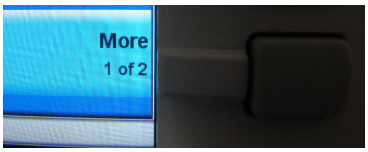


Figura 3.136 Opción “*More* 1 *of* 2”

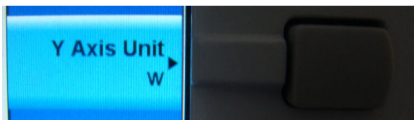


Figura 3.137 Configurar las unidades de potencia

Para escoger el *span* de la señal se utiliza la tecla indicada en la Figura 3.138, ésta indica el ancho de banda de medición que aparece en la pantalla. Para una señal con un ancho de banda de 20 MHz se recomienda un *span* de 25 MHz y para una señal con ancho de banda 40 MHz se recomienda un *span* de 45 MHz.

Figura 3.138 Configuración del *span* de la señal

Para compensar las pérdidas se debe presionar la tecla “AMPTD Y *Scale*” y escoger “*More* 1 *of* 2”, finalmente presionar “*Ref Lvl Offset*” de la Figura 3.139 e introducir el valor de pérdidas con el teclado, finalmente escoger “dB” de las opciones mostradas en la Figura 3.140.

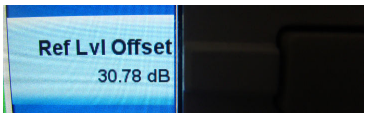


Figura 3.139 Introducir un *offset*

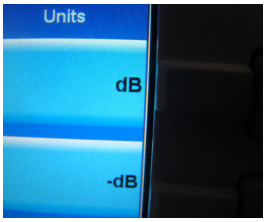


Figura 3.140 Unidades de la compensación introducida

Para medir la potencia, el dispositivo debe estar transmitiendo de manera continua utilizando un factor de trabajo alto, además se debe poder escoger ciertos parámetros como el canal y la velocidad de acuerdo a lo indicado en la sección 3.8.1.1. Para realizar estas configuraciones se necesita que el dispositivo opere en modo de ingeniería y esto se lo hace por medio de un código que muchas veces es distinto para cada marca de dispositivo.

Para este dispositivo se introduce el código *#*#3646633#*#*, el cual permite acceder a los parámetros de configuración. Se debe escoger la opción WiFi para “Tx” como en la Figura 3.141. Los parámetros configurables en el modo de ingeniería se indican en la Figura 3.142.

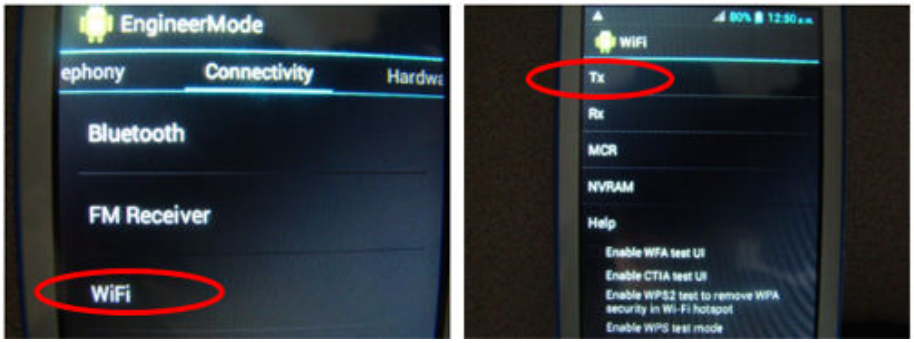


Figura 3.141 Modo de ingeniería

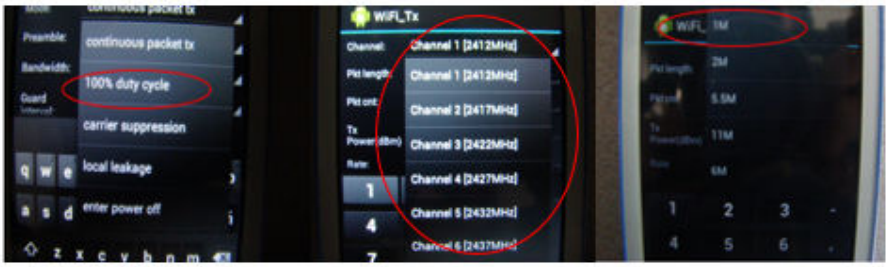


Figura 3.142 Parámetros configurables en el modo de ingeniería

Presionar "*Go"* en el celular y "*Restart"* en el analizador de espectros como se muestra en la Figura 3.143.

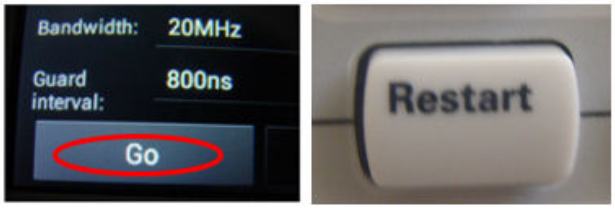


Figura 3.143 Transmisión activa y medición en el analizador de espectros

La Figura 3.144 muestra al dispositivo conectado y transmitiendo.

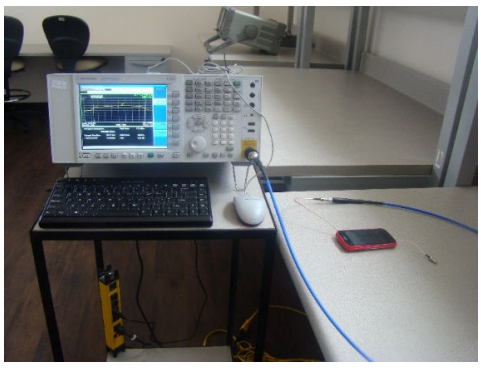


Figura 3.144 Medición de potencia del DUT en el estándar IEEE 802.11

3.12 PROTOCOLO PARA LA MEDICIÓN DE SAR EN DISPOSITIVOS 2G Y 3G [71, 25, 31, 4, 5 y 73]

3.12.1 INICIALIZACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE SAR

1. Verificar que el controlador KR C4 de la Figura 3.145 se encuentre encendido. Si está encendido la perilla debe indicar *ON* (Véase Figura 3.146), en el caso de indicar *OFF* (Véase Figura 3.146) se debe girar la perilla hacia el lado derecho hasta que se muestre *ON* para encenderlo.

Figura 3.145 Controlador KR C4 del laboratorio

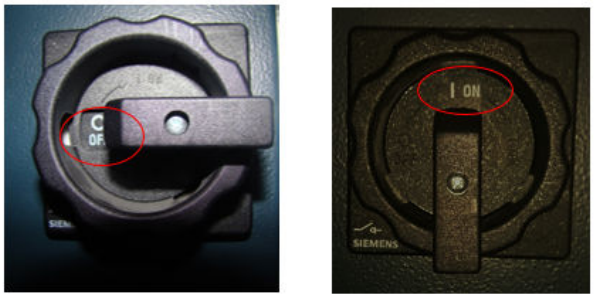


Figura 3.146 Apagado y encendido del controlador

Figura 3.147 Sensor de potencia conectado al multímetro

2. Energizar el medidor de potencia y conectar el sensor de potencia al puerto “Ref” como se muestra en la Figura 3.147, el equipo se debe calibrar para lo cual se debe presionar el botón “*Cal*” y escoger la opción “*Zero+Cal*” como se muestra en la Figura 3.148.

Figura 3.148 Calibración del medidor de potencia

Esperar que el proceso de calibración culmine (Véase Figura 3.149); posterior a esto conectar nuevamente el sensor de potencia en su lugar inicial como se indica en la Figura 3.150.

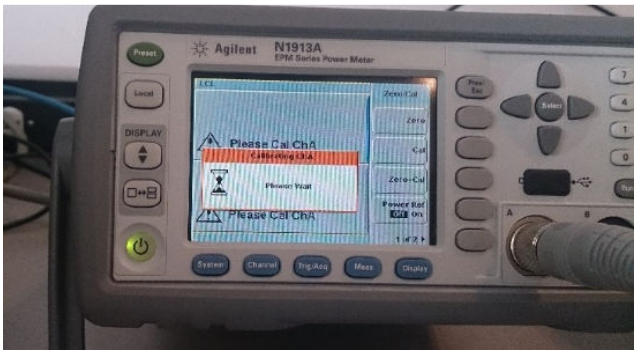


Figura 3.149 Proceso de calibración en curso

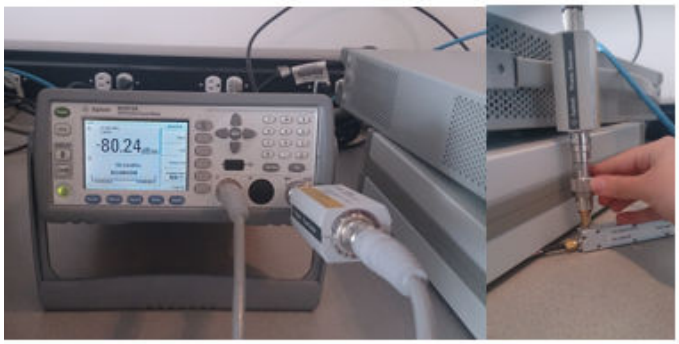


Figura 3.150 Colocación del sensor de potencia en su lugar inicial

3. Prender la computadora y para inicializar el sistema de video se debe en la pantalla de plasma escoger como entrada HDMI 3.

4. Se debe configurar la conexión de red de acuerdo a lo indicado en la Figura 3.151. Dar clic en “Aceptar”.

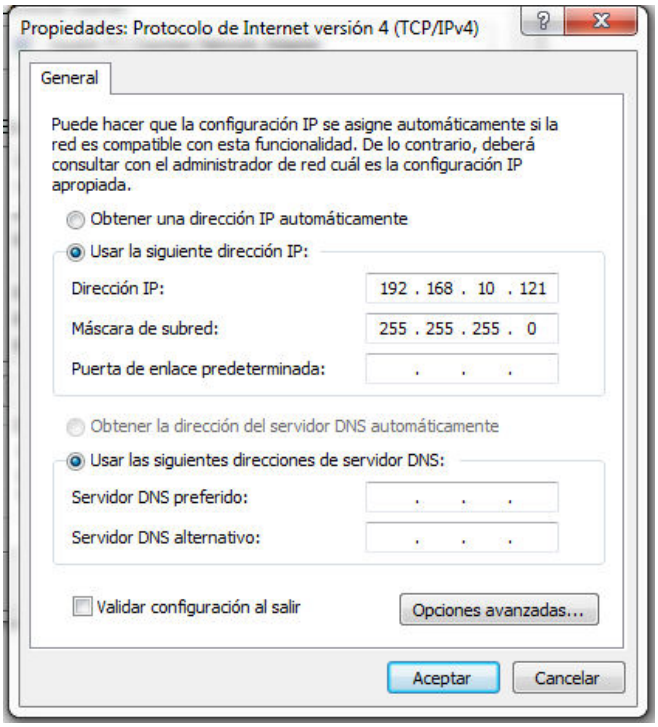


Figura 3.151 Configuración de la red

5. Luego abrir el explorador de Internet y colocar la dirección 192.168.10.120, presionar enter y enseguida dar clic en “Aceptar” en la ventana de la Figura 3.152.

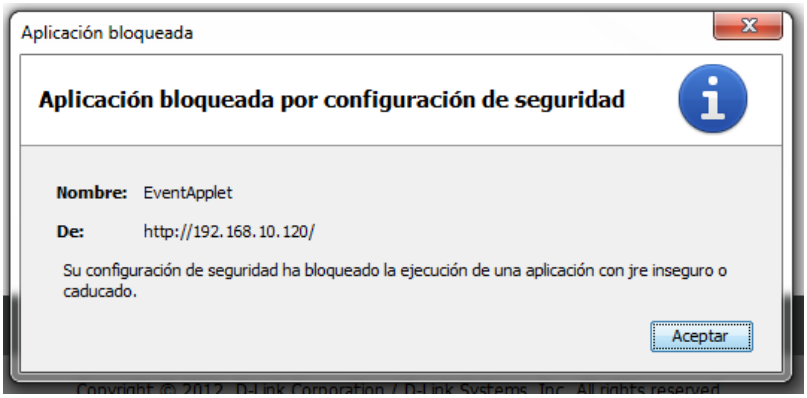


Figura 3.152 Permitir sistema de video

En la Figura 3.153 se puede observar el sistema de video inicializado.

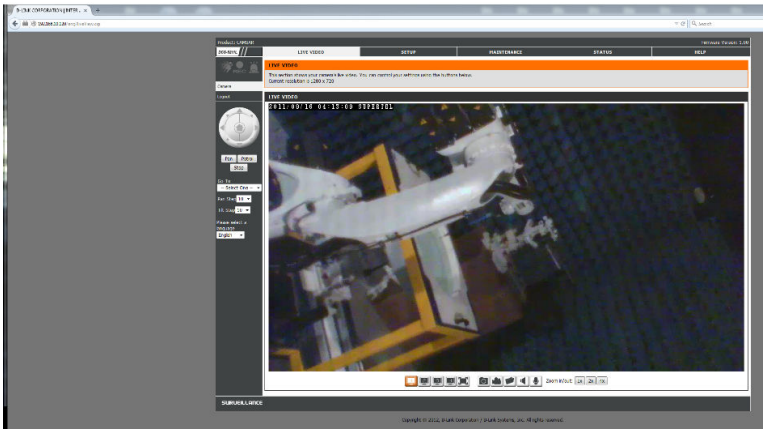


Figura 3.153 Sistema de video inicializado

6. Hacer doble clic en el ícono de la Figura 3.154 que ejecuta el programa OPENSAR.

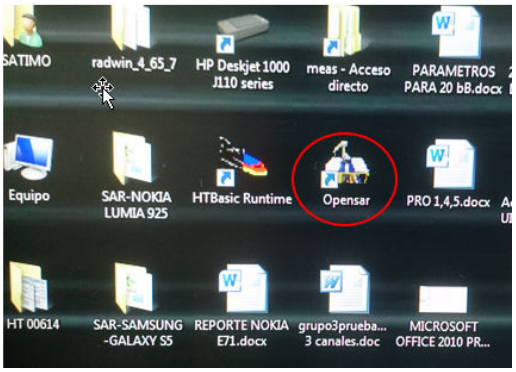


Figura 3.154 Ícono del programa OPENSAR

7. Enseguida aparece la pantalla principal del programa OPENSAR de la Figura 3.155 la cual muestra activo solamente el menú "*Project*"; hacer clic en dicho menú y escoger "*New*".

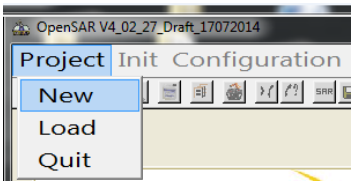


Figura 3.155 Creación de un proyecto nuevo

8. Aparece la ventana "*Create a new project*" en la cual se debe ingresar el nombre del proyecto. A continuación dar clic en "*Save*" (Véase Figura 3.156).

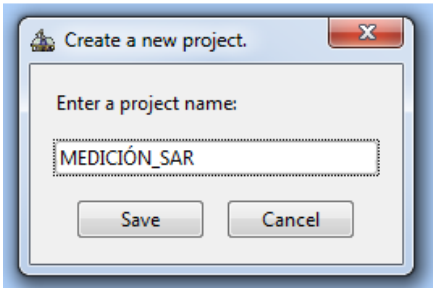


Figura 3.156 Colocar nombre al proyecto

9. En la pantalla principal del programa OPENSAR en "*Device Status*" (Véase Figura 3.157) se puede observar el estado de los dispositivos. Se observa que el robot y el voltímetro se encuentran en estado "*FAIL*". Para activar estos dispositivos se deben seguir los siguientes pasos.

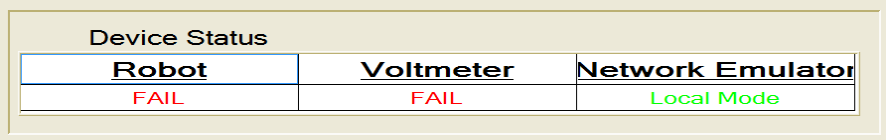


Figura 3.157 Voltímetro y robot en estado desactivado

10. Ingresar en la cámara semi-anecoica, prender el multímetro digital y el VPS. (Véase Figura 3.158)

Figura 3.158 Encendido del multímetro y VPS

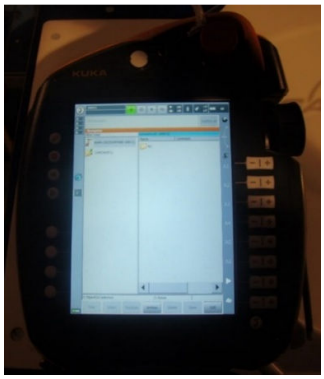


Figura 3.159 Estado del *smartpad*

Verificar el estado de los botones S, O, R y T1 en la pantalla principal del *smartpad* (Véase Figura 3.159), éstos deben estar de color verde lo cual indica que están activados para iniciar la medición.

El botón S "*Submit*" siempre está activado e indica que el KR C4 se encuentra encendido.

El botón T1 indica si el robot es controlado de manera local (T1) o remota (Aut). Para la ejecución de las mediciones de SAR el robot debe ser controlado desde el *software* OPENSAR, para esto se debe girar la llave de la Figura 3.160 que se encuentra en la parte superior derecha del *smartpad* y seleccionar la opción "Aut" del menú mostrado (Véase Figura 3.160). Después se debe girar la llave a su posición original. Al término de esto se puede observar que el botón "Aut" se encuentra activado.

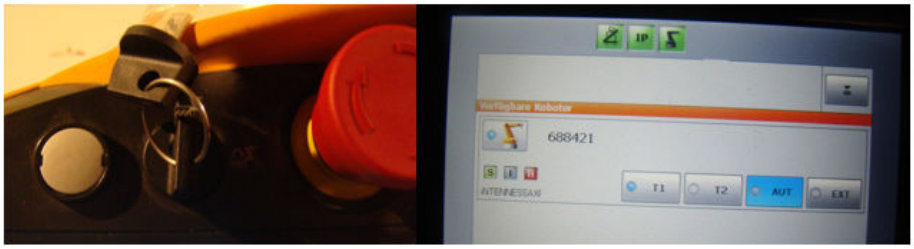


Figura 3.160 Control automático del robot

Para activar el botón O "*Drive Button*" se debe presionar éste y seleccionar el botón "I" en el menú desplegado de la Figura 3.161. Para registrar esta selección se debe hacer clic fuera del área de dicho menú. Como resultado el botón "I" se encuentra activado (verde).

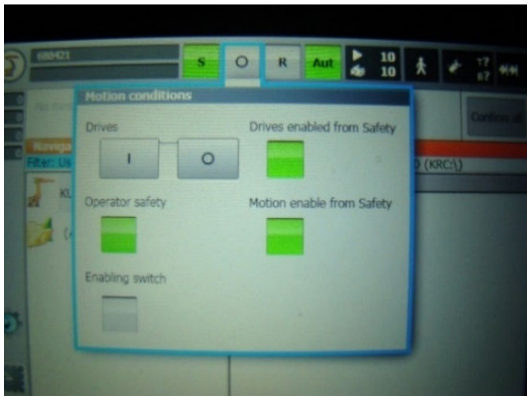


Figura 3.161 Activación del botón "I"

El tercer botón R "*Running Button*" debe estar activado para lo cual se debe seleccionar en la pantalla principal del *smartpad* la carpeta "R1", escoger la opción "*Program*", después escoger "antennessaxp" y para registrar la selección hacer clic en el botón "*Select*" en la parte izquierda inferior de la pantalla táctil (Véase Figura 3.162).

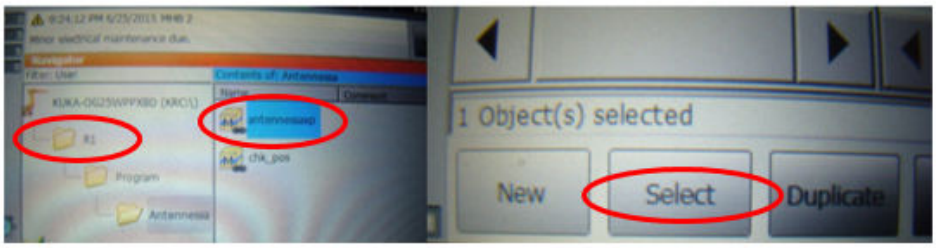


Figura 3.162 Activación del botón "R"

Cuando se muestra la pantalla indicada en la Figura 3.163 presionar dos veces el botón *play* ubicado en el lado izquierdo de la pantalla del *smartpad*.

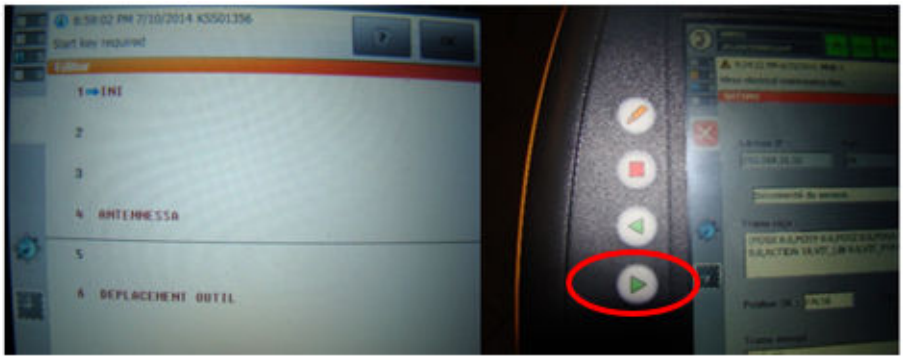


Figura 3.163 Botón *play* del *smartpad*

Al finalizar el proceso los botones "S", "I", "R" y "Aut" se encuentran activados (verdes) como se indica en la Figura 3.164.

Figura 3.164 Botones "S", "I", "R" y "Aut" del *smartpad*

11. Presionar el icono del robot de la Figura 3.165 ubicado en el extremo superior izquierdo de la pantalla táctil del *smartpad*.

Figura 3.165 Icono del robot en el *smartpad*

Luego se debe presionar secuencialmente las opciones "*Display*" y "SATIMO" indicadas en la Figura 3.166.

A continuación se despliega la pantalla mostrada en la Figura 3.167. Para activar la conexión se debe presionar el botón "*Connexion*", al realizar esto se genera un cambio de color (de rojo a verde) en el estado "*Etat connexión*".

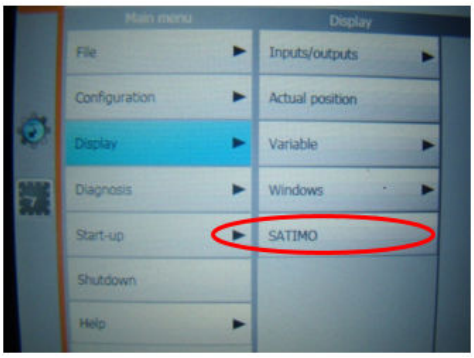


Figura 3.166 Opciones desplegadas en el *smartpad*

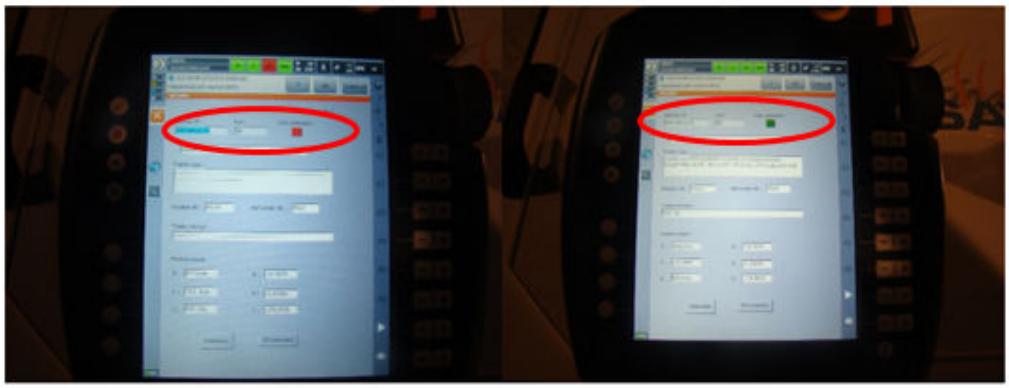


Figura 3.167 Activación de la conexión

12. Hacer clic en la pestaña "*Init*" del programa OPENSAR y en el menú desplegado escoger "*Robot*"; repetir este paso para el voltímetro como se indica en la Figura 3.168.

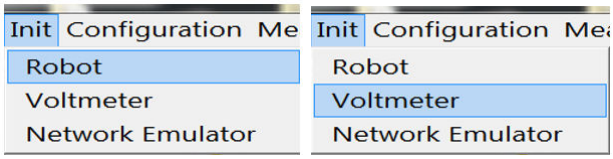


Figura 3.168 Inicialización del robot y del voltímetro

Culminado este paso la sección "*Device Status*" del OPENSAR debe indicar que todos los dispositivos están activados es decir en color verde (Véase Figura 3.169).

Figura 3.169 Dispositivos activados

13. Para colocar la sonda de medición se debe acercar el conector de la sonda al conector del *stress sensor* hasta sentir el engranaje entre ambos. Posteriormente se debe asegurar la sonda girando el conector de la misma (Véase Figura 3.170).

