



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

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

AUTOR: ROMERO GORDÓN, ANDRÉS FELIPE

**TEMA: 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**

DIRECTOR: ING. VEGA, CHRISTIAN

CODIRECTOR: DR. ESPINOSA, NIKOLAI

SANGOLQUÍ, ENERO 2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Ing. Christian Vega
Dr. Nikolai Espinosa

Por medio de la presente certificamos que el proyecto de grado, titulado “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”, fue desarrollado en su totalidad y bajo nuestra dirección y supervisión por el señor: “Andrés Felipe Romero Gordón con cédula de identidad 1723504070”.

Atentamente,

Ing. Christian Vega
DIRECTOR

Dr. Nikolai Espinosa
CO-DIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

ANDRÉS FELIPE ROMERO GORDÓN

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “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”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las fuentes que se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 7 de Enero del 2015

Andrés Felipe Romero Gordón

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, Andrés Felipe Romero Gordón

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “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”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 7 de Enero del 2015

Andrés Felipe Romero Gordón

DEDICATORIA

A Dios.

Por regalarme la vida, la salud, una familia y por estar ahí presente en todos los días de mi vida.

A mi madre Eva.

Por haberme dado la vida, por cuidarme todos los días, por ser la persona que ha estado siempre preocupada por mí, por su amor, por la confianza y ayuda incondicional.

A mi padre Jaime.

Por su esfuerzo y sacrificio diario, por los ejemplos de perseverancia y constancia que me ha infundado siempre, por su amor y confianza.

A mis hermanos.

Por haber estado en los buenos y malos momentos de la vida, por la confianza, por ser la alegría de mi vida, por todo el apoyo y cariño que siempre me dan.

A mi amigo Pablo.

Por ser uno de los mejores amigos y a pesar de ya no estar con nosotros siempre lo recordaré.

A mis amigos.

Por el apoyo brindado a lo largo de la carrera, por la ayuda y por todos los momentos vividos.

Andrés

AGRADECIMIENTO

A Dios por todo lo que me ha dado en especial la salud, una familia y la vida.

A mi familia por su apoyo todos los días, en especial a mis padres que son las personas más importantes en mi vida, porque siempre estuvieron apoyándome, por darme una educación, por todos los momentos triste que alguna vez les hice pasar pero sobre todo por los valores y principios que me supieron inculcar.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE por haberme educado como un excelente profesional con valores éticos y morales.

Al ingeniero Christian Vega y al doctor Nikolai Espinosa por su guía en este proyecto, por su colaboración y paciencia y por ayudarme a cumplir con una meta importante en mi vida.

A la Superintendencia de Telecomunicaciones en especial a la Dirección Nacional de Certificación de Equipos de Telecomunicaciones e Investigación por haberme dado la oportunidad de realizar este proyecto.

Al ingeniero Santiago Noriega por ayudar que este proyecto se cumpla y por la guía como tutor de mis pasantías.

A todos mis amigos que siempre estuvieron para ayudarme.

Andrés

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN Y NORMATIVA INTERNACIONAL	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación e Importancia del Proyecto	4
1.3 Alcance del Proyecto	6
1.4 Objetivos	8
1.4.1 Objetivo General	8
1.4.2 Objetivos Específicos.....	8
1.5 Norma Ecuatoriana.....	9
1.5.1 Resolución No. 452-29-CONATEL-2007	9
1.5.1.1 Reglamento para homologación de equipos terminales de telecomunicaciones	9
1.6 Norma Internacional.....	11
1.6.1 Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP)	11
1.6.1.1 Absorción de energía de los campos electromagnéticos.....	11
1.6.1.2 Restricciones básicas.....	12
1.6.2 EN-50147-1 Cámaras anecóicas	13
1.6.2.1 Atenuación del apantallamiento	14
1.6.2.2 Medida de la atenuación del apantallamiento	15
1.6.2.3 Pruebas de recepción.....	15
1.6.2.4 Pruebas de fuga	16
1.6.3 Federal Communications Commission	17
1.6.3.1 FCC OET Bulletin 65 - Evaluación de la Conformidad con las Directrices de FCC para la exposición humana a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia	17
1.6.3.1.1 Categorías de Exposición.....	17
1.6.3.1.2 Exposición ocupacional / controlada	18
1.6.3.1.3 Exposición poblacional / no controlada	18

1.6.3.1.4	Dispositivos Móviles y Portátiles	19
1.6.3.1.5	Evaluación de equipos Móviles y Portátiles	20
1.6.3.2	Suplemento C - Información adicional para Evaluación de la Conformidad con las Directrices de FCC para la exposición humana a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia	20
1.6.3.2.1	Equipos Portátiles	21
1.6.3.2.2	Evaluación de SAR con equipos portátiles o móviles	21
1.6.3.2.3	Técnica de evaluación de SAR	21
1.6.3.2.4	Posiciones de prueba para handsets y otros transmisores	22
1.6.3.2.5	Modelos de Tejidos	22
1.6.3.2.6	Descripción y Requerimientos del Sistema de Medición SAR.....	23
1.6.3.2.7	Calibración	23
1.6.3.2.8	Condiciones de prueba de equipos.....	24
1.6.3.2.9	Incertidumbres de Mediciones y de Cálculo.....	24
1.6.3.2.10	SAR en espectro ensanchado	25
1.6.3.2.11	Métodos para trasmisores de espectro ensanchado.....	25
1.6.3.2.12	Límites de FCC para SAR (Specific Absortion Rate)	26
1.6.3.2.13	Información para documentación del cumplimiento de SAR.....	27
1.6.3.2.14	Parámetros dieléctricos de los tejidos para fantomas de cabeza y cuerpo.....	27
1.6.3.2.15	Composición típica de los líquidos para los fantomas	28
1.6.4	BS EN 50360 - Norma de producto para demostrar el cumplimiento de los teléfonos móviles con las restricciones básicas relacionadas con la exposición humana a los campos electromagnéticos (300 MHz - 3 GHz)	29
1.6.4.1	Referencias normativas	30
1.6.4.2	Límites de exposición	30
1.6.4.3	Método de medición.....	31
1.6.4.4	Evaluación del cumplimiento de los límites	31
1.6.5	IEC 62209 -1	32

1.6.5.1	Dispositivos Portátiles Inalámbricos.....	32
1.6.5.2	Referencias Normativas	32
1.6.5.3	Condiciones ambientales del laboratorio	33
1.6.5.4	Especificaciones del fantoma SAM	33
1.6.5.5	Especificaciones del equipo de medición de SAR.....	34
1.6.5.6	Requerimientos técnicos	34
1.6.5.7	Especificaciones del sujetador del dispositivo.....	35
1.6.5.8	Medición de las propiedades dieléctricas del líquido	35
1.6.5.9	Preparación de la medición	35
1.7	Laboratorio de Certificación de Equipos de Telecomunicaciones	36
1.7.1	Fase I.....	36
1.7.2	Fase II.....	37
1.7.2.1	Cámara semi-anecoica	38
1.7.2.2	Sistema de Medición de la Tasa de Absorción Específica	41
1.7.2.3	Fantomas	47
1.7.2.4	Sondas y Dipolos	48
CAPITULO II		50
TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA Y TECNOLOGÍA 2G		50
2.1	Definiciones SAR	50
2.1.1	Redes de eléctrico (campo-E).....	50
2.1.2	Campo electromagnético (CEM).....	51
2.1.3	Capacidad calórica.....	51
2.1.4	Radiación ionizante	51
2.1.5	Radiación no-ionizante (RNI)	51
2.1.6	Absorción específica (SA).....	52
2.1.7	SAR promediada sobre el cuerpo completo	52
2.1.8	SAR local	52
2.1.9	Norma.....	53

2.1.10	Restricción Básica.....	53
2.1.11	Sonda de campo eléctrico (campo-E)	53
2.1.12	Fantoma (Cabeza).....	53
2.1.13	Equipo de mano	54
2.2	Tasa de Absorción Específica	54
2.2.1	SAR en teléfonos móviles celulares	56
2.2.1.1	Oreja y cerebro	59
2.2.2	Estudios biológicos y epidemiológicos (100 KHz - 300 GHz).....	60
2.2.2.1	Estudios sobre el riesgo de cáncer	62
2.2.2.2	Estudios con células y animales	62
2.2.2	Calculo de la Tasa de Absorción Específica (Métodos Numéricos)	65
2.2.3.1	Cálculos de dosimetría (1970).....	65
2.2.3.2	Método de los momentos (MoM).....	65
2.2.3.3	Método de Diferencias Finitas FDTD (2005)	66
2.3	Tecnología 2G	67
2.3.1	Control de potencia	70
2.3.2	Protocolos de telefonía 2G	70
2.3.3	GSM	71
2.3.3.1	Definición	71
2.3.3.2	Características	71
2.3.3.3	Arquitectura.....	73
2.3.3.4	Desarrollo de una llamada GSM	76
2.3.4	CDMA	79
2.3.5	Generación 2.5 G.....	81
2.3.6	GPRS.....	82
2.3.7	EDGE	84

CAPITULO III	86
PROTOCOLO DE PRUEBAS	86
3.1 Especificación de los Equipos Utilizados en el Sistema de Medición de SAR	86
3.1.1 Generador de Señales Vectoriales	86
3.1.1.1 Características del generador de señales	87
3.1.1.2 Modulación y barrido del equipo	87
3.1.1.3 Generación de banda base y creación de la señal	87
3.1.1.4 Automatización y comunicación de interfaz	87
3.1.1.5 Uso en el sistema de medición de SAR.....	88
3.1.2 Simulador de Estación Transceptora Base	88
3.1.2.1 Características del simulador de radio base	90
3.1.2.2 Especificaciones del simulador de radio base	90
3.1.2.3 Uso en el sistema de medición de SAR	90
3.1.3 Medidor de Potencia	91
3.1.3.1 Características y especificaciones del medidor de potencia	91
3.1.3.2 Uso en el sistema de medición de SAR.....	92
3.1.4 Analizador de Redes	92
3.1.4.1 Características y especificaciones del analizador de redes.....	93
3.1.4.2 Uso en el sistema de medición de SAR	93
3.1.5 Multímetro Digital	94
3.1.5.1 Uso en el sistema de medición de SAR	95
3.1.6 UNISYNce.	95
3.1.6.1 Características y especificaciones del UNISYNce	96
3.1.6.2 Uso en el sistema de medición de SAR	97
3.1.7 Amplificador de Potencia.....	97
3.1.7.1 Características del amplificador de potencia	97
3.2 Sistema de Medición de SAR	98
3.2.1 Software OpenSAR	98
3.2.1.1 Características del software OpenSAR	98
3.2.2 Smartpad.....	99

3.2.2.1	Características del smartpad.....	100
3.2.3	KR C4.....	100
3.2.3.1	Características del KR C4	101
3.2.4	KR 6-2	102
3.3	Protocolo de Mediciones de SAR.....	105
3.3.1	Esquema de Conexión	105
3.3.2	Inicialización del Sistema.....	105
3.3.3	Medición de Líquidos.....	122
3.3.4	Llenado y Vaciado de Líquidos.....	151
3.3.4.1	Llenado del líquido de medición al fantoma SAM	151
3.3.4.2	Vaciado del líquido de medición del fantoma SAM	158
3.3.5	Posicionamiento del Dispositivo Bajo Prueba	169
3.3.5.1	Posicionamiento de los dipolos de validación	169
3.3.5.2	Posicionamiento de un teléfono celular.....	174
3.3.6	Medición de SAR a 850 MHz	182
3.3.7	Medición de SAR a 1900 MHz	207
3.4	Pruebas Realizadas en el Laboratorio	232
3.4.1	Validación del Sistema.....	232
3.4.2	Especificaciones de las pruebas realizadas	243
3.4.3	Resultados obtenidos en el Laboratorio	244
3.4.3.1	Nokia Lumia 925.1	244
3.4.3.2	Samsung Galaxy S5 Mini.....	249
3.4.3.3	Zte Blade C2 Plus.....	254
3.4.3.4	Huawei Ascend Y600D.....	259
3.5	Comparación de los Resultados Obtenidos	264
3.5.1	Comparación entre la norma Europea y la norma de Estados Unidos	264
3.5.2	Comparación con los certificados internacionales	265
3.5.2.1	Nokia Lumia 925.1	265
3.5.2.2	Samsung Galaxy S5 Mini.....	266
3.5.2.3	Zte Blade C2 Plus.....	267
3.5.2.4	Huawei Ascend Y600D.....	269

CAPITULO IV	272
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	272
4.1 Conclusiones	272
4.2 Recomendaciones.....	275
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	277
ANEXOS	282
ANEXO I – REGLAMENTO PARA LA CERTIFICACIÓN Y APROBACIÓN DE EQUIPOS TERMINALES DE TELECOMUNICACIONES CON RESPECTO A LA EVALUACIÓN DE LA TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA (SAR)	283
ANEXO II – SAR MEASUREMENT REPORTS	316
ANEXO III – INFORME DE LOS LÍQUIDOS SIMULADORES	381

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Atenuación del apantallamiento	14
Figura 2: Valores típicos de atenuación del apantallamiento	15
Figura 3: Puntos de medición del apantallamiento	16
Figura 4: Medición de E_1 y H_1	16
Figura 5: Medición de onda plana.....	17
Figura 6: Especificaciones del Fantoma	33
Figura 7: Equipos adquiridos en la Fase I.....	37
Figura 8: Equipamiento para realizar pruebas de SAR.....	38
Figura 9: Cámara de Faraday	40
Figura 10: Material absorbente electromagnético.....	41
Figura 11: Sistema de medición de la tasa de absorción específica.....	46
Figura 12: Fantoma SAM	48
Figura 13: Sondas y dipolos.....	48
Figura 14: Espectro Electromagnético	52
Figura 15: Efectos del SAR en el cuerpo humano	55
Figura 16: Métodos de acceso vía radio.....	68
Figura 17: Logo GSM	71
Figura 18: Arquitectura del Sistema GSM.....	75
Figura 19: Ejemplo de enrutamiento de una llamada GSM.....	77
Figura 20: Procedimiento de GSM: llamada entrante desde PSTN.....	78
Figura 21: Procedimientos de GSM: Llamada saliente a la PSTN	78
Figura 22: Proceso de codificación desde la estación hacia el equipo móvil	80
Figura 23: Arquitectura de la plataforma GPRS	83
Figura 24: Conexión entre el SGSN y el GGSN.....	84

Figura 25: Arquitectura de la plataforma EDGE	85
Figura 26: Generador de Señales Vectoriales.....	86
Figura 27: Simulador de Estación Transceptora Base	89
Figura 28: Medidor de Potencia.....	91
Figura 29: Analizador de Redes.....	93
Figura 30: Multímetro Digital.....	94
Figura 31: UNISYNCE.....	96
Figura 32: Amplificador de Potencia.....	97
Figura 33: Software OpenSAR	98
Figura 34: Smartpad.....	100
Figura 35: KR C4.....	101
Figura 36: KR 6-2	104
Figura 37: Esquema de conexión.....	105
Figura 38: El KR C4	106
Figura 39: Perilla en OFF.....	106
Figura 40: Perilla en ON.....	107
Figura 41: Multímetro apagado.....	107
Figura 42: Multímetro prendido.....	107
Figura 43: VPS.....	107
Figura 44: Estación de trabajo	108
Figura 45: Icono OpenSAR.....	108
Figura 46: Programa OpenSAR	108
Figura 47: Opción New	108
Figura 48: Ventana Create a new project.....	109
Figura 49: Nombre del proyecto	109
Figura 50: Device Status	109
Figura 51: El smartpad.....	110
Figura 52: Botones S, O, R y T1.....	110
Figura 53: Botón S	110
Figura 54: Control de manera local.....	111
Figura 55: Posición normal.....	111
Figura 56: Llave al girar.....	111

Figura 57: Opción Aut	112
Figura 58: Posición original	112
Figura 59: Botón Aut activado	112
Figura 60: Click en el botón O	113
Figura 61: Drive Button activado	113
Figura 62: Carpeta R1	114
Figura 63: Carpeta Program	114
Figura 64: Carpeta Antenna	115
Figura 65: Programa antennessxp	115
Figura 66: Botón Select	115
Figura 67: Pantalla del antennessxp	116
Figura 68: Botón play	116
Figura 69: Al presionar play	116
Figura 70: Por segunda vez	116
Figura 71: Icono del robot	117
Figura 72: Main menu	117
Figura 73: Menú Display	117
Figura 74: Pantalla SATIMO	118
Figura 75: Botón Connexion	118
Figura 76: Etat connexion activado	118
Figura 77: Opción Robot	118
Figura 78: Estado OK	119
Figura 79: Sección Configuration	119
Figura 80: Opción Go to reference	120
Figura 81: Punto de referencia	120
Figura 82: Sondas de medición	120
Figura 83: Sonda en el brazo del robot	121
Figura 84: Opción Probe	121
Figura 85: Menú Robot	122
Figura 86: Automatic Reference	122
Figura 87: Posición de referencia	122
Figura 88: VNA E5071C apagado	123

Figura 89: VNA E5071C encendido	123
Figura 90: Caja del kit de calibración	123
Figura 91: Kit de calibración.....	123
Figura 92: Kit de medición	124
Figura 93: Cable RF	124
Figura 94: Soporte vertical.....	124
Figura 95: Plataforma manual	124
Figura 96: Probetas	125
Figura 97: Cable RF en el soporte.....	125
Figura 98: Botón Start.....	125
Figura 99: Configuración 850 MHz.....	125
Figura 100: Botón Stop	126
Figura 101: Configuración 1900 MHz.....	126
Figura 102: Botón CAL	126
Figura 103: Opción Cal Kit.....	126
Figura 104: Kit 85052D	127
Figura 105: Opción Calibrate.....	127
Figura 106: Puertos del analizador.....	128
Figura 107: Port Cal	128
Figura 108: Terminaciones OSL.....	128
Figura 109: Terminación OPEN	128
Figura 110: Botón Open.....	129
Figura 111: Terminación calibrada	129
Figura 112: Terminación SHORT.....	129
Figura 113: Botón Short.....	130
Figura 114: Terminación calibrada	130
Figura 115: Terminación LOAD.....	130
Figura 116: Botón Load	131
Figura 117: Terminación calibrada	131
Figura 118: Botón Done.....	131
Figura 119: Puerto calibrado	131
Figura 120: Opción Liquid.....	132

Figura 121: Ventana Liquid Configuration.....	132
Figura 122: Measurement of liquid permittivity	133
Figura 123: Opción IEC 62209/IEEE 1528 (Head liquid).....	134
Figura 124: Opción Set Frequency	135
Figura 125: Set Frequency	136
Figura 126: Configuración GSM 850	136
Figura 127: Configuración GSM 1900	136
Figura 128: Mediciones GSM 850.....	137
Figura 129: Mediciones GSM 1900.....	137
Figura 130: Opción Configure	138
Figura 131: Water temperature	138
Figura 132: Opción Perform	139
Figura 133: Sonda de medición.....	139
Figura 134: Sonda en el cable RF	139
Figura 135: Mensaje Please, Leave probe tip in the air.	140
Figura 136: Medición de la sonda en el aire.	140
Figura 137: Mensaje Please, Put probe tip in contact with the water.....	141
Figura 138: Medición de la sonda en el agua desionizada.....	141
Figura 139: Mensaje The probe is calibrate.....	142
Figura 140: Retirando la sonda	142
Figura 141: Limpiando la sonda	142
Figura 142: Medición de la sonda en el líquido simulador.....	143
Figura 143: Opción Perform.	143
Figura 144: Valores dentro del rango recomendado por el estándar	144
Figura 145: Valores fuera del rango recomendado por el estándar	145
Figura 146: Valores dentro y fuera del rango recomendado por el estándar.....	146
Figura 147: Retirando la probeta.....	146
Figura 148: Opción Import.....	147
Figura 149: Opción Available band	148

Figura 150: Opción File name.	148
Figura 151: Opción Head Liquid	149
Figura 152: Botón OK.....	149
Figura 153: Botón Yes	149
Figura 154: GSM 850	150
Figura 155: GSM 1900	150
Figura 156: Archivo importado.....	150
Figura 157: Parámetros dieléctricos.....	151
Figura 158: Fantoma SAM sin líquido de medición.....	151
Figura 159: Perilla abierta.....	152
Figura 160: Perilla cerrada.....	152
Figura 161: Área de líquidos.....	152
Figura 162: Contenedores del líquido	152
Figura 163: Líquido de 900 MHz	153
Figura 164: Etiqueta de 900 MHz.....	153
Figura 165: Líquido de 1900 MHz	153
Figura 166: Etiqueta de 1900 MHz.....	153
Figura 167: Tapa con llave plástica	154
Figura 168: Tapa del contenedor.....	154
Figura 169: Tapa con llave en el contenedor	154
Figura 170: Contenedor en la cámara semianecoica.....	155
Figura 171: Cara lateral.....	155
Figura 172: Llave perpendicular	155
Figura 173: Vertiendo el líquido de medición	156
Figura 174: Verificando el límite.....	156
Figura 175: Límite correcto	156
Figura 176: Nuevo contenedor de líquido simulador.....	157
Figura 177: Contenedor con tapa	157
Figura 178: Contenedores en el área.....	157
Figura 179: Fantoma SAM con líquido de medición.....	158
Figura 180: Contenedor de 1900 MHz.....	158
Figura 181: Contenedor de 900 MHz.....	158

Figura 182: Contenedor vacío en la cámara semianecoica	159
Figura 183: Perilla abierta.....	159
Figura 184: Perilla cerrada	159
Figura 185: Closet del Laboratorio	160
Figura 186: Tercer cajón	160
Figura 187: Manguera	160
Figura 188: Manguera conectada	160
Figura 189: Manguera asegurada	161
Figura 190: Manguera ubicada.....	161
Figura 191: Llave abierta	161
Figura 192: Contenedor con líquido	161
Figura 193: Segundo cajón izquierdo	162
Figura 194: Espátula	162
Figura 195: Líquido de medición remanente	162
Figura 196: Fantoma SAM sin líquido	162
Figura 197: Llave cerrada	163
Figura 198: Manguera desconectada de la tubería.....	163
Figura 199: Manguera desconectada.....	164
Figura 200: Contenedor tapado	164
Figura 201: Contenedor guardado.....	164
Figura 202: Fregadero	165
Figura 203: Envase plástico	165
Figura 204: Envase con agua	165
Figura 205: Fantoma SAM con agua	165
Figura 206: Eliminando residuos del fantoma SAM	166
Figura 207: Manguera conectada en la tubería de desfogue	166
Figura 208: Vaciando el agua del fantoma	167
Figura 209: Agua remanente en el fantoma SAM	167
Figura 210: Agua en el recipiente	168
Figura 211: Vertiendo el agua.....	168
Figura 212: Manguera en la cámara semianecoica	168
Figura 213: Secando la superficie del fantoma SAM	169

Figura 275: GSM 850 MHz	188
Figura 276: Opción Channel	188
Figura 277: Opción Head Liquid	189
Figura 278: Local Mode.....	189
Figura 279: Opción Remote Mode.....	189
Figura 280: Fail	189
Figura 281: Opción Network Emulator	190
Figura 282: Estado OK (GSM 850)	190
Figura 283: Opción Phone Representation	190
Figura 284: Opción Basic Phone.....	191
Figura 285: Ventana Phone Representation.....	191
Figura 286: Opción Basic Phone.....	192
Figura 287: Teléfono configurado en el software	192
Figura 288: Opción User-defined	193
Figura 289: Ventana User probe path	193
Figura 290: Botón Select path.....	193
Figura 291: Area scan configurada en el software.....	194
Figura 292: Opción Full measurement.....	194
Figura 293: Opción Zoom scan step	195
Figura 294: Zoom scan step de 8 x 8 x 5 mm	195
Figura 295: Zoom scan step de 4 x 4 x 2 mm	195
Figura 296: Cheek position	196
Figura 297: Tilt position	196
Figura 298: Opción Stop After Meas	196
Figura 299: Opción BS	197
Figura 300: Opción Call.....	197
Figura 301: Llamada realizada al teléfono.....	198
Figura 302: Comunicación de voz establecida.....	198
Figura 303: Llamada desde el teléfono	199
Figura 304: Comunicación establecida	199
Figura 305: Botón START.....	200
Figura 306: Ventana Opensar	200

Figura 307: Measurement (SAM Phantom).....	200
Figura 308: Mediciones en tiempo real.....	201
Figura 309: Mediciones en el plano 2D.....	201
Figura 310: Resultado de la medición de SAR.....	202
Figura 311: Opción Report.....	202
Figura 312: Opción WORD.....	203
Figura 313: Ventana Measurements.....	203
Figura 314: Reporte de una medición de SAR.....	204
Figura 315: Reporte de varias mediciones de SAR.....	205
Figura 316: Ventana Please, enter the name of the report.....	205
Figura 317: Dirección C:\OpenSAR_V4\meas\ SAMSUNG_GALAXY_S5.....	206
Figura 318: Archivo Word generado.....	206
Figura 319: Archivo Excel generado.....	207
Figura 320: Sistema del robot inicializado.....	207
Figura 321: Menú Project.....	208
Figura 322: New project.....	208
Figura 323: Project Name.....	208
Figura 324: Fantoma SAM 850 MHz.....	208
Figura 325: Fantoma SAM 1900 MHz.....	208
Figura 326: Etat connexion activo.....	209
Figura 327: Device Status.....	209
Figura 328: Configuración GSM 1900.....	209
Figura 329: Liquid Calibration 1900.....	209
Figura 330: Medición GSM 1900.....	210
Figura 331: Parámetros software.....	210
Figura 332: Opción Phone.....	211
Figura 333: Opción Right o Left Head.....	211
Figura 334: Opción Cheek o Tilt.....	211
Figura 335: Tecnología GSM.....	212
Figura 336: GSM 1900 MHz.....	212
Figura 337: Opción Channel.....	213
Figura 338: Opción Head Liquid.....	213

Figura 339: Local Mode.....	214
Figura 340: Opción Remote Mode.....	214
Figura 341: Fail.....	214
Figura 342: Opción Network Emulator	214
Figura 343: Estado OK (GSM 1900).....	214
Figura 344: Opción Phone Representation	215
Figura 345: Opción Basic Phone.....	215
Figura 346: Phone Representation	216
Figura 347: Basic Phone	216
Figura 348: Teléfono configurado en el software	217
Figura 349: Opción User-defined	217
Figura 350: User probe path.....	218
Figura 351: Select path.....	218
Figura 352: Area scan configurada en el software.....	219
Figura 353: Opción Full measurement.....	219
Figura 354: Opción Zoom scan step	220
Figura 355: Zoom scan step de 8 x 8 x 5 mm	220
Figura 356: Zoom scan step de 4 x 4 x 2 mm	220
Figura 357: Cheek position	221
Figura 358: Tilt position	221
Figura 359: Opción Stop After Meas	221
Figura 360: Opción BS	222
Figura 361: Opción Call.....	222
Figura 362: Llamada realizada al teléfono.....	223
Figura 363: Comunicación de voz establecida.....	223
Figura 364: Llamada desde el teléfono	224
Figura 365: Comunicación establecida	224
Figura 366: Botón START.....	225
Figura 367: Ventana Opensar	225
Figura 368: Measurement (SAM Phantom).....	226
Figura 369: Mediciones en tiempo real.....	226
Figura 370: Mediciones en el plano 2D	227