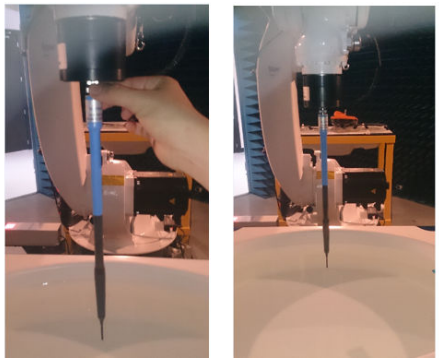


Figura 3.170 Colocación de la sonda

Es importante verificar que coincida la etiqueta del número de serie de la sonda ubicada en la parte superior de la misma (Véase Figura 3.171) con lo indicado en la sección "*Probe*" del programa OPENSAR (Véase Figura 3.172).

Figura 3.171 Número de serie de la sonda

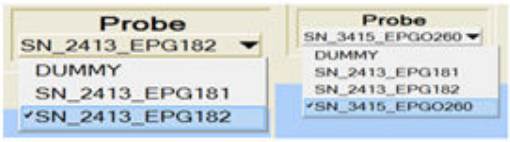


Figura 3.172 Sección "*Probe*" del *software* OPENSAR

El equipamiento también posee una sonda plástica que se observa en la Figura 3.173, esta sonda "*DUMMY*" no es utilizada para la medición de SAR; sin embargo se utiliza cuando se requiere mover el robot de manera manual ya que ésta es más resistente que las anteriores y no se daña si se topa de manera no brusca con algún objeto.

Figura 3.173 Sonda plástica de prueba

14. Para seleccionar el fantoma en el *software* OPENSAR se debe dar clic en el botón alargado del respectivo fantoma en la sección "*Configuration*". En las Figuras 3.174, 3.175 y 3.176 se muestran los dos fantomas de cabeza y el fantoma plano del laboratorio respectivamente.

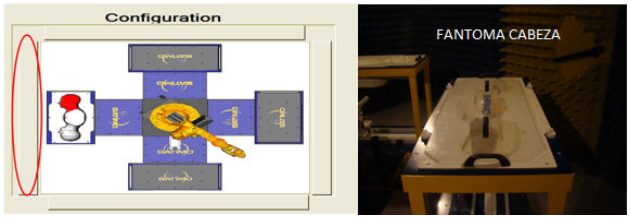


Figura 3.174 Fantoma cabeza (1)

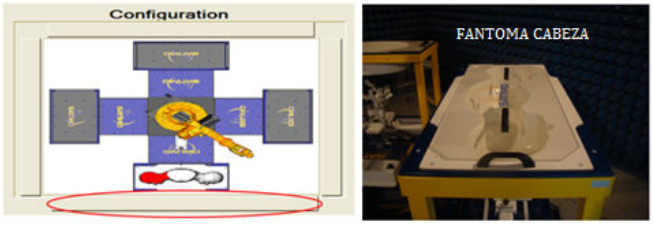


Figura 3.175 Fantoma cabeza (2)

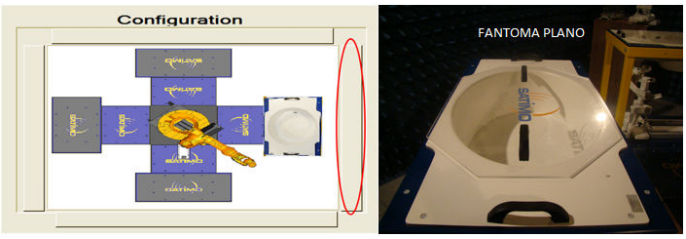


Figura 3.176 Fantoma plano

15. Escoger en el menú "*Robot*" la opción "*Go to reference*" indicada en la Figura 3.177.

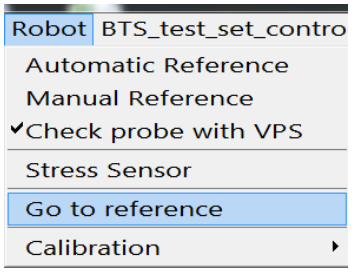


Figura 3.177 Fantoma en la referencia

Al escoger esta opción el programa permite confirmar la selección mediante la ventana de la Figura 3.178.

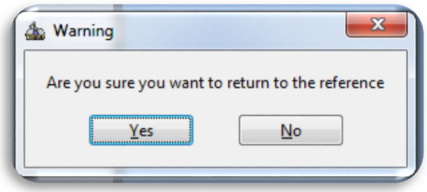


Figura 3.178 Confirmar la selección

Esta opción permite que el brazo del robot se mueva hacia el fantoma seleccionado. En la Figura 3.179 se muestra el desplazamiento del brazo del robot hacia el fantoma de cabeza y fantoma de cuerpo.

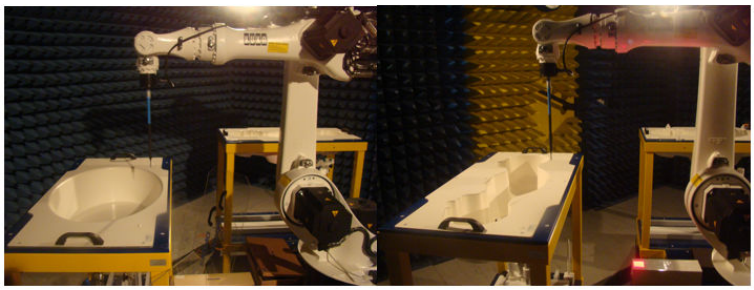


Figura 3.179 Desplazamiento del brazo del robot hacia el fantoma de cabeza y cuerpo

16. Finalmente en el menú "*Robot*" se debe seleccionar la opción "*Automatic Reference*" como se observa en la Figura 3.180.

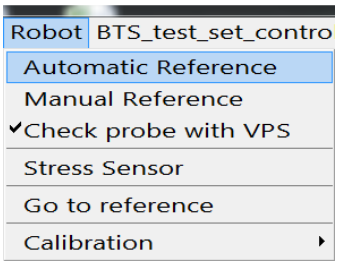


Figura 3.180 Referencia automática

Al escoger esta opción el programa permite confirmar la selección mediante las ventanas mostradas en la Figura 3.181 de acuerdo al fantoma de cabeza o cuerpo.

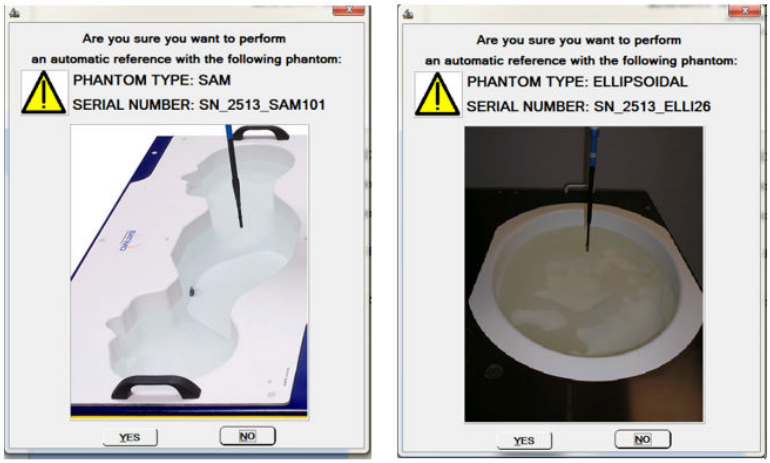


Figura 3.181 Confirmar la selección de acuerdo al fantoma de cabeza o cuerpo

Esta opción permite que el robot utilice el VPS para colocarse en posición central de cada fantoma. En la Figura 3.182 se puede observar el posicionamiento de la sonda en el fantoma SAM, mientras que en la Figura 3.183 se puede apreciar lo mismo para el fantoma plano.

Figura 3.182 Posicionamiento de la sonda en el centro del fantoma de cabeza

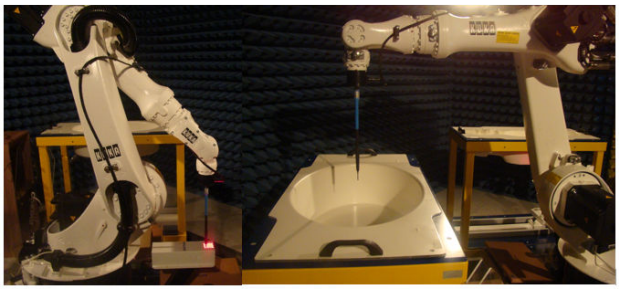


Figura 3.183 Posicionamiento de la sonda en el centro del fantoma de cuerpo

3.12.2 MEDICIÓN DE LÍQUIDOS

Este proceso permite medir los valores de permitividad y conductividad del líquido que simula el tejido humano en el rango de frecuencia que se realiza la medición de SAR.

1. Encender el analizador de redes de la Figura 3.184.

Figura 3.184 Analizador de redes del laboratorio de la ARCOTEL

2. Para calibrar el analizador de redes se utiliza el *kit* de calibración 85052D indicado en la Figura 3.185 con las tres terminaciones: circuito abierto (*Open*), cortocircuito (*Short*) y carga (*Load*).

Figura 3.185 *Kit* de calibración 85052D

Cada terminación contiene una etiqueta que permite su identificación como se indica en la Figura 3.186.

Con este proceso de calibración el analizador de redes compensa las pérdidas del cable de RF.

Figura 3.186 Terminaciones circuito abierto, cortocircuito y carga

3. Para empezar con el proceso se debe conectar un extremo del cable de RF a uno de los dos puertos del analizador de redes y el otro extremo colocarlo en las tenazas del soporte, de manera que éste no se mueva durante la calibración para evitar un cambio en los resultados de la medición (Véase Figura 3.187).

4. Para configurar el rango de frecuencia utilizado en la calibración, se debe presionar en el analizador de redes el botón "*Start*" de la Figura 3.188 e introducir la frecuencia inicial del rango, luego presionar el botón "*Stop*" para ingresar la frecuencia final del rango.

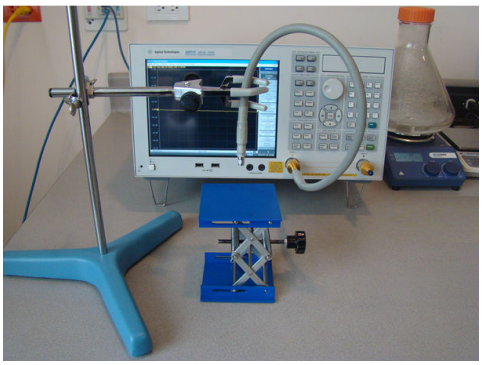


Figura 3.187 Conexión del cable de RF con el analizador de redes

Figura 3.188 Botones para configurar el rango de frecuencia

Para medir el líquido en la banda de 850 MHz la frecuencia inicial es 800 MHz y la final es 900 MHz; para la banda de 1900 MHz la frecuencia inicial es 1800 MHz y la final es 2000 MHz, y para la banda de 2.4 GHz el valor inicial es 2000

MHz y el final es 3000 MHz. La Figura 3.189 muestra la configuración para cada caso.

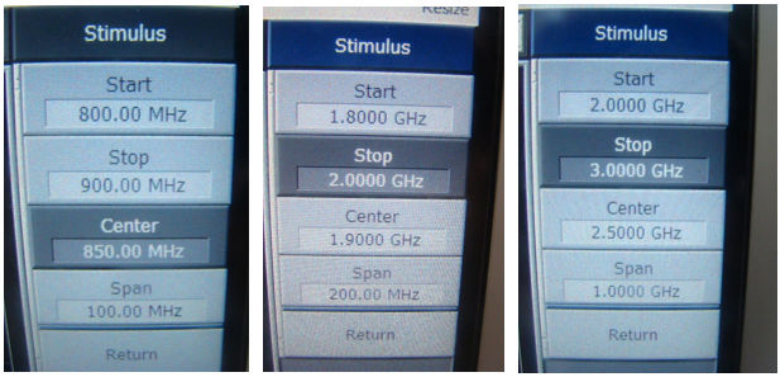


Figura 3.189 Configuración del rango de frecuencia para cada caso

5. Para seleccionar el *kit* de calibración que será utilizado se debe presionar el botón "Cal" de la Figura 3.190, después seleccionar la opción "Cal *Kit*" para escoger el *kit* de calibración 85052D como se indica en la Figura 3.191.

Figura 3.190 Botón para realizar la calibración

Figura 3.191 Selección del *kit* de calibración

6. Presionar de nuevo el botón "Cal" y seleccionar el puerto en el que se encuentra conectado el cable de RF. El conector del lado izquierdo del analizador de redes es el "1-*Port* Cal" y el conector del lado derecho es el "2-*Port* Cal".

   Para nuestro caso se escogió el puerto 1 del analizador, por lo tanto escoger la opción "1-*Port* Cal" de la Figura 3.192.

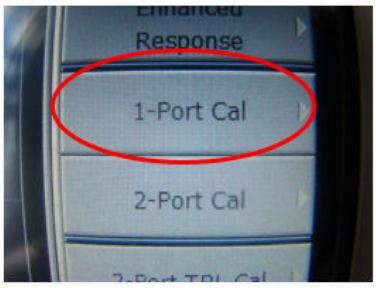


Figura 3.192 Puerto 1 del analizador de redes

7. Colocar la terminación de calibración denominada "*OPEN*" en el cable que se encuentra del lado de las tenazas como se observa en la Figura 3.193.

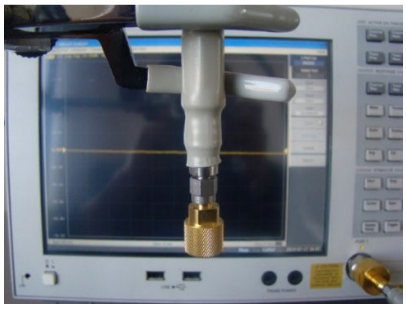


Figura 3.193 Terminación "*OPEN*" en el cable de RF

8. Con la terminación "*OPEN*" conectada, presionar en la pantalla del analizador de redes la opción "*Open*". Como se presenta en la Figura 3.194, el visto indica que la calibración en circuito abierto ha sido realizada correctamente.

9. Retirar la terminación "*OPEN*" del extremo del cable y colocar la terminación "*SHORT*". En la pantalla del analizador de redes presionar la opción que corresponde a "*Short*".

   Como se muestra en la Figura 3.195 el visto indica que la calibración en circuito cerrado ha sido realizada de manera correcta.

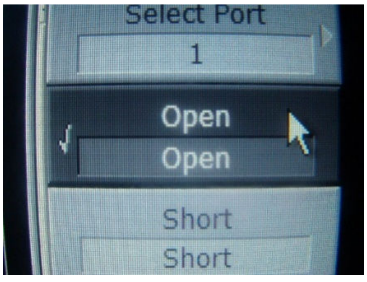


Figura 3.194 Calibración en circuito abierto

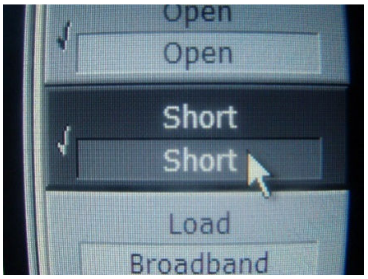


Figura 3.195 Calibración en circuito cerrado

10. Cambiar la terminación anterior por la que corresponde a "*BROADBAND LOAD*" y presionar la opción "*Load*". Como se observa en la Figura 3.196 el visto indica que la calibración con carga ha sido realizada de manera correcta. Una vez finalizado presionar la opción "*Done*".

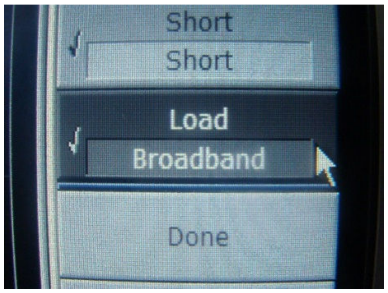


Figura 3.196 Calibración con carga

11. Retirar la terminación "*BROADBAND LOAD*" del extremo del cable y colocar la sonda como se indica en la Figura 3.197. Con esta configuración el analizador se encuentra calibrado.

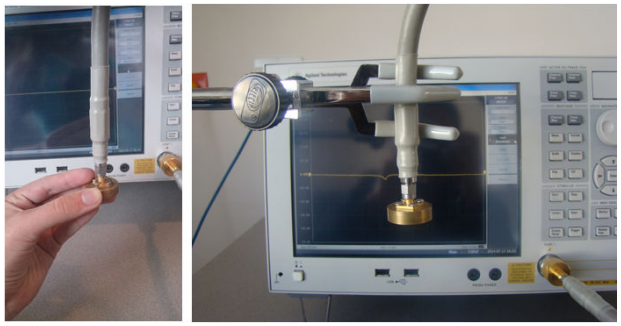


Figura 3.197 Colocación de la sonda para la medición de líquidos

12. A continuación en el *software* OPENSAR, en el menú "*Configuration*" seleccionar la opción "*Liquid*" de la Figura 3.198.

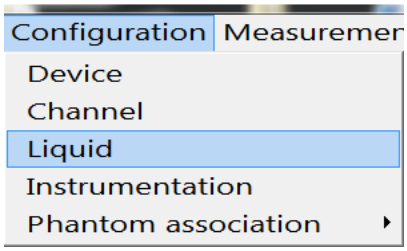


Figura 3.198 Configurar líquido por medio del *software*

13. Se abre una ventana "*Liquid Configuration*" como se muestra en la Figura 3.199. Dar clic en "*Measure Liquid*".

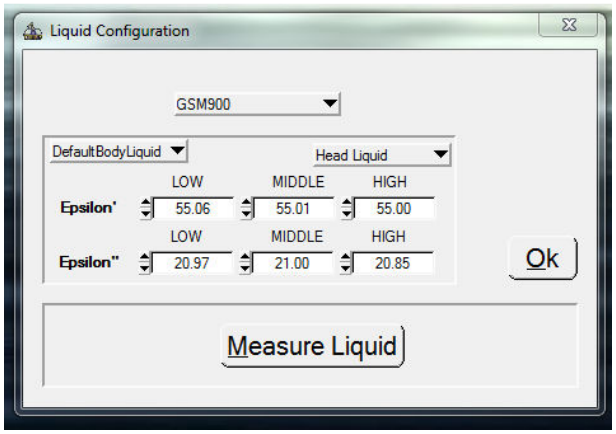


Figura 3.199 Opción para medir el líquido en el *software*

14. Posteriormente se despliega una nueva ventana "*Measurement of liquid permitivity"* como se muestra en la Figura 3.200.

Figura 3.200 Ventana de la medición de la permitividad del líquido

En el menú "*Setup*", en la opción "*Standard*" se puede escoger el estándar que se toma como referencia en la medición. Se tienen las siguientes opciones:

- IEC 62209 / IEEE 1528 (*Head Liquid*)
- CENELEC 50361 (*Head Liquid*)
- FCC *Recomendations* (*Body Liquid*)

Se escoge la opción IEC 62209/IEEE 1528 (*Head Liquid*) para las mediciones realizadas en el fantoma de cabeza, y para mediciones realizadas en el fantoma de cuerpo se utiliza FCC *Recomendations* (*Body liquid*) como se muestra en la Figura 3.201.

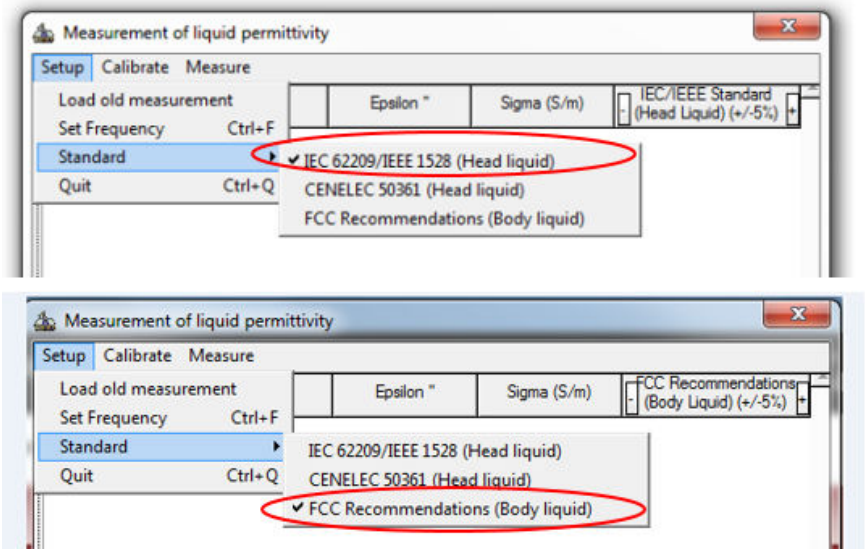


Figura 3.201 Estándar de acuerdo a la medición en cabeza o cuerpo

15. Para definir el rango de frecuencias en el menú "*Setup*" escoger la opción "*Set Frequency*" como en la Figura 3.202. Este rango debe ser igual al utilizado en la calibración del analizador de redes.

    En la ventana "*Set Frequency*" se configuran las siguientes opciones:

    - *Start* (MHz): Valor inicial del rango de frecuencia.
    - *Stop* (MHz): Valor final del rango de frecuencia.
    - *Step*: Valor que indica el espacio en MHz entre cada medición.
    - Nb *Points*: Número de mediciones ejecutadas.

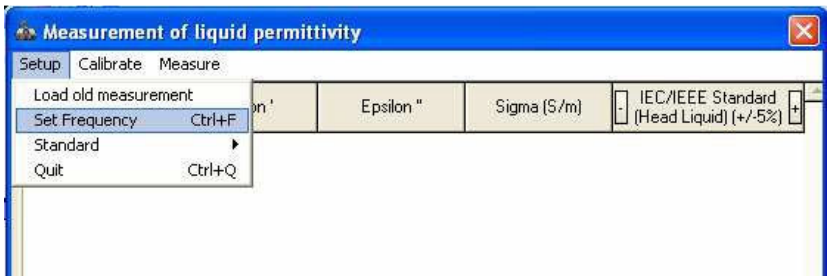


Figura 3.202 Configuración del rango de frecuencia en el *software* OPENSAR

Es necesario introducir los valores de frecuencia en "*Start*" y "*Stop*" pero no es necesario configurar los dos parámetros "*Step*" y "Nb *Points*" porque éstos se encuentran relacionados y si se configura el uno automáticamente se obtiene el valor del otro.

En la Figura 3.203 se indica la configuración para la frecuencia de 850 MHz, de la misma manera para las otras frecuencias se debe introducir los valores de acuerdo a lo indicado en la Figura 3.189.

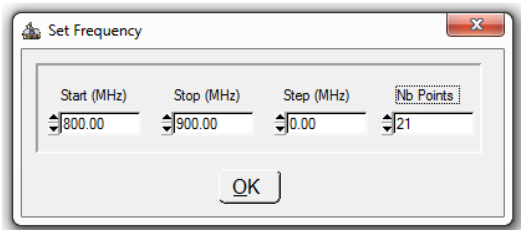


Figura 3.203 Configuración del rango de frecuencia en el *software* de acuerdo a la frecuencia de prueba

Una vez colocados los valores dar clic en "*OK*". En la Figura 3.204 se observa un ejemplo de la tabla que muestra las mediciones que se van a ejecutar en el líquido de cuerpo, una tabla similar se da para las mediciones en el líquido de cabeza.

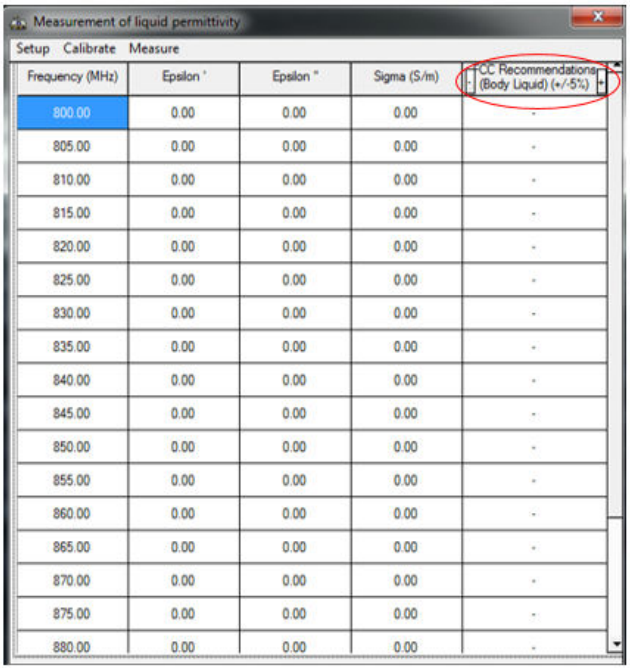


Figura 3.204 Mediciones en el líquido de cuerpo

16. Tomar el galón de agua des-ionizada y con cuidado de que no se introduzca aire colocarlo en una botella más pequeña. Más adelante vaciar el agua des-ionizada en un vaso precipitado como en la Figura 3.205.

Figura 3.205 Colocación del agua des-ionizada

17. Medir la temperatura del agua des-ionizada con el termómetro e introducir este valor en el OPENSAR para lo cual se debe seleccionar en el menú "*Calibrate*" la opción "*Configure*" de la Figura 3.206.