Figura 371: Resultado de la medición de SAR	227
Figura 372: Opción Report.....	228
Figura 373: Opción WORD	228
Figura 374: Ventana Measurements.....	229
Figura 375: Reporte de una medición de SAR.....	229
Figura 376: Reporte de varias mediciones de SAR	230
Figura 377: Ventana Please, enter the name of the report	230
Figura 378: Dirección C:\OpenSAR_V4\meas\ ZTE_BLADE_C2_PLUS.....	231
Figura 379: Archivo Word generado	231
Figura 380: Archivo Excel generado	232
Figura 381: Primer punto de medición	233
Figura 382: Salida del amplificador de potencia.....	233
Figura 383: Cable dentro de la cámara	234
Figura 384: Segundo punto de medición	234
Figura 385: Dipolo 835 MHz.....	235
Figura 386: Dipolo 1900 MHz.....	235
Figura 387: Parámetros de configuración	235
Figura 388: Opción Flat adaptative.....	236
Figura 389: Area scan	237
Figura 390: Zoom scan.....	237
Figura 391: Opción RF Gen.....	237
Figura 392: Synthesizer / Power meter	238
Figura 393: Configuración dipolo 835 MHz.....	239
Figura 394: Configuración dipolo 1900 MHz.....	240
Figura 395: Líquido listo para las mediciones de SAR	241
Figura 396: Resultado de la medición de SAR dipolo 835 MHz	241
Figura 397: Resultado de la medición de SAR dipolo 1900 MHz	242

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Restricciones básicas para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos para frecuencias hasta 10 GHz	13
Tabla 2: Límites para exposición ocupacional controlada	19
Tabla 3: Límites para exposición de población general no controlada	20
Tabla 4: Métodos para transmisores de espectro ensanchado	26
Tabla 5: Límites de SAR para exposición ocupacional controlada según la FCC	27
Tabla 6: Límites de SAR para exposición poblacional no controlada según la FCC	27
Tabla 7: Parámetros dieléctricos de cabeza y cuerpo según la FCC	28
Tabla 8: Composición de los líquidos para los fantomas	29
Tabla 9: Límites para exposición ocupacional controlada según la EN 50360	31
Tabla 10: Límites para exposición poblacional no controlada según la EN 50360	31
Tabla 11: Parámetros dieléctricos de cabeza según la EN 50360	34
Tabla 12: Especificaciones técnicas de la cámara de Faraday	39
Tabla 13: Especificaciones técnicas del material absorbente electromagnético	40
Tabla 14: Especificaciones técnicas del sistema de medición de la tasa de absorción específica (1)	42
Tabla 15: Especificaciones técnicas del sistema de medición de la tasa de absorción específica (2)	43
Tabla 16: Especificaciones técnicas del sistema de medición de la tasa de absorción específica (3)	44
Tabla 17: Especificaciones técnicas del sistema de medición de la tasa de absorción específica (4)	45
Tabla 18: Especificaciones técnicas de los fantomas	47

Tabla 19: Especificaciones técnicas de las sondas y los dipolos	49
Tabla 20: Valores y normas de SAR.....	56
Tabla 21: Teléfonos con altos niveles de SAR según la FCC	58
Tabla 22: Teléfonos con bajos niveles de SAR según la FCC	59
Tabla 23: Asignación de las Bandas GSM en América	73
Tabla 24: Desarrollo de una llamada con la tecnología GSM	77
Tabla 25: Canales de las bandas GSM.....	91
Tabla 26: Especificaciones del multímetro digital.....	95
Tabla 27: Especificaciones del KR 6-2.....	103
Tabla 28: Características de los ejes del KR 6-2.....	104
Tabla 29: Pérdidas de la señal.....	235
Tabla 30: Dipolo 835 MHz	236
Tabla 31: Dipolo 1900 MHz	236
Tabla 32: Parámetros dipolo 835 MHz	238
Tabla 33: Parámetros dipolo 1900 MHz	239
Tabla 34: Resultados de la medición de SAR en el Laboratorio de SATIMO.....	242
Tabla 35: Resultados de la medición de SAR en el Laboratorio.....	242
Tabla 36: Características técnicas Nokia Lumia 925.1	244
Tabla 37: Mediciones de SAR GSM 1900 cabeza izquierda Nokia Lumia 925.1	245
Tabla 38: Mediciones de SAR GSM 1900 cabeza derecha Nokia Lumia 925.1	246
Tabla 39: Mediciones de SAR GSM 850 cabeza izquierda Nokia Lumia 925.1	247
Tabla 40: Mediciones de SAR GSM 850 cabeza derecha Nokia Lumia 925.1	248
Tabla 41: Características técnicas Samsung Galaxy S5 Mini.....	249
Tabla 42: Mediciones de SAR GSM 1900 cabeza izquierda Samsung Galaxy S5 Mini.....	250
Tabla 43: Mediciones de SAR GSM 1900 cabeza	

derecha Samsung Galaxy S5 Mini	251
Tabla 44: Mediciones de SAR GSM 850 cabeza izquierda Samsung Galaxy S5 Mini.....	252
Tabla 45: Mediciones de SAR GSM 850 cabeza derecha Samsung Galaxy S5 Mini	253
Tabla 46: Características técnicas Zte Blade C2 Plus	254
Tabla 47: Mediciones de SAR GSM 1900 cabeza izquierda Zte Blade C2 Plus.....	255
Tabla 48: Mediciones de SAR GSM 1900 cabeza derecha Zte Blade C2 Plus	256
Tabla 49: Mediciones de SAR GSM 850 cabeza izquierda Zte Blade C2 Plus.....	257
Tabla 50: Mediciones de SAR GSM 850 cabeza derecha Zte Blade C2 Plus	258
Tabla 51: Características técnicas Huawei Ascend Y600D.....	259
Tabla 52: Mediciones de SAR GSM 1900 cabeza izquierda Huawei Ascend Y600D.....	260
Tabla 53: Mediciones de SAR GSM 1900 cabeza derecha Huawei Ascend Y600D	261
Tabla 54: Mediciones de SAR GSM 850 cabeza izquierda Huawei Ascend Y600D.....	262
Tabla 55: Mediciones de SAR GSM 850 cabeza derecha Huawei Ascend Y600D	263
Tabla 56: Comparación de resultados Nokia Lumia 925.1	265
Tabla 57: Comparación de resultados GSM 850 Samsung Galaxy S5 Mini	266
Tabla 58: Comparación de resultados GSM 1900 Samsung Galaxy S5 Mini	267
Tabla 59: Comparación de resultados GSM 850 Zte Blade C2 Plus	268
Tabla 60: Comparación de resultados GSM 1900 Zte Blade C2 Plus	269
Tabla 61: Comparación de resultados GSM 850 Huawei Ascend Y600D.....	270
Tabla 62: Comparación de resultados GSM 1900 Huawei Ascend Y600D.....	271

RESUMEN DEL PROYECTO

El presente proyecto, involucra el desarrollo de un protocolo de pruebas para evaluar el SAR (Tasa de absorción específica) producido por teléfonos celulares en las bandas GSM asignadas en el país. La SUPERTEL como ente de control, en el año 2013 pone en marcha la fase II del Laboratorio de Certificación de Equipos de Telecomunicaciones y adquiere el equipamiento para realizar pruebas de SAR. Primero se analiza la resolución emitida por el CONATEL para la homologación de equipos terminales de telecomunicaciones, posteriormente se hace un estudio sobre la exposición a los campos electromagnéticos basado en las normas internacionales para determinar los procedimientos apropiados para realizar las mediciones de SAR. El siguiente aspecto a ser analizado es la tasa de absorción específica y la tecnología con la que se desarrollará el protocolo de pruebas. Una vez realizado este estudio teórico, se especifican los equipos y el sistema de medición de SAR, a continuación se desarrolla un protocolo de pruebas para evaluar el SAR. El protocolo consta de los siguientes procedimientos: Inicialización del Sistema, Medición de Líquidos, Llenado y Vaciado de Líquidos, Posicionamiento del Dispositivo Bajo Prueba, Medición de SAR a 850 MHz y Medición de SAR a 1900 MHz. El protocolo es minucioso y cumple con los estándares internacionales para realizar pruebas de SAR. Antes de las mediciones de SAR al equipo bajo prueba, es necesario realizar la Validación del Sistema. Por último después de realizar las mediciones de SAR, analizar los estándares internacionales y los límites de SAR. Se determinó que norma es la adecuada para realizar la verificación de SAR y que pueda ser aplicada en el Ecuador.

PALABRAS CLAVES:

1. Protocolo
2. SAR
3. Norma
4. Procedimientos

ABSTRACT

The present project involves the development of a protocol of test that evaluate the SAR (Specific Absorption Rate) produced by cell phones in the GSM bands assigned in the country. The SUPERTEL, like an institution of control, in 2013 performed the Phase II of the Telecommunications Equipment Certification Laboratory and purchases the equipment to take SAR test. First of all, the resolution issued by CONATEL is analyzed for the approval of telecommunications terminal equipment. Then, a study about the exposure of electromagnetic fields based on international standards to determine the appropriate procedures for measurement of SAR is made. The next step is to analyze the specific absorption rate and the technology with the test protocol will be developed. Once done this theoretical study, equipment and SAR measurement system are specified, then a testing protocol is developed to evaluate the SAR. The protocol has to follow the next steps: Initialize System, Measurement of Liquids, Filling and emptying of Liquids, Positioning Device under Test, Measurement of SAR at 850 MHz and Measurement of SAR at 1900 MHz. This protocol is testing very carefully and meets the international standards or testing SAR. Before SAR measurements to the equipment under test, it is necessary to perform the Validation of the System. Finally after performing SAR measurements, analyze international standards and limits of SAR. It was possible to determine which standard is suitable for verification of SAR and that can be applied in Ecuador.

KEYWORDS:

1. Protocol
2. SAR
3. Standard
4. Procedures

ABREVIATURAS

2G: es un término para referirse a la segunda generación de telefonía móvil.

3GPP: 3rd Generation Partnership Project, en español el Proyecto Asociación de Tercera Generación. Es una colaboración de grupos de asociaciones de telecomunicaciones, conocidos como Miembros Organizativos. Tiene como uno de sus objetivos el desarrollo y mantenimiento del sistema global de telecomunicaciones móviles GSM.

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

CW: Onda continua. Es una onda electromagnética de constante amplitud y frecuencia. En el análisis matemático es una onda de duración infinita.

dBm: es una unidad de medida utilizada, principalmente, en telecomunicación para expresar la potencia absoluta mediante una relación logarítmica. El dBm se define como el nivel de potencia en decibelios en relación a un nivel de referencia de 1 [mW].

ϵ_r : Constante dieléctrica relativa es una magnitud adimensional y es el grado en que un medio resiste el flujo de carga eléctrica, dividido por el grado en que el espacio libre resiste dicha carga.

FCC: Federal Communications Commission, en español la Comisión Federal de Comunicaciones. Es una agencia estatal independiente de Estados Unidos, es la encargada de la regulación de telecomunicaciones interestatales e internacionales.

FDTD: Diferencias finitas en el dominio temporal. Es una técnica de análisis numérico utilizada para modelar la electrodinámica computacional. Dado que es un método en el dominio del tiempo, las soluciones FDTD pueden cubrir una amplia gama de frecuencias con una sola ejecución de la simulación.

GPIB: General Purpose Instrumentation Bus. El bus fue estandarizado por el Institute of Electrical and Electronics Engineers como el IEEE-488. Permite que hasta 15 dispositivos inteligentes compartan un simple bus paralelo de 8 bits, mediante conexión en cadena.

Hz: Hercio. Es la unidad de la frecuencia en el Sistema Internacional de Unidades. Un hercio es la frecuencia de una oscilación que sufre una partícula en un período de un segundo.

ICNIRP: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, en español la Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones No Ionizantes. Es un equipo de expertos científicos independientes creado para estudiar y elaborar recomendaciones sobre la protección frente a las radiaciones no ionizantes.

IEC: International Electrotechnical Commission, en español la Comisión Electrotécnica Internacional. Es una organización de normalización en los campos eléctricos, electrónicos y tecnologías relacionadas.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers, en español el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Es una asociación mundial de técnicos e ingenieros dedicada a la estandarización y el desarrollo en áreas técnicas.

RF: Radio Frecuencia.

SAM: Specific Anthropomorphic Mannequin es el fantoma de cabeza y cuerpo que contiene los líquidos que simulan los tejidos humanos para las mediciones de SAR.

SAR: del inglés Specific Absorption Rate, son las siglas utilizadas para referirse a la Tasa de Absorción Específica.

SUPERTEL: Superintendencia de Telecomunicaciones. Es el organismo gubernamental de control técnico de las empresas de telecomunicaciones en el Ecuador.

TEM: Modo transversal electromagnético. Un modo TEM se caracteriza por el hecho de que tanto el campo eléctrico, como el campo magnético que forman la onda son perpendiculares a la dirección en que se propaga la energía.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN Y NORMATIVA INTERNACIONAL

1.1 ANTECEDENTES

En las últimas dos décadas el crecimiento de las comunicaciones utilizando radiofrecuencia, específicamente con el uso de teléfonos celulares ha sido importante. Se ha migrado de tecnologías TDMA a CDMA, 2G, 3G (*UMTS*) y próximamente a 4G (*LTE*). Este crecimiento ha renovado el interés de la comunidad científica y los investigadores del sector respecto de los efectos, directos e indirectos, que producen las Radiaciones No Ionizantes (*NIR*), generadas por la telefonía celular, cuando interactúan con el tejido biológico. (Zamorano & Torres-Silva, 2005)

El sistema móvil global de comunicaciones (*GSM*), empleado en telefonía celular, ha sido identificado como una posible fuente dañina para la salud humana. Se sabe que los campos electromagnéticos de 900 MHz penetran los tejidos expuestos y absorben la radiación y, aunque los teléfonos celulares transmiten a baja potencia, el cuerpo de los usuarios absorbe potencia de la antena. La cabeza de los usuarios está sometida a una exposición altamente localizada de RF. (Taurisano & Vander, 2000)

Se conoce como 2G a la segunda generación de sistemas de comunicación móvil. 2G no es un estándar o un protocolo en sí mismo, sino más bien una forma de marcar el

cambio de la comunicación móvil analógica a digital con la incorporación de TDMA (*Time Division Múltiple Access*). (Shimabuk, 2010)

La llegada de la segunda generación de telefonía móvil fue alrededor de 1990 y su desarrollo deriva de la necesidad de poder tener un mayor manejo de llamadas en prácticamente los mismos espectros de radiofrecuencia asignados a la telefonía móvil, para esto se introdujeron protocolos de telefonía digital que además de permitir más enlaces simultáneos en un mismo ancho de banda, permitían integrar otros servicios, que anteriormente eran independientes, en la misma señal, como es el caso del envío de mensajes de texto o Pagina en un servicio denominado Short Message Service o SMS y una mayor capacidad de envío de datos desde dispositivos de fax y módem. (Fundación Wikimedia, 2013)

La tasa de absorción específica (*SAR*) es la medida de la cantidad de energía de RF que es absorbida por los tejidos en el cuerpo humano y se expresa en unidades de vatios por kilogramo (*W/kg*). Matemáticamente la tasa de absorción específica se define como la derivada en el tiempo de la energía incremental (*dW*) absorbida por una masa incremental (*dm*) contenida en un elemento de volumen (*dV*) de una densidad de masa dada (ρ_m).

$$SAR = \frac{d}{dt} \frac{dW}{dm} = \frac{d}{dr} \left(\frac{1}{\bar{n}_m} \frac{dW}{dV} \right) \quad (1.1)$$

SAR puede calcularse por:

$$SAR = \frac{\dot{E}^2}{\bar{n}_m} \quad (1.2)$$

$$SAR = c \frac{dT}{dt} \quad (1.3)$$

$$SAR = \frac{J^2}{\rho_m \sigma} \quad (1.4)$$

Donde:

E es el valor de la intensidad de campo eléctrico en el tejido

corporal en V/m

σ es la conductividad del tejido corporal en S/m

ρ_m es la densidad del tejido corporal en kg/m³

c es la capacidad térmica del tejido corporal en J/Kg°C

$\frac{dT}{dt}$ es la derivada en el tiempo de la temperatura del tejido corporal en °C/s

J es el valor de la densidad de corriente inducida en el tejido

corporal en A/m². (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2000)

Las recomendaciones ICNIRP (*Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No-Ionizantes*) (ICNIRP, 1994) consideran dos tipos de SAR dentro de las restricciones básicas: el SAR de cuerpo entero que se produce en una persona por acción de las ondas emitidas por una estación base y el SAR localizado que es el que se aplica para determinar si un teléfono móvil cumple con las recomendaciones de seguridad.

Los límites de exposición ICNIRP para la exposición localizada toman en consideración la capacidad termoregulatoria de la cabeza, considerando un máximo de 1°C de elevación de temperatura en sus tejidos más sensibles e incorporan un factor de seguridad que en el caso de la exposición del público en general está en el orden de 50. El SAR localizado en la cabeza recomendado por ICNIRP es de 2 W/kg promedio sobre

una masa de tejido de 10g (*0.02 W absorbidos en cualquier masa de 10g de tejido en la cabeza*). (Ornetta, 2004)

En cuanto a las administraciones de telecomunicaciones La Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos de América (*FCC*) (FCC, 1996) ha adoptado las normas IEEE-ANSI para la exposición a la radiación de RF de teléfonos móviles que recomienda como valor límite 1.6 W/kg promediado sobre cualquier tejido de 1g de masa (*0.016 W absorbidos en cualquier masa de 10g*). La Autoridad de Comunicaciones Australiana (*ACA*) (Ornetta, 2004) y el Ministerio de Asuntos Públicos, del Hogar, de Correos y Telecomunicaciones (*MPHPT*) del Japón (Ornetta, 2004) han adoptado las recomendaciones ICNIRP. La Oficina de la Autoridad de Telecomunicaciones de Hong-Kong (Ornetta, 2004) ha recomendado aceptar las recomendaciones ICNIRP y las IEEE-ANSI como los LMPs de Hong-Kong. En el Perú el valor de SAR localizado establecido es el recomendado por ICNIRP. (Ornetta, 2004)

La Unión Europea ha adoptado la norma CENELEC EN 50360 (CENELEC, 2001) que aplica a los dispositivos de transmisión con una potencia media superior a 20 mW y en el rango de frecuencia de 300 MHz a 3 GHz. Fija como límite 2 W/Kg promedio sobre una masa de tejido de 10g. Australia, Canadá y Nueva Zelanda han adoptado los límite de Estados Unidos de América (*1.6 W/kg promediado sobre cualquier tejido de 1g de masa*). Japón y Corea han adoptado 2 W/Kg promedio sobre una masa de tejido de 10g, tal como se utiliza en Europa. (López, 2009)

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO

La Superintendencia de Telecomunicaciones como organismo de Control Técnico en el Ecuador, decidió implementar la segunda Fase del Laboratorio de Certificación de

Equipos de Telecomunicaciones, el proyecto pretende aprovechar las capacidades de los equipos adquiridos en la Fase II.

Debido a los efectos nocivos que puedan tener las NIR, la exposición a campos electromagnéticos uniformes ocasiona una distribución de la energía dentro del cuerpo altamente no uniforme. Los campos magnéticos son dominantes para dispositivos como teléfonos móviles, esto debido a que el equipo utiliza corriente para alimentar a la antena del dispositivo y para enlazarse con la terminal o radio base. Esta radiación no ionizante inevitablemente atraviesa nuestros cuerpos. Por eso es importante que en el Ecuador se establezcan Normas para regular la exposición al cuerpo humano a este tipo de radiaciones. (Next-up organisation , 2010)

Los teléfonos celulares generan radiación que impacta en los órganos vitales y otros tejidos que se encuentran alrededor de la cabeza del ser humano. Estas radiaciones no ionizantes causan reducción del nivel de hormonas cerebrales que protejan contra el cáncer, las células de leucemia se desarrollan un 20% más rápido (López, 2009). En una investigación en 5.000 usuarios de teléfonos móviles en Noruega y 12.000 en Suecia, se indica un aumento de temperatura en la oreja, en el 25 % de usuarios (López, 2009). El 20 % de los usuarios padece dolores de cabeza y cansancio y el 47 % de usuarios (*que llaman más de 1 hora al día*) padece pérdida de memoria y problemas de concentración (López, 2009). Los estudios confirman que los celulares, son dispositivos eléctricos que causan daño a los usuarios afectando principalmente su salud y cuerpo. (López, 2009)

En la Dirección Nacional de Certificación de Equipos de Telecomunicaciones e Investigación por el momento no realiza pruebas de SAR a los equipos que desean el certificado de homologación, este proyecto pretende ser base para pruebas técnicas a realizarse a los equipos terminales para la verificación de la Tasa de Absorción Específica.

El presente proyecto se llevará a cabo en las instalaciones de la SUPERTEL, en el Laboratorio de Certificación de Equipos de Telecomunicaciones ubicado en Quito en la parroquia de Calderón.

Es importante mencionar que este protocolo será una propuesta como parte de un proceso interno de pruebas y mediciones, ya que es un ítem que se debe cumplir para que el Laboratorio adquiera la certificación ISO 17025, otorgada por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano (*OAE*), que es una de las aspiraciones de la SUPERTEL.

El presente proyecto está enmarcado en la cooperación que se está realizando entre la Superintendencia de Telecomunicaciones y la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, resulta de interés para el Dirección Nacional de Certificación de Equipos de Telecomunicaciones e Investigación, el cual tiene como uno de sus proyectos la investigación de la Tasa de Absorción Específica.

1.3 ALCANCE DEL PROYECTO

En el presente proyecto se realizará una propuesta de protocolo de pruebas técnicas de la Tasa de Absorción Específica en la cabeza del ser humano de terminales con tecnología 2G, en el Laboratorio de Certificación de Equipos de Telecomunicaciones de la SUPERTEL.

Se ejecutará las pruebas de la Tasa de Absorción Específica en la banda GSM 850 (frecuencia de uplink (*MHz*): 824.0-849.0, frecuencia de downlink (*MHz*): 869.0-894.0) y la banda GSM 1900 (frecuencia de uplink (*MHz*): 1850.0-1910.0, frecuencia de downlink (*MHz*): 1930.0-1990.0).

Se elaborará una comparación entre la Norma de los Estados Unidos de América para la exposición a la radiación de RF de teléfonos móviles que recomienda como

valor límite 1.6 W/kg promediado sobre cualquier tejido de 1g de masa (*0.016 W absorbidos en cualquier masa de 10g*) y la Norma Europea que recomienda como valor límite 2 W/kg promedio sobre una masa de tejido de 10g (*0.02 W absorbidos en cualquier masa de 10g*).

Se presentaran las especificaciones de los equipos necesarios para cumplir con los objetivos de este proyecto. Se considera que se empleará: (Agilent Technologies)

- Simulador de Estación Transceptora Base, marca: AGILENT TECHNOLOGIES, modelo: E5515C 8960 SERIES 10 WIRELESS COMMUNICATIONS TEST SET.
- Kuka Robot, marca: KUKA, modelo: SATIMO COMSAR SKR6.
- Cámara de Faraday, marca: FARADAY & ANECHOIC, modelo: ANECOICA.
- Medidor de Potencia con Display, marca: AGILENT TECHNOLOGIES, modelo: N1913A POWER METER.
- Generador de Señales Vectoriales Hasta 6 GHz, marca: AGILENT TECHNOLOGIES, modelo: N5182A MXG VECTOR SIGNAL GENERATOR.
- Analizador de Redes Hasta 14 GHz, marca: AGILENT TECHNOLOGIES, modelo: E5071C ENA SERIES NETWORK ANALYZER.

El protocolo contendrá pasos a seguir para la configuración de los equipos y obtener la medición de la Tasa de Absorción Específica, se describirá la inicialización del sistema, medición de líquidos, posicionamiento del dispositivo bajo prueba, medición de SAR a 850 MHz, medición de SAR a 1900 MHz, llenado y vaciado de líquidos.

Se indicará las características de los equipos celulares utilizados en este proyecto, además se realizará una comparación entre la información de la Tasa de Absorción

Específica disponibles en Organismos Internacionales reconocidos por el CONATEL con los resultados obtenidos en el Laboratorio de Certificación de Equipos de Telecomunicaciones de la SUPERTEL.

Se realizará muestras a 4 equipos terminales que emplean tecnología 2G, esto para emplear el protocolo propuesto y poder desarrollar las pruebas técnicas y mediciones. Se presentará gráficos y resultados obtenidos.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General

- Proponer un protocolo para el procedimiento de pruebas técnicas de la Tasa de Absorción Específica en la cabeza del ser humano de terminales con tecnología 2G, en el Laboratorio de Certificación de Equipos de Telecomunicaciones de la SUPERTEL.

1.4.2 Específicos

- Establecer un protocolo de pruebas técnicas de la Tasa de Absorción Específica a ejecutarse con equipos terminales con tecnología 2G, considerando las limitaciones y funcionalidad de los equipos del Laboratorio.
- Realizar una comparación entre la Norma de los Estados Unidos de América (1.6 W/kg promediado sobre cualquier tejido de 1g) y la Norma Europea (2 W/kg promedio sobre una masa de tejido de 10g).
- Ejecutar pruebas de la Tasa de Absorción Específica en la banda GSM 850 y la banda GSM 1900 para 2G.
- Recomendar una Norma que pueda ser aplicada en el Ecuador correspondiente a la exposición de radiación RF de teléfonos móviles.

- Emplear 4 equipos terminales con tecnología 2G y someterlos al procedimiento del protocolo establecido.
- Realizar un estudio del arte de la Tasa de Absorción Específica.
- Verificar los resultados obtenidos en el Laboratorio de Certificación de Equipos de Telecomunicaciones con la información de SAR disponible en Organismos Internacionales reconocidos por el CONATEL.

1.5 NORMA ECUATORIANA

1.5.1 Resolución No. 452-29-CONATEL-2007

El Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) como ente de administración y regulación de las telecomunicaciones en el Ecuador en el artículo 146 del Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada establece que los equipos terminales de telecomunicaciones usados dentro del país, deberán estar homologados y normalizados, para promover el desarrollo armónico de los servicios de telecomunicaciones. (CONATEL, 2007)

1.5.1.1 Reglamento para homologación de equipos terminales de telecomunicaciones

El CONATEL en ejercicio de sus atribuciones legales expide el Reglamento para la homologación de equipos terminales de telecomunicaciones.

Artículo 2.- **Ámbito.-** La aplicación del presente Reglamento comprende a los equipos terminales de telecomunicaciones, conforme lo definido en el presente Reglamento, que utilizan espectro radioeléctrico por clase, marca y modelo y que utilicen niveles de potencia superiores a 50 mW.

Artículo 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.

Artículo 6.- Certificado.- La SUPTEL emitirá el certificado de homologación, el cual será genérico por cada clase, marca y modelo de equipo de telecomunicaciones. El certificado contendrá las especificaciones técnicas mínimas de operación de los equipos.

Artículo 7.- Cantidad de homologaciones.- Un equipo terminal de telecomunicaciones por cada clase, marca y modelo se homologará por una sola vez.

Artículo 9.- Registro.- La SUPTEL llevará un registro de los certificados de homologación que se emitan, el cual será público, de fácil y de libre acceso a través de su página Web. La SUPTEL entregará copia del certificado correspondiente a cualquier persona natural o jurídica que lo solicite.

Artículo 11.- Comercialización.- Para la comercialización u operación en el país de los equipos terminales de telecomunicaciones referidos en el presente Reglamento, éstos deberán estar previamente homologados.

Artículo 20.- Supervisión.- La SUPTEL será la responsable de la supervisión del cumplimiento de las normas establecidas en el presente Reglamento.

Artículo 21.- Sanción.- El Superintendente de Telecomunicaciones juzgará el incumplimiento del presente Reglamento de conformidad con lo establecido en la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada.

Artículo 25.- Derechos.- Cualquier persona natural o jurídica que adquiera un equipo terminal de telecomunicaciones, debe exigir al proveedor de éste equipo que se encuentre homologado ante la SUPTEL.