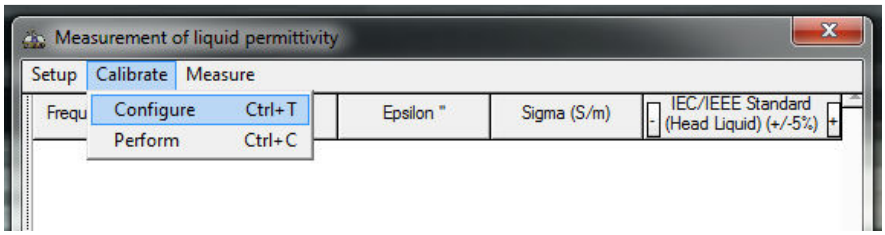


Figura 3.206 Configuración de la calibración en el *software*

En la ventana de la Figura 3.207 ingresar el valor de temperatura y dar clic en "*OK*".

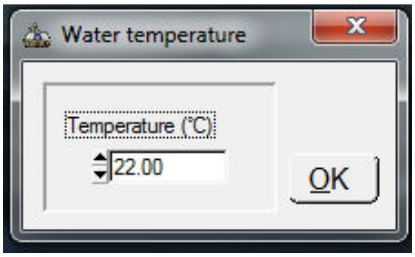


Figura 3.207 Temperatura del agua configurada en el *software*

Como en el caso de la Figura 3.208 se debe redondear el valor obtenido al inmediato superior. El valor del líquido debe estar dentro de ±2°C de la temperatura a la cual el líquido simulador se encuentra (Véase Figura 3.209).

La temperatura ambiente debe estar en el rango entre 20°C y 26°C de acuerdo a lo indicado en el Suplemento C del OET 65; sin embargo también la IEEE indica que la temperatura ambiente debe estar entre 18°C y 25°C. La temperatura puede ser verificada con el medidor de temperatura mostrado en la Figura 3.210.

Figura 3.208 Medición de la temperatura del agua des-ionizada

Figura 3.209 Medición de la temperatura del líquido

Figura 3.210 Medición de condiciones ambientales del laboratorio (temperatura y humedad)

18. Las mediciones se realizan en tres casos: con la sonda expuesta al aire, con la sonda introducida en agua des-ionizada y con la sonda dentro del líquido que simula el tejido humano.

    Para iniciar con este proceso se debe escoger en el menú "*Calibrate*" la opción "*Perform*" de la Figura 3.211 con lo que aparecerá una nueva ventana con el mensaje "*Please, Leave probe tip in the air*" mostrada en la Figura 3.212.

Figura 3.211 Desarrollo de la calibración

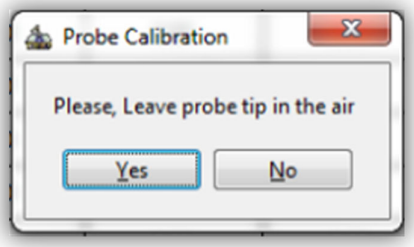


Figura 3.212 Colocar sonda en aire

Se debe asegurar que debajo de la sonda no se encuentre ningún objeto que distorsione el valor de la medición como se muestra en la Figura 3.213. Una vez revisado que todo se encuentre correcto dar clic en el botón "*Yes*".

Figura 3.213 Sonda expuesta al aire

Aparece la ventana de la Figura 3.214 que muestra el mensaje "*Please, Put probe tip in contact with the water*".

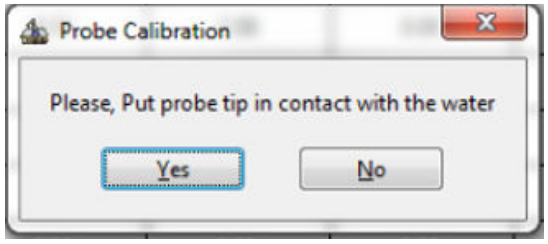


Figura 3.214 Colocar sonda en agua

Para esta medición se debe colocar el vaso precipitado con agua des-ionizada sobre la plataforma y elevarla hasta que el agua cubra la parte inferior de la sonda de medición. El agua no debe llegar al conector de unión entre la sonda y el cable de RF pues éste puede oxidarse (Véase Figura 3.215). Además se debe evitar que se formen burbujas de aire en la superficie de la sonda introducida.

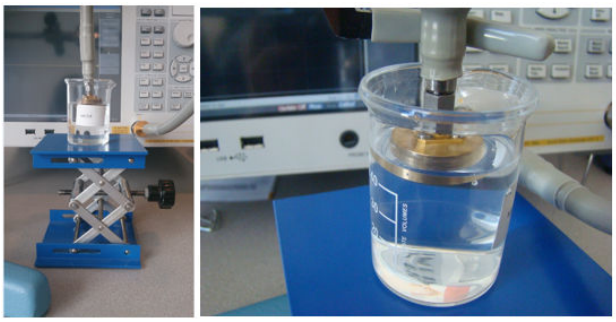


Figura 3.215 Sonda introducida en agua des-ionizada

Seleccionar el botón "*Yes*". Una vez realizado esto aparece la ventana de la Figura 3.216 la cual confirma que se ha realizado la calibración de la sonda y que es posible proseguir con las mediciones en el líquido que simula el tejido. Dar clic en "*OK*".

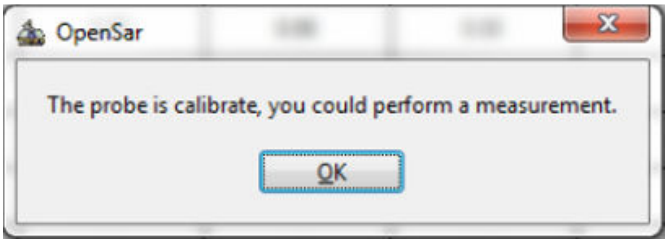


Figura 3.216 Confirmación de la calibración de la sonda

Para realizar la medición del líquido simulador se debe retirar el agua des-ionizada y para no alterar la medición siguiente se debe limpiar la sonda de cualquier residuo de agua como se mira en la Figura 3.217.

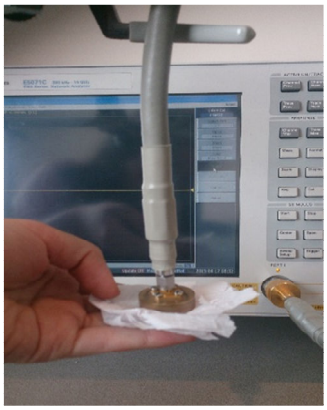


Figura 3.217 Limpieza de la sonda del residuo de agua des-ionizada

Se debe colocar sobre la plataforma el líquido que simula el tejido e igualmente se debe elevarlo hasta que cubra la parte inferior de la sonda. En este caso también se debe tener cuidado que el líquido no llegue al conector entre la sonda y el cable de RF y que no se formen burbujas de aire en la superficie de la sonda introducida (Véase Figura 3.218).

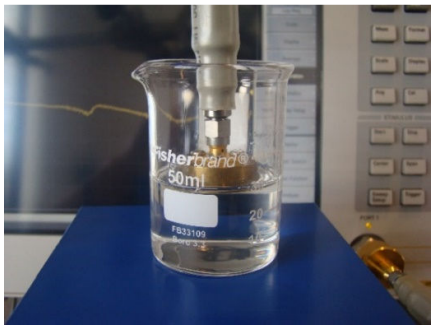


Figura 3.218 Sonda introducida en líquido simulador

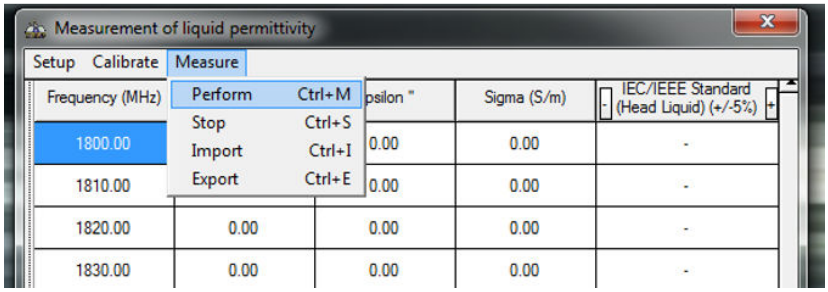


Figura 3.219 Medición de los parámetros dieléctricos

Para la medición de los parámetros dieléctricos del líquido se debe seleccionar en el menú “*Measure*” la opción “*Perform*” de la Figura 3.219; de esta manera la tabla presenta los resultados obtenidos.

El color de la celda indica si los valores cumplen con la tolerancia establecida en el estándar elegido. El verde indica que los valores medidos están dentro de los rangos recomendados mientras que las celdas en color rojo indican el caso contrario.

Para las mediciones en el laboratorio se cumple con la tolerancia establecida por el estándar. Es posible modificar el valor de tolerancia de la medición utilizando los botones situados a cada lado de la celda del título del estándar seleccionado.

Se debe medir el líquido que simula el tejido para todas las frecuencias tanto para cabeza como para cuerpo. A manera de ejemplo en la Figura 3.220 se indican los resultados de los parámetros dieléctricos para el líquido de cabeza para la frecuencia de 850 MHz.

Frequency (MHz)	Epsilon '	Epsilon ''	Sigma (S/m)	IEC/IEEE Standard (Head Liquid) (+/-5%)
800.00	40.84	19.62	0.87	Epsilon': -1.97 % Epsilon'': -2.68 %
805.00	40.78	19.64	0.88	Epsilon': -2.07 % Epsilon'': -2.03 %
810.00	40.71	19.63	0.88	Epsilon': -2.19 % Epsilon'': -1.51 %
815.00	40.63	19.67	0.89	Epsilon': -2.31 % Epsilon'': -0.76 %
820.00	40.59	19.69	0.90	Epsilon': -2.35 % Epsilon'': -0.15 %
825.00	40.51	19.71	0.90	Epsilon': -2.49 % Epsilon'': 0.53 %
830.00	40.45	19.72	0.91	Epsilon': -2.58 % Epsilon'': 1.08 %
835.00	40.35	19.74	0.92	Epsilon': -2.76 % Epsilon'': 1.74 %
840.00	40.30	19.74	0.92	Epsilon': -2.88 % Epsilon'': 1.77 %
845.00	40.23	19.77	0.93	Epsilon': -3.06 % Epsilon'': 1.90 %
850.00	40.17	19.77	0.93	Epsilon': -3.21 % Epsilon'': 1.93 %
855.00	40.11	19.78	0.94	Epsilon': -3.36 % Epsilon'': 1.97 %
860.00	40.05	19.79	0.95	Epsilon': -3.50 % Epsilon'': 1.98 %
865.00	39.97	19.81	0.95	Epsilon': -3.70 % Epsilon'': 2.13 %
870.00	39.89	19.83	0.96	Epsilon': -3.88 % Epsilon'': 2.20 %
875.00	39.82	19.84	0.96	Epsilon': -4.05 % Epsilon'': 2.29 %
880.00	39.76	19.85	0.97	Epsilon': -4.18 %

Figura 3.220 Resultados de los parámetros dieléctricos del líquido de cabeza para la frecuencia de 850 MHz

Una vez concluida la medición retirar el líquido que simula el tejido y limpiar la sonda de cualquier residuo.

Si los valores de los parámetros dieléctricos del líquido se encuentran dentro de los rangos recomendados por el estándar escogido para la frecuencia probada, se debe seleccionar en el menú "*Measure*" la opción "*Import*" como se muestra en la Figura 3.221.

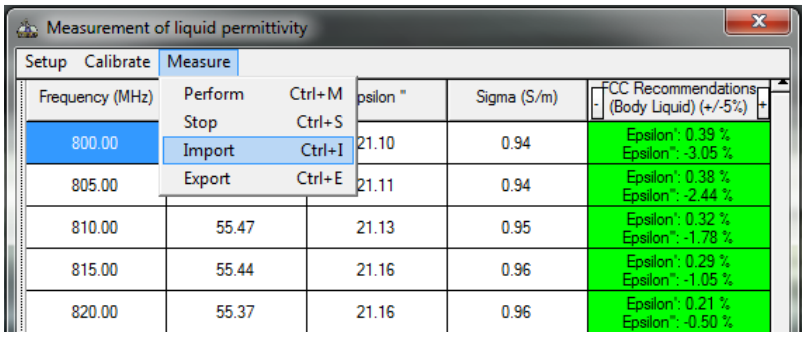


Figura 3.221 Importar la medición

Se abre la ventana "*Import liquid data*". En la opción "*Available band*" se debe seleccionar con un visto la banda en la cual se realizó la medición de los parámetros dieléctricos, también se puede seleccionar varias tecnologías siempre y cuando sea para la misma banda. En la opción "*File name*" ingresar el nombre del líquido.

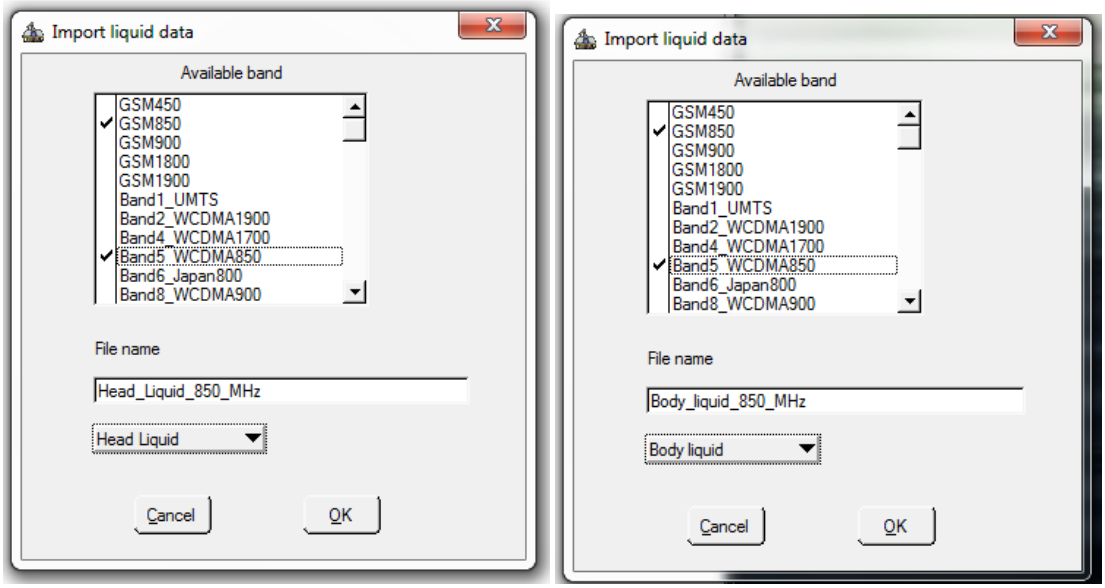


Figura 3.222 Importar líquido de cabeza y cuerpo para 850 MHz

En la Figura 3.222 se indican las configuraciones para el líquido de cabeza y cuerpo para 850 MHz. El proceso debe repetirse para 1900 MHz y 2.4 GHz.

Escoger la opción "*Head Liquid*" o "*Body Liquid*" dependiendo si el líquido es de cabeza o de cuerpo. Dar clic en el botón "*OK*". Aparece la ventana "*Warning*" de la Figura 3.223 con el mensaje "*Are you sure you want to import HEAD liquid*" o "*Are you sure you want to import BODY liquid*" de acuerdo al tipo de líquido. Dar clic en la opción "*Yes*".

Figura 3.223 Confirmación de la importación de líquido

Cerrar la ventana "*Import liquid data*" y la ventana "*Measurement of liquid permittivity*".

En la pestaña superior central de la ventana "*Liquid Configuration*" se debe escoger la banda de frecuencia, mientras que en la pestaña superior izquierda se debe seleccionar el archivo creado en el proceso de medición realizado anteriormente. En la pestaña localizada al mismo nivel a la derecha se debe escoger si el líquido es de cabeza o cuerpo.

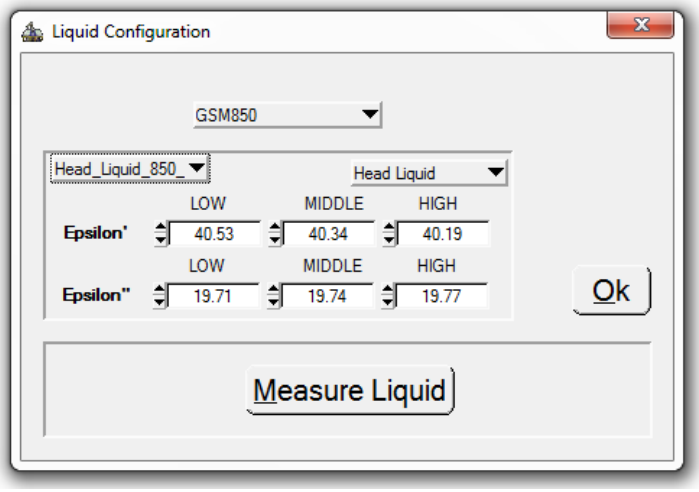


Figura 3.224 Parámetros dieléctricos para la señal GSM en 850 MHz

A manera de ejemplo se puede observar en la Figura 3.224 que los parámetros dieléctricos del líquido de cabeza se han configurado para la banda de 850 MHz para la señal GSM. Finalmente dar clic en el botón "*OK*". El proceso debe repetirse para todas las frecuencias de prueba, tecnologías y líquido de cabeza o cuerpo.

3.12.3 LLENADO DE LÍQUIDOS EN LOS FANTOMAS

1. Se debe verificar que la perilla de desfogue, que se encuentra en la parte inferior del fantoma, se encuentre cerrada como se muestra en la Figura 3.225.

Figura 3.225 Perilla de desfogue de líquido en el fantoma

2. Ingresar en el área de líquidos y seleccionar el recipiente del líquido a usar en la prueba por medio de la etiqueta la cual indica datos como: la frecuencia de medición, la capacidad, los ingredientes por los que se encuentra conformado y especifica si éste es de cabeza o cuerpo.

A manera de ejemplo en la Figura 3.226 se indica el líquido de cabeza utilizado para 1900 MHz, mientras que en la Figura 3.227 se indica el líquido de cuerpo para la misma frecuencia. De la misma manera hay líquidos para cada frecuencia de medición.

Figura 3.226 Líquido de cabeza para la medición en 1900 MHz

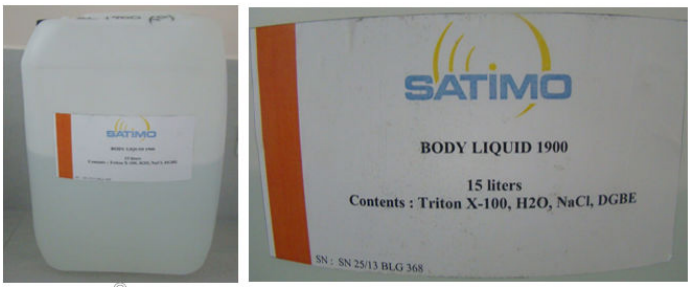


Figura 3.227 Líquido de cuerpo para la medición en 1900 MHz

3. Una vez seleccionado el líquido que se va a utilizar en la medición, se debe colocar sobre éste una tapa con llave plástica, la cual facilita el llenado del líquido en el fantoma como se muestra en la Figura 3.228. La llave debe estar cerrada para no derramar el líquido.

4. Trasladar el recipiente a la cámara semi-anecoica y colocarlo sobre el fantoma de manera que la cara lateral izquierda del recipiente sea la base. Después de obtener una posición como se indica en la Figura 3.229 se debe girar la llave de forma que ésta quede en posición normal a la superficie del fantoma.

Figura 3.228 Colocación de la llave plástica

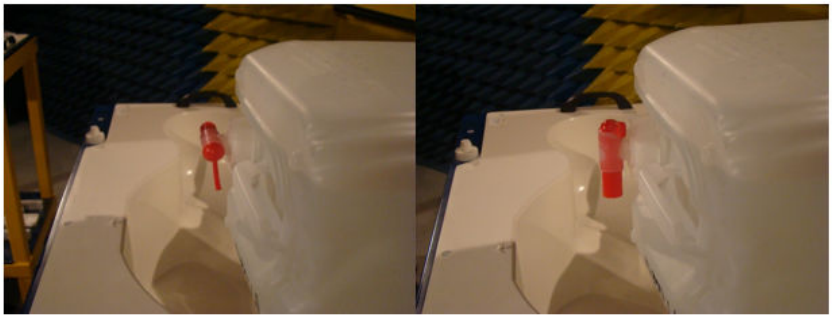


Figura 3.229 Posición para verter el líquido en los fantomas

Para verter el líquido se debe abrir la llave como se observa en la Figura 3.230.

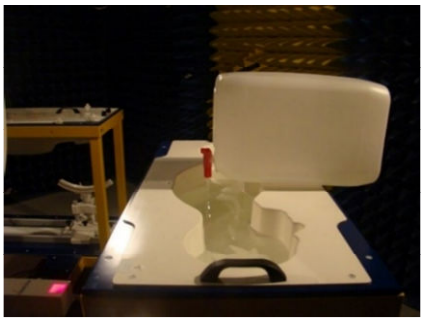


Figura 3.230 Llenado de líquido en el fantoma

5. Es importante llenar el líquido a una profundidad de 15 cm $\pm$ 0.5 cm medidos desde la parte plana de la superficie de cada fantoma como se muestra en la Figura 3.231. Si un recipiente no es suficiente para cumplir con esta recomendación indicada en la norma, se debe tomar otro recipiente con líquido que tenga las mismas características del que se ocupó inicialmente.

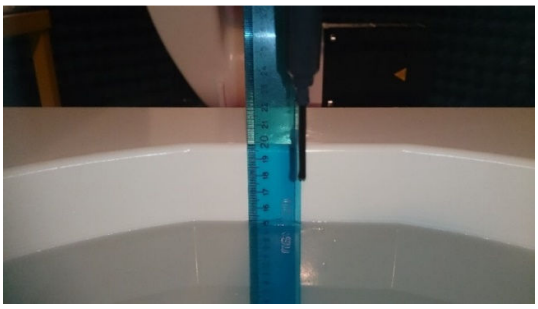


Figura 3.231 Profundidad del líquido simulador

Al terminar de llenar los fantomas cumpliendo el límite indicado por la norma, se debe retirar las tapas con llaves y cerrar los recipientes utilizando las tapas originales para finalmente llevarlos al área de líquidos y ubicarlos en los estantes correspondientes como se observa en la Figura 3.232.

Figura 3.232 Colocación de recipientes en el área de líquidos

Es importante verificar que el líquido simulador se encuentre libre de burbujas de aire como en la Figura 3.233 antes de realizar una medición de SAR, para lo cual se lo debe dejar reposar un tiempo.

Figura 3.233 Líquido en los fantomas de cabeza y cuerpo

3.12.4 VALIDACIÓN DEL SISTEMA

La validación del sistema se debe realizar antes de las mediciones de SAR. La validación debe ser realizada cada 24 horas.

1. Antes de realizar la validación con los dipolos, se deben compensar las pérdidas de la señal. Con el generador de señales vectoriales se producen señales CW con potencia de 20 dBm en las frecuencias en las que se realiza la validación.

   El valor de pérdidas que se debe configurar es la diferencia entre el valor medido en el potenciómetro al interior de la cámara semi-anecoica (Véase Figura 3.234) y el valor medido en el potenciómetro al exterior de la cámara semi-anecoica (Véase Figura 3.235).

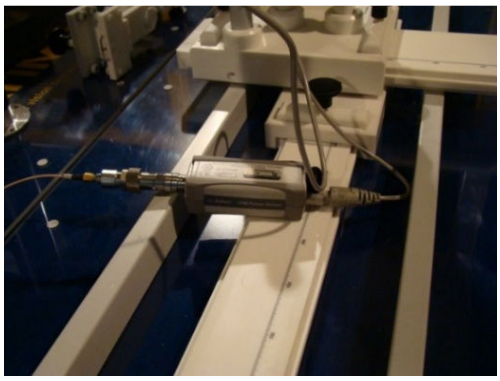


Figura 3.234 Punto de medición al interior de la cámara semi-anecoica

Figura 3.235 Punto de medición al exterior de la cámara semi-anecoica

Al conocer las pérdidas de la señal ya se puede realizar la validación de los dipolos introduciendo estos valores más adelante en el *software*. En la Tabla 3.25 se muestran los valores de pérdidas para las frecuencias probadas.

FRECUENCIA (MHz)	PÉRDIDAS (dB)
835	15.46
1900	12.11
2450	11.60

Tabla 3.25 Pérdidas en 835 MHz, 1900 MHz y 2450 MHz

2. Para el posicionamiento de los dipolos de validación se debe seleccionar el dipolo de acuerdo a la banda de frecuencia en la que se realizará la medición: 835 MHz, 1900 MHz y 2450 MHz, tal como se indica en la Figura 3.236.

Figura 3.236 Dipolos utilizados en la validación del sistema

Para colocar el dipolo en el soporte de posicionamiento y asegurarlo se debe hacer uso de los tornillos que se encuentran en las cajas de los dipolos. (Véase Figura 3.237).

El tornillo plateado del dipolo debe quedar frente a la persona que lo coloca como se puede ver en la Figura 3.238.

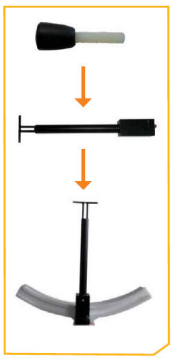


Figura 3.237 Dipolo, tornillo y soporte [30]

Figura 3.238 Colocación del dipolo en el soporte para la medición

Llevar el dipolo cerca a la “X” la cual se encuentra ubicada en la parte inferior del fantoma como se indica en la Figura 3.239. Para la movilización del soporte se debe utilizar los tornillos de ajuste ubicados en éste hasta obtener la posición adecuada.