Este Reglamento deroga el Reglamento para homologación de equipos de telecomunicaciones, expedido mediante Resolución 72-02-CONATEL-2005, publicado en el Registro Oficial 551, de 24 de marzo de 2005. El presente Reglamento actualmente se encuentra en vigencia. (CONATEL, 2007)

1.6 NORMA INTERNACIONAL

1.6.1 Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP)

Creada por la Asociación Internacional de Protección contra la Radiación (IRPA). Es una comisión científica independiente para fomentar la protección contra la radiación no ionizante (RNI) en beneficio de las personas y del medio ambiente. (ICNIRP, 1994)

1.6.1.1 Absorción de energía de los campos electromagnéticos

Con respecto a la absorción de energía por el cuerpo humano, los campos electromagnéticos pueden ser divididos en cuatro rangos. (ICNIRP, 1994)

- Frecuencias de alrededor de 100 KHz a menos de 20 MHz, en las cuales la absorción en el tórax decrece rápidamente con la disminución de la frecuencia, y absorción significativa puede ocurrir en el cuello y las piernas.
- Frecuencias en el rango por encima de los 20 MHz a 300 MHz, en las cuales una absorción relativamente alta puede ocurrir en todo el cuerpo, y aún valores más altos si se consideran las resonancias parciales del cuerpo, por ejemplo la cabeza.
- Frecuencias en el rango por encima de los 300 MHz a varios GHz, en las cuales ocurre una absorción no- uniforme significativamente local.

- Frecuencias por encima de los 10 GHz, en las cuales la absorción de energía ocurre principalmente en la superficie del cuerpo.

1.6.1.2 Restricciones básicas

Entre 1 Hz y 10 MHz, las restricciones básicas están dadas en términos de la densidad de corriente, para prevenir daños funcionales en el sistema nervioso.

Entre 100 KHz y 10 GHz, las restricciones básicas están dadas en términos del SAR para prevenir el estrés térmico de todo el cuerpo y un calentamiento localizado excesivo en los tejidos.

En el rango de 100 KHz y 100 MHz, las restricciones están dadas en términos de la densidad de corriente y del SAR.

Entre 10 y 300 GHz, están dadas en términos de la densidad de potencia para prevenir el calentamiento excesivo en los tejidos o cerca de la superficie del cuerpo. (ICNIRP, 1994)

Tabla 1.

Restricciones básicas para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos para frecuencias hasta 10 GHz

Características de la exposición	Rango de Frecuencias	Densidad de Corriente para cabeza y tronco ($mA m^{-2}$) (<i>rms</i>)	SAR promedio en todo el cuerpo (WKg^{-1})	SAR localizado cabeza y tronco (WKg^{-1})	SAR localizado (extremidades) (WKg^{-1})
Exposición ocupacional	hasta 1 Hz	40	--	--	--
	1 – 4 Hz	40/f	--	--	--
	4 Hz - 1 KHz	10	--	--	--
	1 – 100 KHz	F/100	--	--	--
	100 KHz - 10 MHz	F/100	0,4	10	20
	10 MHz - 10 GHz	--	0,4	10	20
Exposición al público en genera	hasta 1 Hz	8	--	--	--
	1 – 4 Hz	8/f	--	--	--
	4 Hz - 1 KHz	2	--	--	--
	1 – 100 KHz	F/500	--	--	--
	100 KHz - 10 MHz	F/500	0,08	2	4
	10 MHz - 10 GHz	--	0,08	2	4

Fuente: (ICNIRP, 1994)

1.6.2 EN-50147-1 Cámaras anecóicas.

Esta norma se aplica a la medida de la atenuación del apantallamiento de las envolventes (cámaras) apantalladas en el rango de frecuencia de 9 KHz a 40 GHz. La atenuación del apantallamiento puede calcularse sólo en casos ideales. El factor más significativo es que la envolvente apantallada sea homogénea y esté compuesta de materiales cuyas propiedades se definan en todos los aspectos. (EN, 1997)

1.6.2.1 Atenuación del apantallamiento

La atenuación del apantallamiento está dada por:

$$a_s = 20 \log (E_0/E_1) \quad \text{para el campo eléctrico} \quad (1.5)$$

$$a_s = 20 \log (H_0/H_1) \quad \text{para el campo magnético} \quad (1.6)$$

Donde:

a_s = atenuación del apantallamiento en dB.

E_0 y H_0 = intensidad de campos E y H sin apantallamiento entre las antenas de transmisión y recepción (nivel de referencia).

E_1 y H_1 = intensidad de campos E y H con apantallamiento entre las antenas de transmisión y recepción (nivel de interés para cálculo de aislamiento). (EN, 1997)

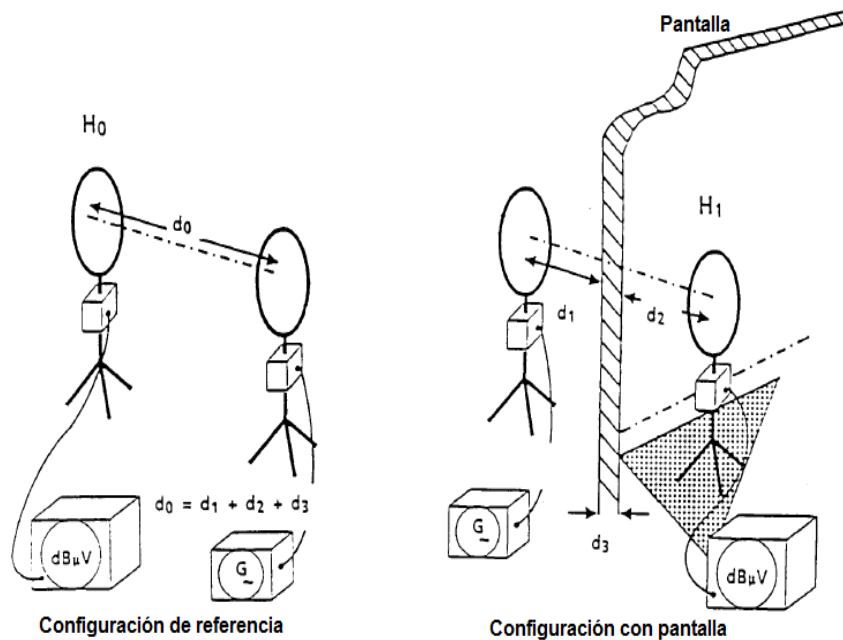


Figura 1. Atenuación del apantallamiento

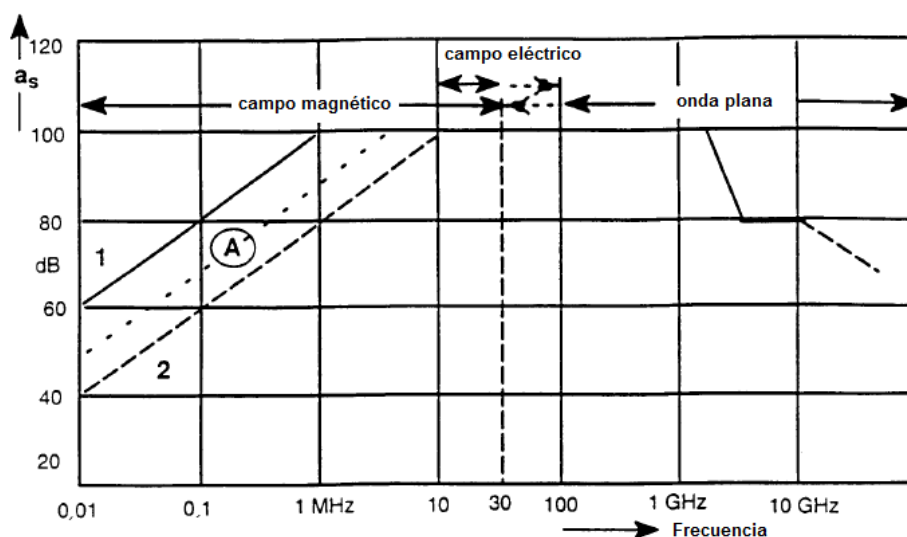


Figura 2. Valores típicos de atenuación del apantallamiento

La curva A nos muestra el funcionamiento tolerado de los contactos de la puerta para una cámara apantallada de alta calidad. La curva 1 nos indica el funcionamiento elevado de una cámara apantallada. La curva 2 nos presenta el funcionamiento estándar de una cámara apantallada.

1.6.2.2 Medida de la atenuación del apantallamiento

Esta medida se lleva a cabo normalmente con todos los componentes de apantallamiento en su lugar y, en el caso de filtros, con todos los hilos y cables conectados. (EN, 1997)

1.6.2.3 Pruebas de recepción

Los procedimientos de la norma EN 50147-1 numeral 5.2: se toman medidas en diferentes puntos alrededor de la cámara antes de la instalación del material absorbente. Si el ruido ambiente es suficientemente bajo, los ensayos se pueden realizar con el receptor fuera de la cámara y el transmisor dentro de la misma. (EN, 1997)

1.6.2.4 Pruebas de fuga

La medición se realiza alrededor del marco de la puerta, a través de las juntas accesibles, alrededor de los filtros y de los conductos de ventilación. Adicionalmente, se medirá la magnitud y localización del nivel máximo de señal que pasa por las paredes de la cámara, situando las antenas en al menos cuatro puntos, preferentemente en diferentes paredes. (EN, 1997)

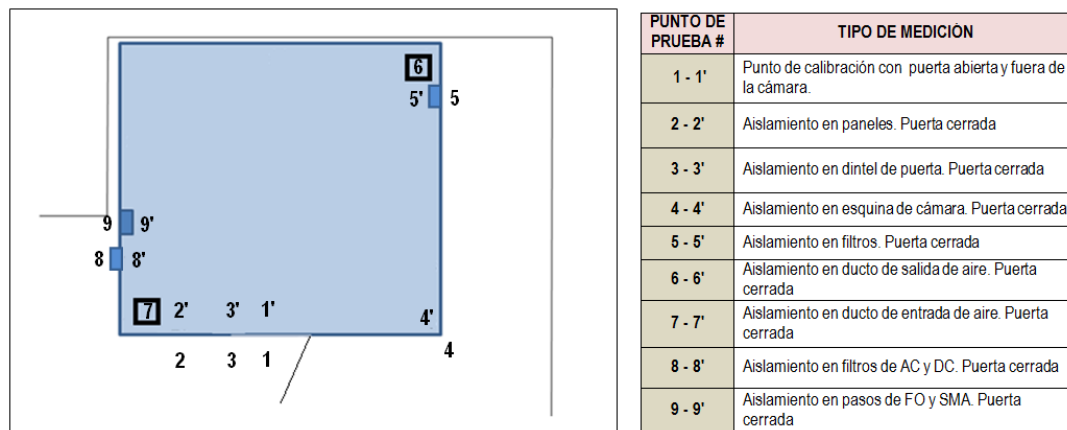


Figura 3. Puntos de medición del apantallamiento

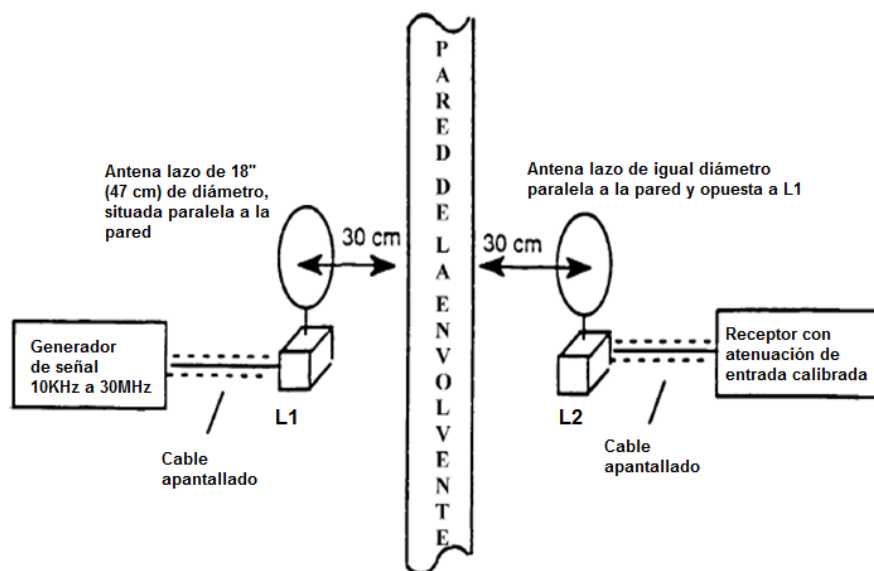


Figura 4. Medición de E_1 y H_1

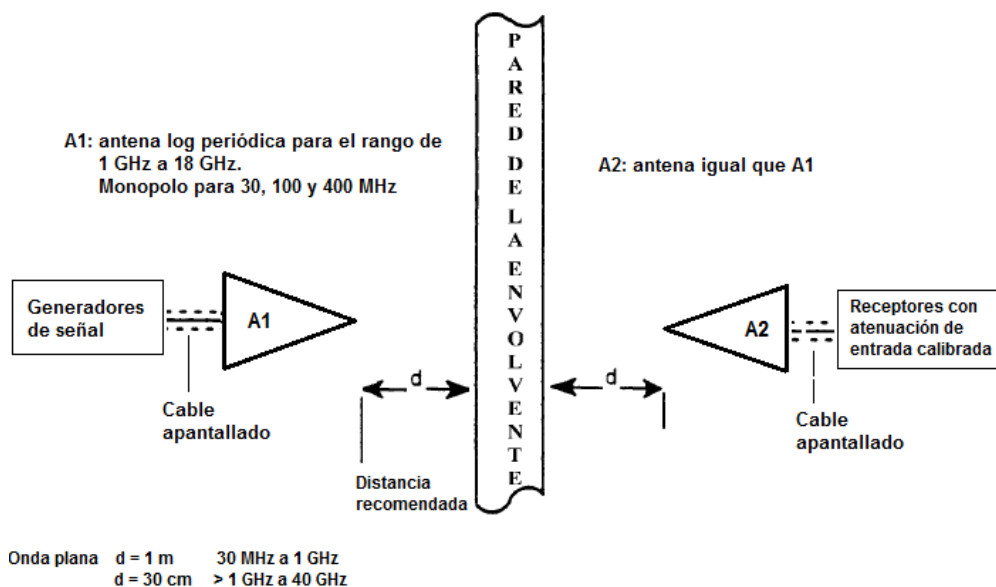


Figura 5. Medición de onda plana

1.6.3 Federal Communications Commission

1.6.3.1 FCC OET Bulletin 65 - Evaluación de la Conformidad con las Directrices de FCC para la exposición humana a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia

1.6.3.1.1 Categorías de Exposición

Con relación a la intensidad de campo, la densidad de potencia S y de los requisitos de SAR, los estándares ANSI / IEEE y los criterios de exposición NCRP, sobre los cuales se basan las directrices de la FCC, se recomiendan límites con respecto a:

- Exposición ocupacional / controlada
- Exposición de la población en general / no controlada

Los requisitos de cumplimiento para cada categoría se basan en el conocimiento y la capacidad de ejercer control sobre la exposición de una persona. (FCC, 1997)

1.6.3.1.2 Exposición ocupacional / controlada

Los límites de esta categoría son aplicables en personas expuestas por su trabajo, y que tienen precaución completa y pueden controlar su exposición. Es aplicable cuando la exposición es transitoria por el paso incidental a través de un lugar donde los niveles de exposición pueden ser superiores a los límites de población general / no controlada, pero la persona expuesta está consciente de la posibilidad de exposición y puede ejercer control al dejar la zona o usar otros medios apropiados.

La conciencia de la posibilidad de exposición de RF en un lugar de trabajo o entorno similar se puede brindar a través de una formación específica dentro de un programa de seguridad de la RF. Usar señales de advertencia y letreros para recordar el riesgo. Es importante informar sobre el riesgo de la exposición potencial y las instrucciones sobre los métodos para minimizar estos riesgos de exposición. (FCC, 1997)

1.6.3.1.3 Exposición poblacional / no controlada

Esta categoría de exposición es aplicable a situaciones en las que el público en general puede estar expuesto o en el que las personas que están expuestas como consecuencia de su empleo no pueden ser plenamente conscientes de la posibilidad de una exposición o no pueden ejercer control sobre ella. El público puede entrar en esta categoría cuando la exposición no está relacionada con el empleo, por ejemplo, en el caso de un transmisor inalámbrico que exponga las personas de su entorno.

Etiquetas de advertencia colocadas en dispositivos de consumo de baja potencia, como los teléfonos celulares no son suficientes para permitir que el dispositivo sea considerado bajo los límites de exposición de las categorías ocupacional / controlada y aplicaría la categoría poblacional / no controlada. (FCC, 1997)

1.6.3.1.4 Dispositivos Móviles y Portátiles

Los equipos móviles y portátiles autorizados que operan en los servicios móvil celular, PCS, inalámbricos de comunicaciones, satelitales, marítimos (sólo estaciones terrenas) y servicios especializados de radio móvil, están sujetos a la rutina de evaluación ambiental de la exposición a RF antes de la autorización o el uso del equipo.

Todos los demás dispositivos de transmisión móvil, portátil y sin licencia son normalmente excluidos de la evaluación ambiental de rutina para la exposición a la RF.

FCC define los equipos móviles como los transmisores diseñados para ser usados de forma no fija y a una distancia de separación de hasta 20 cm entre las antenas y el cuerpo del usuario o personas cercanas. Son evaluados por la posible exposición con relación a los límites de la MPE o Máxima Exposición Permitida. Los dispositivos portátiles deben ser evaluados en relación con los límites de la tasa de absorción específica (SAR). (FCC, 1997)

Tabla 2.

Límites para exposición ocupacional controlada (*densidad de potencia equivalente de onda plana)

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 Promediación $ 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

Fuente: (FCC, 1997)

Tabla 3.

Límites para exposición de población general no controlada (*densidad de potencia equivalente de onda plana)

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 Promediación $ 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

Fuente: (FCC, 1997)

1.6.3.1.5 Evaluación de equipos Móviles y Portátiles

Lo más probable es que el usuario esté muy próximo a la antena de RF, y métodos de predicción no sean aplicables en todos los casos. Evaluar la exposición requiere consideración especial. El análisis FDTD es aceptable para determinar el cumplimiento de SAR.

Las técnicas determinan las características de SAR en personas expuestas. Para que sean válidas, el algoritmo de cálculo y el modelado deben ser validados, con modelos apropiados del cuerpo humano con estimaciones precisas de SAR. Hay modelos exactos del cuerpo humano adulto, el modelo de dispositivos es más complejo. (FCC, 1997)

1.6.3.2 Suplemento C - Información adicional para Evaluación de la Conformidad con las Directrices de FCC para la exposición humana a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia

1.6.3.2.1 Equipos Portátiles

En esta categoría incluye los teléfonos celulares y PCS portátiles que incorporan la antena en la pieza de mano, y los transmisores que se llevan cerca del cuerpo. (FCC, 2001)

SAR límite en portátiles = 1,6 W / kg, promediados sobre 1g de tejido.

1.6.3.2.2 Evaluación de SAR con equipos portátiles o móviles

Los equipos portátiles deben evaluarse con los límites de SAR adoptados. Los equipos móviles pueden evaluarse con los límites de SAR, pero es más simple y rentable evaluar la intensidad de campo o los límites de densidad de potencia S.

Configuraciones móviles / portátiles, como teléfonos de escritorio y módems inalámbricos, se cumple con evaluación de SAR en configuraciones portátiles. Límites SAR no se aplican a dispositivos con $F > 6$ GHz. (FCC, 2001)

1.6.3.2.3 Técnicas de evaluación de SAR

La antena de la mayoría de teléfonos irradia a 1-2 cm de la cabeza o cuerpo. Aún a niveles de potencia bajos, se esperan altos niveles de campo cerca de la antena. El usuario del teléfono móvil está en la región de campo cercano reactivo de la antena donde el campo electromagnético es en su mayoría no-propagado.

La energía absorbida se debe a los campos E inducidos por los campos H. Los campos H son generados por la corriente que fluye a lo largo de la antena y otras estructuras radiantes del dispositivo.

La absorción máxima de energía se espera en los tejidos con mayor contenido de agua, cerca de la superficie de la cabeza o el cuerpo. Por los efectos de acoplamiento de energía de campo cercano, los transmisores portátiles se evalúan con modelos de cabeza y cuerpo, midiendo SAR. (FCC, 2001)

1.6.3.2.4 Posiciones de prueba para handsets y otros transmisores

Los documentos de medición SAR recomiendan que los teléfonos móviles deban ser probados en el lado izquierdo y derecho del fantoma de cabeza en unas varias configuraciones de prueba para obtener una estimación de las exposiciones.

En teléfonos con antenas retráctiles, deben ser evaluados con la antena auricular totalmente extendida y totalmente retraída para cada configuración de prueba. La mayoría de los teléfonos móviles no funcionan bien con sus antenas parcialmente extendidas.

Si la posición de la antena conduce un excesivo flujo de corriente RF en el chasis, se espera la máxima absorción de energía en la región de la mejilla.

No hay un modelo normalizado de mano, los teléfonos deben ser probados en un soporte dieléctrico de bajas pérdidas para minimizar la incertidumbre de prueba del dispositivo de posicionamiento. (FCC, 2001)

1.6.3.2.5 Modelos de Tejidos

Las características de absorción de energía RF de tejidos del cuerpo se relacionan con su contenido de agua. Tejidos de alto contenido de agua (músculos y piel) absorben más energía RF que los de bajo contenido de agua (grasa, huesos o cráneo) absorben menos energía. En RF y μ Ondas, los tejidos se caracterizan por su permitividad y conductividad a 37°C. (FCC, 2001)

1.6.3.2.6 Descripción y Requerimientos del Sistema de Medición SAR

El sistema de medición de SAR consiste de:

- Sonda isotrópica de campo E de pequeño diámetro.
- Sistema de posicionamiento de sonda de eje múltiple.
- Sujetador del dispositivo de prueba.
- Fantomas.
- Instrumentación para la sonda de campo E.
- PC y otros equipos electrónicos para el control de la sonda y para hacer las mediciones.
- Equipos de apoyo: analizador de redes, medidores de potencia y generadores de señal RF, son necesarios para medir los parámetros dieléctricos de los medios de los tejidos simulados y para verificar la exactitud de medición del sistema SAR. (FCC, 2001)

1.6.3.2.7 Calibración

Además de la calibración de la sonda, la precisión del sistema de medición SAR también debe ser verificada usando una fuente de señal de RF calibrada dentro de la banda de frecuencia de transmisión del dispositivo de prueba. El sistema de medición SAR por lo general debe ser verificado diariamente cuando se realizan mediciones SAR.

Si los valores medidos de SAR a 1g de líquido se desvían más del 10% del valor objetivo de referencia (especificado para la fuente de señal RF), las discrepancias se deben resolver antes de continuar con la medición SAR. El SAR medido depende de la distribución de corriente de RF y las características de acoplamiento de energía establecida por el dispositivo de prueba y el modelo de tejido. (FCC, 2001)

1.6.3.2.8 Condiciones de prueba de equipos

Teléfonos móviles y transmisores portátiles deben probarse a plena potencia para cumplimiento SAR. Para verificar si un dispositivo se ha probado a plena potencia, hay que medir el nivel de salida antes y después de cada medición SAR para confirmarla.

Los teléfonos deben ser probados en los canales de alta, media y baja frecuencia en cada modo de transmisión. En casos se antenas helicoidales o tipo patch, el rendimiento del dispositivo puede cambiar debido a la carga dieléctrica del cuerpo del usuario.

Si un dispositivo opera con factor de trabajo, debe usarse el factor de trabajo máximo para la evaluación de SAR. (FCC, 2001)

1.6.3.2.9 Incertidumbres de Mediciones y de Cálculo

El margen de error para los sistemas computacionales de medición se relaciona con los últimos avances técnicos para evaluación del SAR. Sistemas con técnicas poco confiables o que no producen resultados repetibles no deben ser usados para el cumplimiento de la FCC.

Incertidumbres de medición resultan de errores de instrumentación del sistema, la respuesta de la sonda y su calibración, las propiedades dieléctricas del tejido y el parámetro de caracterización de los tejidos. La incertidumbre por procedimientos de medición incluye la colocación del DUT, la colocación de las sondas, los algoritmos para interpolar, extrapolar y analizar los datos de medición y para determinar el SAR promedio de 1 g de tejido. (FCC, 2001)

1.6.3.2.10 SAR en espectro ensanchado

Los transmisores de espectro ensanchado operan de forma segura y el público no está expuesto a niveles de energía de RF por encima de las directrices de la FCC.

Si un transmisor está diseñado para operar junto al cuerpo del usuario o cerca de personas, es conveniente una evaluación de RF. Las evaluaciones se limitan a transmisores con potencia de salida $\geq 0,5$ W, que operan muy cerca del cuerpo, con alto factor de trabajo y sin medios eficaces para limitar la exposición RF. Si se solicita la evaluación de RF, se usan los procedimientos descritos en este suplemento para móviles y portátiles con respecto a los límites de MPE o SAR.

Métodos para asegurar el cumplimiento deben ser efectivos. Las instrucciones de instalación, operación y advertencias deben explicar su propósito y proporcionar los medios adecuados para el cumplimiento satisfactorio. (FCC, 2001)

1.6.3.2.11 Métodos para transmisores de espectro ensanchado

Los niveles de potencia y las distancias son valores aproximados representativos de las condiciones típicas de operación para la mayoría de los transmisores de espectro ensanchado que funcionan a 915 MHz ó 2450.

Para transmisores fijos y móviles que no se llevan junto al cuerpo, las instrucciones o etiquetas de advertencia permiten que los usuarios y personas cercanas a la exposición se mantengan a una distancia especificada del dispositivo donde los límites de exposición a radiofrecuencia podrían ser superados. (FCC, 2001)

Tabla 4.

Métodos para transmisores de espectro ensanchado

Transmisor o Equipo	Salida	Aplicación del Método
Teléfonos inalámbricos y la mayoría de los transmisores con antenas de monopolo o dipolo integradas	≤ 0.3 W a 915 MHz	Dispositivo o antena a menos de 2,5 cm del cuerpo (excluyendo manos, muñecas, pies y tobillos). La posibilidad de exceder el límite de SAR depende de las configuraciones de funcionamiento y de las condiciones de exposición del dispositivo.
	o	Salida está entre 50 y 100 mW, usar advertencias de funcionamiento, instrucciones en manual de usuario.
	≤ 0.2 W a 2450 MHz	Si las instrucciones no son eficaces, es conveniente medir SAR para verificar el cumplimiento con respecto a la tasa límite MPE.
Teléfonos inalámbricos y otros transmisores que se llevan junto al cuerpo del usuario o funcionan a distancias < 5 cm del cuerpo de los usuarios o personas cercanas	> 0.3 W a 915 MHz	Sobre 300 mW (200 mW a 2450 MHz), exceder el límite de SAR depende del diseño de la antena y las condiciones de funcionamiento del dispositivo.
	o	Indicaciones y etiquetas de advertencia para limitar la duración de la exposición y / o condiciones para garantizar el cumplimiento.
	> 0.2 W a 2450 MHz	Si los fabricantes creen que las advertencias no serán eficaces para mantener a las personas a distancias especificadas, sobre todo si la salida es > 400 a 500 mW, puede ser necesario medir el cumplimiento con respecto al límite de SAR.