Figura 3.239 “X” de posicionamiento en el fantoma

Para la validación del sistema la distancia entre el dipolo y el fantoma se encuentra normada. Para frecuencias altas es decir f > 1.0 GHz se utiliza una separación de 10 mm y para frecuencias bajas, las cuales se encuentran en el rango de 0.8 GHz < f < 1.0 GHz se utiliza 15 mm. Para cumplir con estas distancias se debe utilizar los espaciadores provistos de acuerdo a la frecuencia de medición como se indica en la Figura 3.240.

Figura 3.240 Separadores de acuerdo a la frecuencia

En la Figura 3.241 se muestra el posicionamiento de los dipolos para cada frecuencia de medición: 835 MHz, 1900 MHz y 2.4 GHz.

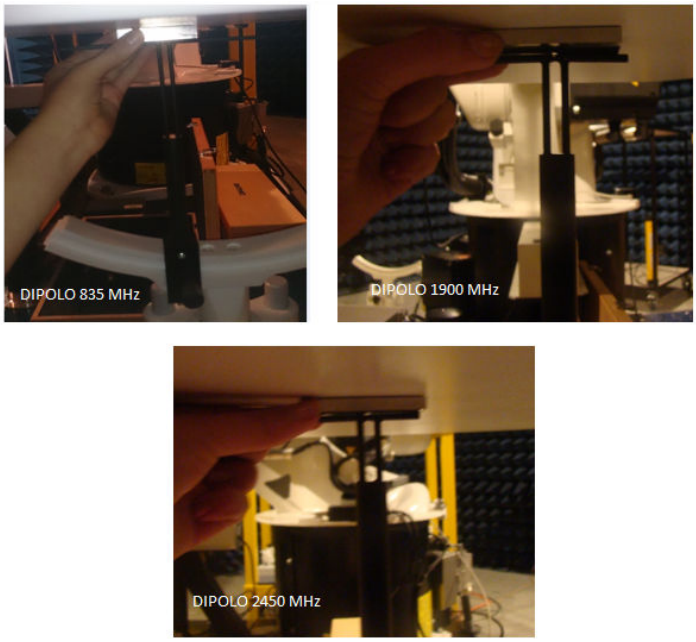


Figura 3.241 Distancia entre los dipolos y los fantomas de acuerdo a la frecuencia

Conectar el cable que se encuentra en la cámara semi-anecoica (este cable se conecta con el generador de señales) con el dipolo utilizando el torquímetro como se indica en la Figura 3.242.

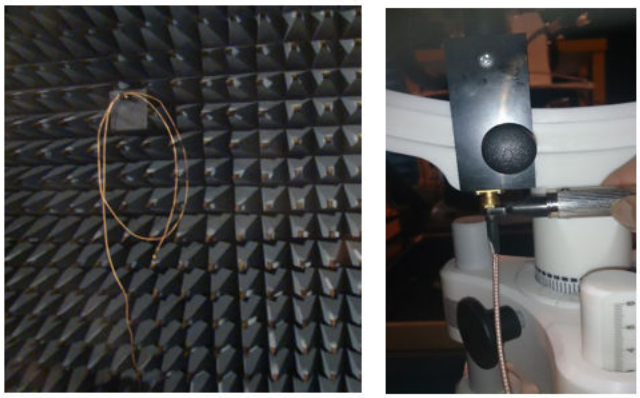


Figura 3.242 Ajuste del cable de RF

En la Figura 3.243 se muestra el posicionamiento final de los dipolos para cada frecuencia de medición: 835 MHz, 1900 MHz y 2.4 GHz.

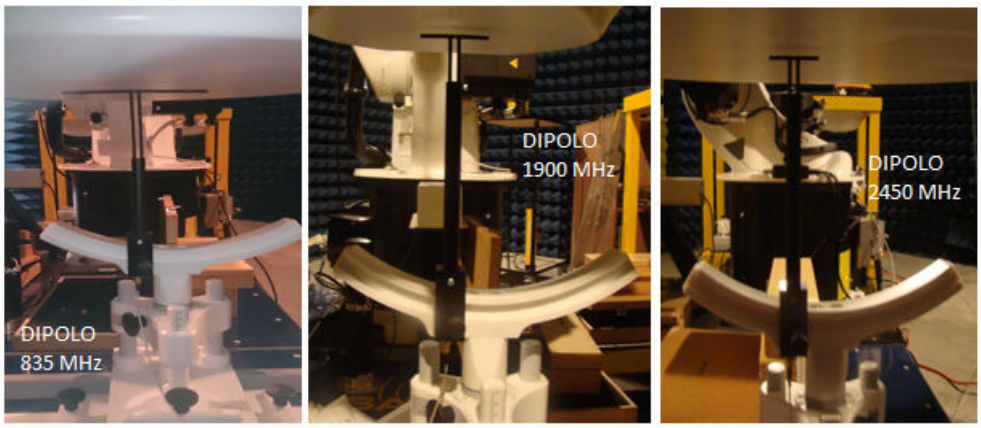


Figura 3.243 Posicionamiento de los dipolos

3. Para realizar la validación del sistema en el *software*, se debe escoger "*Validation*" como el tipo de medición; lo mencionado se indica en la Figura 3.244.

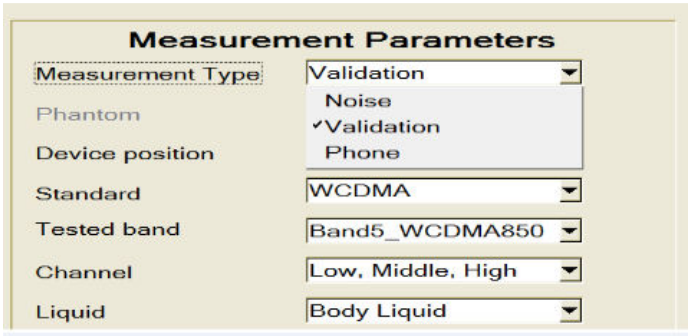


Figura 3.244 Tipos de mediciones permitidos por el *software*

Si la validación se va a realizar en el fantoma de cabeza se debe escoger “Flat” de las opciones indicadas en la Figura 3.245. Si la validación se la realiza en el fantoma plano la opción “*Phantom*” queda deshabilitada y por *default* se coloca en “*Flat*”.

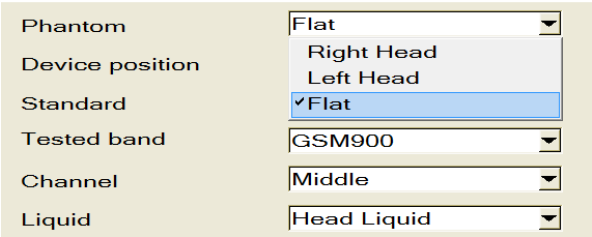


Figura 3.245 Opciones del *software* para la medición en el fantoma

En “*Device position*” escoger “*Dipole*” de las opciones indicadas en la Figura 3.246.

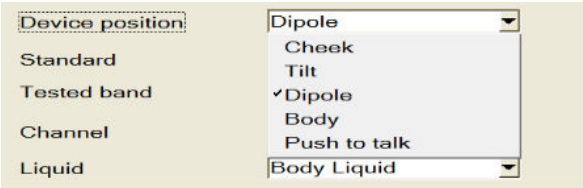


Figura 3.246 Opciones del *software* para la posición del dispositivo

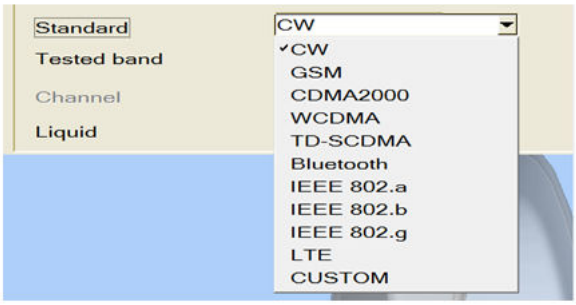


Figura 3.247 Tipo de señal generada por el *software*

En “*Standard*” se debe escoger “CW” ya que ésta es el tipo de onda que se utiliza para la validación del sistema. Las opciones dadas por el *software* se muestran en la Figura 3.247

De acuerdo a la frecuencia de prueba en el campo “*Tested band*” se debe escoger la banda de frecuencia del dipolo que se utilice para la validación. En el caso de 850 MHz escoger “CW835” como se indica en la Figura 3.248.

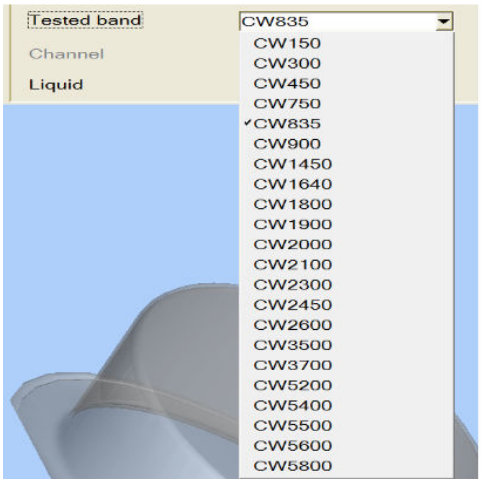


Figura 3.248 Banda de acuerdo a la frecuencia: 835 MHz

La opción "*Channel*" queda deshabilitada en el proceso de validación como se indica en la Figura 3.249.

Figura 3.249 Canal deshabilitado en proceso de validación

La última opción es "*Liquid*" en donde se escoge si el líquido es de cabeza o cuerpo tal como se muestra en la Figura 3.250.

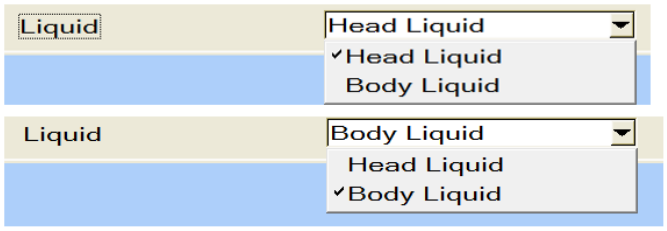


Figura 3.250 Líquido de cabeza o cuerpo

4. En la pantalla principal del programa OPENSAR en el menú "*Area scan*" seleccionar la opción "*Flat adaptative*" de las opciones indicadas en la Figura 3.251.

   Estos *paths* definen el área de escaneo de la sonda. Todos los puntos de escaneo son espaciados de 8 a 16 mm lo cual puede ser cambiado en los pasos del *area scan* en el menú "*Measurement*" con la opción "*Area scan step*".

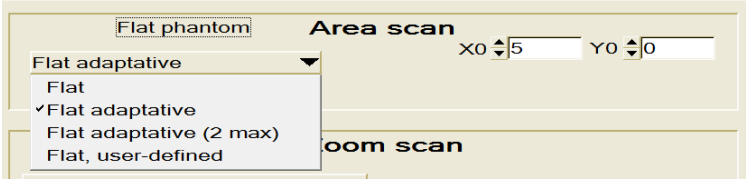


Figura 3.251 Opciones de medición del *area scan*

Cuando el punto donde el máximo campo eléctrico es encontrado el sistema mide el *zoom scan* sobre planos cuadrados. Cada plano contiene de 25 a 49 puntos de medición espaciados por 5 u 8 mm en los ejes *x*-*y*. El espacio entre cada plano y el número de puntos sobre el plano puede ser definido seleccionando la resolución del *zoom scan* en el menú "*Measurement*" en la opción "*Zoom scan step*".

5. De la misma manera en la pantalla principal del programa OPENSAR en el menú "*Zoom scan*" seleccionar la opción "*Faster measurement (level 2)*". En el submenú "*Zoom scan interpolation*" escoger la opción "27" como en la Figura 3.252 el cual mide solamente 27 u 11 puntos en el cubo del *zoom scan* de acuerdo a la selección. El tiempo para este tipo de medición se reduce considerablemente, los puntos que no son medidos se interpolan.

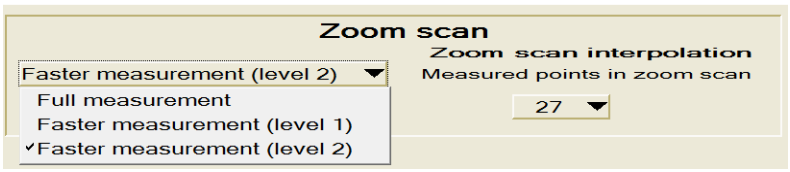


Figura 3.252 Medición rápida

6. Prender el generador de RF y el amplificador asegurándose que el filtro colocado sea para la frecuencia de medición tal como se muestra en la Figura 3.253.

Figura 3.253 Colocación del filtro de acuerdo a la frecuencia establecida

En la Figura 3.254 se muestran los filtros utilizados en la validación del sistema de medición de SAR.

Figura 3.254 Filtros pasa-banda para los rangos de frecuencia de las pruebas

7. En el menú "*Tools*" mostrado en la Figura 3.255 seleccionar la opción "*RF Gen*".

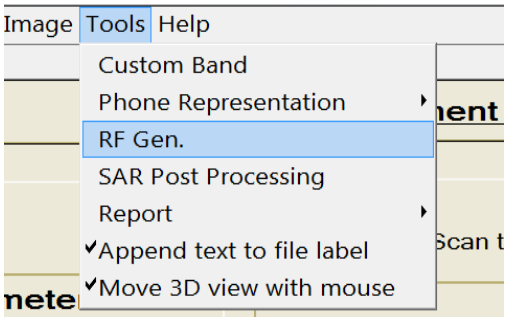


Figura 3.255 Menú "*Tools*" del *software* OPENSAR

Se abrirá una ventana "*Synthesizer / Power meter*" donde se configuran los parámetros indicados en la Tabla 3.26 según los requerimientos de la prueba como frecuencia, pérdidas etc.

RF Mode	CW	CW	CW
Frequency	835 MHz	1900 MHz	2450 MHz
Power	-20 dBm	-20 dBm	-20 dBm
Using Amplifier	✓	✓	✓
Directional Coupler	15.46 dB	12.11 dB	11.60 dB
Power Target Value	20 dBm	20 dBm	20 dBm
RF Output	*On*	*On*	*On*

Tabla 3.26 Parámetros de configuración del generador de RF

NOTA: Para evitar el daño del amplificador es importante tener en cuenta que el cable de RF (Véase Figura 3.242) debe estar conectado al dipolo al momento de activarlo mediante el *software* OPENSAR.

En la Figura 3.256 se indica la configuración para 835 MHz. De la misma manera se debe configurar para las demás frecuencias de prueba de acuerdo a la Tabla 3.26.

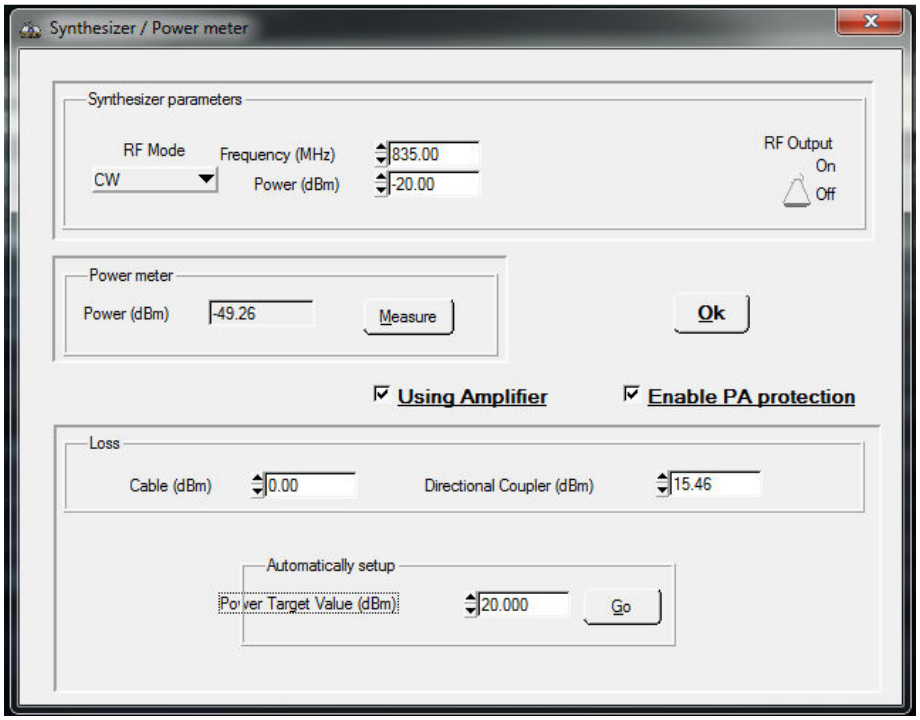


Figura 3.256 Parámetros de configuración en 835 MHz

8. Dar clic en la opción "*Go*" con lo cual si la configuración se encuentra correcta aparece la ventana mostrada en la Figura 3.257. Dar clic en "*OK*".

Finalmente en la ventana "*Synthesizer / Power meter*" dar clic en "*OK*". En la Figura 3.258 se indica el resultado de la configuración en 835 MHz.

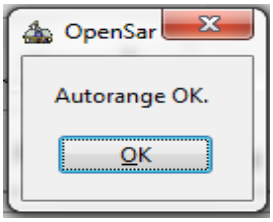


Figura 3.257 Rango correcto

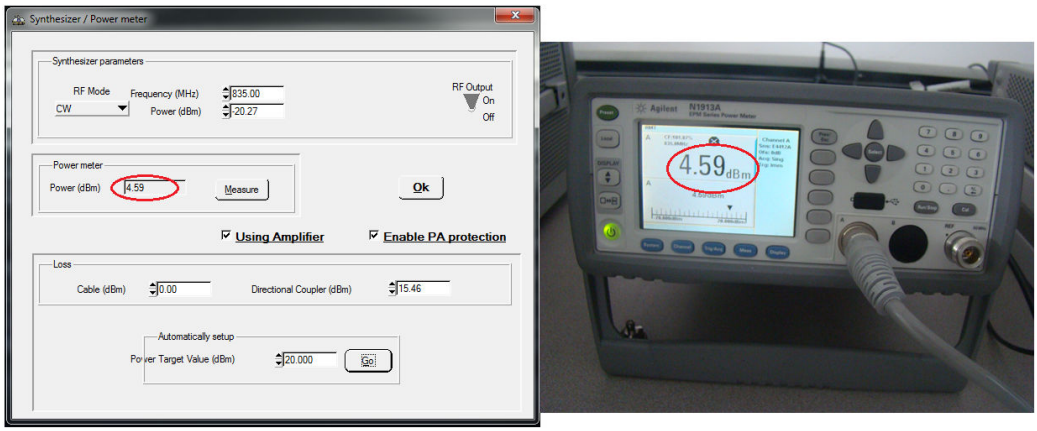


Figura 3.258 Resultado de la configuración del generador de RF en 835 MHz

9. Dar clic en el botón "*START*" de la Figura 3.259 para iniciar con la validación del dipolo.

Figura 3.259 Opciones en el *software* para iniciar y terminar con la medición

Al escoger esta opción el programa permite confirmar la introducción de un comentario o una etiqueta mediante la ventana mostrada en la Figura 3.260.

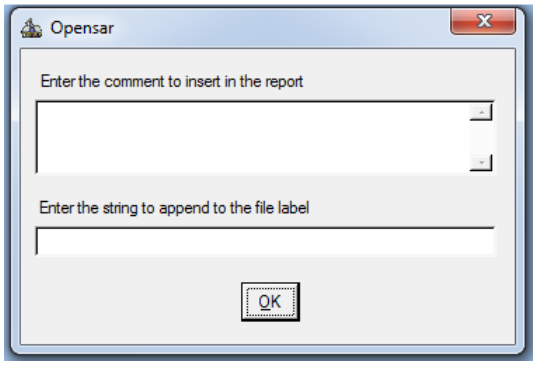


Figura 3.260 Ingresar un comentario o nombre de la etiqueta

Como se puede apreciar en la Figura 3.261 el proceso de validación de SAR se realiza en la parte plana de los fantomas de cabeza y cuerpo.

Al finalizar la medición en el *software* OPENSAR aparecerá un mensaje el cual indica que la medición es válida. El *software* determina el valor de SAR con el dipolo. En las Figuras 3.262, 3.263 y 3.264 se puede visualizar los resultados

de la medición de SAR para 835 MHz, 1900 MHz y 2450 MHz para cabeza y cuerpo.

Figura 3.261 Validación del sistema en los fantomas de cabeza y cuerpo

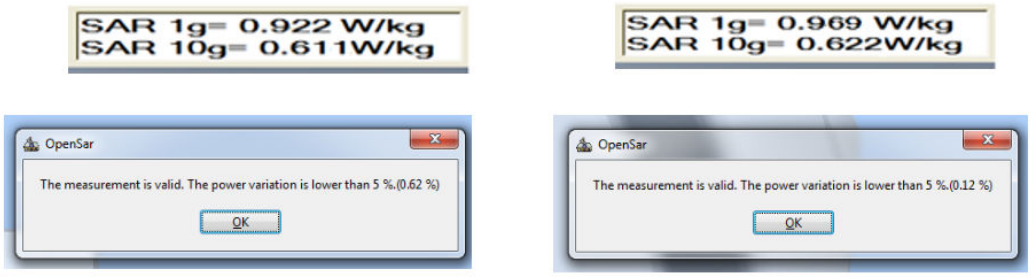


Figura 3.262 Resultado de la medición de SAR en cabeza y cuerpo en 835 MHz

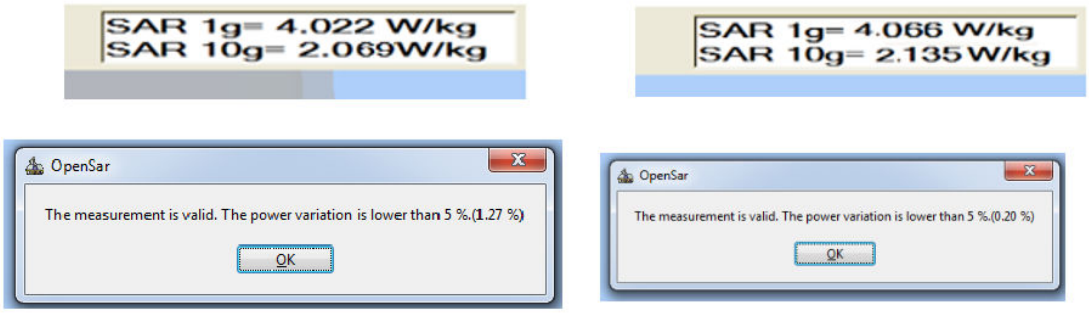


Figura 3.263 Resultado de la medición de SAR en cabeza y cuerpo en 1900 MHz

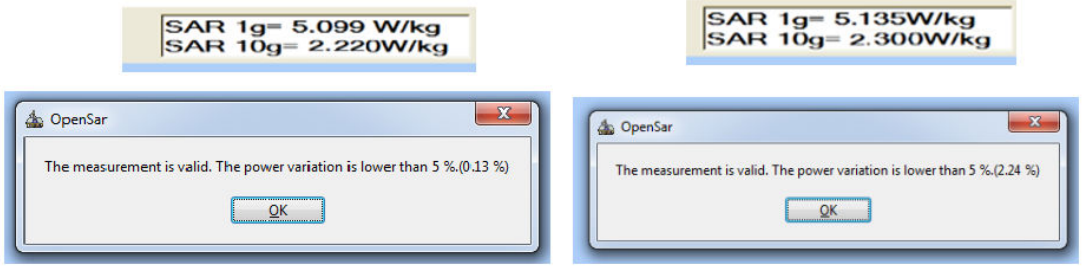


Figura 3.264 Resultado de la medición de SAR en cabeza y cuerpo en 2450 MHz

10. Se debe comparar el resultado de SAR obtenido con el valor objetivo indicado en la Tabla 1.7 dado para cada valor de frecuencia. Para la comparación se debe multiplicar el valor obtenido en ARCOTEL por un factor de 10 debido a que los valores medidos en ARCOTEL se hicieron con una potencia de 20 dBm y los valores objetivo fueron medidos con una potencia de 30 dBm. Si la validación es correcta, los resultados obtenidos en el Laboratorio de la ARCOTEL deben encontrarse dentro del 10% de los valores objetivo indicados en la Tabla 1.7.

    En la Tabla 3.27 se incluye la comparación entre los valores obtenidos en la validación en el Laboratorio de la ARCOTEL y los valores objetivo utilizando el líquido de cabeza mientras que en la Tabla 3.28 se muestra la misma comparación pero con el líquido de cuerpo.