Fuente: (FCC, 2001)

1.6.3.2.12 Límites de FCC para SAR (Specific Absorption Rate)

Tabla 5.**Límites de SAR para exposición ocupacional controlada según la FCC**

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

Fuente: (FCC, 2001)

Tabla 6.**Límites de SAR para exposición poblacional no controlada según la FCC**

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

Fuente: (FCC, 2001)

1.6.3.2.13 Información para documentación del cumplimiento de SAR

- I: Información sobre dispositivo de prueba y categorías de exposición
- II: Información específica para mediciones SAR
- III: Información específica para cálculos SAR

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

Los parámetros dieléctricos de los tejidos de la cabeza, recomendados por el comité de IEEE SCC-34/SC-2 se derivan de los modelos de capas planas que simulan el máximo SAR esperado para las propiedades dieléctricas y las variaciones de espesor del tejido en una cabeza humana, como se indica en la tabla 7: (FCC, 2001)

Tabla 7.**Parámetros dieléctricos de cabeza y cuerpo según la FCC**

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

Fuente: (FCC, 2001)

ϵ_r = permitividad relativa

σ = conductividad

$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

1.6.3.2.15 Composición típica de los líquidos para los fantomas

Son una referencia que debe ser verificada. La composición y los ingredientes pueden ser modificados por las rutinas de evaluación de SAR. (FCC, 2001)

Tabla 8.**Composición de los líquidos para los fantomas**

Ingredientes (% en peso)	Frecuencia (MHz)				
	450	835	915	1900	2450
Tipo de tejido	Cabeza	Cabeza	Cabeza	Cabeza	Cabeza
Agua	38.56	41.45	41.05	54.9	62.7
Sal (NaCl)	3.95	1.45	1.35	0.18	0.5
Azúcar	56.32	56.0	56.5	0.0	0.0
HEC	0.98	1.0	1.0	0.0	0.0
Bactericida	0.19	0.1	0.1	0.0	0.0
Triton X-100	0.0	0.0	0.0	0.0	36.8
DGBE	0.0	0.0	0.0	44.92	0.0
Constante Dieléctrica	43.42	42.54	42.0	39.9	39.8
Conductividad (S/m)	0.85	0.91	1.0	1.42	1.88

Fuente: (FCC, 2001)

1.6.4 BS EN 50360 - Norma de producto para demostrar el cumplimiento de los teléfonos móviles con las restricciones básicas relacionadas con la exposición humana a los campos electromagnéticos (300 MHz - 3 GHz)

Esta norma se aplica a cualquier dispositivo de transmisión destinado a ser utilizado con la parte de radiación de los equipos en estrecha proximidad al oído humano (por ejemplo, teléfonos móviles, teléfonos inalámbricos, etc.) La gama de frecuencias cubierta es de 300 MHz a 3 GHz.

El objeto de esta norma es para demostrar el cumplimiento de estos equipos con las restricciones básicas relacionadas con la exposición humana a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia. (BS EN, 2012)

1.6.4.1 Referencias normativas

Esta norma europea incorpora por referencia las disposiciones de otras publicaciones. Estas referencias normativas se citan en el texto. Para las referencias fechadas, las modificaciones posteriores o revisiones de cualquiera de estas publicaciones se aplican a esta norma europea cuando se incorporan mediante revisión o modificación. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de la publicación mencionada (incluyendo enmiendas): (BS EN, 2012)

EN 62209-1:2006, Exposición humana a campos de radiofrecuencia de dispositivos inalámbricos de comunicación de mano o montados en el cuerpo - Modelos humanos, instrumentación, y procedimientos - Parte 1: Procedimiento para determinar la tasa de absorción específica (SAR) para los dispositivos portátiles de mano utilizados en las proximidades de la oreja (rango de frecuencia de 300 MHz a 3 GHz).

IEC 62209-1:2005 Recomendación 1999/519/CE del Consejo, de 12 de julio de 1999, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz) (Official Journal L 197, del 30 de julio de 1999).

ICNIRP Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (1998), Directrices para limitar la exposición de tiempo variable, campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz). Health Physics 74, 494-522.

1.6.4.2 Límites de exposición

El teléfono móvil debe cumplir con la restricción básica tal como se especifica en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo relativa a la limitación de la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz). (BS EN, 2012)

Tabla 9.**Límites para exposición ocupacional controlada según la EN 50360**

Cuerpo entero	Partes del cuerpo	Manos, muñecas, pies y tobillos
0.4 W/Kg	10 W/Kg	20 W/Kg

Fuente: (BS EN, 2012)

Tabla 10.**Límites para exposición poblacional no controlada según la EN 50360**

Cuerpo entero	Partes del cuerpo	Manos, muñecas, pies y tobillos
0.08 W/Kg	2 W/Kg	4 W/Kg

Fuente: (BS EN, 2012)

1.6.4.3 Método de medición

Las mediciones de SAR se realizan de acuerdo con la norma EN 62209-1.

1.6.4.4 Evaluación del cumplimiento de los límites

Si la potencia media emitida por el teléfono móvil es inferior o igual a 20 mW, entonces se considera que el teléfono móvil cumple con las restricciones básicas sin probarlo.

Si la potencia media emitida por el teléfono móvil es más de 20 mW, a continuación, las medidas de SAR se realizan de acuerdo con la cláusula 5. Los resultados de las mediciones se pueden comparar directamente hasta el límite. El equipo se considera que cumple con los requisitos de esta norma, si los valores medidos son menores que o igual al límite. (BS EN, 2012)

1.6.5 IEC 62209-1

1.6.5.1 Dispositivos Portátiles Inalámbricos

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) es la principal organización mundial que prepara y publica Normas internacionales para todas las tecnologías eléctricas, electrónicas y relacionadas.

El objetivo de este estándar es especificar el método de medición para demostrar la conformidad con los límites de la tasa de absorción específica (SAR) para dichos dispositivos. Este Estándar Internacional se aplica a todo dispositivo de transmisión de campo electromagnético (EMF) destinado a ser utilizado con la parte radiante del dispositivo cercano a la cabeza de un ser humano y colocado encima de su oreja, incluyendo teléfonos móviles, teléfonos inalámbricos, etc. El rango de frecuencia está entre 300 MHz y 3 GHz.

La SAR se determina a partir de mediciones del campo E en un maniquí anatómicamente correcto (con cubierta dieléctrica rellena de líquido) de la cabeza humana mediante una sonda de campo E en miniatura explorada robóticamente. El líquido dentro de la cubierta tiene propiedades eléctricas que simulan tejido cerebral humano. La SAR se determina a partir de la relación entre E y las propiedades del tejido. (IEC, 2005)

1.6.5.2 Referencias Normativas

ISO/IEC Guide: 1995, *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*.

ISO/IEC 17025:1999, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*.

1.6.5.3 Condiciones ambientales del laboratorio

La temperatura debe estar entre 18 °C y 25 °C y la variación de temperatura de los líquidos no debe exceder ± 2 °C durante la prueba. El ruido ambiental debe estar entre 0.012 W/Kg (3% del límite mínimo de detección 0.4 W/Kg).

El dispositivo inalámbrico no debe estar conectado las redes inalámbricas locales. Los efectos de las reflexiones, transmisores secundarios RF debe ser menor del 3% de la medición SAR. (IEC, 2005)

1.6.5.4 Especificaciones del fantoma SAM

La forma estándar del fantoma se deriva del tamaño y dimensiones del 90% de la cabeza grande reportada en un estudio antropomórfico. El material del fantoma debe ser construido de material de baja permitividad y pérdida, con una permitividad relativa ≤ 5 y tangente de pérdida ≤ 0.05 .

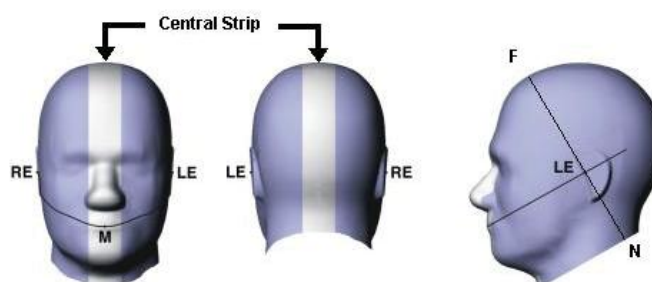


Figura 6. Especificaciones del fantoma

Las propiedades dieléctricas del líquido usado en el fantoma deben ser las especificadas en la tabla 11. (IEC, 2005)

Tabla 11.**Parámetros dieléctricos de cabeza según la EN 50360**

Frecuencia MHz	Constante Dieléctrica Relativa ϵ_r	Conductividad (σ) S/m
450	43,5	0,87
835	41,5	0,90
900	41,5	0,97
1450	40,5	1,20
1800	40,0	1,40
1900	40,0	1,40
1950	40,0	1,40
2000	39,2	1,40
2450	38,5	1,80

Fuente: (IEC, 2005)

1.6.5.5 Especificaciones del equipo de medición de SAR

El equipamiento de medición debe ser calibrado como un sistema completo. La sonda debe ser calibrada junto con un amplificador, dispositivo de medición y sistema de adquisición técnicamente equivalente. El equipo de medición deberá ser calibrado para cada fórmula de líquido-tejido equivalente en la frecuencia y temperatura de operación apropiada.

El límite mínimo de detección deberá ser menor a 0,02 W/kg, y el límite máximo de detección deberá ser más alto que 100 W/kg. La linealidad debe estar dentro de $\pm 0,5$ dB sobre el rango de SAR desde 0.01 W/kg a 100 W/kg. (IEC, 2005)

1.6.5.6 Requerimientos técnicos

- La exactitud del posicionamiento de la sonda debe ser mejor que ± 0.2 mm.

- La resolución de posicionamiento debe ser de 1 mm o menos.

1.6.5.7 Especificaciones del sujetador del dispositivo

Se debe tomar las precauciones necesarias para evitar una influencia significativa en las mediciones SAR producto de cualquier reflexión y absorción del ambiente (como el piso, sujetador o superficie del líquido).

El sujetador debe permitir el posicionamiento del dispositivo acorde a las definiciones dadas, con una tolerancia $\pm 1^\circ$ en el ángulo de inclinación. El material debe ser de baja pérdida y permitividad. (IEC, 2005)

1.6.5.8 Medición de las propiedades dieléctricas del líquido

Las propiedades dieléctricas deben ser medidas en la temperatura y frecuencia relevantes. Los parámetros dieléctricos deben ser evaluados y comparados con los valores dados en la Tabla 11 usando interpolación lineal. Estos valores deben ser usados en el cómputo del SAR. (IEC, 2005)

1.6.5.9 Preparación de la medición

Las propiedades dieléctricas de los líquidos simuladores de tejidos deberán ser medidas dentro de las 24 horas previas a realizar las mediciones de SAR.

Para frecuencias entre 300 MHz y 2 GHz, el valor de conductividad medida y la constante dieléctrica debe estar dentro de $\pm 5\%$ del valor dado en la Tabla 11. Para frecuencias entre 2 GHz y 3 GHz, la conductividad medida debe estar dentro del $\pm 5\%$ del valor dado en la Tabla 11. La permitividad relativa puede estar dentro del $\pm 10\%$ del valor de la Tabla 11.

El fantoma deberá ser llenado con una profundidad de al menos 15 cm sobre el punto de referencia del oído (ERP). El líquido deberá ser mezclado cuidadosamente antes de la medición y debe estar libre de burbujas de aire. La viscosidad del líquido no deberá impedir el movimiento de la sonda.

La revisión del sistema deberá ser realizada para detectar posibles derivas o cualquier otra incertidumbre en el sistema como:

- Cambios en los parámetros de los líquidos debido a evaporamiento de agua o cambios de temperatura
- Fallos de los componentes
- Derivaciones de los componentes
- Errores del operador al configurar los parámetros del sw
- Condiciones adversas en el sistema (Interferencia RF)

La revisión del sistema es una medición completa de SAR de 1g o 10g, acorde a los procedimientos especificados debe ser ejecutada antes de realizar las pruebas SAR. (IEC, 2005)

1.7 LABORATORIO DE CERTIFICACIÓN DE EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES

1.7.1 Fase I

La primera fase del laboratorio de homologación consiste en la adquisición del equipamiento para realizar pruebas de radiofrecuencia a equipos terminales para el servicio móvil avanzado, terminales troncalizados, terminales comunales, sistemas de modulación digital de banda ancha, terminales para sistemas satelitales, módems y otros. (Portal de compras públicas, 2011)

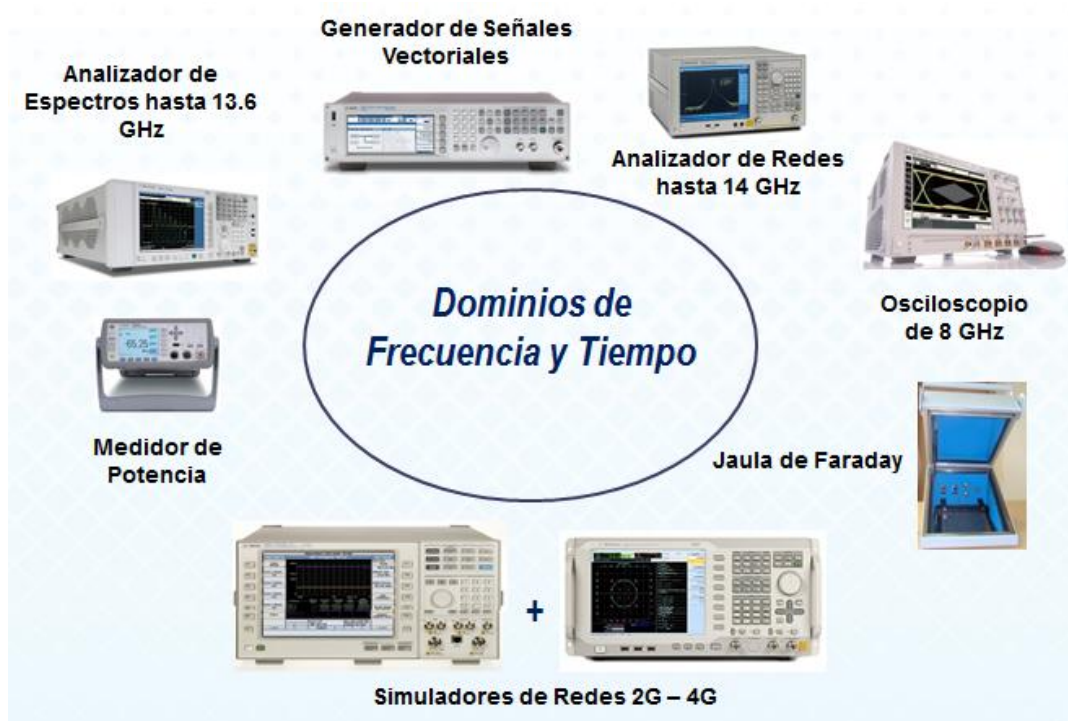


Figura 7. Equipos adquiridos en la Fase I

1.7.2 Fase II

La segunda fase de la adquisición de equipamiento para el laboratorio de homologación, fue realizada en el año 2013 y consiste en la compra del equipamiento para realizar pruebas de SAR. Como antecedente se tiene el contrato PRG-2013-014 de 24 de enero de 2013. (SUPERTEL, 2013)

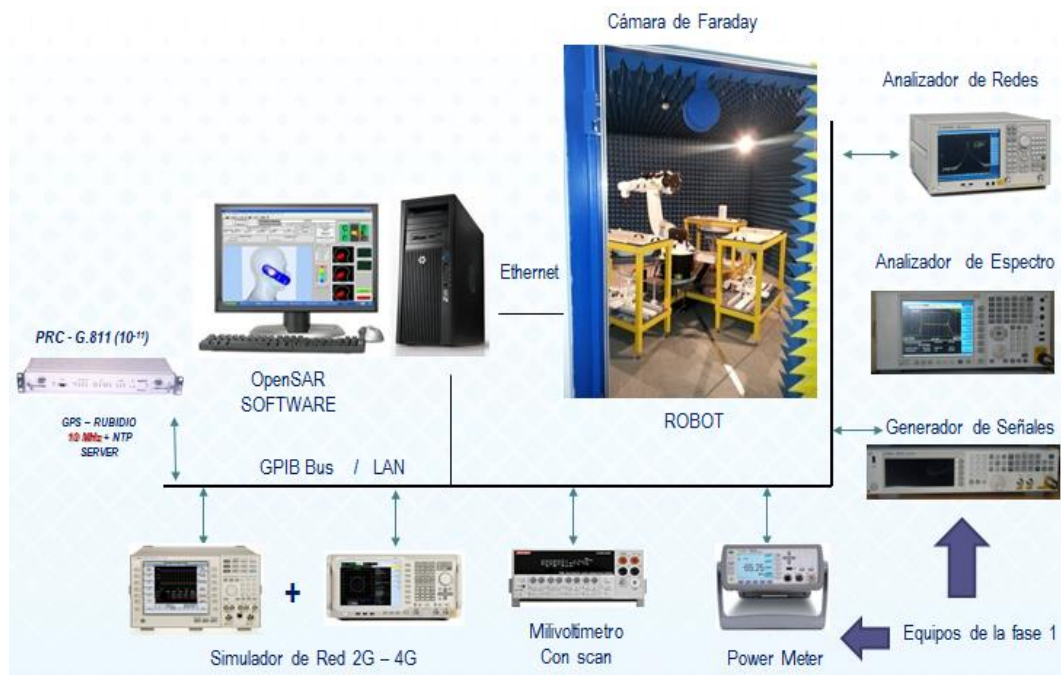


Figura 8. Equipamiento para realizar pruebas de SAR

1.7.2.1 Cámara semi-anechoica

Para realizar pruebas y mediciones de SAR, se ha implementado una cámara semi-anechoica, es decir una cámara recubierta internamente con materiales absorbentes en las cuatro paredes y techo pero no en el suelo. La cámara semi-anechoica consta de una cámara envolvente Faraday blindada y en el interior está recubierta con materiales absorbentes electromagnéticos. (SUPERTEL, 2013)

Las especificaciones técnicas de la cámara semi-anechoica, son las siguientes:

Tabla 12.

Especificaciones técnicas de la cámara de Faraday

Cámara Faraday	
Dimensiones exteriores (Ancho/Largo/Altura)	4,8 x 4,8 x3 metros
Nivel de Atenuación de la Cámara Faraday, según norma: EN50147-1 para Campo Magnético H	10KHz >= 40 dB 1 MHz >= 80 dB
Nivel de Atenuación de la Cámara Faraday, según norma: EN50147-1 para Campo Eléctrico E / Onda Plana / Microonda	30MHz a 1GHz >=100dB 10 GHz >= 80 dB
Tipo de diseño	Modular con paneles blindados RF
Tipo de construcción	Auto soportada
Puerta de acceso	Puerta hermética y blindada para RF Con accionamiento Manual Batiente hacia afuera Dimensiones 1,2 x 2,1 m. Estará cubierta internamente con materiales absorbentes reforzados Dispone de un sistema de cierre que asegura un contacto eléctrico y blindaje de RF El blindaje de estos paneles es el mismo que de la cámara
Paneles o elementos del tipo panel (Honeycombs) para ventilación	Los paneles permiten una adecuada ventilación y climatización al interior Cuenta con un sistema para conexión directa al sistema de climatización
Piso	Piso interior antiestático con aterrizamiento Resistencia de puesta a tierra < 3 ohms
Otros	Sistema de video, en el interior de la cámara, para visualizar la ejecución de las pruebas y mediciones Sistema de iluminación interior de la cámara consta de 4 luces ubicadas en el piso, controladas con un interruptor externo Equipamiento para extinción de incendios, formado por dos sensores y dos extintores

Fuente: (SUPERTEL, 2013)



Figura 9. Cámara de Faraday

Tabla 13.

Especificaciones técnicas del material absorbente electromagnético

Materiales Absorbentes Electromagnéticos (Anecoicos)	
Valores de atenuación de los absorbentes (o Reflectividad en -dB)	a 700 MHz: 30 dB a 1 GHz: 35 dB a 3 GHz: 40 dB a 6 GHz: 45 dB
Altura máxima de los absorbentes	30,5 cm
Forma de los materiales absorbentes	Piramidales
Materiales absorbentes anecoicos	Materiales absorbentes electromagnéticos anecoicos en paredes y techo

Fuente: (SUPERTEL, 2013)

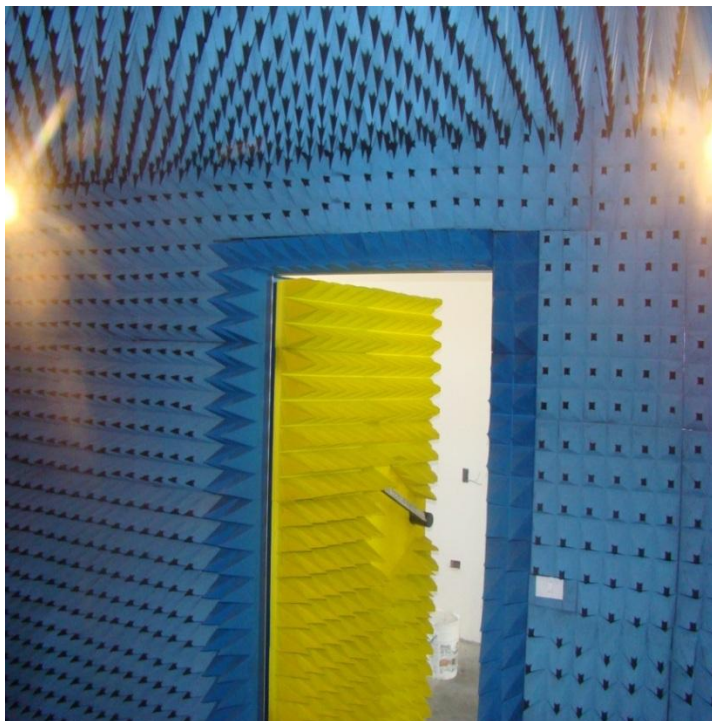


Figura 10. Material absorbente electromagnético

1.7.2.2 Sistema de Medición de la Tasa de Absorción Específica

Las especificaciones técnicas del sistema de medición de la tasa de absorción específica, son las siguientes: (SUPERTEL, 2013)

Tabla 14.

Especificaciones técnicas del sistema de medición de la tasa de absorción específica (1)

Sistema de Medición de la Tasa de Absorción Específica (SAR)	
Rango de frecuencia de medición	30 MHz a 6 GHz
Cumplimiento de Normas Internacionales	<p>IEEE 1528</p> <p>IEC 62209-1/, IEC 62209-2</p> <p>EN 50361:2001, EN 50360</p> <p>EN 50383</p> <p>FCC OET Bulletin 65 (Ed. 97-01) (OET 65) includes supplement C</p>
Configuración del equipo de medición	<p>El sistema de medición permite la selección de las bandas de frecuencia, canales y la tecnología o tipo de modulación del equipo bajo prueba, mediante drivers desarrollados para los equipos Agilent que dispone la Supertel</p> <p>SATIMO ha implementado rutinas de SW para mejorar la velocidad de medición</p>
Robot	<p>Robot de alta precisión de 6 ejes, con soporte para sensor de prueba</p> <p>Soporta mediciones para tres fantomas, sin necesidad de moverlos de su posición</p> <p>Sistema de control propio del robot incorporado con el sistema OPENSAR, que lo controla desde la computadora</p> <p>La repetitividad de la posición de la sonda es de +/-0,0 5mm</p> <p>Accesorios para su montaje, correcta operación, manejo y seguridad con la Tecnología Safe Robot</p>
Sistema de escaneo	<p>Permite obtener resultados de SAR en áreas de scan de 1g y 10g</p> <p>Precisión del posicionamiento de la sonda de prueba es de $\pm 0,1$ mm</p> <p>Permite realizar mediciones de "área scan" y "zoom scan", para encontrar los valores pico de SAR, en toda el área de medición</p>

Fuente: (SUPERTEL, 2013)

Tabla 15.

Especificaciones técnicas del sistema de medición de la tasa de absorción específica (2)

Sistema de Medición de la Tasa de Absorción Específica (SAR)	
Sistema de soporte para cada fantoma	<p>1 soporte para terminales de prueba tipo Handsets (teléfonos celulares)</p> <p>1 soporte o extensiones para tablets, laptops y accesspoints</p> <p>Permite la realización de mediciones de SAR para teléfonos celulares en posiciones “cheek” y “tilt”</p>
Líquidos para la realización de pruebas (Tissue Simulating Liquids – TSL)	Cumplen con las normas internacionales IEC/IEEE/FCC para los líquidos que simulan cabeza y cuerpo
Sistema de medición y calibración de líquidos	<p>Rango de medición hasta 6 GHz</p> <p>Sonda para la determinación de las propiedades de los líquidos, un cable RF, 3 botellas y un adaptador</p> <p>Cable tipo GPIB para el Analizador Vectorial de Redes Agilent E5071C</p> <p>Incluye Software de medición y calibración de líquidos integrados al software OPENSAR</p>
Software de configuración, operación y generación de resultados	<p>OPENSAR es el Software del sistema para control de los equipos, configuración, operación, y obtención de resultados</p> <p>Permite presentar los resultados en forma de texto, tablas y gráficas (mapeo de SAR) en 2D y 3D, en tiempo real</p> <p>Resultados de SAR en W/kg para valores picos de SAR, valores promediados de SAR sobre 1g y 10g, valor máximo de SAR sobre 1g y 10g, determinación de incertidumbre acumulada, y demás parámetros relacionados conforme las normas internacionales</p>
Mesas	<p>1 mesa para Robot y unidad de control</p> <p>3 mesas para Fantomas</p> <p>2 mesas para Equipos de medición con 2 taburetes c/u</p> <p>1 closet para dispositivos auxiliares</p>

Fuente: (SUPERTEL, 2013)

Tabla 16.

Especificaciones técnicas del sistema de medición de la tasa de absorción específica (3)

Sistema de Medición de la Tasa de Absorción Específica (SAR)	
Requisitos ambientales	<p>El sistema debe funcionar satisfactoriamente hasta una altura de 3000 m sobre el nivel del mar</p> <p>Temperatura de Operación: 14 a 28°C Humedad Relativa: máximo 90%</p>
Calibración de los equipos	<p>Los equipos serán calibrados una vez por año como parte del mantenimiento preventivo</p> <p>El sistema para la medición de SAR será validado anualmente</p>
Elementos para el uso, manejo y mezcla de líquidos o medios	<p>Todos los líquidos preparados tienen sus propios envases</p> <p>20 Frascos para líquidos (tipo matraz) plástico, de 3 lts, para la mezcla de líquidos, adecuados para su manipulación</p> <p>Jeringas de 50 cm³, para la extracción de líquidos</p> <p>Digital Hot Plate Stirrer - MS-H-Pro</p> <p>Balanza electrónica para medir los ingredientes</p> <p>10 Bidones de 10 litros de agua desionizada (conductividad: 4,3 µS/cm), 5 Kg de sacarosa, 5 Kg de Sal (NaCl), 2,5 Kg de celulosa, 5 litros de Bactericida, 5 litros de Diethylene, 5 litros de Glycol, 5 litros de Triton X-100 y 5 litros de 1.2-Propanediol</p>
Alimentación de los equipos	<p>Los equipos del sistema de medición, requieren 120/240 VAC +/- 10% a 60 Hz, con una capacidad de al menos 2,5 KVA</p>
Equipos de medición de SAR	<p>Equipos compatibles con los equipos de medición que dispone la Superintendencia de Telecomunicaciones</p>

Fuente: (SUPERTEL, 2013)

Tabla 17.

Especificaciones técnicas del sistema de medición de la tasa de absorción específica (4)

Sistema de Medición de la Tasa de Absorción Específica (SAR)	
Estación de trabajo	<p>Workstation HP Z420</p> <p>Intel® Xeon® E5-1603 QuadCore 2.8GHz, 10MB cache, DDR3-1066 memory, 130W</p> <p>Memoria RAM de 8GB DDR3-1600 ECC</p> <p>2 discos duros</p> <p>1x 1 TB + 1x 0.5 TB, 6Gb/s 7200rpm</p> <p>Monitor HP ZR2740w 27-inch LED Backlit IPS</p> <p>Double-layer DVD±RW/CD-RW combo drive</p> <p>Ratón y teclado HP</p>
Otros	<p>Monitor de Temperatura / Humedad Relativa, con 2 sensores</p>

Fuente: (SUPERTEL, 2013)



Figura 11. Sistema de medición de la tasa de absorción específica

1.7.2.3 Fantomas

Las especificaciones técnicas de los fantomas, son las siguientes: (SUPERTEL, 2013)

Tabla 18.
Especificaciones técnicas de los fantomas

Fantomas	
Fantomas horizontales para cabeza	<p>Dos fantomas horizontales (del tipo SAM TWIN) para cabeza según normas IEEE/EN/IEC/ FCC con sus respectivas mesas</p> <p>Máximo volumen de llenado 27 litros</p> <p>Es compatible con los líquidos de simulación de cabeza</p>
Fantomas horizontales para cuerpo	<p>Un fantoma horizontal para cuerpo (tipo ELI o Elíptico) que cumple con la norma internacional IEC con sus respectivas mesas</p> <p>Volumen de llenado 25 litros</p> <p>Es compatible con los líquidos de simulación de cuerpo</p>
Otros	<p>Disponen de marcas de referencia para la realización de mediciones</p> <p>Certificados de las normas internacionales que cumplen</p> <p>Accesorios necesarios para su correcta instalación, operación y manejo</p> <p>Diseñados para las mesas del sistema COMOSAR. Tienen una cubierta plástica para evitar la evaporación del líquido</p>

Fuente: (SUPERTEL, 2013)

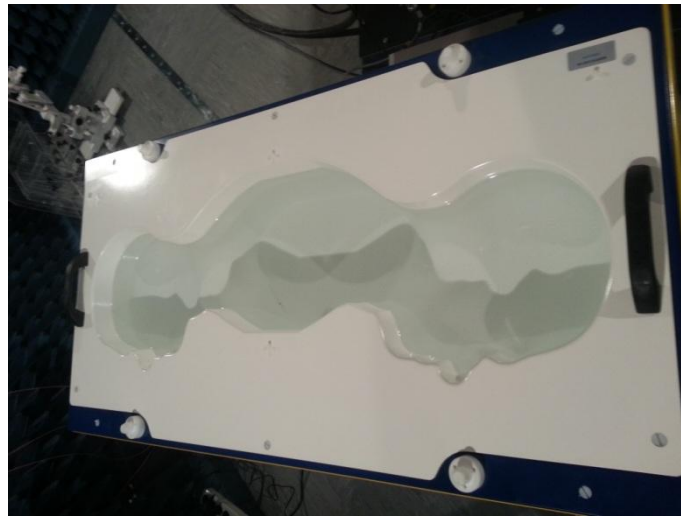


Figura 12. Fantoma SAM

1.7.2.4 Sistema de Medición de la Tasa de Absorción Específica

Las especificaciones técnicas de las sondas y los dipolos, son las siguientes:
(SUPERTEL, 2013)



Figura 13. Sondas y dipolos

Tabla 19.

Especificaciones técnicas de las sondas y los dipolos

Sondas y Dipolos	
Sondas	<p>Las Sondas cumplen con las normas internacionales IEC/IEEE/FCC</p> <p>Rango de medición en líquidos: de 0.001 W/kg a 100 W/kg</p> <p>El diámetro de la sonda permite realizar mediciones de alta precisión de 30 MHz hasta 6 GHz</p> <p>Sondas isotrópicas calibradas y optimizadas para la medición específica de SAR en las siguientes frecuencias: 835, 1900, 2000, 2450, 5200-5800 MHz, tanto para cabeza como para cuerpo</p> <p>Las sondas son certificadas, calibradas y optimizadas para realizar mediciones tanto para cabeza como cuerpo</p>
Dipolos	<p>Los dipolos cumplen con los siguientes estándares internacionales, IEC/IEEE/EN/FCC</p> <p>Dipolos de validación del sistema calibrados a las frecuencias 835, 1900, 2000, 2450 y 5200-5800 MHz, con su correspondiente Reporte de Calibración</p> <p>Antenas calibradas a las frecuencias indicadas: 835, 1900, 2000, 2450 y 5200-5800 MHz</p>
Otros	<p>Sistema de antenas calibradas a las frecuencias indicadas: 835, 1900, 2000, 2450 y 5200-5800 MHz</p>

Fuente: (SUPERTEL, 2013)

CAPÍTULO II

TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA Y TECNOLOGÍA 2G

2.1 DEFINICIONES SAR

2.1.1 Campo eléctrico (campo-E)

Es la cantidad del campo \vec{E} que ejerce una fuerza \vec{F} sobre una partícula cargada en reposo igual al producto de \vec{E} y de la carga eléctrica q de la partícula tal como se muestra en la ecuación. (IEC, 2005)

$$\vec{F} = q \vec{E} \quad (2.1)$$

Donde:

\vec{F} es el vector fuerza actuando sobre la partícula en newton [N]

q es la carga de la partícula en coulomb [C]

\vec{E} es el campo eléctrico dado en voltios por metro [V/m]

2.1.2 Campo electromagnético (CEM)

Es un fenómeno electromagnético expresado en funciones escalares o vectoriales de espacio y tiempo, por ejemplo, un campo variante en el tiempo asociado con fuerzas eléctricas y magnéticas, y descritas por las ecuaciones de Maxwell. (IEEE, 2003)

2.1.3 Capacidad calórica

Es la cantidad de calor necesario para aumentar la temperatura de una masa dada de una sustancia un grado centígrado. La capacidad calórica está expresada en unidades de joule por kilogramo por grado kelvin (J/kg K) o joule por kilogramo por grado Celsius (J/kg °C). (IEEE, 2003)

2.1.4 Radiación ionizante

Contiene suficiente energía para causar ionización, separando electrones de los átomos o moléculas. Su interacción con la materia puede cambiar las reacciones químicas del cuerpo lo que lleva a daño en tejidos biológicos incluyendo efectos sobre DNA (ácido desoxi-ribonucleico) el material genético del cuerpo humano. Los rayos gamma y los rayos x son formas de radiación ionizante. (ICNIRP, 1998)

2.1.5 Radiación no-ionizante (RNI)

No tienen suficiente energía para causar ionización. En el caso del cuerpo humano está radiación dependiendo de la frecuencia puede inducir corrientes o causar un efecto de calentamiento pero los niveles a los que están expuestos los trabajadores y la población usualmente no son suficientes para causar algún daño perenne en los tejidos. La energía eléctrica, la radiofrecuencia, las microondas, los rayos infrarrojos y la luz visible son radiaciones no-ionizantes. Los efectos de las radiaciones no ionizantes son

muy diferentes a los de las radiaciones ionizantes que si pueden causar graves daños de salud. (ICNIRP, 1998)

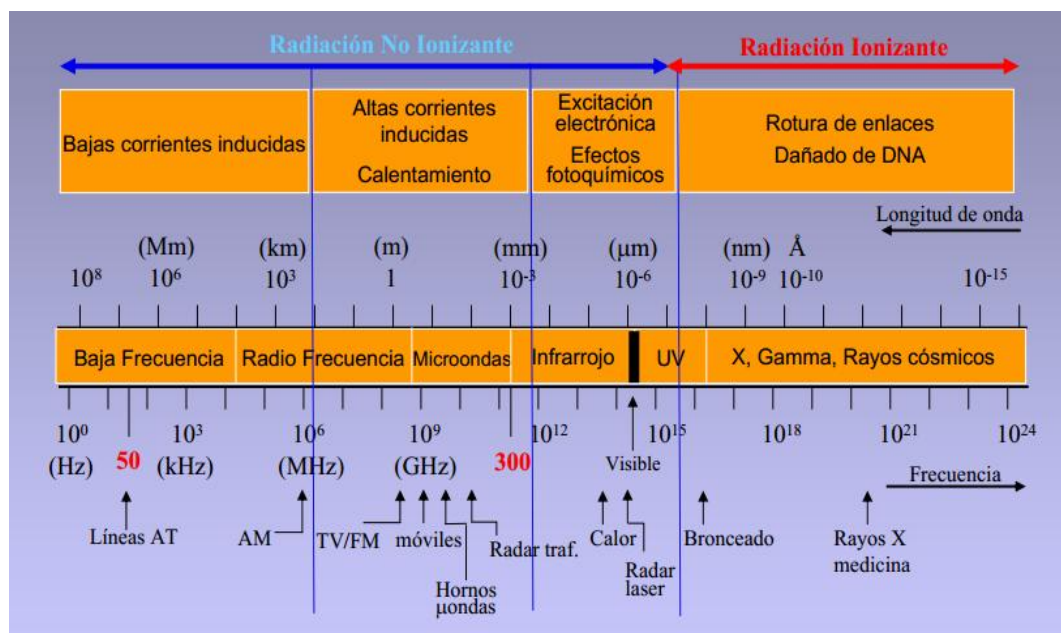


Figura 14. Espectro Electromagnético

2.1.6 Absorción específica (SA)

Energía total absorbida por una masa dada dentro de un cuerpo expuesto a RF externo (J/kg) – (W.s/kg). (Franco, 2002)

2.1.7 SAR promediada sobre el cuerpo completo

Valor único de SAR que representa la magnitud del SAR promediado sobre todo el cuerpo expuesto a RF. (Franco, 2002)

2.1.8 SAR local

Valor único de SAR que representa la magnitud del SAR en una pequeña porción del cuerpo expuesto a RF. (Franco, 2002)

2.1.9 Norma

Una norma es un documento, establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido, que proporciona, a efectos de un uso común y repetido, normas, directrices o pautas destinadas a actividades o a sus resultados y cuyo objetivo es lograr el mayor grado de orden en un contexto determinado.

2.1.10 Restricción Básica

Restricción a la exposición humana de campos eléctricos y/o magnéticos variables en el tiempo que son basados en efectos nocivos establecidos. (IEC, 2005)

2.1.11 Sonda de campo eléctrico (campo-E)

Es una estructura de perturbación mínima que contiene un sensor de campo-E eléctricamente corto, o un conjunto de múltiples sensores de campo-E, y los componentes necesarios para transformar la señal RF muestreada en una corriente directa proporcional o voltaje. Una sonda elemental de campo-E consiste de un sustrato dieléctrico delgado que contiene un sensor, como en un dipolo eléctricamente corto, un diodo que rectifica la señal RF y una línea de transmisión balanceada de alta impedancia para extraer la señal rectificada. Una sonda isotrópica consiste de tres de estos dispositivos arreglados en una viga “I”, (o viga “H”) o una configuración “ Δ ” (viga triangular) con el eje de cada dipolo ortogonal a los ejes de cada otro, por ejemplo, alineado a lo largo de las diagonales de un cubo. (IEEE, 2003)

2.1.12 Fantoma (Cabeza)

En este contexto, una representación simplificada en apariencia a la anatomía humana y compuesta de materiales con propiedades eléctricas similares a las correspondientes de los tejidos biológicos. (IEC, 2005)

2.1.13 Equipo de mano

Es un equipo sostenido por la mano destinado a ser operado cercano a un lado de la cabeza, consistiendo en una salida acústica o audífono y un micrófono, y conteniendo un radio transmisor y receptor. (IEC, 2005)

2.2 TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA

La Tasa de Absorción Específica (*SAR*) es el coeficiente o medida de la cantidad de energía de RF que es absorbida por los tejidos en el cuerpo humano al utilizar un equipo que emita radiofrecuencias, por ejemplo, un teléfono móvil, en Watt por kilogramo (*W/kg*), es decir, cantidad de vatios de energía que absorbe el cuerpo humano por cada kilogramo de masa corporal, específica para una determinada fuente de energía electromagnética, mide la potencia de radiación que penetra al cuerpo humano y depende de la potencia de transmisión del equipo, la antena que utiliza, etc.

SAR es la medida dosimétrica utilizada para establecer límites a la emisión de radiación por campos electromagnéticos no ionizantes. El concepto de dosis o energía absorbida por unidad de masa fue desarrollado para establecer los límites para la radiación ionizante. Al definirse *SAR*, se buscó establecer una dosis correlacionada a los efectos de la elevación de la temperatura del cuerpo humano. (SUPERTEL, 2013)

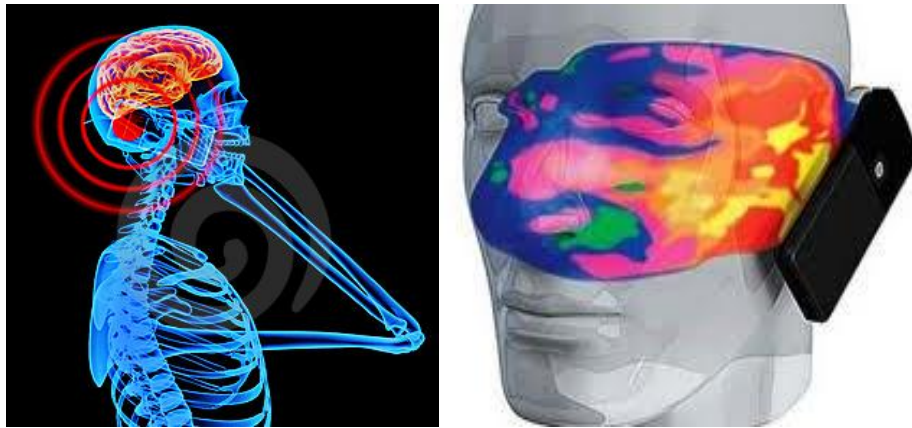


Figura 15. Efectos del SAR en el cuerpo humano

Matemáticamente, la Tasa de Absorción Específica se define como la derivada del tiempo en un incremento de energía electromagnética (dU) absorbida por un incremento de masa (dm) contenido en un diferencial de volumen (dv) de una densidad de masa (ρ). (Solano, 2013)

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dU}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dU}{\rho dv} \right) \quad (2.2)$$

La unidad en la que se expresa la SAR es (W/Kg). O bien:

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad (2.3)$$

Donde:

$$\sigma = \text{Conductividad del material} \left(\frac{S}{m} \right)$$

$$E = \text{Campo eléctrico total RMS} \left(\frac{V}{m} \right)$$

$$\rho = \text{Densidad de masa del material} \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

La SAR queda definida en el rango de frecuencias entre 100 KHz y 10 GHz, por lo que se encuentra en la zona del espectro de radiación no ionizante. Esto quiere decir, que las emisiones producidas por cualquier dispositivo no alteran la composición molecular del cuerpo sobre el que incide dicha radiación, sino que la energía absorbida por los tejidos se transforma en energía térmica del siguiente modo: (Solano, 2013)

$$SAR = C_i \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (2.4)$$

Donde:

$$C_i = \text{Capacidad de calentamiento del tejido del cuerpo} \left(\frac{J}{Kg^{\circ}K} \right)$$

$$\Delta T = \text{Incremento de temperatura} (^{\circ}K)$$

$$\Delta t = \text{Incremento de tiempo} (s)$$

Tabla 20.

Valores y normas de SAR

País	Australia	Estados Unidos	Europa	Japón	Nueva Zelanda
Estándar	ACA	ANSI C95.1	EN 50360	TTC/MPT	NZS 2772.1
Cuerpo entero	0.08 W/Kg	0.08 W/Kg	0.08 W/Kg	0.04 W/Kg	0.08 W/Kg
Partes del cuerpo	1.6 W/Kg	1.6 W/Kg	2 W/Kg	2 W/Kg	2 W/Kg
Masa de tejido	1 g	1 g	10 g	10 g	10 g

Fuente: (Pardell)

2.2.1 SAR en teléfonos móviles celulares

Un teléfono móvil celular es un radio de baja potencia, que selecciona en forma automática canales de radiofrecuencia bi-direccional. El teléfono móvil es comandado desde la central móvil a través de las estaciones bases. Contiene un transmisor/receptor

que se sintoniza en forma automática a la frecuencia de la estación base más cercana, para lo cual emite y recibe radiación RF a y desde la estación base. La potencia de la batería limita su potencia de transmisión, la cual es similar o menor a la de una linterna.

La radiación emitida por la antena es muy pequeña, normalmente esta muy por debajo de los límites máximos permisibles recomendados internacionalmente por lo que no causan un calor significativo en los tejidos del oído o la cabeza aunque un incremento en la temperatura de la piel puede ocurrir como consecuencia de ubicar el teléfono móvil cerca del oído o de la cabeza restringido el flujo de aire a los mismos. (Ornetta, 2004)

La energía RF (radiofrecuencia) producida por el móvil es absorbida en el cuerpo y produce calentamiento, pero el proceso termorregulatorio normal, disipa este calor. Hasta ahora los estudios científicos indican que los efectos producidos por la exposición a los campos de radiofrecuencia de los móviles están relacionados únicamente con el calentamiento de la zona expuesta, siendo este calentamiento insignificante y disipado por el efecto termorregulador del organismo. No hay estudios que hayan demostrado efectos adversos en la exposición a niveles que se encuentran por debajo de los límites de SAR internacionales.

La diferencia que hay entre el índice SAR de un modelo de teléfono y el de otro modelo no implican que el del valor más bajo sea más seguro puesto que todos los teléfonos móviles emiten por debajo de los 2.0 W/Kg que recomienda la Comunidad Europea. Dicho de otro modo, si introducimos la mano en agua a una temperatura de 20 grados centígrados no nos va a hacer más daño que si la introducimos en agua que esté a 18 grados, es más, apenas notaremos diferencia, sería necesario elevar la temperatura muchos grados más para que nos produjese alguna quemadura.

Tabla 21.**Teléfonos con altos niveles de SAR según la FCC**

Dispositivo móvil	SAR (W/Kg)
Motorola Droid Maxx	1.54
Motorola Droid Ultra	1.54
Motorola Moto E	1.50
Alcatel One Touch Evolve	1.49
Huawei Vitria	1.49
Kyocera Hydro Edge	1.48
Kyocera Kona	1.45
Kyocera Hydro XTRM	1.44
Nokia Asha 503	1.43
BlackBerry Z30	1.41
ZTE Source	1.41
ZTE Warp 4G	1.41
Nokia Lumia 925	1.40
Nokia Lumia 928	1.40
Kyocera Hydro Elite	1.39
T-Mobile Prism 2	1.38
Sprint Vital	1.38
Sprint Force	1.37
Huawei Pal	1.33
Kyocera Hydro Plus	1.33

Fuente: (CNET)

Tabla 22.**Teléfonos con bajos niveles de SAR según la FCC**

Dispositivo móvil	SAR (W/Kg)
VeryKool RS90	0.18
Samsung Galaxy Note	0.19
ZTE Nubia 5	0.19
Samsung Galaxy Note 2	0.23
Samsung Galaxy Mega	0.28
Kyocera DuraXT	0.32
Pantech Discover	0.33
Samsung Galaxy Beam	0.35
Samsung Galaxy Stratosphere II	0.36
Pantech Swift	0.37
Jitterbug Plus	0.39
Samsung Galaxy Appeal	0.40
LG Exalt	0.42
HTC One V	0.43
Nokia Lumia 1320	0.46
LG Optimus Vu	0.46
Samsung Galaxy S Relay 4G	0.47
Samsung Rugby 3	0.47
HTC One Max	0.50
LG G2	0.51

Fuente: (CNET)

2.2.1.1 Oreja y cerebro

Cuando más alto es el valor de la tasa de absorción específica, más perjudicial es el teléfono móvil en cuestión. Los tejidos de la oreja, sitio donde por obvios motivos

apoyamos el móvil para hablar, son atravesados brutalmente por esta radiación. Aunque su intensidad decrece con la distancia, y a unos pocos centímetros es casi inexistente, en nuestro cerebro se encuentra el hueso del cráneo de por medio, muy cerca de la oreja, y por ende, del móvil.

En primer lugar, hay que destacar que las ondas electromagnéticas utilizadas como enlace en los móviles no son del tipo ionizante. Esto quiere decir que en lugar de parecerse a los rayos X a los que nos exponemos al realizarnos una placa radiográfica o a las producidas por una explosión nuclear, son más bien similares a las que utilizamos en un horno de microondas para cocinar nuestros alimentos. A pesar de no alterar nuestro ADN, usar mucho tiempo el móvil cerca de nuestro cuerpo provoca un calentamiento de los tejidos adyacentes.

Pero aunque no haya radiación de la mala implicada, algunos expertos creen que ese exceso de calor inducido por los móviles podría estar relacionado con la aparición de tumores benignos y malignos en el cerebro y las membranas que lo recubren, aunque éste es un punto muy polémico y no todos los expertos están de acuerdo. El riesgo es mayor en los niños, ya que por razones anatómicas las ondas electromagnéticas del aparato pueden alcanzar zonas más profundas del cráneo y del cerebro.

2.2.2 Estudios biológicos y epidemiológicos (100 KHz - 300 GHz)

La evidencia experimental disponible indica que la exposición a campos electromagnéticos de seres humanos en reposo por aproximadamente 30 minutos produciendo una SAR en todo el cuerpo entre de 1 y 4 W/kg resulta en un aumento de la temperatura del cuerpo de menos de 1 °C. Datos sobre animales indican un umbral de SAR en el mismo rango para respuestas del comportamiento. La exposición a campos más intensos, que producen valores de SAR por encima de 4 W/kg, puede colapsar la capacidad termorreguladora del cuerpo y producir niveles dañinos de calentamiento de

los tejidos. Muchos estudios de laboratorio con roedores y primates no humanos han demostrado el amplio espectro de daños a los tejidos resultantes de un calentamiento parcial o total del cuerpo que produce incrementos de temperatura mayores de 1 °C - 2 °C. La sensibilidad al daño térmico de los diferentes tipos de tejido varía extensamente, pero el umbral para los efectos irreversibles en tejidos más sensibles es mayor de 4 W/kg, bajo condiciones ambientales normales. Estos datos forman la base para una restricción de la exposición ocupacional de 0,4 W/kg, que proporciona un margen grande de seguridad para otras condiciones limitantes, tales como temperatura ambiente, humedad, o niveles de actividad física. (ICNIRP, 1998)

Los datos del laboratorio y los resultados de un número limitado de estudios en humanos, dejan claro que los ambientes térmicos agotadores y el uso de drogas o del alcohol pueden comprometer la capacidad termorreguladora del cuerpo. Bajo estas condiciones, se deben introducir factores de seguridad para proporcionar una protección adecuada a los individuos expuestos. Datos sobre las respuestas humanas a los campos electromagnéticos de alta frecuencia que producen un calentamiento detectable se han obtenido de la exposición controlada de voluntarios y de estudios epidemiológicos en trabajadores expuestos a las fuentes tales como radares, equipos médicos de diatermia, y selladores de calor. Estos datos soportan completamente las conclusiones del trabajo del laboratorio de que se pueden causar efectos biológicos adversos cuando el incremento de temperatura en el tejido excede 1 °C.

Los estudios epidemiológicos en trabajadores expuestos y público en general han proporcionado una información limitada y no han podido demostrar ningún efecto en la salud. (ICNIRP, 1998)

2.2.2.1 Estudios sobre el riesgo de cáncer

Los estudios sobre el riesgo de cáncer y la exposición a microondas son pocos y generalmente falta la evaluación cuantitativa de la exposición. Estudios epidemiológicos realizados en trabajadores en radares en la industria aeronáutica y en las fuerzas armadas de los EE.UU. no encontraron ninguna evidencia de incremento de morbilidad o de mortalidad por alguna causa; otros estudios no señalaron ningún aumento en el riesgo de cáncer entre los niños crónicamente expuestos a la radiación de un transmisor grande de microonda cerca de sus hogares. Y estudios más recientes no pudieron mostrar aumentos significativos en tumores del tejido nervioso entre trabajadores y personal militar expuestos a los campos de microondas. Por otra parte, no hay exceso de mortalidad total evidente entre los usuarios de teléfonos móviles, pero sigue siendo demasiado temprano para observar un efecto sobre la incidencia o mortalidad de cáncer. (ICNIRP, 1998)

Existen informes sobre el riesgo creciente de cáncer, incremento en los índices de leucemia y de linfomas entre el personal militar expuesto a campos electromagnéticos, pero debido a falta de detalles como el tamaño de la población y los niveles de exposición, estos resultados no son concluyentes. De igual manera sucede con estudios en poblaciones que vivían cerca de transmisores de campos electromagnéticos.

Debido a esta pequeña cantidad de estudios epidemiológicos y su poca fiabilidad, estos estudios son considerados como no concluyentes, proporcionando información limitada sobre el riesgo de cáncer debido a estos campos electromagnéticos.

2.2.2.2 Estudios con células y animales

Hay numerosos informes sobre respuestas del comportamiento y fisiológicas de los animales de laboratorio, incluyendo roedores, perros, y los primates, a interacciones térmicas de campos electromagnéticos en frecuencias por encima de los 10 MHz. La

termosensibilidad y las respuestas termorreguladoras se asocian al hipotálamo y a los receptores térmicos situados en la piel y en partes internas del cuerpo.

La exposición de animales de laboratorio a campos electromagnéticos que producían una absorción en exceso de aproximadamente 4 W/kg ha revelado un modelo característico de la respuesta termorreguladora, en el cual la temperatura del cuerpo inicialmente sube y luego se estabiliza siguiendo la activación de los mecanismos termorreguladores. La fase temprana de esta respuesta es acompañada por un aumento en el volumen de la sangre. Estos cambios cardiodinámicos reflejan las respuestas termorreguladoras que facilitan la conducción del calor a la superficie del cuerpo. La exposición prolongada de animales a niveles de radiación de microondas que elevan la temperatura del cuerpo conduce en última instancia al colapso de estos mecanismos termorreguladores.

Varios estudios en roedores y monos también han demostrado un componente comportamental de las respuestas termorreguladoras. Una disminución del rendimiento para la realización de tareas por las ratas y los monos se ha observado en valores de SAR en el rango 1-3 W/kg. En los monos, la alteración del comportamiento causada por el sistema termorregulador se inicia cuando la temperatura de la región hipotalámica se incrementa en valores tan pequeños como 0.2 °C - 0.3 °C. El hipotálamo es considerado el centro de control del proceso termorregulatorio normal, y su actividad puede ser modificada por un pequeño aumento de temperatura local bajo condiciones en que la temperatura rectal se mantenga en un nivel constante. (ICNIRP, 1998)

A ciertos niveles de absorción de energía electromagnética en los que se causa un aumento de la temperatura corporal en exceso de 1-2 °C, una gran cantidad de efectos fisiológicos han sido caracterizados en estudios con células y sistemas animales. Estos efectos incluyen alteraciones en funciones neurales y neuromusculares; incremento de la permeabilidad de la barrera sangre-cerebro; debilitamiento ocular (opacidad de la

lente y anomalías corneales); cambios en el sistema inmunológico asociados al estrés; cambios hematológicos; cambios reproductivos (Ej. producción reducida de espermatozoides); teratogenicidad; y cambios en la morfología de la célula, agua y contenido electrolítico, y funciones de la membrana.

Bajo condiciones de exposición parcial del cuerpo a campos electromagnéticos intenso, los daños térmicos son significativos pudiendo ocurrir en tejidos sensibles tales como el ojo y los testículos. La exposición a las microondas de 2-3 horas de duración ha producido cataratas en los ojos de los conejos para valores de SAR entre 100-140 W/kg que produjeron temperaturas lenticulares de 41-43 °C. No se observó ninguna catarata en monos expuestos a los campos de microonda de intensidades similares o más altas, posiblemente debido a la diferencia entre los modelos de absorción de la energía en los ojos de monos y el de los conejos. A muy altas frecuencias (10-300 GHz), la absorción de la energía electromagnética se confina en gran parte de las capas epidérmicas de la piel, de los tejidos subcutáneos, y de la parte externa del ojo. En el extremo superior del rango de frecuencia, la absorción es cada vez más superficial. El daño ocular en estas frecuencias puede ser evitado si la densidad de potencia de la microonda es menor de 50 W/m². (ICNIRP, 1998)

Ha habido un interés reciente en los posibles efectos cancerígenos de la exposición a los campos de microondas en el rango de frecuencia de los sistemas de comunicaciones intensivamente usados, incluyendo los teléfonos móviles portátiles y los transmisores de las estaciones base. Hay muchos informes que sugieren que los campos de microondas no son mutagénicos, y por lo tanto la exposición a estos campos es poco probable que pueda iniciar la carcinogénesis. Por el contrario, algunos informes recientes sugieren que la exposición de roedores a los campos de microondas en los niveles de SAR del orden de 1 W/kg puede producir roturas del DNA de los tejidos del testículo y del cerebro, aunque se precisaron deficiencias metodológicas que habrían podido influenciar perceptiblemente estos resultados.

En un estudio grande de ratas expuestas a las microondas por hasta 25 meses, un exceso de tumores malignos primarios fue observado en las ratas expuestas en relación al grupo de control. Sin embargo, la incidencia de tumores benignos no se diferenció entre los grupos, y no hay un tipo específico de tumor más frecuente en el grupo expuesto que en ratas de almacén de la misma variedad mantenidas bajo las mismas condiciones libres de patógenos. Tomado como un todo, los resultados de este estudio no se pueden interpretar como indicadores de un efecto iniciador de tumor de los campos de microondas. (ICNIRP, 1998)

Es necesario realizar estudios adicionales para determinar si los resultados se pueden encontrar en otros modelos de animales, para poder generalizar los resultados a los seres humanos. Además, es también esencial evaluar si los resultados encontrados en animales transgénicos son aplicables a los seres humanos.