Frecuencia	Valores Objetivo		Laboratorio ARCOTEL	
	1g SAR (W/Kg)	10g SAR (W/Kg)	1g SAR (W/Kg)	10g SAR (W/Kg)
835 MHz	9.56	6.22	(0.922) 9.22	(0.611) 6.11
1900 MHz	39.7	20.5	(4.022) 40.22	(2.069) 20.69
2450 MHz	52.4	24.0	(5.099) 50.99	(2.220) 22.2

Tabla 3.27 Comparación de la validación en el Laboratorio de la ARCOTEL con los valores objetivo para líquido de cabeza. Los valores en paréntesis están dados para una potencia de 20 dBm

Frecuencia	Valores Objetivo		Laboratorio ARCOTEL	
	1g SAR (W/Kg)	10g SAR (W/Kg)	1g SAR (W/Kg)	10g SAR (W/Kg)
835 MHz	9.56	6.22	(0.969) 9.69	(0.622) 6.22
1900 MHz	39.7	20.5	(4.066) 40.66	(2.135) 21.35
2450 MHz	52.4	24.0	(5.135) 51.35	(2.300) 23.0

Tabla 3.28 Comparación de la validación en el Laboratorio de la ARCOTEL con los valores objetivo para líquido de cuerpo. Los valores en paréntesis están dados para una potencia de 20 dBm

En el caso de obtener una ventana de error que indique que hay una variación de potencia mayor al 5% (Véase Figura 3.265), al realizar la validación del sistema, se debe revisar y asegurar que efectivamente se esté alimentando al dipolo con 20 dBm para lo cual realizar el procedimiento descrito a continuación.

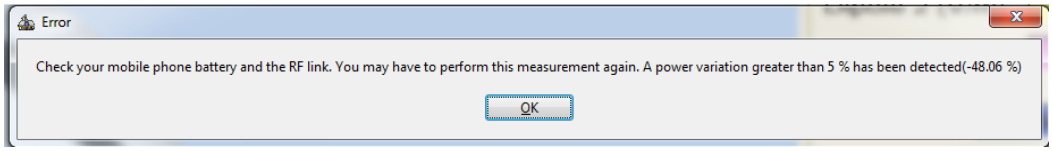


Figura 3.265 Mensaje de error que indica una variación de potencia mayor al 5%

1. Apagar el amplificador para lo cual presionar en el amplificador el botón "*Local*" (Véase Figura 3.266) y después "RF *On/Off*". La luz led apagada indica que el amplificador se encuentra apagado (Véase Figura 3.267).

Figura 3.266 Botón "Local" del amplificador

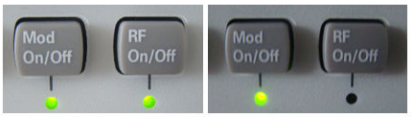


Figura 3.267 Amplificador de RF prendido y apagado

2. Desconectar el cable de RF del dipolo y conectarlo al medidor de potencia como se muestra en la Figura 3.268. Prender el medidor de potencia presionando la tecla "*ON/OFF*" y configurar el valor de frecuencia con los botones indicados en la Figura 3.269.

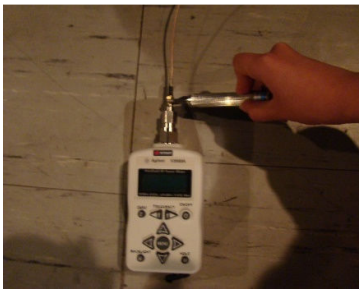


Figura 3.268 Conexión del cable de RF con el medidor de potencia

Figura 3.269 Botón de encendido / apagado y botón de configuración de frecuencia

3. Establecer la configuración para el generador de RF de acuerdo a lo explicado en los pasos 7 y 8 de la sección 3.12.4; una vez culminado estos pasos revisar el valor mostrado en el medidor de potencia tal como se indica en la Figura 3.270.

Figura 3.270 Valor de potencia que alimenta inicialmente al dipolo

4. El valor que debería ingresar al dipolo es 20 dBm por lo cual se debe compensar en el amplificador de manera manual hasta obtener dicho valor de la siguiente manera.

   Presionar la tecla "*Local*" y después "*AMPTD*" (Véase Figura 3.271) del amplificador con lo cual aparece la pantalla mostrada en la Figura 3.272. Seleccionar "*Atten/ALC Control*" e ingresar un valor que compense la potencia con el teclado indicado en la Figura 3.273; finalmente escoger dBm de las opciones mostradas en la Figura 3.274.

Figura 3.271 Tecla para introducir *offset*

Figura 3.272 Control de atenuación

Figura 3.273 Teclado para compensar la potencia

Figura 3.274 Unidades de potencia introducidas en la compensación

Revisar nuevamente la pantalla del medidor de potencia, ésta debe mostrar 20 dBm como se muestra en la Figura 3.275.

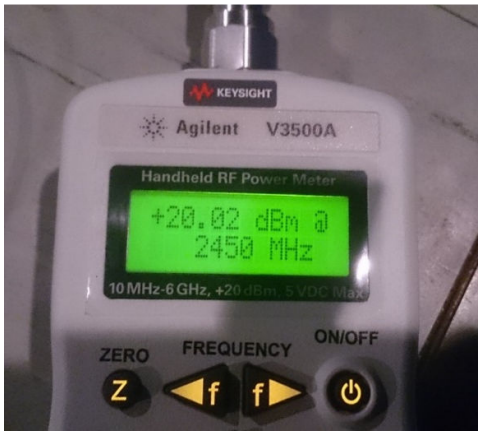


Figura 3.275 Valor final de potencia compensado

Apagar el amplificador y conectar el cable de RF al dipolo, continuar con el paso 9 y 10 de la sección 3.12.4; es importante recordar que el amplificador debe estar encendido durante el proceso de validación para obtener el SAR para la comparación con el valor objetivo de acuerdo a la frecuencia probada.

Una vez concluida la medición de manera satisfactoria se debe apagar el amplificador y desconectar el cable de RF del dipolo.

3.12.5 POSICIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO BAJO PRUEBA

El objetivo de este procedimiento es indicar la correcta colocación de los dispositivos sujetos a prueba según lo establecido en los procedimientos internacionales para la medición de SAR en cabeza y cuerpo.

3.12.5.1 Posicionamiento en el fantoma de cabeza

1. La punta de ubicación debe ser colocada sobre el soporte de posicionamiento. Para verificar si la punta se encuentra en el lugar correcto se debe hacer que ésta oscile mientras mantiene su contacto con el punto de referencia del oído del fantoma como se puede visualizar en la Figura 3.276.

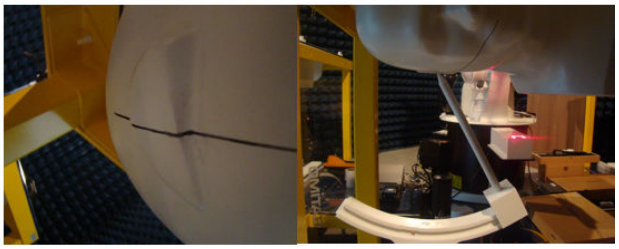


Figura 3.276 Colocación de la punta en el fantoma

Figura 3.277 Colocación de la parte superior del soporte [30]

Retirar la punta de ubicación y colocar la parte superior del soporte de posicionamiento, después situar el DUT como se muestra en la Figura 3.277. Se debe utilizar los tornillos para ajustar y asegurar el dispositivo.

Elevar verticalmente el soporte hasta que el dispositivo inalámbrico se encuentre en contacto con el oído del fantoma utilizando los tornillos dispuestos

como se muestra en la Figura 3.278. De la misma manera hay tornillos que permiten mover todo el soporte según la posición que se necesite.

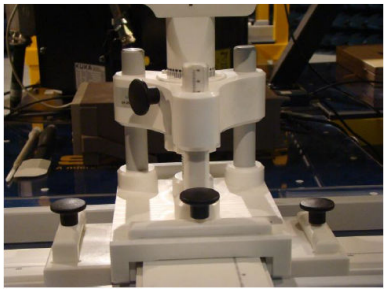


Figura 3.278 Parte inferior del soporte utilizado en el laboratorio

De acuerdo a las recomendaciones indicadas en la norma existen dos posiciones para el DUT en el fantoma de cabeza como se muestra en la Figura 3.279.

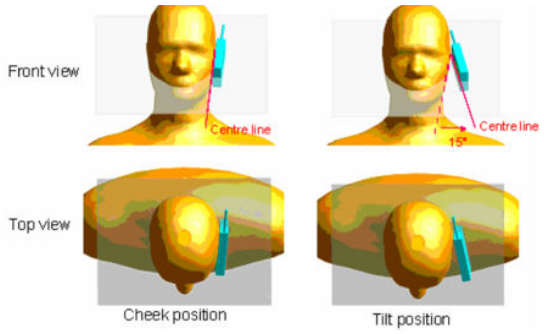


Figura 3.279 Posiciones para la cabeza [25]

- **Posición *Cheek*:** Requiere dos puntos de contacto, uno en la mejilla y otro en el oído. Se debe tener en cuenta que el auricular debe estar alineado con el punto de referencia indicado en la Figura 3.314, de la misma manera el DUT debe quedar en la mitad de la línea de la boca del fantoma. En la Figura 3.280 se muestra la posición *cheek* en el lado derecho mientras en la Figura 3.281 se indica la posición *cheek* en el lado izquierdo.

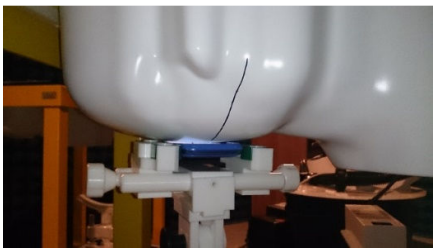


Figura 3.280 Posición *right head cheek*

Figura 3.281 Posición *left head cheek*

- **Posición *Tilt*:** Forma un ángulo de 15° entre el oído del fantoma y el dispositivo inalámbrico como se muestra en las Figuras 3.282 y 3.283.
  Para obtener esta posición de manera sencilla se puede desplazar el soporte para móviles de la misma manera como se lo hizo con la punta de ubicación, manteniendo el contacto con el punto de referencia del oído en el fantoma.

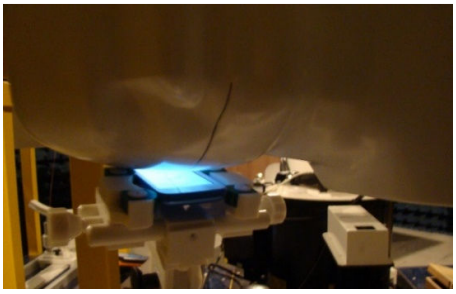


Figura 3.282 Posición *right head tilt*

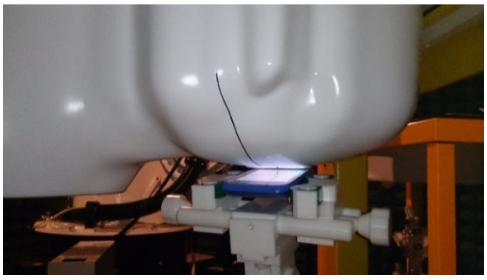


Figura 3.283 Posición *left head tilt*

3.12.5.2 Posicionamiento en el fantoma de cuerpo [72 y 79]

El dispositivo utiliza *hotspot*[72] y de acuerdo a la recomendación se indica que el dispositivo se debe situar a una distancia de al menos 10 mm ya que el largo y el

[72] *Hotspo*t, este modo permite dar acceso a Internet a múltiples dispositivos compatibles en un rango corto de distancia a través de una conexión celular de datos.

ancho del dispositivo son mayor o igual a 9 cm y 5 cm respectivamente según se indica en la Figura 3.284.

De la misma manera se especifica que el SAR debe ser medido para todos los lados y superficies en las que la ubicación de la antena se encuentre dentro de 25 mm de la superficie o el lado, para los modos de datos, tecnología *wireless* y bandas de frecuencia que soporta el modo *hotspot*.

Figura 3.284 Dimensiones del celular

Cuando el factor de forma es menor que 9 cm x 5 cm se puede utilizar una distancia de 5 mm o menos.

También es importante indicar que si el fabricante del dispositivo indica una distancia de separación entre el dispositivo y el fantoma, ésta debe tomarse en cuenta para la medición de SAR.

Cuando la distancia de separación requerida para las pruebas en el cuerpo es mayor o igual a la del modo *hotspot*, utilizando la misma configuración de prueba para voz y datos en WCDMA, LTE y Wi-Fi, y para la misma superficie del teléfono, el SAR en modo *hotspot* puede ser utilizado para soportar el cumplimiento de SAR en cuerpo para esa configuración en particular (superficie).

- **Posición *Front*:** La pantalla del dispositivo debe estar colocada frente a la superficie del fantoma a una distancia de 10 mm para la medición de SAR. La Figura 3.285 indica lo mencionado anteriormente.
- **Posición *Back*:** La parte posterior del DUT debe estar colocada frente a la superficie del fantoma a una distancia de 10 mm para la ejecución de la prueba como se muestra en la Figura 3.286.

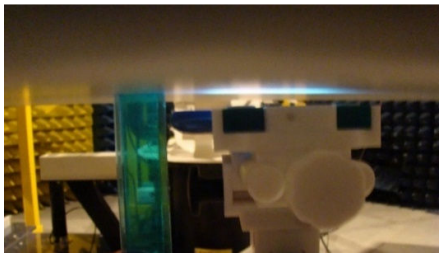


Figura 3.285 Posición *front*

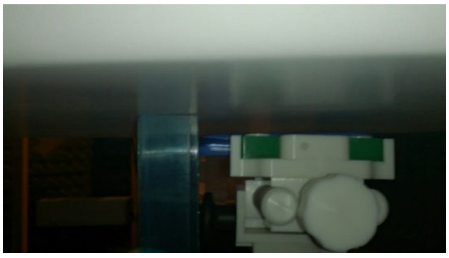


Figura 3.286 Posición *back*

- **Posición *Right*:** El lado derecho del dispositivo debe ser colocado frente a la superficie del fantoma manteniendo la misma distancia de 10 mm entre los dos. Para observar lo dicho véase Figura 3.287.

Figura 3.287 Posición *right*

- **Posición *Left*:** De la misma manera debe colocarse el dispositivo con el lado izquierdo paralelo a la superficie del fantoma con una distancia de separación de 10 mm (Véase la Figura 3.288).

Figura 3.288 Posición *left*

- **Posición *Bottom*:** La parte inferior del dispositivo debe estar frente al fantoma con una distancia de separación de 10 mm como se muestra en la Figura 3.289.

Figura 3.289 Posición *bottom*

- **Posición *Top*:** La parte superior del dispositivo debe estar frente al fantoma con una distancia de separación de 10 mm como se muestra en la Figura 3.290.

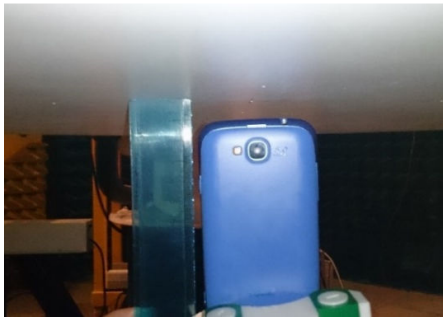


Figura 3.290 Posición *top*

3.12.6 MEDICIÓN DE SAR

El procedimiento tiene como objetivo medir la tasa de absorción específica en el celular marca: Yezz y modelo: A3.5 en las bandas de 850 MHz, 1900 MHz y 2.4 GHz.

1. Se realiza la inicialización del sistema según el procedimiento indicado en la sección 3.12.1.

   Para iniciar se escoge un nombre para el proyecto. Una vez terminado con este procedimiento se debe tener en la pantalla lo que se muestra en la Figura 3.291.

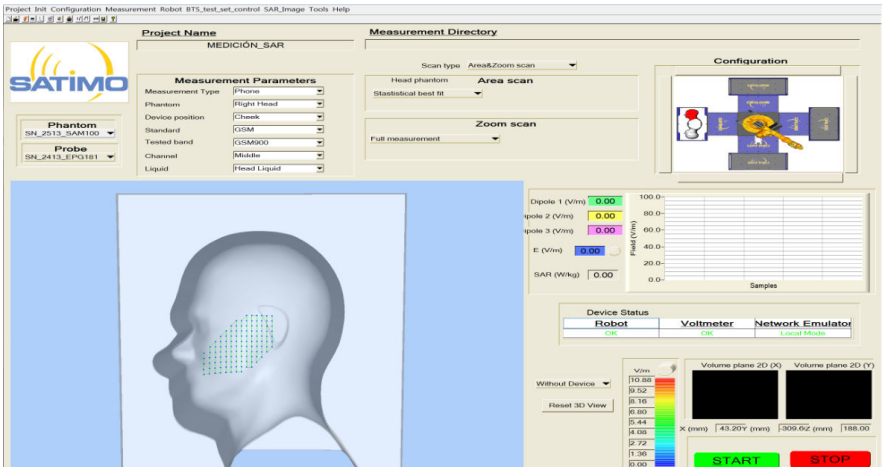


Figura 3.291 Inicialización del sistema

2. Se prosigue con la medición de líquidos para la frecuencia indicada, y el tipo de líquido (cabeza o cuerpo) según los pasos que se indican en el procedimiento del punto 3.12.2 anteriormente citado y se coloca los líquidos en los fantomas de acuerdo a lo indicado en el punto 3.12.3.

3. Para realizar la validación del sistema se debe tener en cuenta el procedimiento explicado en el punto 3.12.4 de acuerdo a la banda de frecuencia asignada y al tipo de líquido con el que se va a realizar la medición.

4. La colocación del dispositivo bajo prueba debe ser seguida según el procedimiento descrito en el punto 3.12.5.

5. Para realizar la medición se debe configurar en el *software* OPENSAR los parámetros de medición según el tipo de prueba. La recomendación citada por la IEEE define dos posiciones para cabeza: *cheek* y *tilt* en los lados derecho e izquierdo y los procedimientos internacionales mencionan para cuerpo las posiciones: *front*, *back*, *right*, *left*, *bottom* y *top*.

   En este caso como se desea realizar una medición de SAR sobre el DUT se debe escoger "*Phone*" de las opciones indicadas en la Figura 3.244.

   Se debe escoger el lado del fantoma de cabeza en el que se desea realizar la prueba ya sea derecho o izquierdo. Las opciones "*Right Head*" y "*Left Head*" se indican en la Figura 3.245. Se debe tener en cuenta la Figura 3.16 para escoger correctamente el lado del fantoma correspondiente.

En “*Device position*” se debe escoger la posición de prueba. Las opciones “*Cheek*” o “*Tilt*” se indican en la Figura 3.246. Cuando se utilice el fantoma plano para realizar las mediciones en el cuerpo el campo “*Device position*” debe indicar “*Body*”.

En el campo “*Standard*” mostrado en la Figura 3.247 se debe escoger el tipo de señal generada. Para el caso de voz en segunda generación se escoge el estándar GSM. Para medir el SAR en dispositivos de tercera generación se debe escoger “WCDMA” y para medir WiFi en el estándar IEEE 802.11 tipo b se debe escoger “IEEE 802.b”. Para la medición de datos GPRS se debe seleccionar como estándar “*CUSTOM*” ya que la banda no viene previamente cargada por el fabricante.

Para configurar la banda de medición en tecnología GPRS se debe revisar el punto 3.12.6.1 indicado más adelante.

El siguiente campo es “*Tested band*” e indica la banda de frecuencia de operación, se escoge alguna de las dos bandas operativas en el país ya sea 850 MHz o 1900 MHz. La banda va acompañada de la tecnología como se muestra en las Figuras 3.292. De acuerdo a la frecuencia este campo debe ser editado.

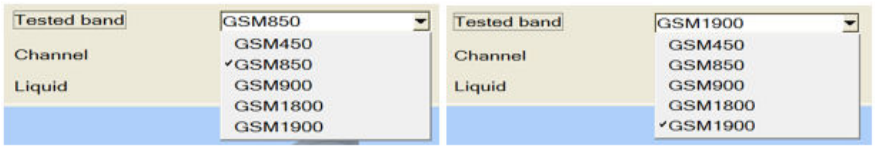


Figura 3.292 Banda de operación GSM 850 MHz y 1900 MHz

En “*Channel*” de la Figura 3.293 se debe escoger el canal en el que se va a realizar la medición. La norma indica que se debe ejecutar la prueba en los tres canales: bajo, medio y alto, pero se pueden hacer excepciones para lo cual revisar las secciones 3.6.1 y 3.7.2.

También se puede establecer una medición simultánea en los tres canales como se visualiza en la Figura 3.293 pero es mandatorio que la radio base se encuentre conectada en modo remoto. Para mayor información revisar el punto 3.12.6.2.2.

Para este caso se escoge el canal central o el canal de mayor potencia lo cual es válido para reducir el número de pruebas.

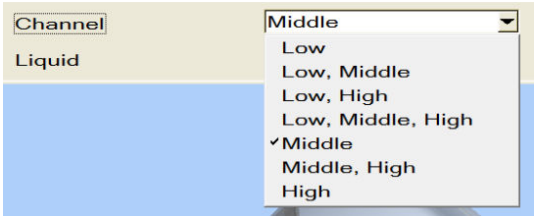


Figura 3.293 Opciones de los canales en el *software*

En "*Liquid*" se debe escoger el tipo de líquido que se va a utilizar en la simulación ya sea líquido de cabeza o de cuerpo. Las opciones posibles se muestran en la Figura 3.250.

Para seguir con el procedimiento es importante también introducir las dimensiones del dispositivo bajo prueba, para mayor información revisar el punto 3.12.6.3.

En la pantalla principal en la parte de "*Area scan*" se debe seleccionar la opción "*User-defined*" (Véase Figura 3.294).

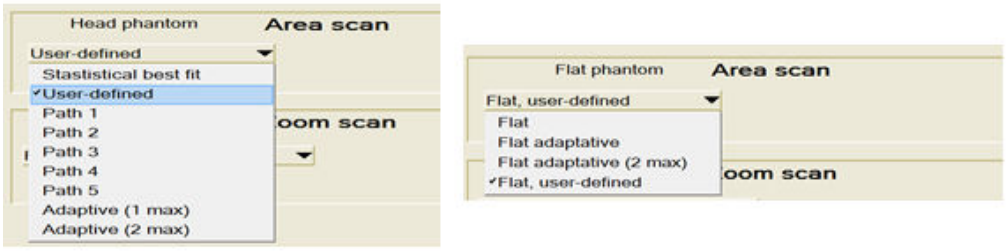


Figura 3.294 Usuario definido

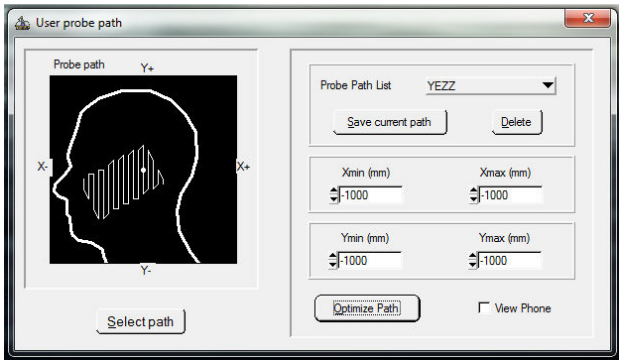


Figura 3.295 Optimizar y seleccionar el *path* para la prueba en la posición de cabeza

Se abre una ventana tal como se muestra en la Figura 3.295 ya sea para cabeza o cuerpo en la cual se debe primero seleccionar la opción "*Optimize path*" y después "*Select path*".

En las Figuras 3.296 y 3.297 se puede observar el antes y después de esta configuración para los fantomas de cabeza y cuerpo.

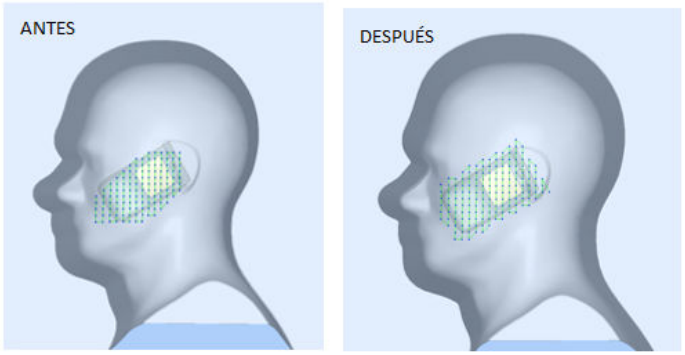


Figura 3.296 *Path* optimizado en el fantoma de cabeza

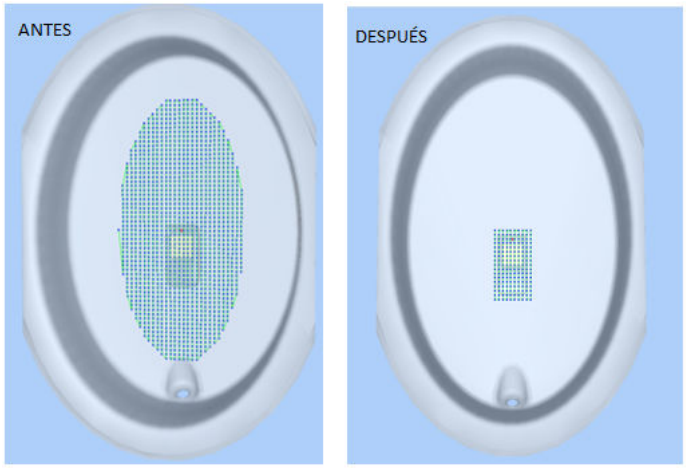


Figura 3.297 *Path* optimizado en el fantoma de cuerpo

En la pantalla principal en la parte de "*Zoom Scan*" (Véase Figura 3.252) se debe escoger "*Full measurement*". Esta opción puede medir entre 225 y 343 puntos dependiendo la resolución del *zoom scan*. Esta opción es la más completa y se la debe usar en la ejecución de una medición.