2.2.3 Cálculo de la Tasa de Absorción Específica (Métodos Numéricos)

2.2.3.1 Cálculos de dosimetría (1970)

Los primeros cálculos usaron esferas dieléctricas, cilindros circulares y cuerpos esferoides alargados, considerados como una cabeza humana simplificada o un modelo de cuerpo humano. Fueron una solución analítica bajo la exposición a ondas planas. Contribuyeron a un análisis cualitativo, para la resonancia en todo el cuerpo. No dan información dosimétrica detallada para cuerpos humanos reales. (SUPERTEL, 2013)

2.2.3.2 Método de los momentos (MoM)

Se usó en los 80's para cálculos numéricos del SAR promedio de todo el organismo. El cuerpo humano se divide en muchos bloques y las propiedades dieléctricas se asignan a cada bloque para modelar la estructura anatómica. Se basa en la

resolución de ecuaciones lineales simultáneas para campos eléctricos desconocidos, en los bloques, el cálculo es proporcional al número de bloques.

El número de bloques aumenta al disminuir su tamaño. Eso limita su aplicación a frecuencias más altas (> 500 MHz). Son necesarios bloques de menor tamaño para frecuencias más altas (λ más corta). Los niveles de referencia del campo eléctrico incidente o densidad de potencia, en varias directrices se derivaron principalmente de los cálculos MoM del SAR promedio de todo el organismo. SAR promedio del cuerpo es más grande que las restricciones básicas. (SUPERTEL, 2013)

2.2.3.3 Método de Diferencias Finitas FDTD (2005)

Es el más aceptado para el cálculo de SAR. Se basa en las ecuaciones del dominio de tiempo de Maxwell. Las ecuaciones discretas de Maxwell se enfocan en las células de Yee, en las que los componentes de los campos E y H están separados medio espacio de célula. El campo E se asigna en los bordes de la célula Yee y el campo H en las caras de la célula Yee facilitando la diferenciación. La escala es proporcional al número de células. Permite aplicar a los modelos humanos una resolución de milímetros con varios millones de células. Modelos de bloques finos o 3D (voxel), se usan para simulaciones sobre 1 GHz.

Para el cálculo de la dosimetría numérica, las células Yee corresponden a los elementos de imagen volumétrica (voxel) en modelos biológicos. La asignación de la permitividad y conductividad a cada voxel, permite modelar los tejidos y órganos anatómicos, calcular los campos eléctricos y magnéticos internos. (SUPERTEL, 2013)

2.3 TECNOLOGÍA 2G

Si bien el éxito de la 1G fue indiscutible, el uso masivo de la propia tecnología mostró en forma clara las deficiencias que poseía. El espectro de frecuencia utilizado era insuficiente para soportar la calidad de servicio que se requería.

El desarrollo de estas nuevas tecnologías constituye una solución de comunicaciones vía radio que se enmarca en lo que se ha dado en llamar la segunda generación de sistemas de radio (conocida como 2G), una generación de carácter celular digital que aparece a principios de los años 90 como continuación de la primera, basada en tecnología analógica. La telefonía móvil 2G no es un estándar o un protocolo sino que es una forma de marcar el cambio de protocolos de telefonía móvil analógica a digital con la incorporación de TDMA (Time Division Múltiple Access) para permitir que hasta ocho usuarios utilizaran los canales separados por 200 MHz. Los sistemas básicos usaron frecuencias en la banda de 900 MHz, mientras otros en la banda de 1800 MHz y 1900 MHz. Nuevas bandas de 850 MHz fueron agregadas posteriormente. El rango de frecuencia utilizado por los sistemas 2G coincidió con algunas de las bandas utilizadas por los sistemas 1G (como 900 MHz en Europa), desplazándolos rápidamente. (UPS, 2007)

Su desarrollo deriva de la necesidad de poder tener un mayor manejo de llamadas en prácticamente los mismos espectros de radiofrecuencia asignados a la telefonía móvil, para esto se introdujeron protocolos de telefonía digital que además de permitir más enlaces simultáneos en un mismo ancho de banda, permitían integrar otros servicios, que anteriormente eran independientes, en la misma señal, como es el caso del envío de mensajes de texto en un servicio denominado Short Message Service o SMS y una mayor capacidad de envío de datos desde dispositivos de fax y módem. (UPS, 2007)

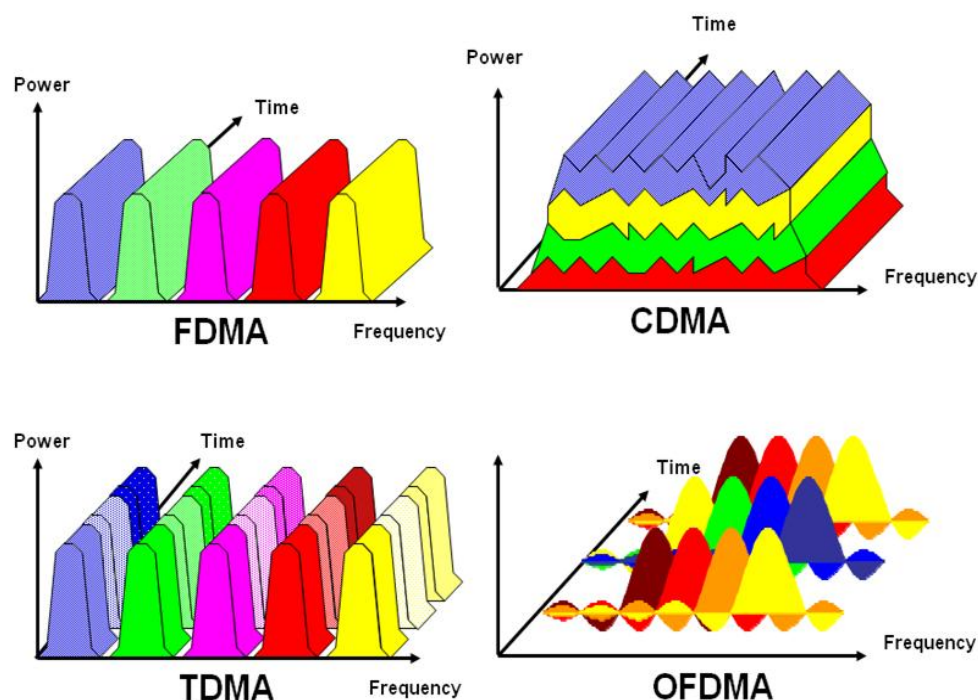


Figura 16. Métodos de acceso vía radio

Los sistemas celulares prometían una capacidad virtualmente ilimitada mediante sucesivas subdivisiones de las celdas. Sin embargo, la industria de las telecomunicaciones encontró a finales de los años ochenta limitaciones prácticas a medida que el servicio de telefonía móvil se hacía más popular. Con celdas progresivamente más pequeñas resulta difícil y económicamente poco viable ubicar nuevas estaciones base en los emplazamientos que lo requerían, esto era particularmente acusado en ciudades grandes y congestionadas. (Calvopiña)

Además se comienzan a apreciar limitaciones de capacidad por saturación de interferencia en celdas que progresivamente se hacen cada vez más pequeñas. Estas limitaciones acabaron recortando la capacidad teórica de los sistemas de primera generación por debajo de las previsiones iniciales, y lo que es más importante, por debajo de la demanda del mercado. Dejando a un lado las limitaciones de capacidad, otro aspecto importante a considerar a nivel europeo era la incompatibilidad entre los

diferentes estándares utilizados, que hacía imposible el uso de un mismo teléfono móvil en diferentes países. Esta limitación motivo el desarrollo de un sistema celular de segunda generación en Europa con los objetivos básicos de conseguir una mayor capacidad y la compatibilidad entre los sistemas que operan en todos los países. (Calvopiña)

Finalmente, la decisión de escoger una tecnología digital frente al antecedente analógico dio lugar a una nueva generación de sistemas celulares. Diferentes comités de estandarización para los sistemas de segunda generación de todo el mundo optaron por el diseño de sistemas digitales. Uno de los aspectos más atractivos de las técnicas de transmisión digital es su mejor comportamiento en entornos de elevada interferencia, que les proporciona, ya de por sí, una capacidad superior a los sistemas analógicos. Por otro lado, la tecnología digital tenía la ventaja añadida de haberse situado en una senda de avances constantes en aspectos como la miniaturización e integración de dispositivos con unos costes de implementación siempre decrecientes. Además, el procesado digital de la información preveía importantes avances en diferentes disciplinas como puede ser: (Calvopiña)

- Las técnicas de modulación digital: conformadores de pulsos, filtros, amplificadores, etc.
- La codificación de voz a tasas cada vez más reducidas.
- Las técnicas de codificación de canal y entrelazado.
- El cifrado de las comunicaciones y protección antifraude.
- La reducción del overhead de señalización.

La primera llamada digital entre teléfonos celulares fue realizada en Estados Unidos en 1990. En 1991 la primera red GSM fue instalada en Europa. La generación 2G definió su origen en 1992, coincidiendo con el despliegue de GSM. De hecho, 2G está conformada por los sistemas GSM y CDMA. La introducción de esta generación

trajo la desaparición de los “ladrillos” que se conocían como teléfonos celulares, dando paso a pequeños dispositivos móviles que entran en la palma de la mano y oscilan entre los 80-200gr. Mejoras en la duración de la batería y tecnologías de bajo consumo energético. La utilización de sistemas digitales tiene además la ventaja añadida de abrir las puertas a nuevos servicios suplementarios y de valor añadido, como puede ser: el buzón de voz, los mensajes cortos, el correo electrónico o los servicios de gestión de las llamadas.

2.3.1 Control de potencia

Los sistemas de primera generación no implementan la técnica de control de potencia. La carencia de un multiplexado temporal impide disponer de canales de control asociados a la comunicación, a través de los cuales los sistemas de segunda generación envían los comandos pertinentes de manera periódica para modificar la potencia de emisión en la estación base o en el terminal móvil. Sin embargo, se hubiese podido implementar la técnica de control de potencia en bucle abierto. El control de potencia no solo mejora la calidad de comunicaciones, sino que además disminuye la interferencia total y por tanto incrementa la capacidad del sistema. El control de potencia consigue que cada emisor transmita con la mínima potencia necesaria, esto redundando en una reducción colectiva del nivel de interferencia, que comporta un incremento de la capacidad del sistema al poder añadir más comunicaciones. Además, hay que mencionar el ahorro de energía que supone la utilización del control de potencia, con el consiguiente incremento de vida de las baterías. (Calvopiña)

2.3.2 Protocolos de telefonía 2G

- GSM (Global System for Mobile Communications).
- Cellular PCS/IS-136, conocido como TDMA (conocido también como TIA/EIA136 o ANSI-136) Sistema regulado por la Telecommunications Industry Association o TIA.

- IS-95/cdmaONE, conocido como CDMA (Code Division Multiple Access).
- D-AMPS Digital Advanced Mobile Phone System.
- PHS (Personal Handyphon System) Sistema usado en un principio en Japón por la compañía NTT DoCoMo con la finalidad de tener un estándar enfocado más a la transferencia de datos que el resto de los estándares 2G. (Fundación Wikimedia, 2014)

2.3.3 GSM

2.3.3.1 Definición

El Sistema Global para comunicación móvil GSM (*Global System for Mobile Communications*) originalmente de Groupe Spécial Mobile es el estándar europeo de segunda generación más popular para teléfonos móviles en el mundo. Puede ser definido como un sistema de radio comunicaciones, porque está destinado para comunicaciones de media y larga distancia, digital, móvil y celular, lo interesante del sistema es que nos proporciona servicios de datos, e incluye integración de servicios.



Figura 17. Logo GSM

2.3.3.2 Características

Este sistema nos proporciona una calidad de audio que ayuda a la fiabilidad de la comunicación, incluye sistemas de seguridad en el aspecto de autenticación de usuarios actualmente este sistema es utilizado a nivel mundial por la mayoría de operadores celulares y en el Ecuador CONECEL fue la primera en integrar a su sistema esta

tecnología en el año de 2003, continuando MOVISTAR en el año del 2006. (UPS, 2007)

El sistema GSM nos proporciona los siguientes servicios: el envío de voz, la posibilidad de realizar una llamada de emergencia a un número común (911) en forma gratuita y con cualquier compañía de que tenga cobertura, el servicio de mensajes cortos (SMS) enviados por canales independientes de señalización, envío y recepción de fax digital, además de estos servicios existen los servicios portadores, dentro de los que se pueden incluir la transmisión de datos a 9600 bits por segundo (bps), aunque con el desarrollo que han sufrido los terminales en los últimos años esta tasa de velocidad puede alcanzar valores superiores a los 64 Kbps mediante la agrupación de canales. Permite el roaming internacional, muy común entre operadores celulares, haciendo que los usuarios utilicen sus teléfonos en muchas regiones del mundo. (UPS, 2007)

Otros servicios suplementarios que nos puede ofrecer este sistema es el desvío y prohibición de llamadas, identificación del número entrante, retención de una llamada, establecimiento de grupos cerrados de usuarios y demás servicios que pueden ser proporcionados por la operadora móvil. GSM difiere apreciablemente de sus antecesores en que tanto la señalización como los canales de voz son de muy buena calidad digital. Es considerada como segunda generación (2G) celular. Este hecho ha permitido que la comunicación de datos fuera incluida, y que GSM sea considerada dentro del Proyecto 3GPP. (UPS, 2007)

Tabla 23.**Asignación de las Bandas GSM en América**

País	GSM			
	850 MHz	900 MHz	1800 MHz	1900 MHz
Argentina	✓			✓
Bolivia	✓			✓
Brasil	✓	✓	✓	✓
Canadá	✓			✓
Chile	✓			✓
Colombia	✓			✓
Ecuador	✓			✓
Estados Unidos	✓			✓
México	✓			✓
Nicaragua	✓			✓
Panamá	✓			✓
Paraguay	✓			✓
Perú	✓			✓
Uruguay	✓	✓	✓	✓
Venezuela	✓	✓	✓	

Fuente: (WorldTimeZone, 2014)

2.3.3.3 Arquitectura

La arquitectura del sistema GSM está organizada en subsistemas, componentes e interfaces, el sistema tiene tres subsistemas: la estación móvil (Móvil Station), el subsistema de estación base (BSS-Base Station Subsystem) y el subsistema de conmutación (NSS-Network and Switching Subsystem) todos estos subsistemas

intercambian datos mediante interfaces. La estación móvil se comunica con el subsistema de estación base mediante la interfaz de radio. (UPS, 2007)

El subsistema de estación base o BBS agrupa las partes específicas relativas a los aspectos de radio y celulares de GSM. El BBS está en contacto directo con las estaciones móviles mediante la interfaz de radio, la misma contiene elementos a cargo de la transmisión y recepción del trayecto de radio y la gestión del mismo. La BBS está en contacto con las centrales de conmutación del NSS, la función del subsistema de estación base es la conexión entre las estaciones móviles y el subsistema de conmutación, resumiendo como la conexión entre usuarios de telecomunicaciones. (UPS, 2007)

El subsistema de estación base incluye dos tipos de componentes, la Estación Base que es la antena de contacto con las estaciones móviles a través del interfaz de radio y el Controlador de Estaciones Base que es el encargado de la asignación de recursos de radio disponibles es decir los canales teniendo un contacto directo con las centrales de conmutación del subsistema de conmutación, resumiendo que el trabajo de transmisión lo realiza el BTS y el de gestión el BSC. La estación base contiene los dispositivos de transmisión y recepción, incluyendo las antenas y todo el procesado de señal necesario para el interfaz de radio. (UPS, 2007)

La interfaz de radio del sistema GSM es una combinación del Acceso Múltiple por División en Frecuencia (FDMA) y Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA), la comunicación se la realiza mediante la división del ancho de banda de cada usuario en distintos canales lógicos, que se utilizan para el transporte de información entre usuarios o la información de control del mismo sistema. El Subsistema de Conmutación (NSS) incluye las funciones básicas de conmutación del GSM, así como las bases de datos para los usuarios y la gestión de movilidad, siendo su función principal el de

gestionar las comunicaciones entre los usuarios GSM y los usuarios de otras redes de telecomunicación, como puede ser para otras redes de sistemas móviles. (UPS, 2007)

La función básica de conmutación de este subsistema la realiza la Central de Conmutación de servicios Móviles, cuya misión principal es la de coordinar el establecimiento de llamadas desde y hacia usuarios GSM. La MSC posee interfaces tanto con el subsistema de estación base y con las redes exteriores, tiene una comunicación con ciertos elementos que son bases de datos que contienen información relativa a los terminales presentes en el sistema (autenticación, estado en el que están, celda en donde se encuentran), en la Figura 18 se detalla la arquitectura del sistema GSM. (UPS, 2007)

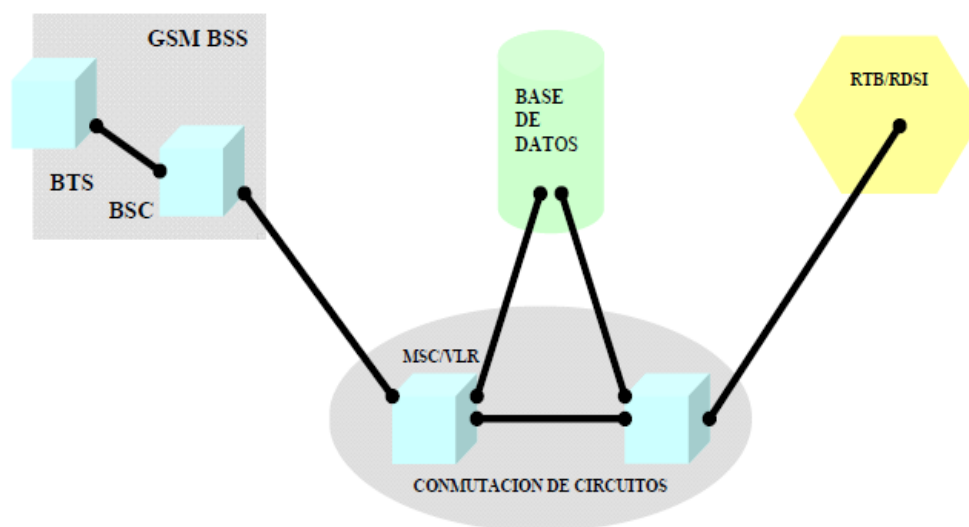


Figura 18. Arquitectura del Sistema GSM

En el sistema GSM existe un centro de autenticación que es el encargado de autorizar al móvil a introducirse a la red, en donde cada usuario tiene una clave secreta la cual es asignada en el momento de contratar el servicio y está localizada en dos sitios en la SIM card y en el móvil siendo el sistema el encargado de verificar las claves personales y de realizar la respectiva autenticación. (UPS, 2007)

Un aspecto importante de la estación móvil que lo diferencia del resto de los móviles es la SIM (*Modulo Identificativo de Subscriptor*), que es una tarjeta inteligente que cuenta con las normas estándar ISO en donde va alojada toda la información del usuario. El sistema GSM mediante el uso del SIM card hace posible que se cambien los teléfonos móviles las veces que sea necesario ya que la información que se necesita para que el teléfono móvil de servicio se encuentra en el SIM card. (UPS, 2007)

GSM tiene otro nivel de seguridad, que es implementado en el equipo móvil, independientemente de lo anterior, cada móvil posee un serial eléctrico denominado IMEI que es único para cada Terminal, se realiza una consulta al registro de identidad de equipos, que es una base de datos a la cual está conectada la Central de Conmutación de servicios Móviles (MSC) del subsistema de Conmutación (NSS), por su IMEI, obteniendo un estado procedente de una de tres listas; una de ellas es la llamada lista blanca en donde se encuentra el registro de todos los IMEI que son autorizados para funcionar de manera legal en la red, otra de las listas es la negra en donde se encuentran el registro de IMEI que se encuentran reportados como robados, que tienen deudas pendientes con las operadoras y no tienen autorización para funcionar en la red y finalmente tenemos la lista gris que es un registro en donde se encuentran usuarios que deben estar en observación pero que si son permitidos para usar la red. (UPS, 2007)

2.3.3.4 Desarrollo de una llamada GSM

En la Figura 19 se detalla un ejemplo de enrutamiento de llamadas para GSM.

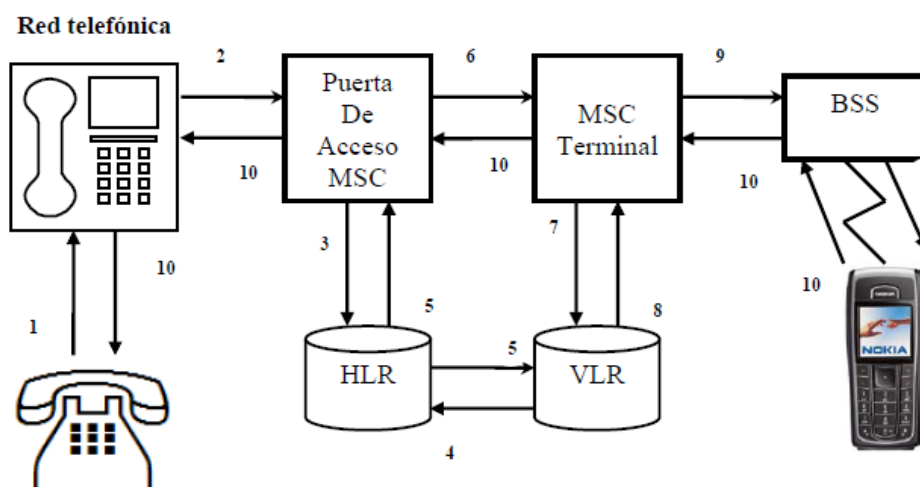


Figura 19. Ejemplo de enrutamiento de una llamada GSM

Tabla 24.

Desarrollo de una llamada con la tecnología GSM

Paso	Procedimiento
1	Un usuario de telefonía llama a la unidad móvil a través de la red pública
2	La llamada se enruta a un MSC, el que se encarga de examinar los dígitos marcados y determina que no puede enrutar la llamadas más lejos
3	El registro de ubicación HLR interroga al usuario llamado
4	El HLR interroga el registro de ubicación del visitante VLR que actualmente está dando servicio al usuario
5	El VLR devuelve un número de enrutamiento al HLR que lo devuelve al MSC
6	Con este número de enrutamiento, el MSC enruta la llamada al MSC Terminal
7	El MSC pide al VLR correlacionar la llamada con el subcriptor
8	El VLR realiza la acción que se le solicite
9	La BSS recibe una solicitud de notificación del MSC Terminal y envía una señal de notificación
10	Cuando la señal de usuario regresa, la llamada se completa

Fuente: (UPS, 2007)

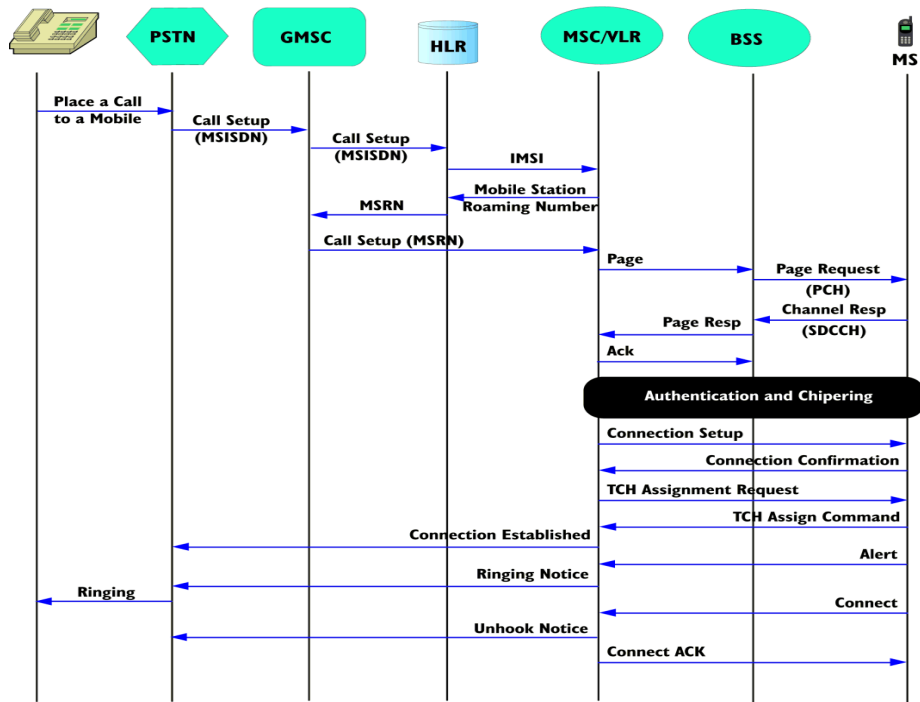


Figura 20. Procedimiento de GSM: llamada entrante desde PSTN

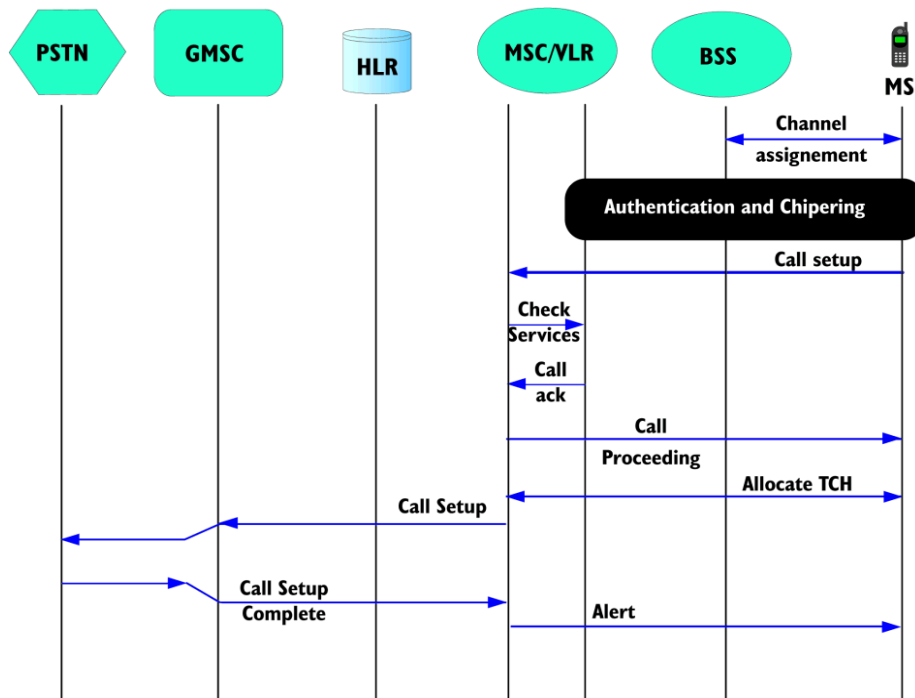


Figura 21. Procedimientos de GSM: llamada saliente a la PSTN

2.3.4 CDMA

CDMA (Code Division Multiple Access) también conocido como IS-95 ó J-STD-008 hace uso de la técnica del espectro extendido, con la cual es capaz de hacer que hasta 64 usuarios puedan compartir el mismo canal de radio. Esto se da debido a que cada usuario tendrá un código único mediante el cual dicho usuario podrá diferenciarse de los demás. (Shimabuko, 2010)

El sistema CDMA hace uso de los códigos ortogonales o códigos de Walsh los cuales no guardan relación entre ellos. Debido a esto, la técnica del espectro extendido combina diversos canales de comunicación en un único espectro los cuales parecerán ruido. Los códigos de Walsh tienen una longitud de 64 bits y son usados para la modulación en sistemas CDMA debido a que hacen uso de su ortogonalidad entre ellos. Esto quiere decir que un código no causará interferencia con respecto al otro. (Shimabuko, 2010)

El proceso que debe realizar la voz desde la estación base al equipo móvil es algo más complicado que en el caso del sistema GSM, ya que debe pasar por distintas etapas que serán descritas a continuación: (Shimabuko, 2010)

- Voice Encoder/Decoder (Vocoder): en esta parte del proceso se comprime la voz en muestras de 20 ms cada una. Los datos que producen estos vocoder son medidos en bits.
- Forward Error Correction (FEC) and repetition: estos se da para proveer a los datos de una redundancia al momento de la recepción. Los símbolos repetirán una constante para mantener constante la velocidad de símbolo a través de la modulación del canal. La cantidad de repeticiones dependerá del nivel de energía a la salida del vocoder.

- Interleaving: codifica porciones de 20 ms de forma predeterminada de tal manera que previene una pérdida de datos consecutivos.
- Scrambling: aplica un código pseudo aleatorio de ruido aleatorizando (FN) la data, con lo cual es capaz de dividir los datos en 64 canales lógicos independientes y de esta manera provee de privacidad.
- Spreading: extiende los símbolos haciendo uso de los códigos de 64 bits de Walsh. Este código separa los datos de otros que provengan de la misma estación. Además aumenta en un factor de 64 el promedio de datos.
- Quadrature Spreading: aplicará un código de pseudo ruido aleatorio a la señal de ruido generada anteriormente para identificarla como señal de dicha celda.

La modulación para la transmisión usada en CDMA es la de fase y cuadratura. Mediante esta modulación es posible la transmisión de símbolos representados por 2 bits. Mediante los pasos anteriores las estaciones bases son capaces de combinar diferentes códigos digitales de señal. Es así que es posible transmitir hasta 64 códigos por un canal de 1.23 MHz de ancho banda de señal. (Shimabuko, 2010)

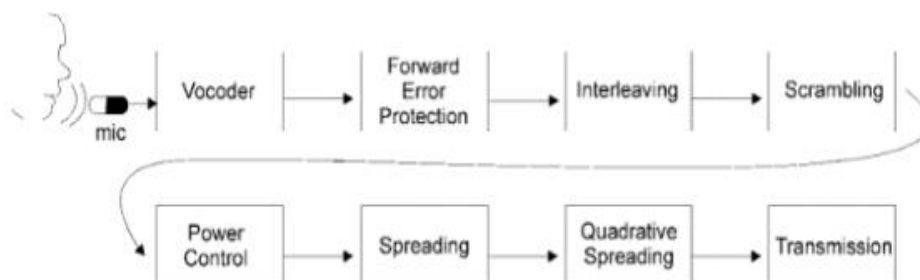


Figura 22. Proceso de codificación desde la estación hacia el equipo móvil

2.3.5 Generación 2.5 G

Una vez que la segunda generación se estableció, las limitantes de algunos sistemas en lo referente al envío de información se hicieron evidentes. Muchas aplicaciones para transferencia de información eran vistas a medida que el uso de laptops y del propio Internet se fue popularizando. Si bien la tercera generación estaba en el horizonte, algunos servicios se hicieron necesarios previa a su llegada.

El General Packet Radio Service (GPRS) desarrollado para el sistema GSM fue de los primeros en ser visto. Hasta este momento, todos los circuitos eran dedicados en forma exclusiva a cada usuario. Este enfoque es conocido como “Circuit Switched”, donde por ejemplo un circuito es establecido para cada usuario de la telefonía celular. Esto era ineficiente cuando un canal transfería información sólo en un pequeño porcentaje.

El nuevo sistema permitía a los usuarios compartir un mismo canal, dirigiendo los paquetes de información desde el emisor al receptor. Esto permite el uso más eficiente de los canales de comunicación, lo que habilita a las compañías proveedoras de servicios a cobrar menos por ellos. Aún más cantidad de mejoras fueron realizadas a la tasa de transferencia de información al introducirse el sistema conocido como EDGE (Enhanced Data rates aplicado a GSM Evolution). Éste básicamente es el sistema GPRS con un nuevo esquema de modulación de frecuencia. (Shimabuko, 2010)

Mientras GPRS y EDGE se aplicaron a GSM, otras mejoras fueron orientadas al sistema CDMA, siendo el primer paso de CDMA a CDMA2000 provee algunos de los beneficios de 3G (por ejemplo conmutación de datos en paquetes) y puede usar algo de la infraestructura utilizada por 2G en las redes GSM y CDMA.

La tecnología más comúnmente conocida de 2.5G es GPRS, que provee transferencia de datos a velocidad moderada usando canales TDMA no utilizados en la red GSM. Algunos protocolos, como EDGE para GSM y CDMA2000 para CDMA, califican oficialmente como servicios "3G" debido a que su tasa de transferencia de datos supera los 144 kbit/s, pero son considerados por la mayoría como servicios 2.5G o 2.75G, porque son en realidad varias veces más lentos que los servicios implementados en una red 3G. (Shimabuko, 2010)

Mientras los términos "2G" y "3G" están definidos oficialmente, no lo está "2.5G". Fue inventado con fines únicamente publicitarios. Muchos de los proveedores de servicios de telecomunicaciones se movieron a las redes 2.5G antes de entrar masivamente a la red 3G. La tecnología 2.5G es más rápida, y más económica para actualizar la tecnología 3G. (Shimabuko, 2010)

2.3.6 GPRS

Mediante el uso de esta plataforma GPRS (General Radio Packet Service) teóricamente es posible obtener velocidades de 171 Kbps, pero en la práctica se llega a obtener velocidades máximas de 100 Kbps y en promedio se obtiene velocidades alrededor de 40 a 53 Kbps. La tecnología GPRS hace uso de una portadora con un ancho de banda de 200 KHz, dividiendo está en 8 timeslots. (Shimabuko, 2010)

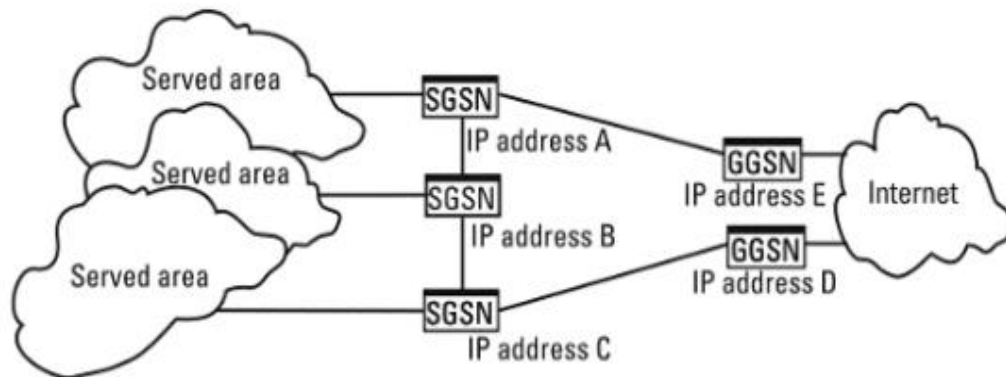


Figura 24. Conexión entre el SGSN y el GGSN

2.3.7 EDGE

La plataforma EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution) nació como una mejora y reemplazo de la plataforma GPRS. Esta mejora se da mediante el cambio del tipo de modulación de Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) usada en GSM a 8 Phase Shift Keying (8-PSK), alcanzando teóricamente velocidades de 384 Kbps. La arquitectura de la plataforma EDGE es casi idéntica que la de GPRS, ya que el único cambio preponderante es el tipo de modulación usada. (Shimabuko, 2010)

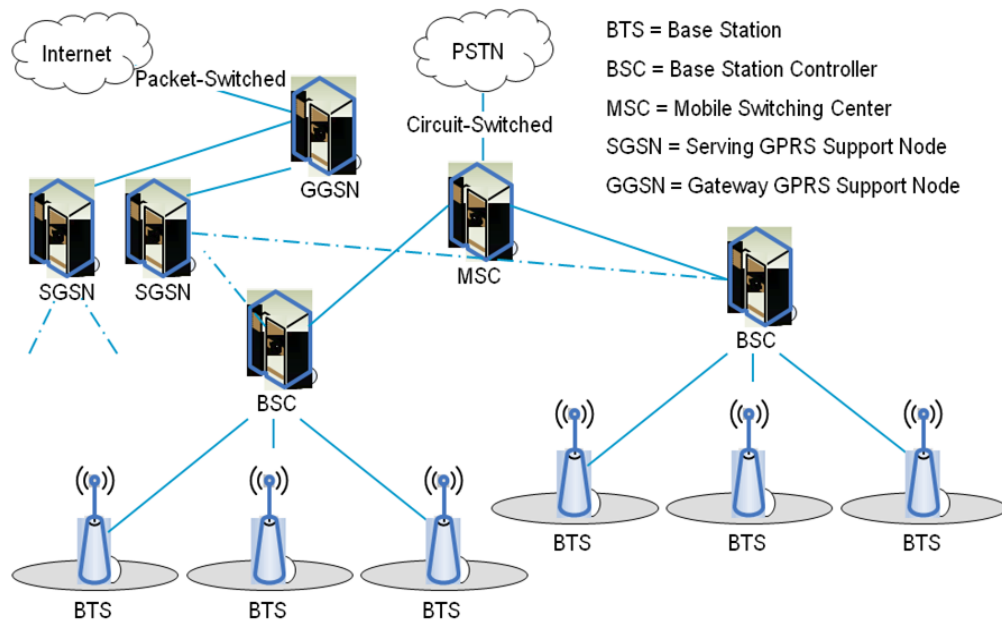


Figura 25. Arquitectura de la plataforma EDGE

CAPÍTULO III

PROTOCOLO DE PRUEBAS

3.1 ESPECIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS EN EL SISTEMA DE MEDICIÓN DE SAR

3.1.1 Generador de Señales Vectoriales

El generador de señales vectoriales, marca Agilent Technologies, modelo N5182A, familia MXG. Está optimizado para las comunicaciones celulares, la conectividad inalámbrica y la fabricación de sus componentes. El generador de señal MXG se configura fácilmente para satisfacer las necesidades de pruebas específicas. Cuando se combina con herramientas de creación flexible de señales, como los software de estudio de señales, el bajo ACLR (-73 dBm a +5 dBm para un portador W-CDMA) hace de la familia MXG una solución completa para W-CDMA, WiMAX™ y más. (KEYSIGHT TECHNOLOGIES)



Figura 26. Generador de Señales Vectoriales

3.1.1.1 Características del generador de señales

- 100 kHz a 6 GHz.
- +23 dBm hasta 3 GHz utilizando una conmutación rápida altamente confiable.
- W-CDMA rango dinámico: ≤ -73 dBm a +5 dBm de potencia de salida.
- ≤ 900 ms de frecuencia, amplitud y forma de onda. (KEYSIGHT TECHNOLOGIES)

3.1.1.2 Modulación y barrido del equipo

- AM, FM, OM y pulso.
- ASK, FSK, MSK, PSK y QAM.
- Barrido digital con conmutación simultánea de frecuencia, potencia, y forma de onda. (KEYSIGHT TECHNOLOGIES)

3.1.1.3 Generación de banda base y creación de la señal

- Generador interno de banda de base de 100 MHz con ecualización en tiempo real para un excelente rendimiento.
- Hasta 64 MSa de memoria de reproducción y 800 MSa de almacenamiento.
- Creación de señales de referencia: LTE, HSPA +, WiMAX™, WLAN, DVB-H, DAB, MATLAB, entre otras.
- Generación de banda base de varios canales, E/S digital, MIMO fading. (KEYSIGHT TECHNOLOGIES)

3.1.1.4 Automatización y comunicación de interfaz

- 100Base T LAN, LXI clase-B, USB 2.0 y GPIB. ASK, FSK, MSK, PSK y QAM.
- Drivers SCPI y IVI-COM.

- Compatible con todos los ESG, PSG, 8648 y otros generadores de señales vectoriales. (KEYSIGHT TECHNOLOGIES)

3.1.1.5 Uso en el sistema de medición de SAR

El generador de señales vectoriales se utiliza para la validación de los dipolos. La validación de los dipolos (835 MHz y 1900 MHz) se la realiza cada vez que se va a realizar una medición de SAR. Para esta validación se generan las siguientes señales:

- Señal CW portadora a 835 MHz, la potencia de la señal es definida por el software OpenSAR.
- Señal CW portadora a 1900 MHz, la potencia de la señal es definida por el software OpenSAR.

Se utiliza el generador de señales vectoriales para determinar las pérdidas de la señal. Estas pérdidas se configuran en el software OpenSAR para realizar la validación de los dipolos. Para determinar estas pérdidas se generan las siguientes señales:

- Señal CW portadora a 835 MHz con potencia de -30 dBm.
- Señal CW portadora a 1900 MHz con potencia de -30 dBm.

3.1.2 Simulador de Estación Transceptora Base

El equipo “Wireless Communications Test Set”, marca Agilent Technologies, modelo E5515C, familia 8960 Series 10, es un simulador de radio base. El simulador de radio base es la solución para la fabricación de dispositivos inalámbricos, pruebas de comunicación inalámbrica, pruebas de diseño RF y verificación técnica.

Las aplicaciones del simulador de radio base ofrecen una alta velocidad, precisión, repetitividad y facilidad de programación. Para el fabricante de teléfonos móviles, esto

representa menores costos de prueba y mayor rendimiento de la producción para satisfacer la demanda del cliente. (KEYSIGHT TECHNOLOGIES)

El WTM (Wireless Test Manager) para pruebas paramétricas de RF de estándares mínimos de rendimiento 3GPP y 3GPP2, encuentra problemas rápidamente. El software GS-8800 incluye pruebas predefinidas que se ajustan a los estándares tecnológicos individuales y pueden ser configurados o modificados.

El 8960 Series 10 es la plataforma de pruebas con mediciones de RF sólidas y precisas. La emulación de red flexible y un alto índice de rendimiento de datos permiten las pruebas técnicas del dispositivo inalámbrico en todo el ciclo de desarrollo. El simulador de radio base E5515C 8960 Series 10 es el equipo de pruebas técnicas de telefonía móvil más confiable. (KEYSIGHT TECHNOLOGIES)

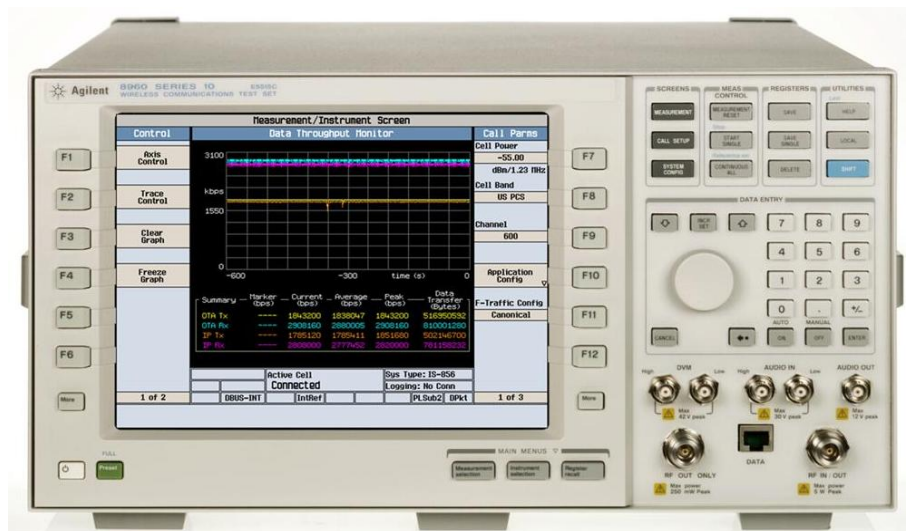


Figura 27. Simulador de Estación Transceptora Base

3.1.2.1 Características del simulador de radio base

- Soporta GSM/GPRS/EGPRS/E-EDGE, W-CDMA/HSPA/ HSPA +, cdma2000®/1xEV-DO/eHRPD, TD-SCDMA/TD-HSDPA/TD-HSUPA, IS-95, TIA/EIA-136 y AMPS para pruebas de dispositivos inalámbricos.
- Software actualizable para un rápido acceso a nuevas funcionalidades.
- Integración con el software WTM para la automatización rápida de pruebas paramétricas de RF y pruebas técnicas.
- Control a distancia a través de la interfaz GPIB. (KEYSIGHT TECHNOLOGIES)

3.1.2.2 Especificaciones del simulador de radio base

- Rango de frecuencias desde 292 MHz a 2700 MHz, incluye todas las bandas de frecuencia comercial 3GPP y 3GPP2.
- Nivel de salida con modulación en el rango de -110 dBm a -13 dBm.
- VSWR < 1.2:1 (400 a 2000 MHz).
- $\pm 1,0$ dB la precisión al medir la potencia del canal. (KEYSIGHT TECHNOLOGIES)

3.1.2.3 Uso en el sistema de medición de SAR

El simulador de radio base E5515C 8960 Series 10 está conectado al software OpenSAR a través de la interfaz GPIB. Permite establecer la comunicación de voz entre el equipo bajo prueba y el simulador de radio base. Simula una llamada de voz que se realiza entre usuarios de las operadoras móviles. La comunicación de voz entre el equipo bajo prueba y el simulador de radio base se establece en las bandas GSM que operan en el Ecuador (850 MHz y 1900 MHz). En los canales medio, alto y bajo.

Tabla 25.

Canales de las bandas GSM

Banda GSM	Canal bajo	Canal medio	Canal alto
GSM 850	824.2 MHz	836.4 MHz	848.6 MHz
GSM 1900	1850.4 MHz	1880.0 MHz	1909.6 MHz

3.1.3 Medidor de Potencia

El medidor de potencia, marca Agilent Technologies, modelo N1913A, familia EPM. Ofrece una velocidad de medición de hasta 400 lecturas/segundo para mediciones de potencia precisas y rápidas. El medidor de potencia tiene una pantalla LCD a color, lo que le permite ver y analizar los datos de las mediciones con facilidad. El medidor de potencia de la familia EPM permite la medición de potencia de cuatro canales, conectando sensores de potencia USB. (KEYSIGHT TECHNOLOGIES)

**Figura 28. Medidor de Potencia****3.1.3.1 Características y especificaciones del medidor de potencia**

- Rango de frecuencias de 9 kHz a 110 GHz.
- Amplio rango dinámico de -70 dBm a +44 dBm.
- Velocidad hasta 400 lecturas/segundo.

- Interfaz GPIB, LAN LXI-C y conectividad USB.
- Aumento de canales de medición: hasta tres canales con dos sensores de potencia adicionales y uno utilizando el puerto USB opcional.
- Frecuencia automatizada.
- Medición de barrido de potencia. (KEYSIGHT TECHNOLOGIES)

3.1.3.2 Uso en el sistema de medición de SAR

El medidor de potencia está conectado al software OpenSAR a través de la interfaz GPIB. Se utiliza el medidor de potencia para la validación de los dipolos y para determinar las pérdidas de la señal. Las pérdidas de la señal se configuran en el software OpenSAR para realizar la validación de los dipolos.

3.1.4 Analizador de Redes

El analizador de redes, marca Agilent Technologies, modelo E5071C, familia ENA. Tiene el rendimiento de RF más alto y la velocidad más rápida, con una amplia gama de frecuencias y funciones versátiles. El analizador de redes E5071C es ideal para la fabricación, evaluación de los componentes RF y circuitos en el rango de frecuencias hasta 14 GHz.

El analizador de redes tiene configuraciones flexibles. Se puede seleccionar el número de puertos, la frecuencia y las pruebas de polarización para adaptarse a la aplicación. El E5071C ENA proporciona la capacidad de actualización de software y hardware. Tiene una configuración de dos puertos. (KEYSIGHT TECHNOLOGIES)

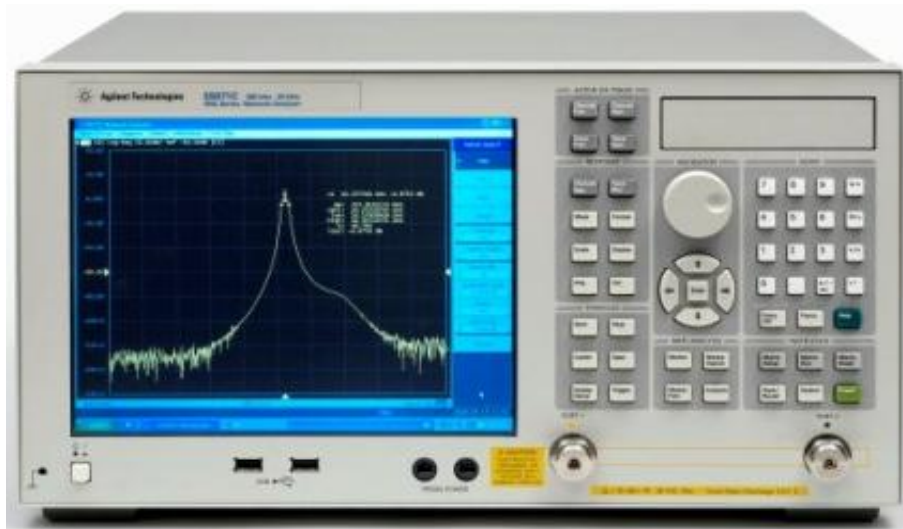


Figura 29. Analizador de Redes

3.1.4.1 Características y especificaciones del analizador de redes

- Selección de varios conjuntos de prueba.
- 2 puertos, 300 kHz a 14 GHz.
- Bajo ruido de traza: 0.004 dB rms a 70 kHz.
- Amplio rango dinámico: >123 dB.
- Rápida velocidad de medición: 8 ms.
- Alta estabilidad de temperatura: 0,005 dB/°C. (KEYSIGHT TECHNOLOGIES)

3.1.4.2 Uso en el sistema de medición de SAR

El analizador de redes está conectado al software OpenSAR a través de la interfaz GPIB. El analizador de redes se utiliza para medir los parámetros dieléctricos del líquido simulador en la frecuencia de 850 MHz y 1900 MHz. Las mediciones de los parámetros dieléctricos del líquido realizadas por el analizador de redes son enviadas al software OpenSAR para realizar la validación del líquido.

3.1.5 Multímetro Digital

El multímetro digital, marca Keithley, modelo 2000, es parte de la familia de multímetros digitales de alto rendimiento. El multímetro digital tiene una alta velocidad, bajo ruido, convertidor A/D, preciso y muy estable. Amplios rangos de medida. Interruptor que permite la multiplexación de hasta 20 señales de entrada diferentes para aplicaciones de medición multipunto. Las funciones matemáticas incorporadas permiten realizar varios cálculos de los datos adquiridos. (KEITHLEY)



Figura 30. Multímetro Digital

Tabla 26.**Especificaciones del multímetro digital**

Rango de voltaje DC	1000 V
Rango de resistencia	120 MΩ
Rango de voltaje AC	750 V
Resolución	6.5
Precisión	0.002 %
Interfaz	GPIB, RS-232C
Velocidad de medición	2000 lec/s
AAC	1 a 3 A
ADC	10 mA a 3 A

Fuente: (KEITHLEY)

3.1.5.1 Uso en el sistema de medición de SAR

El multímetro digital está conectado al software OpenSAR a través de la interfaz GPIB para adquirir, almacenar, procesar y mostrar las mediciones automáticamente. La sonda está conectada al multímetro digital. El multímetro digital se utiliza para tomar las mediciones de la sonda isotrópica al momento que se realiza la medición de SAR.

3.1.6 UNISYNCE

El UNISYNCE, marca Gillam-FEi, modelo UNISYNCE está diseñado para funcionar como una mini unidad de sincronización que distribuye un reloj común a todos los elementos de la red. El UNISYNCE cumple con todas las recomendaciones internacionales. Se basa en un receptor sincronizado GPS de alto rendimiento.

El UNISYNCE puede ser utilizado para sincronizar la computadora, mediante el servidor NTP/SNTP de nivel 1. La hora del día es una interfaz que está disponible. El UNISYNCE utiliza GLONASS + GPS para mejorar el desempeño del reloj. (Gillam-FEi)



Figura 31. UNISYNCE

3.1.6.1 Características y especificaciones del UNISYNCE

- Oscilador de rubidio.
- Receptor GPS integrado.
- 2 entradas configurables, 2 a 12 salidas configurables, 2 salidas auxiliares ajustables.
- 1 salida PPS.
- 1 TOD con salida PPS.
- Servidor NTP/SNTP de nivel 1.
- Software de Gestión (local y remota). (Gillam-FEi)

3.1.6.2 Uso en el sistema de medición de SAR

El UNISYNCE se utiliza para sincronizar los equipos del sistema de medición de SAR y la unidad central de procesamiento.

3.1.7 Amplificador de Potencia

El amplificador de potencia, marca Satimo. Se utiliza como amplificador del sistema de medición de SAR para determinar las pérdidas de la señal y para la validación de los dipolos.

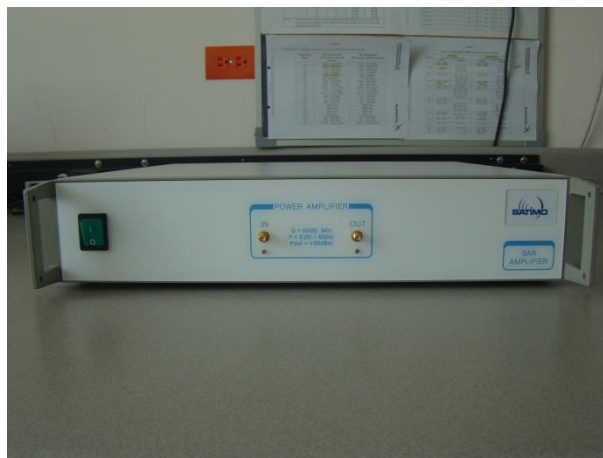


Figura 32. Amplificador de Potencia

3.1.7.1 Características del amplificador de potencia

- $G = 50$ dB (mínimo).
- Rango de frecuencias desde 20 MHz hasta 6 GHz.
- Potencia de salida = +39 dBm.
- 1 salida PPS.

3.2 SISTEMA DE MEDICIÓN DE SAR

3.2.1 Software OpenSAR

El software OpenSAR ha sido desarrollado para realizar mediciones de la tasa de absorción específica compatible con los estándares de medición. Controla toda la instrumentación del sistema de medición de SAR. OpenSAR integrar aplicaciones adicionales según las necesidades del sistema. El software OpenSAR utiliza algoritmos optimizados para el desarrollo del sistema. (MICROWAVE VISION, 2008)

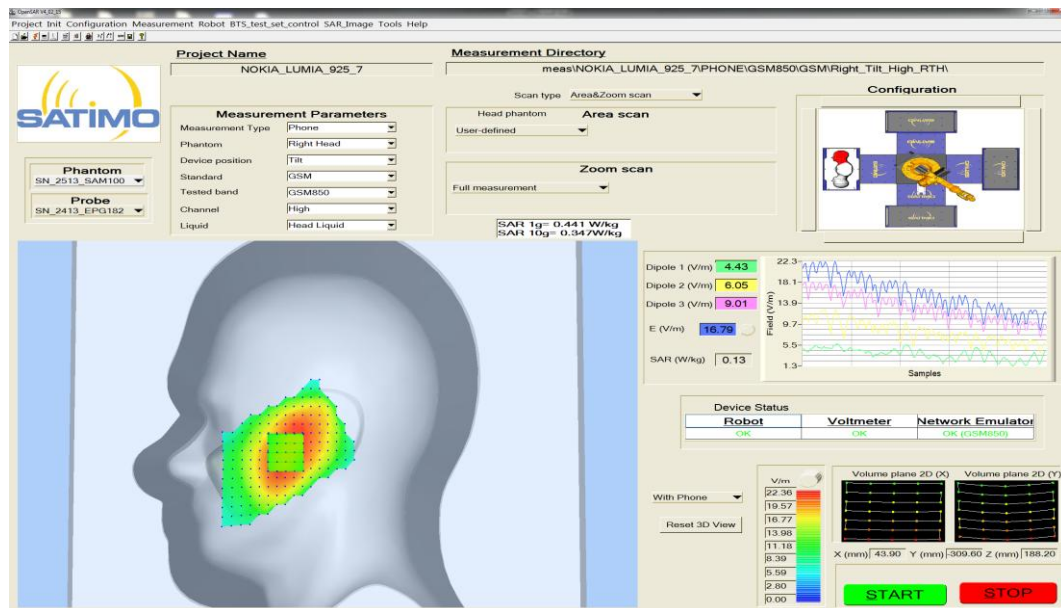


Figura 33. Software OpenSAR

3.2.1.1 Características del software OpenSAR

El software OpenSAR es una interfaz fácil de usar para supervisar el funcionamiento del sistema de medición de SAR: (MICROWAVE VISION, 2008)

- Una vez que los parámetros de la medición se han definido, el software carga la configuración de la medición automáticamente.