El *software* OPENSAR también permite escoger los pasos del *zoom scan* y éstos son determinados a partir de la frecuencia en la que se va a realizar la medición.

Las tres primeras resoluciones mostradas en la Figura 3.298 brindan una precision muy similar en la medición. Por lo cual se recomienda escoger una resolución de 8 x 8 x 5 mm para disminuir el tiempo de medición. La última resolución debe ser utilizada en mediciones a partir de los 6 GHz.

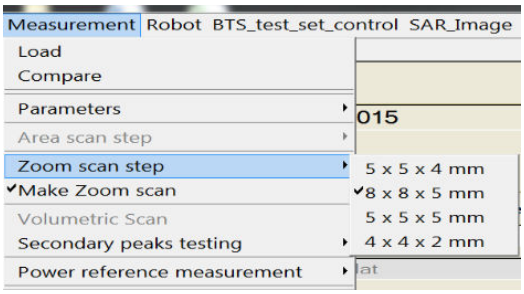


Figura 3.298 Pasos de *zoom scan*

Para iniciar la medición se debe dar clic sobre el botón "*START*" de la pantalla principal del *software* como se muestra en la Figura 3.259, con lo cual el programa da la posibilidad de ingresar un comentario y una etiqueta como se muestra en la Figura 3.260.

Inmediatamente después se indica una de las ventanas que se muestran en la Figura 3.299 que pregunta si se está seguro que la sonda se encuentra en la posición correcta para la medición. Solamente una vez seguro de que todo el proceso esté correcto dar clic en "*YES*".

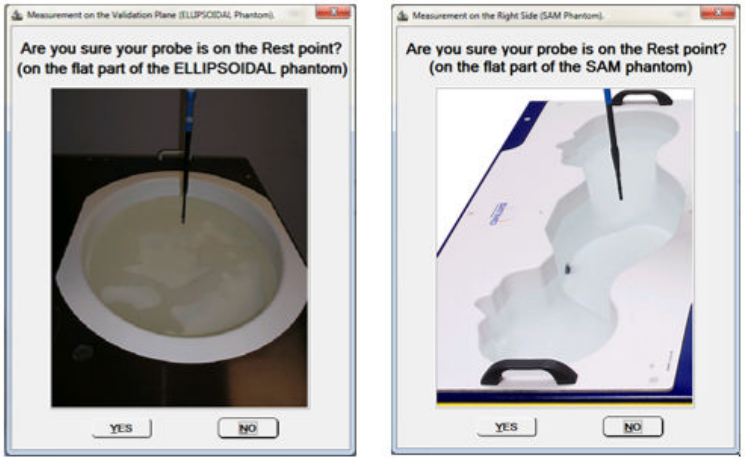


Figura 3.299 Confirmación de la sonda para iniciar la medición de SAR

En la Figura 3.300 se puede visualizar cómo el robot mide el SAR en el fantoma de cabeza y cuerpo.

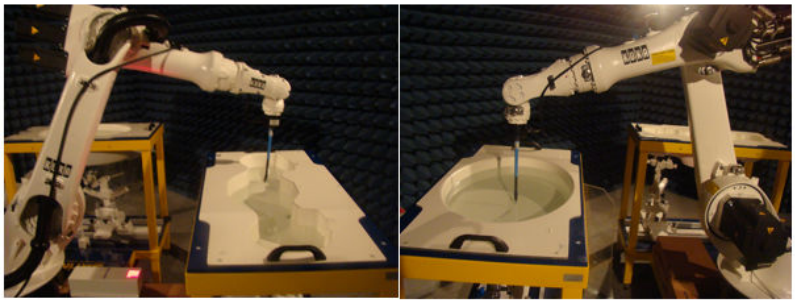


Figura 3.300 Medición de SAR en el fantoma de cabeza y cuerpo

Al finalizar la medición el *software* OPENSAR de manera automática indica si la medición es válida mediante la Figura 3.301, la cual se basa en que el valor absoluto de la variación de potencia sea menor que 5% según lo indica la norma.

El *software* también permite generar un reporte después de la medición de SAR. Para lograr lo expuesto se debe seleccionar la opción "*Report*" en el menú "*Tools*" como se indica en la Figura 3.255. Se puede escoger el formato del reporte. En este caso se coloca "*WORD*".

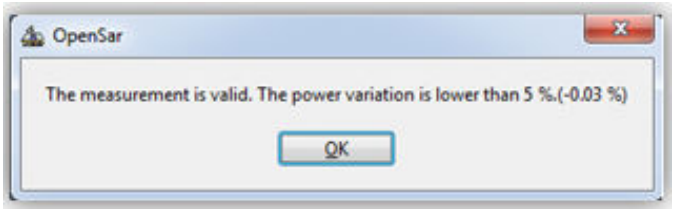


Figura 3.301 Variación de potencia menor al 5%

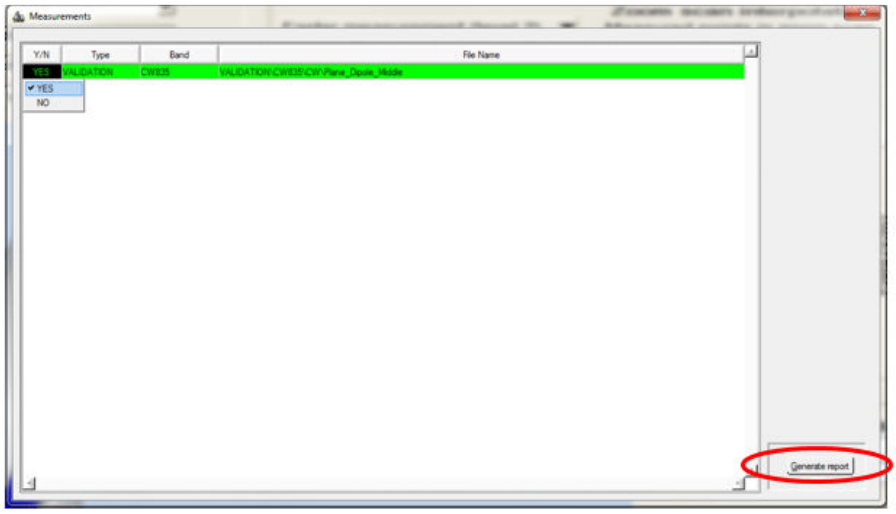


Figura 3.302 Mediciones a incluir en el reporte

A continuación se abre una ventana como se muestra en la Figura 3.302. Para escoger cuáles mediciones se incluyen en la parte izquierda de la ventana se debe dar clic sobre la palabra "*NO*" y escoger "*YES*". Una vez escogidas todas las mediciones se debe dar clic en "*Generate Report*" con lo cual aparece la ventana que se muestra en la Figura 3.303 en la cual se debe escribir el nombre del reporte.

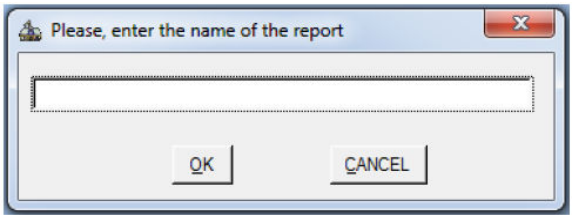


Figura 3.303 Nombre del reporte

Los reportes se guardan automáticamente en la partición "C" del disco de la computadora en la carpeta "OpenSar_V4" dentro de la carpeta "*meas*" en la cual se encuentra la carpeta del nombre del proyecto colocado al iniciar el *software* la primera vez. Al abrir esta carpeta se encuentran todos los archivos referentes a la medición realizada.

3.12.6.1 Configuración de una nueva banda

El usuario puede definir su propia banda de medición de SAR, para esto debe seleccionar la opción "*Custom Band*" del menú "*Tools*" de la Figura 3.255.

En las ventanas de la Figuras 3.304 y 3.305 se deben incluir los parámetros para definir la banda. Luego presionar "*ADD*" y "*OK*".

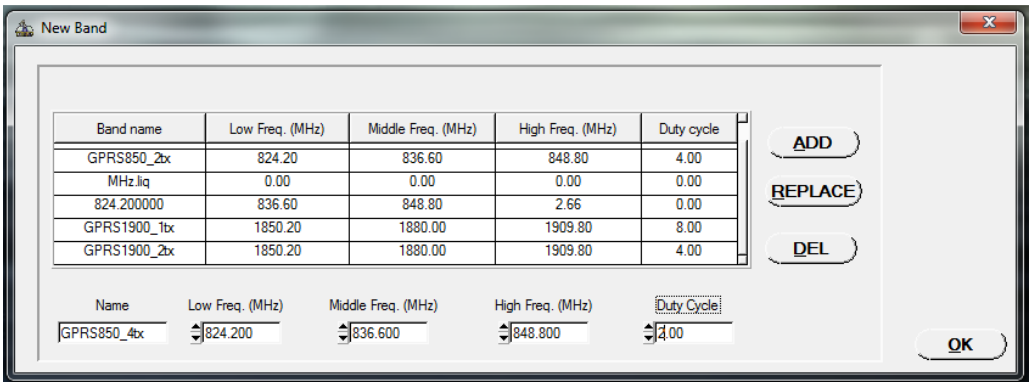


Figura 3.304 Parámetros para definir la banda GPRS 850 MHz

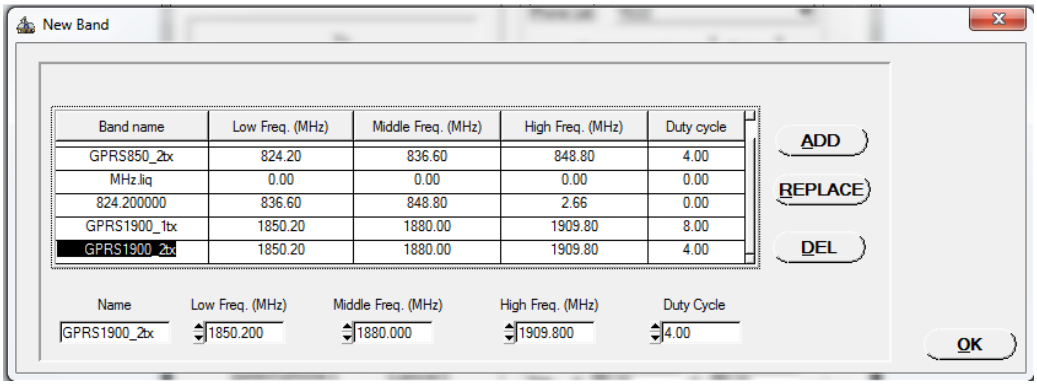


Figura 3.305 Parámetros para definir la banda GPRS 1900 MHz

Para crear el archivo de esa banda de medición se debe tener en cuenta el número de serie de la sonda con la que se está midiendo y con este dato se debe abrir en la partición “C” del disco la carpeta “OpenSar_V4” como en la Figura 3.306.

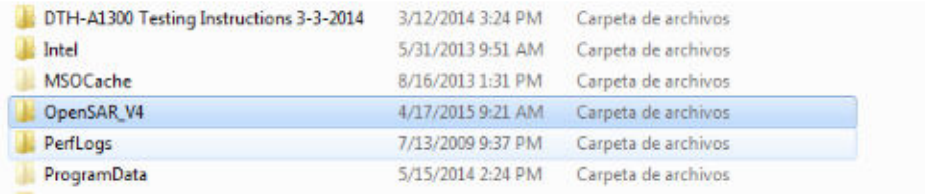


Figura 3.306 Carpeta OpenSAR_V4 en la computadora

Dentro de esa carpeta se encuentra la carpeta “*Probe*” la cual contiene los números de serie de las sondas del sistema de SAR, escoger la carpeta de la sonda que coincida con la utilizada en la medición como se observa en la Figura 3.307.

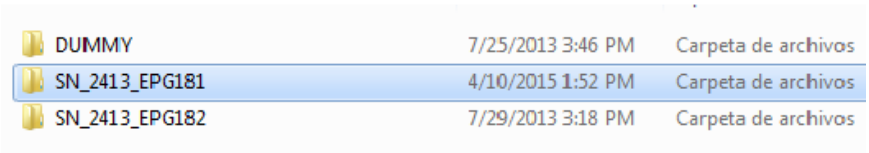


Figura 3.307 Carpeta de la sonda utilizada en la medición

Dentro de la carpeta copiar uno de los archivos que contenga el nombre de la frecuencia que se requiere en la medición y cambiar ese nombre tal como en la Figura 3.308.

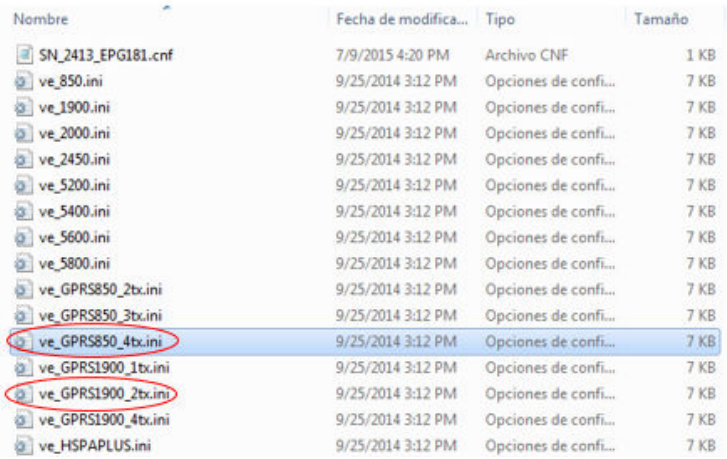


Figura 3.308 Archivos creados para las bandas GPRS 850 MHz y 1900 MHz

Para medir el SAR cuando se crea una nueva banda el emulador de red debe estar configurado en modo local para lo cual revisar el punto 3.12.6.2.1.

3.12.6.2 Conexión del simulador de radio base

Para simular una conexión de voz o datos es necesario utilizar un simulador de radio base. En el laboratorio se cuenta con el equipo 8960 el cual puede ser activado en modo local y en modo remoto desde el *software* OPENSAR según sean las necesidades de la prueba.

3.12.6.2.1 Modo local

En el *software* OPENSAR el estado del simulador por *default* se encuentra en modo local como se muestra en la Figura 3.169.

Para conectar el DUT en una llamada o una transmisión de datos de manera local se puede hacer de dos formas:

1. Una vez posicionado el equipo se procede a realizar la conexión de voz desde el emulador de red para después contestar la llamada desde el dispositivo dentro de la cámara semi-anecoica.

2. La segunda forma de conexión se establece mediante una llamada desde el dispositivo móvil dentro de la cámara marcando en éste por lo menos tres dígitos. Una vez establecida la conexión se puede observar también en el simulador de radio base que el DUT se encuentra conectado.

3.12.6.2.2 Modo remoto

Para realizar las mediciones en los tres canales se debe activar el simulador en modo remoto ya que en el proceso de medición se realiza *handover* para medir el SAR en los tres canales sin que un usuario externo realice dichas configuraciones.

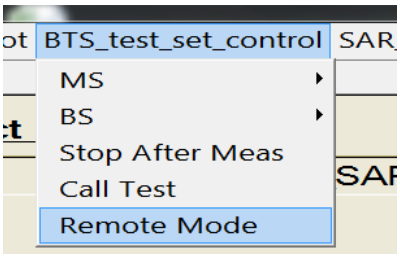


Figura 3.309 Menú "*BTS_test_set_control*" del *software* OPENSAR

a) Para activar el simulador de red en modo remoto se debe seleccionar en el menú "*BTS_test_set_control*" de la Figura 3.309 la opción "*Remote Mode*".

Se puede observar en la Figura 3.310 que culminado este paso el "*Network Emulator*" pasa a estado "*FAIL*".

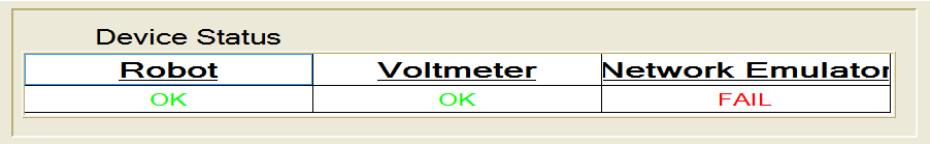


Figura 3.310 Emulador de red en estado "*FAIL*"

b) Para activarlo se debe ir al menú "*Init*" y escoger "*Network Emulator*" como se muestra en la Figura 3.311.

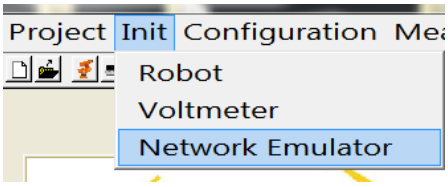


Figura 3.311 Inicializar el emulador de red por *software*

A manera de ejemplo en la Figura 3.312 se puede apreciar que el emulador de red se configura según la banda y la tecnología que se indica en el *software*.

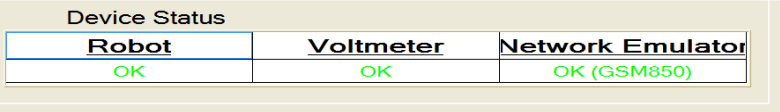


Figura 3.312 Emulador de red GSM 850 MHz

c) Para configurar que la llamada finalice apenas se culmine con la medición de SAR se puede activar en el menú "*BTS_test_set_control*" (Véase Figura 3.309) la opción "*Stop After Meas*". De la misma manera para establecer la llamada desde el *software* de manera remota se debe escoger la opción "BS" y presionar "*Call*".

Inmediatamente el equipo timbra y para que el equipo se conecte con la radio base se debe contestar la llamada desde el DUT que se encuentra dentro de la cámara semi-anecoica. En el simulador de red se puede constatar que el equipo se encuentra conectado como en la Figura 3.95.

3.12.6.3 Dimensiones del dispositivo

El *software* OPENSAR también permite introducir las dimensiones del dispositivo bajo prueba para de esta manera optimizar la huella de radiación del dispositivo.

a) Para introducir estas dimensiones se debe seleccionar en el menú "*Tools*" de la Figura 3.255 la opción "*Phone Representation*" la cual despliega a su vez dos opciones: "*Basic Phone*" y "*Load from file*", para este caso escoger "*Basic Phone*".

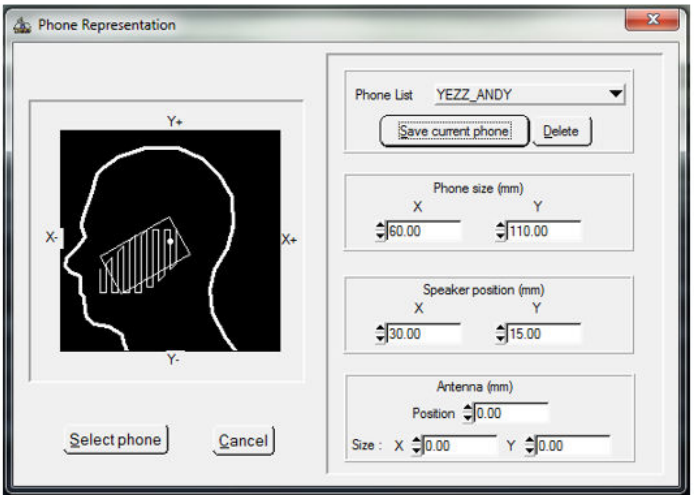


Figura 3.313 Representación del teléfono en el fantoma de cabeza

b) Aparece la ventana que se muestra en la Figura 3.313, aquí se configuran las dimensiones del dispositivo bajo prueba, la posición del auricular de acuerdo al punto ERP (*Ear Reference Point*) mostrado en la Figura 3.314, la posición de la antena si ésta se encuentra externa. Finalizado este procedimiento se puede guardar la configuración con un nombre presionando "*Save current phone*" con lo cual se abre la ventana mostrada en la Figura 3.315 donde se introduce un nombre, presionar "*OK*". Finalmente dar clic en "*Select phone*". El mismo procedimiento debe ser realizado para el fantoma de cuerpo.

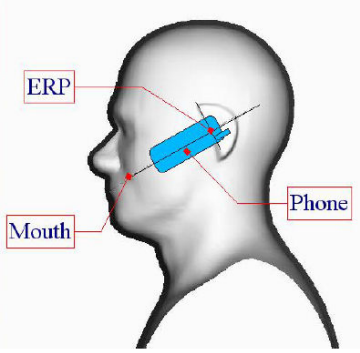


Figura 3.314 Posicionamiento del dispositivo [25]

Figura 3.315 Nombre del dispositivo

3.12.6.4 *Volumetric scan*

El *volumetric scan* consiste en el escaneo de un área específica la cual puede ser definida por el usuario. Básicamente el área debe cubrir el área del teléfono.

Este tipo de *scan* es útil para múltiples mediciones de SAR. De hecho es posible con el OPENSAR agregar punto a punto varias mediciones de SAR para calcular el valor de SAR combinado como se define en el estándar IEEE 1528.

Es importante tener en cuenta que el *scan* debe ser realizado con los mismos parámetros para hacer posible la combinación.

a) Para habilitar esta opción primero se debe escoger "*Volumetric scan*" en la pantalla principal del OPENSAR como se mira en la Figura 3.316, luego se debe escoger en el menú "*Measurement*" la opción "*Volumetric scan*" como se indica en la Figura 3.317.

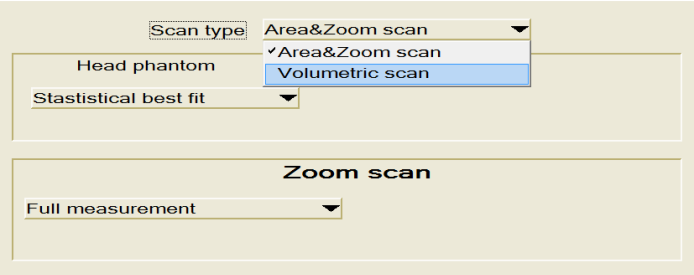


Figura 3.316 Tipo de *scan*: *volumetric scan*

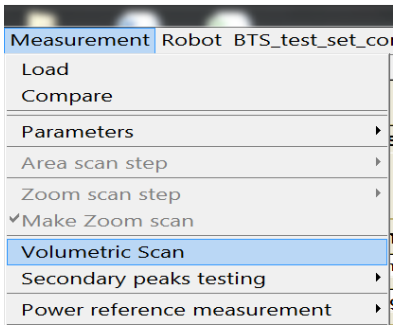


Figura 3.317 Medición *volumetric scan*

Una vez seleccionado lo anterior se abre una ventana como se muestra en la Figura 3.318.

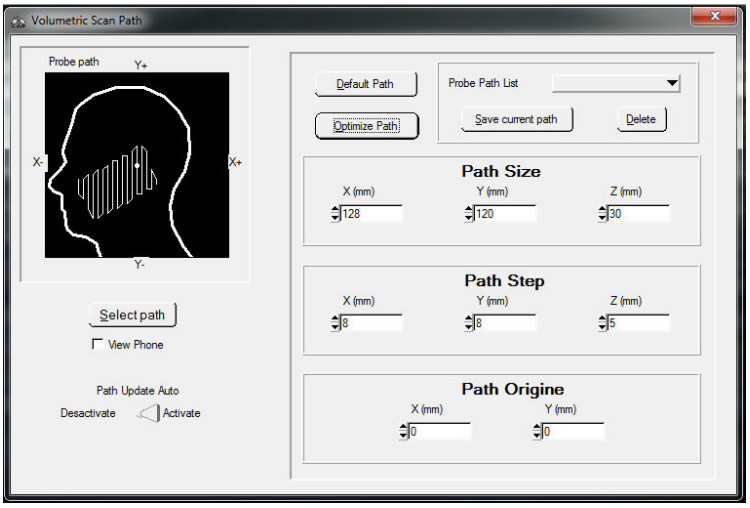


Figura 3.318 Ventana del *volumetric scan*

Hay tres caminos para configurar un *path* de escaneo:

- *Fully custom*: El usuario establece el tamaño del *path* (*x*, *y*, *z*), los pasos del *path* (*x*, *y*, *z*) y el origen del *scan* (*x*,*y*).
- *Default path*: Es un *path* predefinido almacenado en el OPENSAR. Este *path* varía de acuerdo al fantoma.
- *Optimize path*: Un teléfono debe ser configurado en el *software* para optimizar el *path*. Es posible cambiar el tamaño y los pasos del *path* en ***z*** solamente después de seleccionar un *path* optimizado.

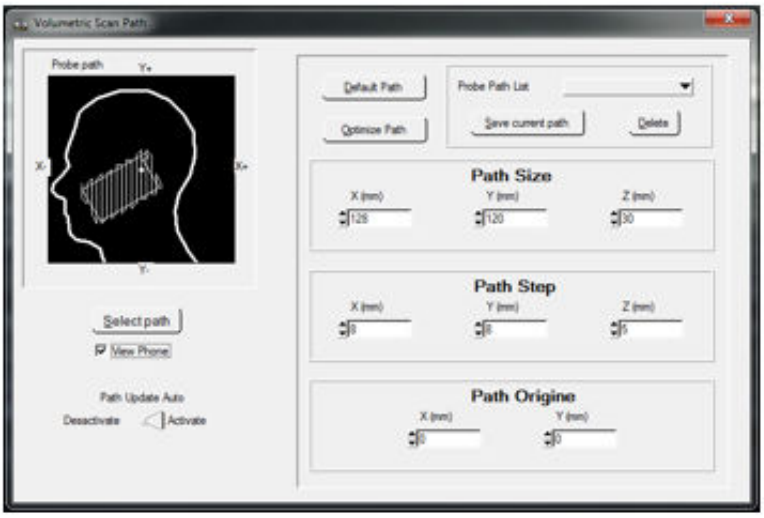


Figura 3.319 Vista del teléfono en vista 2D

El cuadro "*View phone*" de la Figura 3.319 permite mostrar el teléfono seleccionado en vista 2D. El *switch* "*Path Update Auto*" de la Figura 3.320 permite mostrar el *path* en vista 2D en tiempo real.

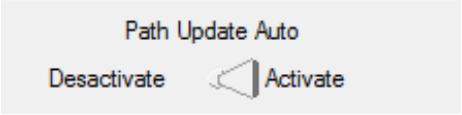


Figura 3.320 *Switch path update auto*

b) En la parte superior del panel mostrado en la Figura 3.319 se puede guardar un *path* mediante las opción "*Save current path*". Para cargar un *path* se debe seleccionar el nombre del *path* en "*Probe path list*". La opción "*Delete*" permite borrar un *path* seleccionado de la lista. Lo mencionado se muestra en la Figura 3.321.

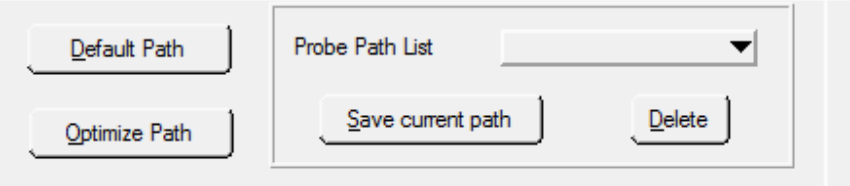


Figura 3.321 Opciones de la ventana de *volumetric scan*

c) Para seleccionar se debe escoger la opción "*Select path*" indicado en la Figura 3.322 la cual mostrará en la pantalla principal la Figura 3.323.

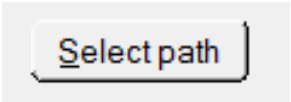


Figura 3.322 Opción seleccionar *path*.

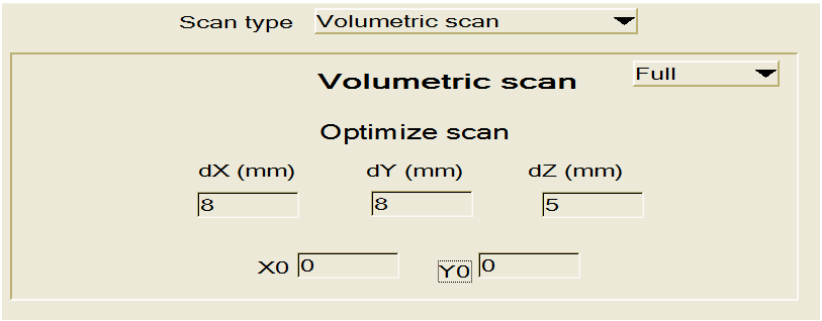


Figura 3.323 Interfaz del *volumetric scan*

3.12.6.5 SAR *Post Processing*

a) El acceso directo se visualiza en la Figura 3.324. Este permite acceder al panel de cálculo de SAR después de hacer una medición.

Figura 3.324 Acceso directo al SAR *Post Processing*

b) En la Figura 3.325 se indica la ventana que muestra el panel para el cálculo de SAR en el cual se puede seleccionar una medición y agregar punto a punto a la medición actual de SAR. Es importante recordar que el *path* de escaneo debe ser el mismo para combinar los datos de SAR.

Además también permite la combinación de múltiples mediciones de SAR. De hecho si la medición es un *volumetric scan*, el botón "*Combine"* se encuentra disponible. Presionando este botón es posible combinar varias mediciones.

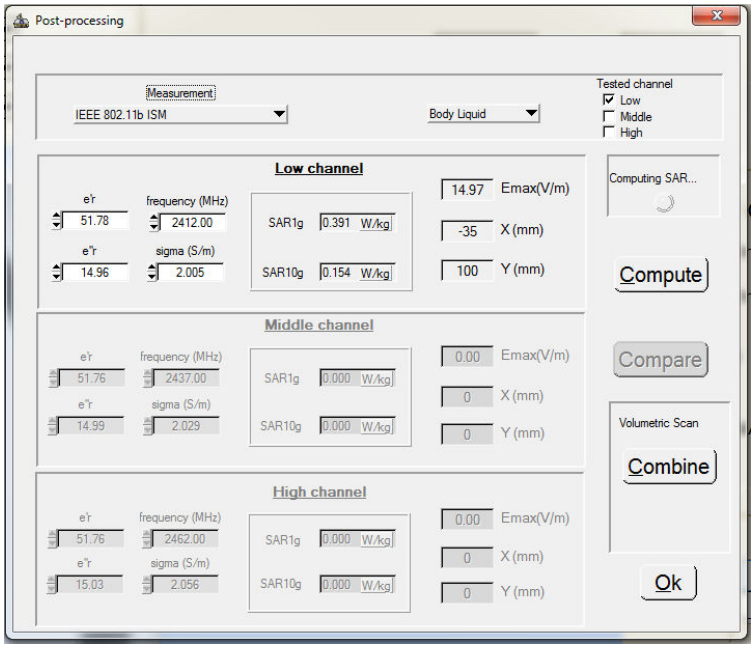


Figura 3.325 Panel para el cálculo de SAR en una medición de *volumetric scan*

c) Después de la combinación de la medición seleccionada aparece un *switch* sobre el panel como el mostrado en la Figura 3.326 que permite escoger entre el SAR combinado y el SAR normal. Si el *switch* está sobre el SAR combinado los datos del líquido no pueden ser cambiados. Presionando el botón "*Compute*" el valor de SAR será calculado y los datos serán almacenados dentro de la carpeta actual de medición.

Figura 3.326 *Switch* entre SAR combinado y SAR normal

Si el *switch* está sobre SAR normal, el *switch* desaparece y los datos del líquido llegan a estar disponibles. Presionando el botón "*Compute*" el valor de SAR actual será calculado.

3.12.6.6 Medición de SAR en WiFi

Para la medición de SAR en la tecnología WiFi se debe utilizar un *software* de pruebas (Véase Figura 3.141) que permita escoger los parámetros de configuración como estándar, canal, velocidad, ancho de banda del canal etc. (Véase Figura 3.142) en los que se desea realizar la prueba. Para acceder al modo de ingeniería del DUT se debe introducir el código *#*#3646633#*#*.

Por efectos de pruebas, la medición de SAR también fue realizada con el DUT conectado a un *router* para simular condiciones de funcionamiento normal. Se utilizó un *access point* administrable el cual permitió a través de un *software* (Véase Figura 3.327) escoger los parámetros de configuración como estándar, canal, velocidad, ancho de banda del canal etc. (Véase Figura 3.329).

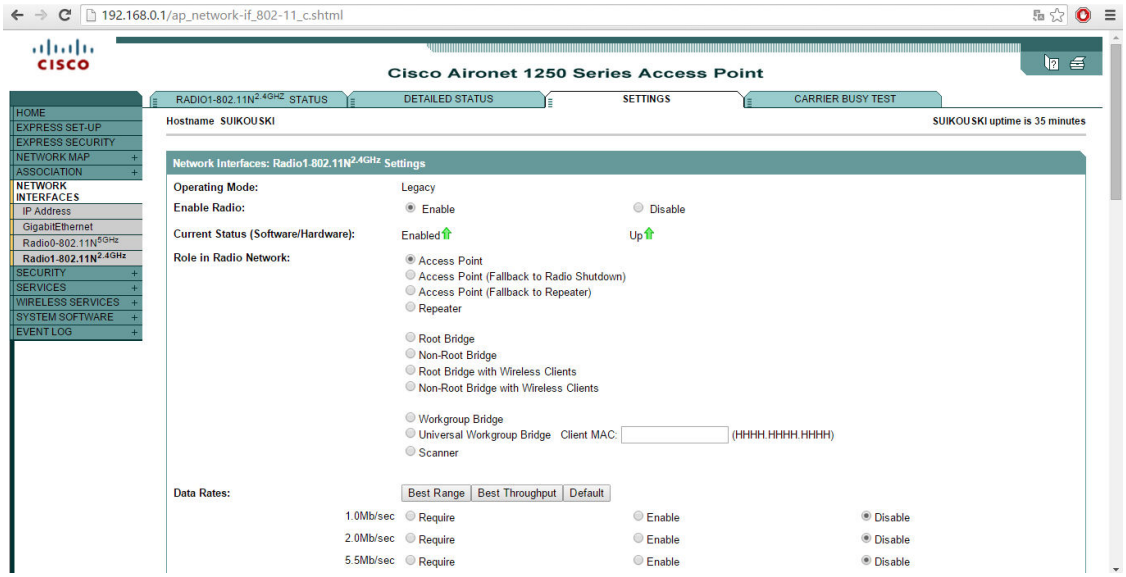


Figura 3.327 *Software* para la administración del *router*

Figura 3.328 Red "PRUEBA" configurada de acuerdo a los parámetros necesarios

Una vez configurados todos los parámetros de la red WiFi se puede acceder a la red desde el teléfono sujeto de prueba (Véase Figura 3.328). La prueba es desarrollada con el DUT conectado a la red “PRUEBA” reproduciendo un video en *YOUTUBE* de duración mayor a la de la prueba para que éste se encuentre transmitiendo continuamente.

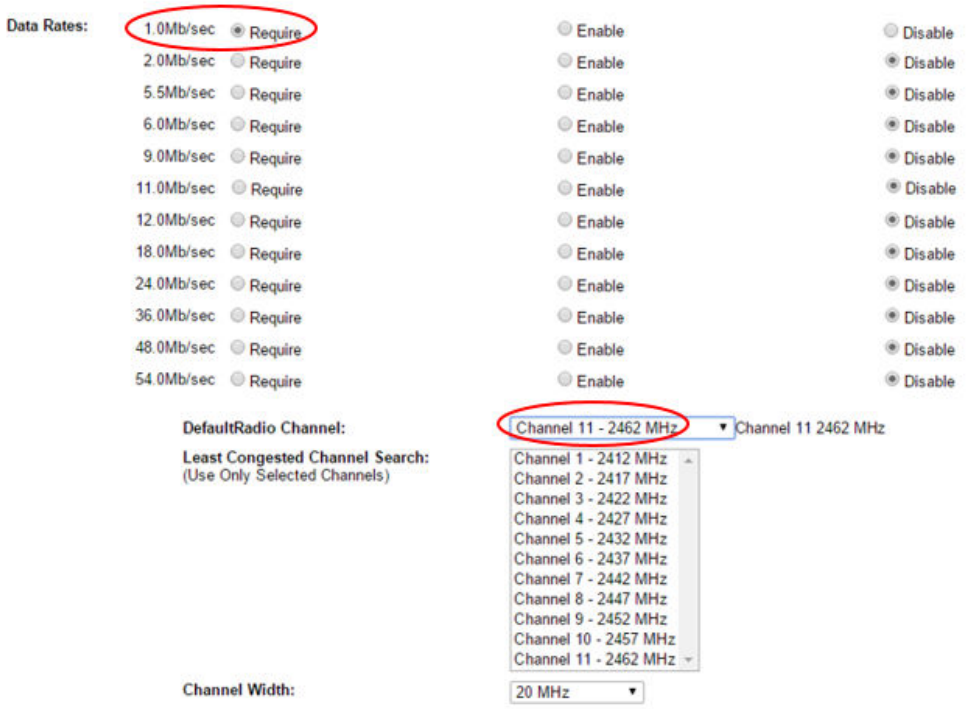


Figura 3.329 Parámetros de configuración del *router* utilizado

En la Figura 3.330 se indica el *access point* administrable utilizado en la medición de SAR.

Figura 3.330 *Access point* utilizado en la medición de SAR

3.12.7 VACIADO DE LÍQUIDO CONTENIDO EN LOS FANTOMAS

1. Ingresar al área de líquidos. Tomar el recipiente vacío del líquido colocado en el fantoma y la manguera amarilla.

2. Conectar el un extremo de la manguera en la llave del fantoma y colocar el otro extremo de ésta dentro del recipiente del líquido tal como se muestra en la Figura 3.331. Una vez seguro de dichas acciones se debe abrir la llave de desfogue situada en el fantoma.

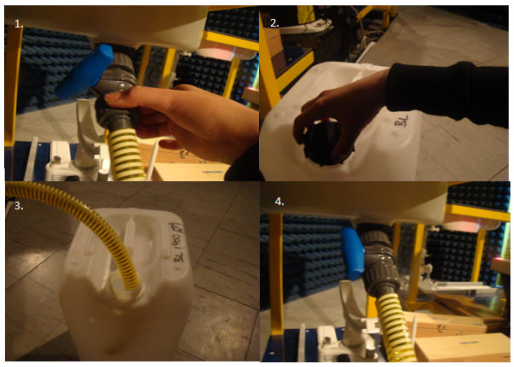


Figura 3.331 Colocación de la manguera en el fantoma

La Figura 3.332 muestra la evacuación del líquido en el fantoma de cabeza y cuerpo.

Figura 3.332 Evacuación del líquido de los fantomas de cabeza y cuerpo

3. Para remover el líquido del fantoma se puede hacer uso de la espátula a fin de que la totalidad del líquido sea evacuado a través de la manguera hacia el recipiente de recolección. Lo mencionado se puede observar en la Figura 3.333. Una vez que se ha retirado todo el líquido del fantoma se debe cerrar la llave y retirar la manguera.

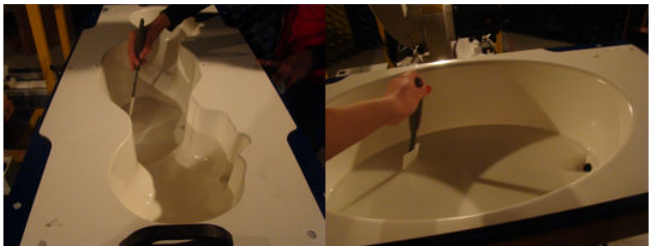


Figura 3.333 Uso de la espátula para remover el líquido

Es importante cerrar inmediatamente el recipiente del líquido que simula el tejido para evitar que cambien las propiedades dieléctricas de éste.

4. Para eliminar algún remanente de líquido dentro del fantoma éste debe ser enjuagado con agua; para cumplir con este paso primero se debe verificar que la perilla se encuentre cerrada para evitar fugas de agua. Después se debe verter agua en el fantoma utilizando el recipiente plástico disponible. La Figura 3.334 muestra dicho procedimiento para el fantoma de cabeza y de cuerpo.

Figura 3.334 Enjuague del fantoma de cabeza y cuerpo

5. Para drenar el agua contenido en el fantoma se debe colocar nuevamente un extremo de la manguera en la boquilla de desfogue del fantoma mientras el otro extremo debe ser colocado en el recipiente de plástico para recolectar el agua tal como se muestra en la Figura 3.335.

Figura 3.335 Llave abierta para desfogue de agua

Una vez cumplidas las condiciones anteriormente indicadas, se debe abrir la perilla de desfogue a fin de que el agua colocada en el fantoma sea evacuada por la manguera hacia el recipiente de plástico. Para la evacuación total del agua se puede hacer uso de la espátula. La Figura 3.336 muestra la evacuación del agua en el fantoma de cabeza y cuerpo.

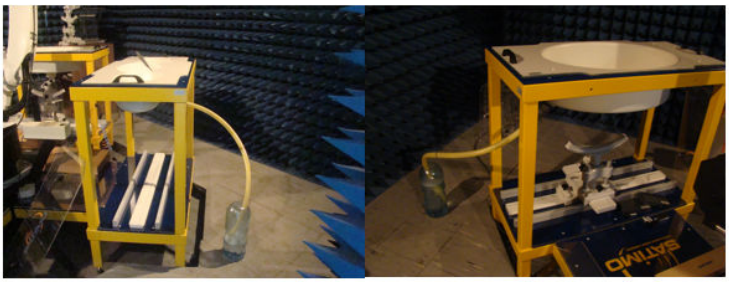


Figura 3.336 Evacuación del agua de los fantomas de cabeza y cuerpo

6. Cuando se haya recogido toda el agua en el reciente plástico, se debe cerrar la perilla de desfogue y retirar la manguera para colocarla en su lugar. Después se debe tomar el recipiente plástico y llevarlo al cuarto de líquidos para desechar el agua en el lavabo como se observa en la Figura 3.337. Después enjuagar el recipiente y colocarlo en su lugar.

Figura 3.337 Desecho del agua en el cuarto de líquidos

7. Finalmente se debe secar la superficie de los fantomas utilizando toallas de papel como se observa en la Figura 3.338.

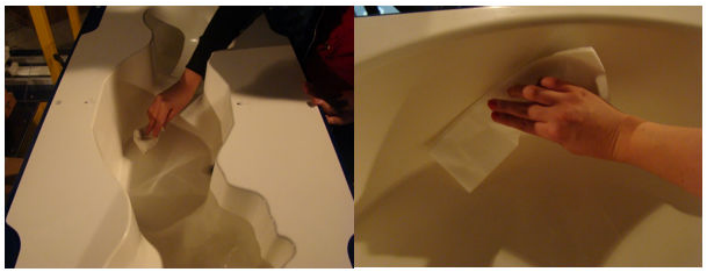


Figura 3.338 Secado de los fantomas de cabeza y cuerpo

3.12.8 ESPECIFICACIONES CONSIDERADAS EN LA MEDICIÓN DE SAR

A continuación se indican las principales consideraciones para la realización de las pruebas de SAR.

- Las mediciones de SAR deben ser desarrolladas bajo condiciones ambientales normales aptas para los equipos de prueba, típicamente entre 20-26°C y 30-70% de humedad o entre 18 y 25°C.
- La temperatura del líquido que simula el tejido durante la medición de SAR debe estar dentro de ±2°C de la temperatura a la cual el parámetro dieléctrico fue medido. Se debe evitar cambiar la temperatura del líquido en el transcurso de la configuración de la prueba, ya que los parámetros del líquido varían con la temperatura.
- Los parámetros dieléctricos deben ser verificados diariamente y tan a menudo como las condiciones ambientales lo requieran; por ejemplo cuando la temperatura del líquido cambia más de 2°C de la registrada o bajo condiciones de humedad extremadamente bajas o tasas de evaporación muy altas.
- La permitividad relativa y la conductividad del material del tejido debe estar dentro del 5% de los valores dados en el Apéndice C y 10% cuando no hay recetas precisas para ciertas frecuencias.
- El fantoma debe contener el líquido con una profundidad de 15 ± 0.5 cm.
- El dispositivo bajo prueba debe funcionar con una batería completamente cargada para cada medición de SAR.
- Es recomendable una distancia de separación de 1.5 cm entre la parte de atrás del dispositivo bajo prueba y el fantoma plano para el cumplimiento de SAR en el cuerpo. Se puede utilizar otras distancias de separación pero estas no deben exceder los 2.5 cm.
- El dispositivo debe ser probado sobre el lado derecho e izquierdo del fantoma de cabeza en las posiciones "*Cheek/Touch*" y "*Ear/Tilt*".
- Cuando sea aplicable, cada configuración debe ser probada con su antena extendida y retraída. Estas configuraciones de prueba deben ser probadas en canales de frecuencia: bajo, medio y alto para cada modo de operación.
- El líquido que simula el tejido debe ser revisado al comienzo de las mediciones de SAR para determinar si los parámetros dieléctricos están dentro de la tolerancia de los valores objetivo especificados.

- A menos de que se requiera un adaptador externo u otros cables (auriculares) para el funcionamiento del dispositivo en prueba, éstos no se deben utilizar en las mediciones de SAR.
- La validación del sistema debe realizarse antes de que el sistema de prueba sea utilizado para la medición de SAR en los dispositivos.
- Es recomendable que la desviación de potencia se encuentre dentro de $\pm$5%. Si esto no es posible, incluso con la repetición de la prueba se debe revisar las condiciones de validación del sistema.
- El líquido no debe contener ninguna burbuja de aire en el área de medición.
- Los equipos son calibrados una vez al año como parte del mantenimiento.

3.13 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE LA ARCOTEL CON LOS DE UN LABORATORIO RECONOCIDO POR LA FCC [74]

Después de revisar y analizar el reporte emitido por el Laboratorio BACL y la normativa americana, se ejecutaron las pruebas de medición de SAR en el Laboratorio de la ARCOTEL y se realizó un reporte que se incluye en el Anexo B en formato digital, el cual contiene básicamente:

- Descripción y especificaciones técnicas del dispositivo.
- Estándares y procedimientos de referencia que rigen la medición de SAR.
- Equipamiento e instrumentos utilizados en la prueba.
- Especificaciones del líquido dieléctrico.
- Validación del sistema.
- Medición de potencia conducida en el DUT.
- Configuración utilizada en las pruebas.
- Resultados de las pruebas realizadas de acuerdo a cada tecnología en las bandas de frecuencia y canales probados, colocando al dispositivo en las posiciones de prueba.
- Descripción de la trasmisión simultánea.
- Inclusión de la incertidumbre.

- Certificados de calibración de las sondas y dipolos utilizados en la medición de SAR.
- Fotografías de las posiciones de la prueba, así como del dispositivo sujeto de prueba.

Para efectos de la comparación se indica el equipamiento utilizado por el Laboratorio *Bay Area Compliance Corp*. (BACL) reconocido por la FCC. Además es importante indicar que el reporte emitido por el Laboratorio BACL puede ser descargado de la página oficial *https://www.fcc.gov/general/fcc-id-search-page,* con el siguiente FCC ID: A4JANDYA35EP.

3.13.1 EQUIPOS UTILIZADOS POR EL LABORATORIO BACL

Las mediciones fueron desarrolladas con el sistema de medición de SAR integrado universal ALSAS-10U de Laboratorios APREL mostrado en la Figura 3.339.

Figura 3.339 Sistema de medición ALSAS-10U [74]

3.13.1.1 Descripción del sistema ALSAS-10U

Se encuentra en completo cumplimiento con los requerimientos técnicos y científicos de la IEE 1528, IEC 62209, CENELEC, FCC entre otros. El sistema está compuesto de un robot de seis ejes el cual utiliza un controlador dedicado.

3.13.1.2 Sonda isotrópica de campo eléctrico

En la Tabla 3.29 se indican algunas características técnicas de la sonda isotrópica utilizada en la medición.

Método de calibración	Dependiente de la frecuencia Bajo 1 GHz Calibración en aire desarrollada en una celda TEM Sobre 1 GHz Calibración en aire desarrollada en una guía de onda
Sensibilidad	0.70 $\mu V\ (\mathrm{V/m})^2$ a 0.85 $\mu V\ (\mathrm{V/m})^2$
Rango dinámico	0.0005 W/Kg a 100 W/Kg
Respuesta isotrópica	Mejor que 0.1 dB
Punto de compresión de diodo (DCP)	Calibración para frecuencia específica
Diámetro de la punta de la sonda	< 2.9 mm
Offset del sensor	1.56 (±0.02 mm)
Tamaño de la sonda	289 mm
Ancho de banda del video	@ 500 Hz : 1 dB @1.02 KHz: 3 dB
Efecto contorno	Menor que 2.1% para distancia mayor que 0.58 mm
Resolución espacial	La incertidumbre de resolución espacial es menor que 1.5 % para diámetro de la sonda de 4.9 mm. La incertidumbre de resolución espacial es menor que 1.0% para un diámetro de la sonda de 2.5 mm.

Tabla 3.29 Características técnicas de la sonda utilizada por BACL

3.13.1.3 Robot articulado de ejes

El sistema ALSAS-10U utiliza un robot articulado de seis ejes el cual se muestra en la Figura 3.340 el cual es controlado mediante un controlador de movimiento “Pentium” basado en tiempo real.

Figura 3.340 Robot articulado de seis ejes [74]

El motor de movimiento utiliza algoritmos propietarios de interpolación y extrapolación, que permiten total libertad de movimiento de cada uno de los seis ejes. El uso de los 6 ejes juntos permite una rotación total de la sonda con una tolerancia mejor que 0.05 mm alrededor del eje central.

En la Tabla 3.30 se indican algunos parámetros técnicos del robot antes mencionado.

Fabricante del controlador del robot	Thermo CRS
Número de ejes	Seis
Repetibilidad de posicionamiento	0.05 mm
Tipo de controlador	Monofásico Pentium basado en C500C
Alcance del robot	710 mm
Comunicación	RS232 y LAN compatible

Tabla 3.30 Características técnicas del robot utilizado por BACL

3.13.1.4 Estación de trabajo ALSAS

La estación de trabajo ALSAS posibilita repetibilidad y rápida adaptabilidad, lo cual permite a los usuarios realizar la calibración, probar y medir utilizando diferentes tipos de fantomas.

3.13.1.5 Posicionador de dispositivo universal

El posicionador universal de dispositivos que se visualiza en la Figura 3.341 permite completa libertad de movimiento del DUT. Diseñado para mantener al DUT en un escenario libre de cualquier carga adicional atribuible al material utilizado en la construcción del posicionador.

Figura 3.341 Posicionador universal de dispositivos utilizado por BACL [74]

La repetibilidad ha sido mejorada a través de escalas lineales las que indican el correcto posicionamiento para cualquier clase de prueba. Se incluye un indicador de inclinación para ayudar en el posicionamiento a 15° de la posición de la mejilla para el análisis del SAR en cabeza.

3.13.1.6 Fantomas

El sistema ALSAS-10U permite la integración de múltiples tipos de fantomas los cuales cumplen con los estándares establecidos por las normas.

3.13.1.6.1 Fantoma SAM APREL

Este fantoma (Véase Figura 3.342) se encuentra en completo cumplimiento con los requerimientos de la IEEE 1528 y el Suplemento C de la FCC. Los fantomas SAM derecho e izquierdo son intercambiables y transparentes.

Figura 3.342 Fantoma SAM utilizado en el laboratorio BACL [74]

3.13.1.6.2 Fantoma universal APREL

El fantoma universal de la Figura 3.343 es utilizado por el sistema ALSAS-10U como un fantoma de validación del sistema. El diseño permite mediciones rápidas y precisas a los *handsets*.

Figura 3.343 Fantoma universal utilizado en el Laboratorio BACL [74]

3.13.2 LISTA DE EQUIPAMIENTO E INFORMACIÓN DE CALIBRACIÓN

En la Tabla 3.31 se indican los equipos utilizados por el Laboratorio BACL para la medición de SAR y las fechas de calibración de los mismos.

EQUIPAMIENTO	MODELO	FECHA DE CALIBRACIÓN	S/N
Robot CRS F3	ALS-F3	N/A	RAF0805352
Software CRS F3	ALS-F3-SW	N/A	N/A
Controlador CRS C500C	ALS-C500	N/A	RCF0805379
Sujetador de la sonda y sistema sensor de detección de efecto contorno.	ALS-PMDPS-3	N/A	120-00270
Estación de trabajo universal.	ALS-UWS	N/A	100-00157
Paquete de adquisición de datos.	ALS-DAQ-PAQ-3	2013-05-12	110-00212
Sonda miniatura de campo *E*	ALS-E-020	2012-08-08	500-00283
Dipolo de 835 MHz	ALS-D-835-S-2	2011-08-25	180-00558
Dipolo de 1900 MHz	ALS-D-1900-S-2	2011-08-25	210-00710
Espaciador del dipolo	ALS-DS-U	N/A	250-00907
Posicionador del dispositivo	ALS-H-E-SET-2	N/A	170-00510
Fantoma SAM oreja izquierda	ALS-P-SAM-L	N/A	130-00311
Fantoma SAM oreja derecha	ALS-P-SAM-R	N/A	140-00359
Fantoma Uni	ALS-P-UP-1	N/A	150-00413
Tejido simulador de cabeza 835 MHz	ALS-TS-835-H	Cada vez	270-01002
Tejido simulador de cuerpo 835 MHz	ALS-TS-835-B	Cada vez	270-02101
Tejido simulador de cabeza 1900 MHz	ALS-TS-1900-H	Cada vez	295-01103
Tejido simulador de cuerpo 1900 MHz	ALS-TS-1900-B	Cada vez	295-02102
Tejido simulador de cabeza 2450 MHz	ALS-TS-2450-H	Cada vez	290-01108
Tejido simulador de cuerpo 2450 MHz	ALS-TS-2450-B	Cada vez	290-01109
Amplificador de potencia	5S1G4	N/A	71377
Barrido sintetizado	HP 8341B	2013-05-16	2624A00116
Radio base universal	CMU 200	2012-12-06	1100.0008.02
Receptor de pruebas EMI	ESCI	2012-11.24	101120

Tabla 3.31 Equipamiento y calibración de los equipos utilizados en BACL

3.13.3 COMPARACIÓN Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE SAR EN CADA LABORATORIO

Al realizar la comparación de los resultados de SAR medidos en el Laboratorio de la ARCOTEL y los indicados en el reporte del Laboratorio BACL acreditado por

la FCC se puede observar que éstos varían, en algunos casos mínimamente y en otros la diferencia es mayor.

La variación registrada en los resultados depende de muchos factores que aunque de forma reducida influyen en el resultado total de la medición de SAR, entre ellos se encuentran: las condiciones ambientales, ya que la conductividad y permitividad del líquido varían con la temperatura, los procedimientos utilizados porque aunque sean los seguidos por la norma es inevitable introducirlos de forma mínima (por ejemplo en el posicionamiento del dispositivo). Además ninguna muestra y componente electrónico es exactamente igual a otro a pesar de que haya sido realizado por el mismo fabricante y que éste pertenezca a la misma marca y modelo. La misma razón es válida para la batería.

De la misma manera, el Laboratorio de la ARCOTEL a diferencia del Laboratorio BACL cuenta con una cámara semi-anecoica que reduce de manera considerable las interferencias.

Es importante acotar que pese a que los resultados no son iguales, éstos son válidos y comparables ya que la medición fue realizada bajo el cumplimiento de los procedimientos citados por la norma americana, además del uso del equipamiento adecuado y adaptado a los requerimientos indicados también por la norma internacional.

Dentro del proceso de medición de SAR hay parámetros que indican si los resultados son válidos por ejemplo: en el proceso de validación la variación de potencia se encuentra dentro de la tolerancia especificada del 5% y además la medición de líquidos también está dentro de la tolerancia especificada para cada frecuencia probada. Otro parámetro importante es la incertidumbre que introduce la variación de un conjunto de parámetros, la cual también se encuentra bajo el límite indicado.

Finalmente se puede acotar que ambos laboratorios coinciden en que los valores medidos no sobrepasan el límite de 1.6 W/Kg establecido por la FCC. Para mayor detalle se puede revisar el Anexo A expuesto al final de este proyecto, que indica el reporte de la comparación de resultados.

CAPÍTULO 4
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- No se debe confundir la trazabilidad con la carta de trazabilidad, ya que la última es solamente una forma de documentar la política de trazabilidad del laboratorio y más no es la evidencia de la trazabilidad.

- Un incremento en la potencia emitida puede significar una mayor absorción de energía en los tejidos; sin embargo, la reducción de potencia radiada por desajuste en el DUT también puede dar lugar a un mayor SAR, por lo cual si se determina un valor alto de SAR se deben revisar las condiciones de la prueba ya que no necesariamente implica incumplimiento.

- Al realizar las pruebas de WiFi es importante indicar que al utilizar un *software* de pruebas se está obligando al dispositivo a emitir a su máxima potencia y que transmita continuamente con un factor de trabajo alto. Ciertamente esta condición no siempre se cumple en funcionamiento normal, pero muestra el mayor valor de SAR, lo cual permite indicar que el valor real estará bajo el límite dado en las peores condiciones.

- El uso de la cámara semi-anecoica permite minimizar las interferencias externas mediante apantallamiento metálico, el cual actúa como una Jaula de Faraday, y en el interior minimiza las interferencias ya que posee material absorbente de ondas electromagnéticas, por lo que los valores de SAR obtenidos son más confiables.

- Actualmente, la ARCOTEL no realiza pruebas formales de SAR, por tanto los resultados de este proyecto servirá como una guía o base para el desarrollo de un protocolo que permitirá la medición de SAR en teléfonos celulares que trabajan con tecnologías 2G y 3G.

- La norma americana engloba y considera aspectos importantes en el proceso de medición de SAR, por lo cual sí las pruebas realizadas a los

dispositivos celulares bajo las directrices de este proyecto cumplen con los límites dados por esta norma, se puede indicar que el dispositivo es seguro y por lo tanto se puede comercializar de forma legal para su uso en las cercanías del cuerpo humano.

- Una vez culminada la prueba al terminal celular en todas sus tecnologías de funcionamiento, en los lados derecho e izquierdo del maniquí y demás posiciones indicadas en la norma americana, se determinó que en ninguna condición se ha sobrepasado el límite establecido de 1.6 W/Kg.

- Al desarrollar el proyecto se pudo notar que las mediciones de SAR son mayormente afectadas por el posicionamiento del DUT y la carga del dispositivo, por lo cual es importante chequear que estas condiciones se encuentren solventadas para iniciar con la prueba.

- El menor SAR registrado para pruebas en cabeza se encuentra en la posición *tilt,* lo cual se justifica debido a que en este caso hay menor superficie de exposición a la energía de RF que emite el dispositivo en funcionamiento. El mayor SAR registrado en la cabeza se da para la posición *cheek*, sin embargo el dispositivo no es peligroso ya que no sobrepasa el límite dictado por la norma.

- Para las pruebas desarrolladas en cuerpo se puede indicar que el resultado de la medición de SAR depende de la directividad de las antenas ubicadas al interior del DUT, por esta razón es que los valores más altos de SAR se dan cuando el dispositivo se encuentra paralelo al fantoma plano, es decir en posiciones *front* y *back* y es menor para las demás posiciones.

- Los valores de SAR obtenidos al utilizar un *software* de prueba son mayores que los obtenidos al utilizar un *router* administrable, por lo que para la condición de transmisión simultánea se utilizaron los valores más altos de SAR para asegurar el cumplimiento en las peores condiciones.

- El campo eléctrico puede variar debido a que todo equipo mantiene una diferente variación de potencia que depende de los componentes

electrónicos internos del dispositivo, el funcionamiento de la batería y su material.

- Es importante aclarar que para el desarrollo de las pruebas en este proyecto, fue necesario utilizar dos muestras (marca: YEZZ modelo: A3.5). Una muestra conducida, es decir una muestra adaptada con un cable soldado al conector de RF y otra muestra comercial la cual fue utilizada para las pruebas radiadas. Esto fue necesario debido al tipo de conector de RF del DUT. Si se realizan las pruebas radiadas a la muestra conducida se afectan las condiciones de radiación.

- Al comparar los resultados entre los dos laboratorios ARCOTEL y BACL se puede observar que a pesar de que estos valores no son iguales por condiciones ya explicadas anteriormente, los resultados coinciden en las posiciones más críticas de exposición.

- Los valores de SAR medidos en el Laboratorio de la ARCOTEL son válidos debido a que fueron realizados bajo los procedimientos y uso del equipamiento indicado por la norma americana; además durante el proceso de medición, los parámetros sí cumplieron con las tolerancias especificadas en cada etapa por ejemplo: parámetros dieléctricos, validación del sistema y variación de potencia.

- Los valores máximos de SAR reportados por el Laboratorio de la ARCOTEL para cabeza, cuerpo y transmisión simultánea son menores que los indicados por el Laboratorio BACL, lo cual se justifica por el uso de la cámara semi-anecoica que permitió el desarrollo de las pruebas en un ambiente controlado sin interferencias.

4.2 RECOMENDACIONES

- El sistema debe estar sujeto a mantenimiento y calibración cada año; ya que la medición de SAR procede de una cadena de instrumentos se debe asegurar que cada componente se encuentra trabajando satisfactoriamente para evitar errores en la medición.

- Para mantener los valores de tolerancia y asegurar la precisión de la medición, durante cada prueba se debe monitorizar las condiciones ambientales tales como la temperatura y la humedad, ya que pueden afectar a la estabilidad del funcionamiento de los equipos del laboratorio y los parámetros dieléctricos del líquido que simula el tejido.

- Al realizar la medición de líquidos, previamente se requiere revisar que el analizador de red se encuentre calibrado con el fin de compensar las pérdidas y reflexiones inherentes.

- Se recomienda que se evite la cercanía de las personas durante la medición de SAR y a su vez se utilice el sistema de video para el monitoreo de la prueba, ya que el cuerpo humano puede interferir en las condiciones de exposición del campo medido.

- Se recomienda acatar la incertidumbre emitida por el fabricante SATIMO porque éste posee un conocimiento más amplio del sistema de medición de SAR y cubre con la mayoría de componentes específicos del sistema.

- Debido a que la exposición de RF en la cabeza es más crítica por la cercanía al cerebro, se puede disminuir estos valores de radiación utilizando auriculares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Skvarca Jorge y Aguirre Aníbal (2006). Normas y estándares aplicables a los campos electromagnéticos de radiofrecuencias en América Latina: guía para los límites de exposición y los protocolos de medición. http://www.scielosp.org/pdf/rpsp/v20n2-3/17.pdf (Disponible al 05/03/15).

[2] ITU. Capacitación en conformidad y Ensayos de Interoperabilidad. Procedimientos de Homologación y Pruebas de Terminales Móviles. www.itu.int (Disponible al 05/03/15).

[3] CONATEL (2007). Reglamento para Homologación de equipos terminales de Telecomunicaciones expedido mediante Resolución 452-29-CONATEL-2007.

[4] IEEE - 1528 (2003*). IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial - Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques*.

[5] FCC (2001). *OET 65 Suplement C "Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields"*.

[6] *IEEE (1999). IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 KHz to 300 GHz. http://webbooks.net/freestuff/C95.1.pdf* (Disponible al 31/10/2015).

[7] *American National Standards Institute (ANSI) / Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (1992). "Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3KHz to 300 GHz".*

[8] Línea de transmisión. es.wikipedia.org/wiki/Línea de transmisión (Disponible al 05/03/15).

[9] Potencia isotrópica radiada equivalente. http://es.wikipedia.org/wiki/Potencia_ Isotrópica_Radiada_Equivalente (Disponible al 10/03/15).

[10] Centro Español de Metrología (CEM) (2008). Evaluación de datos de medición. Guía para le Expresión de la Incertidumbre de Medida.

[11] Centro Español de Metrología (CEM) (2012). Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados.

[12] *Digital Enhanced Cordless Telecommunications.* http://es.wikipedia.org/wiki /Digital_*Enhanced_Cordless_Telecommunications* (Disponible al 25/03/2015)

[13] Prof. Ing. Eduardo Néstor Álvarez. Introducción a la instrumentación. http://laboratorios.fi.uba.ar/lscm/Instrum01.pdf (Disponible al 25/03/2015).

[14] Prof. Héctor Cáceres Sepúlveda. Centro Educativo Salesianos Talca. Introducción a la Metrología http://www.salesianostalca.cl/*files*/m3---metrologia.pdf (Disponible al 30/03/2015).

[15] ¿Qué es la metrología? https://electromagnetismo2012a.wikispaces.com/*file/view*/metrologiabasica.pdf (Disponible al 30/03/2015).

[16] Luz María Ospina, Marcela Botero, Jaime Alberto Mendoza. Universidad Tecnológica de Pereira (2008). Importancia de la Metrología al interior de las empresas para el aseguramiento de la calidad. http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/*article/view*/3763/2007 (Disponible al 02/04/2015).

[17] Organismo de Acreditación Ecuatoriano (OAE). Trazabilidad de las mediciones

[18] Dirección técnica de metrología. http://www.normalizacion.gob.ec/informacion-metrologia/ (Disponible al 30/03/2015).

[19] Trazabilidad de las mediciones. http://www.lysconsultores.com/descargar/ nt002.pdf (Disponible al 25/03/2015).

[20] Organismo de Acreditación Ecuatoriano (OAE) (2014). Política trazabilidad de las mediciones.

[21] Distribución normal. http://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n_normal (Disponible al 17/04/2015).

[22] La distribución uniforme.

http://www.ub.edu/stat/GrupsInnovacio/Statmedia/demo/Temas/Capitulo4/B0C4m1t1.htm
(Disponible al 17/04/2015).

[23] *Agilent Technologies, Gillam-Fei, Microwave Vision Group* (2013). Laboratorio de homologación.

[24] *Microwave Vision Group* SATIMO (2011). COMOSAR.

[25] SATIMO. *COMOSAR Test Bench User's Manual 4.0*

[26] KUKA *Robot Group*, (2002). KR 6-2, KR 16-2

[27] KUKA. *The power of control.*
KR C4. The control system with security of investment. http://www.kuka-*robotics*.com/res/sps/a737ee03-5832-4c959d91-84e0de80c664_KUKA_PB_*CONTROLLERS*_EN.pdf
(Disponible al 26/07/2015)

[28] KUKA. KR C4.
http://www.*kuka-robotics.com/es/products/controllers/kr_c4/*
(Disponible al 26/07/2015).

[29] KUKA *Smartpad*.
http://www.*kuka-robotics.com/es/products/controllers/smart PAD*/
(Disponible al 26/07/2015).

[30] *Microwave Vision Group* SATIMO (2008). *RF Safety SAR & HAC test benches*.

[31] SATIMO. *OPENSAR Software User Manual V4.*

[32] *Fluke Corporation* (2006). 1620ª "*DewK" Thermo-Hygrometer. Technical Data.*

[33] *KEYSIGHT Technologies*.
http://www.keysight.com/
(Disponible al 26/07/2015).

[34] *KEYSIGHT Technologies* (2014). E5515C/E *Wireless Communications Test Set. Technical Overview*

[35] *Agilent Technologies* (2011). *Agilent N1923A y N1914A. EPM Series Power Meters. Data Sheet.*

[36] *Agilent Technologies* (2011). *Agilent E5071C ENA Network Analyzer Data Sheet.*

[37] *Agilent Technologies* (2006). *Agilent MXG Signal Generators*.

[38] *Digit Multimeter*.

file:///C:/Users/ANITA/*Downloads*/2000_*datasheet*.pdf
(Disponible al 26/07/2015).

[39] *KEYSIGHT Technologies* (2013-2014). *KEYSIGHT EXA X-Series Signal Analyzer N9010A.*

[40] Santiago López y Luis Molina (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.
http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6763/1/CD-5142.pdf
(Disponible al 26/07/2015).

[41] Maritza Chimbo (2012). Análisis de la propuesta de evolución de redes 3G y su convergencia a la tecnología 4G para redes de telefonía móvil.
http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2072/13/UPS-CT002379.pdf
(Disponible al 26/07/2015).

[42] Juan Carlos Lara (2006). Conceptos básicos de telefonía celular.
http://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/10895/Conceptos%20telefonia%20celular.pdf?sequence=1
(Disponible al 26/07/2015).

[43] 3G HSUPA *channels.*
http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/3g-hspa/hsupa-channels.php
(Disponible al 26/07/2015).

[44] CDMA2000.
https://es.wikipedia.org/wiki/CDMA2000
(Disponible al 28/07/2015).

[45] EV-DO.
https://es.wikipedia.org/wiki/EV-DO
(Disponible al 28/07/2015).

[46] EHRPD.
http://wikitel.info/wiki/EHRPD
(Disponible al 28/07/2015).

[47] TD-SCDMA.
https://es.wikipedia.org/wiki/TD-SCDMA

(Disponible al 28/07/2015).

[48] IS-95.
https://es.wikipedia.org/wiki/IS-95
(Disponible al 28/07/2015).

[49] TDMA *Third Generation Wireless*.
http://ftp.tiaonline.org/TR-45/TR-45.3/ INCOMING/2006-04-26/136-000F.pdf
(Disponible al 28/07/2015).

[50] *3rd Generation Partnership Project* 2.
https://en.wikipedia.org/wiki/3rd_ *Generation_Partnership_Project_2*
(Disponible al 28/07/2015).

[51] VSWR *Voltage Standing Wave Ratio*.
http://www.*antenna-theory.com/ definitions/vswr*.php
(Disponible al 28/07/2015).

[52] *WiMAX*.
https://es.wikipedia.org/wiki/WiMAX
(Disponible al 28/07/2015).

[53] *Federal Communications Commission* (2008). *KDB 941225. D03 SAR Test Reduction GSM GPRS EDGE vo1.*

[54] *Federal Communications Commission* (2014). *KDB 941225. D01 3G SAR Procedures V03.*

[55] Modulación por desplazamiento mínimo gaussiano.
https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_desplazamiento_m%C3%ADnimo_gaussiano
(Disponible al 28/07/2015).

[56] Modulación por desplazamiento de fase.
https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_desplazamiento_de_fase
(Disponible al 28/07/2015).

[57] ETSI TS 145 005 V11.4.0 (2014) *Technical Specification. Digital cellular telecommunications system (Phase 2+).*

[58] Capítulo 3 GSM.
catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/...c.../ capitulo3.pdf
(Disponible al 29/07/2015).

[59] Servicio de comunicación personal.
https://es.wikipedia.org/wiki/Servicio_ de_comunicaci%C3%B3n_personal
(Disponible al 29/07/2015).

[60] *Federal Communications Commission* (2007) *KDB 941225. D01 SAR test for 3G devices v02.*

[61] *Federal Communications Commission* (2007). *KDB 248227. D01 SAR meas for 802 11 a b g v01r02*

[62] ETSI TS 134 121-1 V9.3.0 (2011).*Technical Specification. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS).*

[63] Departamento de Soporte de *Rohde & Schwarz* España (2007). HSPA: Nuevos desafíos para el diseño de amplificadores de potencia en los terminales UMTS ("UE")
http://www.redeweb.com/_txt/628/84.pdf
(Disponible al 29/07/2015).

[64] *Understanding Cubic metric.*
http://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/n7624a/cubic_metric.htm
(Disponible al 30/07/2015).

[65] *Semtech Corporation* (2009). *FCC Part 15.247 Rules Systems Using Digital Modulation.*
http://www.semtech.com/*images/datasheet/fcc_digital_modulation_systems_*semtech.pdf
(Disponible al 30/07/2015).

[66] DPCCH.
https://en.wikipedia.org/wiki/DPCCH
(Disponible al 30/07/2015).

[67] *Agilent Technologies*. Medición de tasa de transmisión en *High Speed Downlink Packet Access* – HSDPA / 3.6 Mbps y 7.2 Mbps / (*RB Test Mode*). *Wireless Communications Test Set* – 8960. *Versión 1.01.*

[68] *Agilent Technologies*. Medición de tasa de transmisión en *High Speed Packet Access* o HSPA+ / 14 Mbps y 21 Mbps / (*RB Test Mode*). *Wireless Communications Test Set – 8960. Versión 1.01.*

[69] *Agilent Technologies*. Mediciones Básicas en GSM / GPRS / EGPRS con el equipo 8960. *Wireless Communications Test Set* – 8960. Versión 1.06.

[70] *Agilent Technologies.* Mediciones Básicas en WCDMA con el equipo 8960. *Wireless Communications Test Set* – 8960. Versión 1.00.

[71] Andrés Romero Gordón (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.

[72] *Federal Communications Commission* (2011). *KDB 941225. D06 Hot Spot SAR v01.*

[73] Francisco Solano Eizaguirre (2013). Ensayos de laboratorio para la medida de la tasa de absorción específica (SAR) en dispositivos móviles. http://oa.upm.es/21274/1/PFC_FRANCISCO_SOLANO_EIZAGUIRRE.pdf (Disponible al 21/08/2015).

[74] *Bay Area Compliance Labs. Corp*. (2013). *SAR Evaluation Report* https://apps.f*cc.gov/eas/GetApplicationAttachment*.html?id=2109155 (Disponible al 21/08/2015).

[75] U-NII. https://en.wikipedia.org/wiki/U-NII (Disponible al 06/09/2015).

[76] Campos electromagnéticos (CEM) http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs226/es/ (Disponible al 06/09/2015).

[77] Sistema de Medición de la Tasa de Absorción Específica de Radiaciones No Ionizantes (SAR). http://www.cendit.gob.ve/index.php/direcciones-tecnicas/direccion-general-de-servicios-de-telecomunicaciones/servicios-de-certificacion/proyectos-ejecutados/145-sistema-de-medicion-de-la-tasa-de-absorcion-especifica-de-radiaciones-no-ionizantes-sar (Disponible al 06/09/2015).

[78] LAN, WAN, MAN, WLAN, WMAN, WWMAN, SAN y PAN: ¿Qué significa cada término? http://www.informatica-hoy.com.ar/redes LAN- WAN - MAN – WLAN – WMAN -WWMAN-SAN-PAN.php (Disponible al 01/10/2015).

[79] *Federal Communications Commission* (2015). *KDB 648474 D04 v01r03*. *SAR evaluation considerations for wireless handsets.*
https://apps.fcc.gov/kdb/GetAttachment.html?id=zCDu9bDcV8fcsumpj%2Bef3w%3D%3D&desc=648474%20D04%20Handset%20SAR%20v01r03&tracking_number=33853
(Disponible al 31/10/2015).

[80] Definición de WLAN
http://definicion.de/wlan/
(Disponible al 31/03/2016).

[81] David K. Cheng (1997). Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería.
https://books.google.com.ec/books?id=8aipFzSCKnkC&pg=PA287&lpg=PA287&dq=que+representa+la+tangente+de+p%C3%A9rdida&source=bl&ots=Xj2TUR5y2n&sig=m0W-8i616IyzlPgDSMHVjszsy1Y&hl=es&sa=X&ved=0CCgQ6AEwAmoVChMI88aas8rjyAIVV8BjCh3K4AMu#v=onepage&q=que%20representa%20la%20tangente%20de%20p%C3%A9rdida&f=false
(Disponible al 31/10/2015).

[82] ¿Qué es el número SAR?
http://www.abc.es/20100705/tecnologia/numero-201007051210.html
(Disponible al 31/10/2015).

[83] Servicio de Acreditación Ecuatoriano.
http://www.acreditacion.gob.ec/valores-mision-vision/
(Disponible al 01/02/2016)

[84] DPDCH.
https://en.wikipedia.org/wiki/DPDCH
(Disponible al 24/03/2016)

[85] GPIB.
http://www.uhu.es/diego.lopez/ICI/GPIB.pdf
(Disponible al 02/04/2016)

ANEXOS

ANEXO A

REPORTE DE LA COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL REPORTE DEL LABORATORIO BACL ACREDITADO POR LA FCC Y LOS MEDIDOS EN EL LABORATORIO DE LA ARCOTEL

ANEXO B

REPORTE DE LA MEDICIÓN DE SAR EMITIDO POR EL LABORATORIO DE LA ARCOTEL

Se presenta en formato digital en el CD adjunto.