- Importa archivos 3D para ser utilizados por la interfaz (3DS, IGES, STEP).
- Define el path de la sonda isotrópica.
- Genera reportes en Word y personaliza el formato de los reportes.
- Compara la simulación FDTD (formato CST) con los datos de la medición.
- Permite visualizar las mediciones del campo eléctrico.
- La validación de las propiedades dieléctricas del líquido simulador es un módulo integrado en el software OpenSAR. El módulo permite que los valores de la medición de las propiedades dieléctricas del líquido se actualicen.
- El software OpenSAR utiliza algoritmos mejorados para:
 - Reducir el tiempo de exploración 2D y 3D de 15 minutos (medición de un teléfono, una posición, un canal) hasta 1 minuto a través de la detección rápida del pico en 2D y algoritmos de truncamiento cúbico en 3D.
 - Reducir a la mitad el tiempo de cálculo, utilizando handover entre el canal medio, bajo y alto dentro de la misma frecuencia.

3.2.2 Smartpad

El smartpad muestra en su pantalla táctil antirreflectante y de alta resolución lo fácil que es manejar el robot. Entre más complejas se vuelven las capacidades del robot, mayor es la robustez de la interface de usuario. Los cuadros de diálogos inteligentes e interactivos guían al usuario de forma clara y estructurada. Al usuario se le pone a disposición los elementos de manejo que necesita en ese momento. Con el objetivo de concentrar la atención en lo esencial y permitir que el usuario pueda trabajar de forma intuitiva, sencilla, rápida y eficiente. (KUKA Roboter GmbH)



Figura 34. Smartpad

3.2.2.1 Características del smartpad

- Manejo fácil e intuitivo a través de la pantalla táctil con ventanas flexibles al contexto.
- Teclas de desplazamiento para el control directo del robot (ocho ejes). Los ejes no necesitan realizar ninguna conmutación.
- Interacción flexible.
- Concepto probado de la operación del robot.
- Puerto USB para guardar y cargar configuraciones directamente en el smartpad.
- Soporte visual. La pantalla antirreflectante de alta resolución permite al usuario trabajar sin forzar los ojos. (KUKA Roboter GmbH)

3.2.3 KR C4

El KR C4 crea una base firme para la automatización del mañana. Reduce en la automatización los costos de integración, mantenimiento y conservación. Aumenta al mismo tiempo la eficiencia y la flexibilidad de los sistemas de forma duradera. La arquitectura del sistema es completamente nueva y estructurada que se concentra en estándares de datos abiertos y de alto rendimiento. Una arquitectura en la que todos los

controles integrados (seguridad, robot, movimiento y lógica) disponen de una base de datos general, con el fin de obtener el máximo rendimiento, escalabilidad y flexibilidad. El KR C4 da mayor seguridad. (KUKA Roboter GmbH)



Figura 35. KR C4

3.2.3.1 Características del KR C4

- Facilidad de manejo y mantenimiento.
- Control basado en PC.
- Controles de seguridad, lógica y movimiento integrados en el sistema de control.
- Comunicación en tiempo real.
- Maximiza la consistencia de los datos.
- Software integrado para mayor seguridad.
- Eficiencia energética.
- Procesador de núcleo múltiple para obtener rendimiento escalable.
- Rápida comunicación a través de gigabit ethernet.
- Plataforma tecnológica.

- Tarjetas de memoria integradas para el registro de datos. (KUKA Roboter GmbH)

3.2.4 KR 6-2

El KR 6-2 es un artista del movimiento que abarca un espacio de trabajo esférico y resulta ideal para aquellos conceptos de instalación en los que se busca un ahorro de espacio y de costos. El KR 6-2 es el robot más solicitado por su versatilidad y flexibilidad. Dispone de una capacidad de carga de 6 kg. (KUKA Roboter GmbH)

El robot de alta precisión ofrece una excepcional accesibilidad incluso en espacios reducidos para satisfacer las exigencias y elevadas temperaturas. El KR 6-2 no sólo contribuye a tener todos los procesos bajo control, sino que le permite rendimiento y flexibilidad. La robótica y la técnica de control permiten obtener la máxima precisión, así como facilidad de manejo, integración sencilla y compacta en los procesos existentes. (KUKA Roboter GmbH)

El software tiene aplicaciones para las tareas más usuales hasta programas de simulación para la planificación del robot. La tecnología Safe Robot supervisa las zonas de protección. El KR 6-2 tiene posibilidades ilimitadas y máxima seguridad. (KUKA Roboter GmbH)

Tabla 27.**Especificaciones del KR 6-2**

Alcance máximo	1611 mm
Carga útil nominal	6 kg
Carga ad. brazo / brazo osc. / col. gir.	10 / variable / 20kg
Carga ad. brazo + brazo osc., máx.	Variable
Carga máx. total	36 kg
Cantidad de ejes	6
Posición de montaje	Piso, pared, techo
Repetitividad de posición	± 0,05 mm
Unidad de control	KR C2 edición 2005
Peso (sin unidad de control), aprox.	235 kg
Temperatura en servicio	+ 5 °C hasta + 55 °C
Tipo de protección	IP 65
Superficie de colocación robot	500 mm x 500 mm
Conexión	7,3 kVA
Nivel de ruido	< 75 dB

Fuente: (KUKA Roboter GmbH)

Tabla 28.

Características de los ejes del KR 6-2

Datos de los ejes	Campo (software)	Velocidad con carga nominal 6 kg
Eje 1	$\pm 185^\circ$	156 °/s
Eje 2	+ 35 °/-155 °	156 °/s
Eje 3	+ 154 °/-130 °	156 °/s
Eje 4	$\pm 350^\circ$	343 °/s
Eje 5	$\pm 130^\circ$	362 °/s
Eje 6	$\pm 350^\circ$	659 °/s

Sistema de accionamiento electromecánico, con servomotores de CA sin escobillas *según ISO 9283
Fuente: (KUKA Roboter GmbH)



Figura 36. KR 6-2

3.3 PROTOCOLO DE MEDICIONES DE SAR

3.3.1 Esquema de Conexión

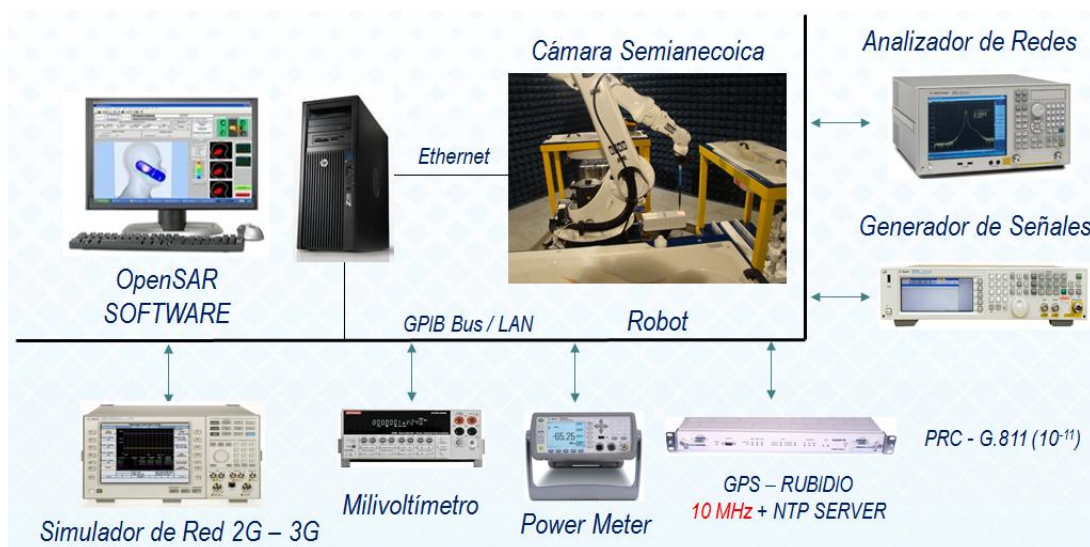


Figura 37. Esquema de conexión

En la Figura 37 se muestra el esquema de conexión del sistema de medición SAR. Todos los equipos se encuentran conectados a la unidad central de procesamiento. Los equipos se conectan a la unidad central de procesamiento por medio de la interfaz GPIB. Con el software OpenSAR instalado en la computadora se realiza la configuración de los equipos de manera remota. Algunas configuraciones se las realiza manualmente. El UNISYNCE sincroniza los equipos del sistema de medición de SAR con una señal de reloj común. La unidad de procesamiento se sincroniza con el servidor NTP/SNTP.

3.3.2 Inicialización del Sistema

A continuación se describe el procedimiento a seguir para inicializar los equipos del sistema de medición de SAR.

1. Dirigirse al KR C4.



Figura 38. El KR C4

2. El KR C4 debe estar apagado, el indicador de la perilla en OFF.



Figura 39. Perilla en OFF

3. Girar la perilla hacia la derecha hasta que se indique la palabra ON, con esto el KR C4 se encenderá.



Figura 40. Perilla en ON

4. Ingresar a la cámara semianecoica. Prender el multímetro digital y el VPS (sistema de posicionamiento de video).



Figura 41. Multímetro apagado



Figura 42. Multímetro prendido

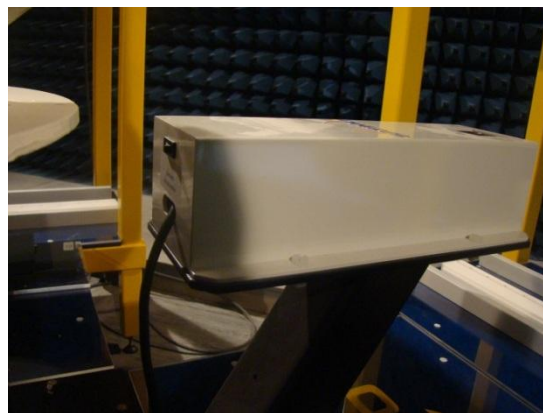


Figura 43. VPS

5. En la PC de la estación de trabajo hacer doble click en el icono del programa OpenSAR.



Figura 44. Estación de trabajo

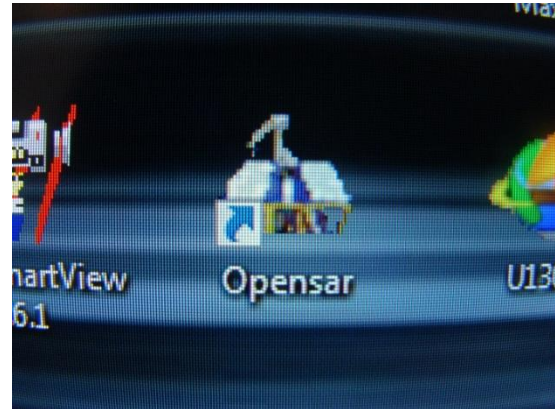


Figura 45. Icono OpenSAR

6. En la pantalla principal del programa OpenSAR. En el menú Project seleccionar la opción New.

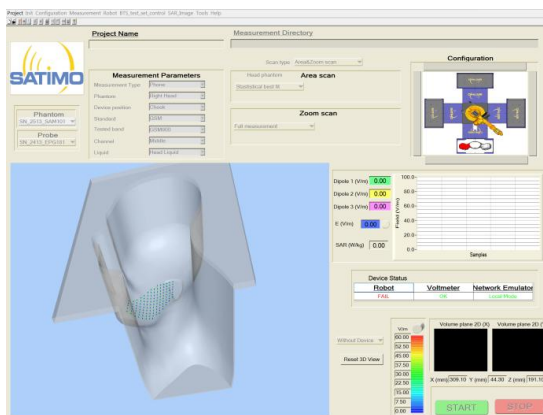


Figura 46. Programa OpenSAR

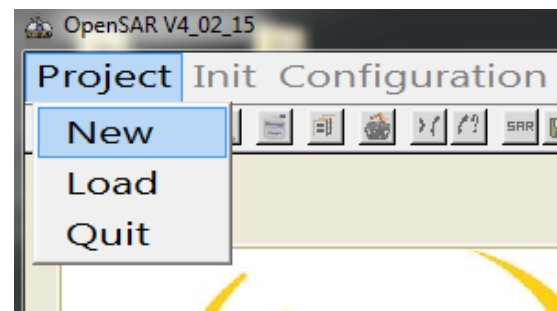


Figura 47. Opción New

7. Nos aparecerá una ventana “Create a new project”. Ingresar el nombre del proyecto. Dar click en el botón Save para crear el proyecto. En la pantalla principal del software se puede visualizar el nombre del proyecto.

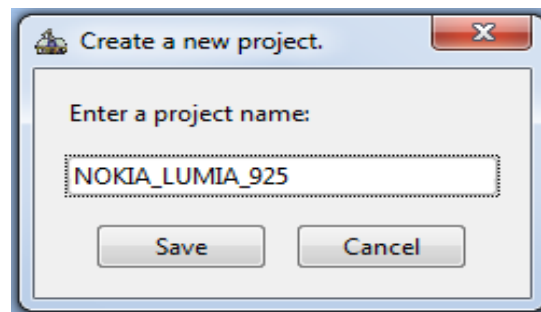


Figura 48. Ventana Create a new project

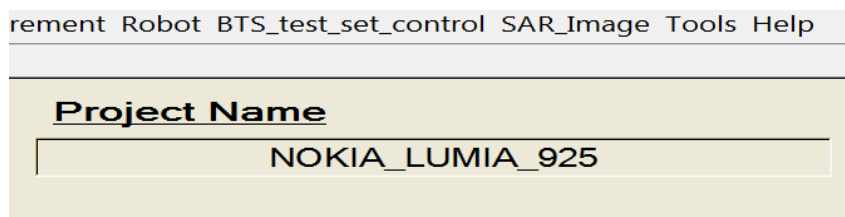


Figura 49. Nombre del proyecto

8. En la pantalla principal del programa OpenSAR comprobar en la tabla Device Status el estado de los dispositivos del sistema. El estado del Robot está en FAIL (rojo).

Device Status		
Robot	Voltmeter	Network Emulator
FAIL	OK	Local Mode

Figura 50. Device Status

9. Ingresar a la cámara semianecoica. Y dirigirse al smartpad.

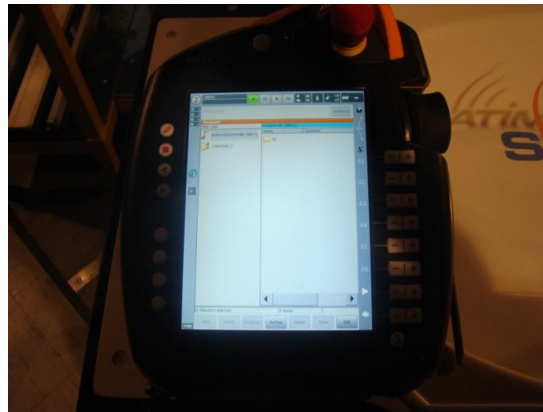


Figura 51. El smartpad

10. En la pantalla principal del smartpad verificar el estado de los botones S, O, R y T1 los cuales deberán estar activados (verdes). El primer botón S “SUBMIT” siempre está activado, indica que el KR C4 se encuentra encendido.

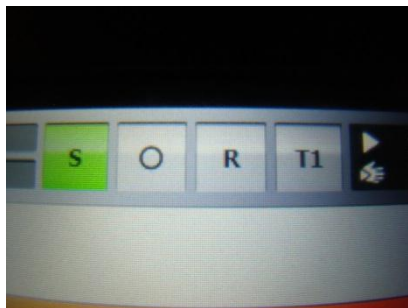


Figura 52. Botones S, O, R y T1

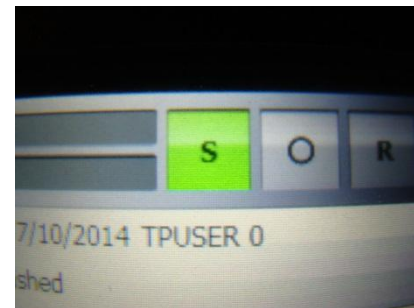


Figura 53. Botón S

11. En el smartpad, el último botón indica de qué manera será controlado el robot, de manera local (T1) o remota (Aut).

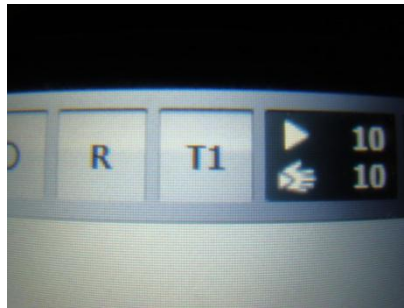


Figura 54. Control de manera local

12. El robot debe ser controlado desde el software OpenSAR, es decir, de manera remota (Aut). Para esto girar hacia la derecha la llave que se encuentra en la parte superior derecha del smartpad.



Figura 55. Posición normal



Figura 56. Llave al girar

13. Una vez que se ha girado la llave aparecerá un menú, seleccionar el control remoto escogiendo la opción Aut.

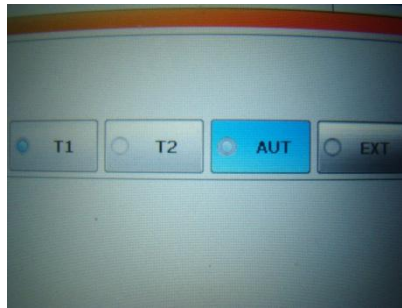


Figura 57. Opción Aut

14. Girar la llave a su posición original, luego de lo cual el cuarto botón (control de manera remota) se colocará en verde (activado).



Figura 58. Posición original

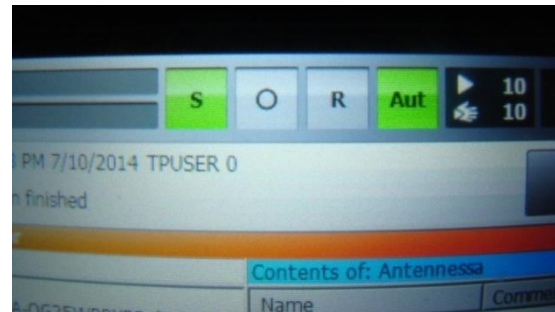


Figura 59. Botón Aut activado

15. El segundo botón O “Drive Button” debe estar activado (verde), para lo cual hacer click en este botón O.

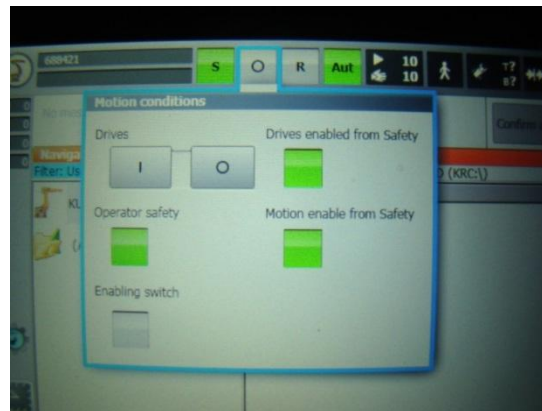


Figura 60. Click en el botón O

16. En el menú desplegado presionar el botón I. Con esto el segundo botón “Drive Button” está activado.

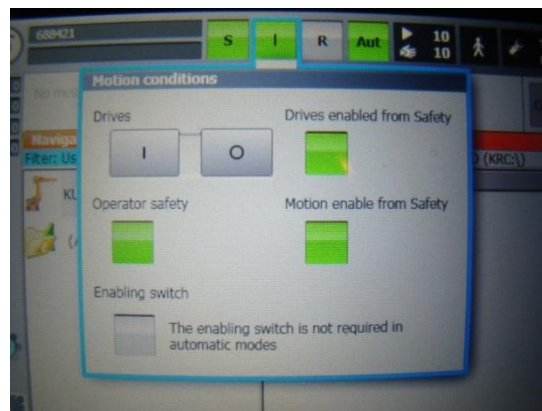


Figura 61. Drive Button activado

17. El tercer botón R “Running Button” debe estar activado (verde), para lo cual en la pantalla principal del smartpad seleccionar la carpeta R1.

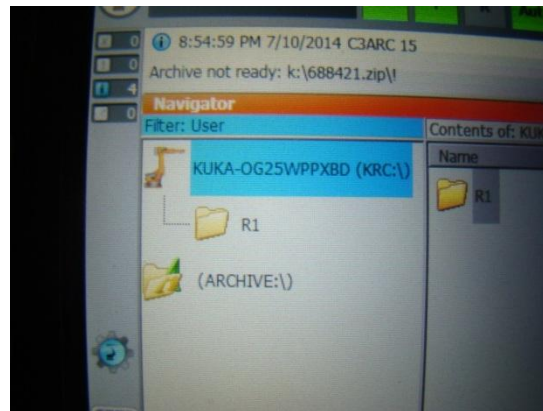


Figura 62. Carpeta R1

18. Dentro de la carpeta R1, elegir la carpeta Program. En la carpeta Program, escoger la carpeta Antennessa.

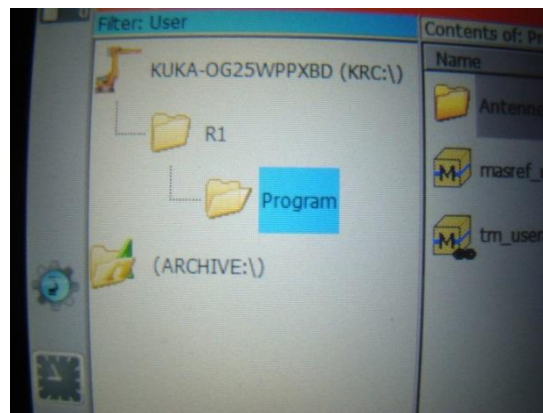


Figura 63. Carpeta Program

19. En la carpeta Antennessa seleccionar el programa antennessaxp.

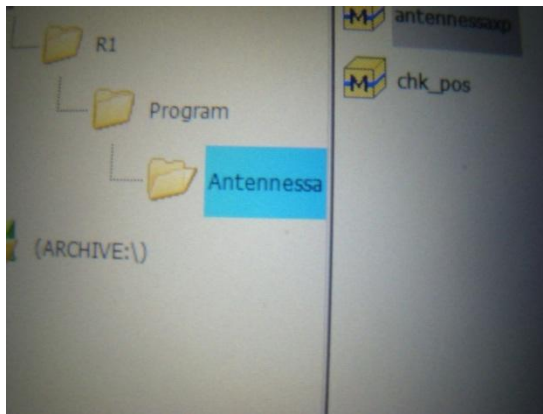


Figura 64. Carpeta Antenna

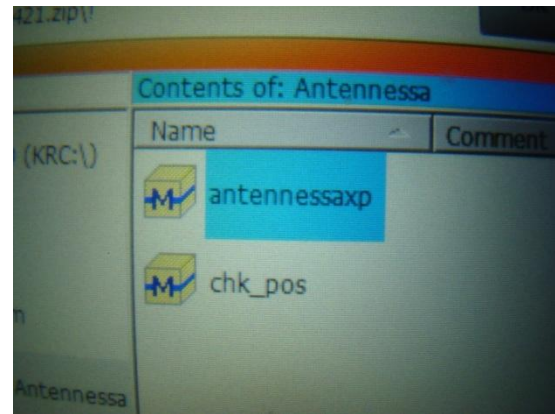


Figura 65. Programa antennessxp

20. En la parte inferior izquierda de la pantalla táctil del smartpad, hacer click en el botón Select.

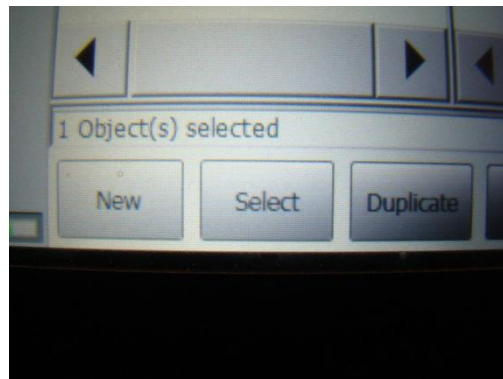


Figura 66. Botón Select

21. En la pantalla del programa antennessxp, presionar el botón play ubicado en la parte externa izquierda a la pantalla del smartpad.

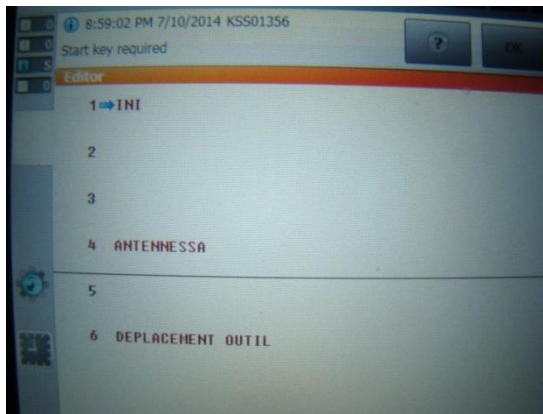


Figura 67. Pantalla del antennessxp

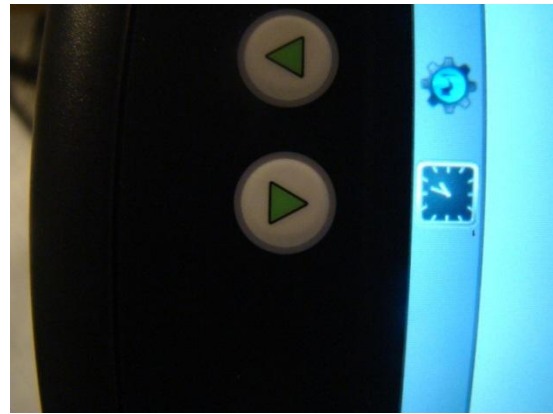


Figura 68. Botón play

22. Para inicializar el sistema, es necesario presionar el botón play por segunda vez.

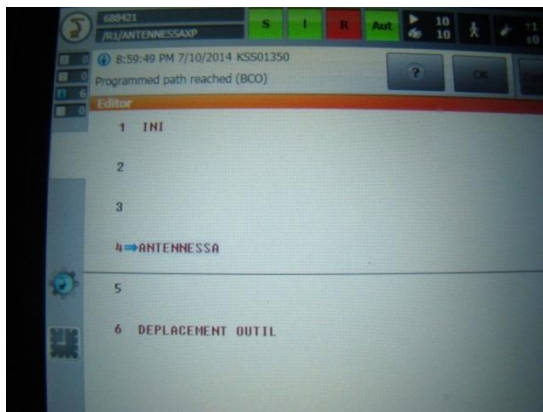


Figura 69. Al presionar play

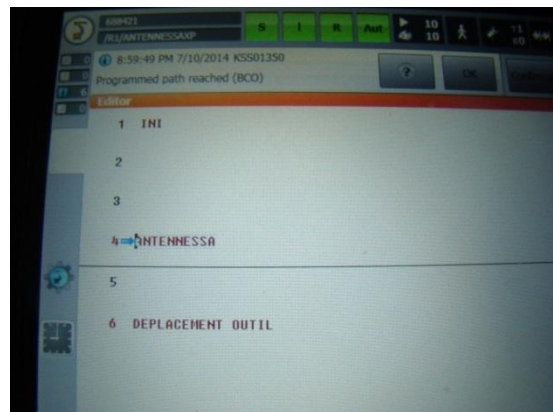


Figura 70. Por segunda vez

23. Ahora los botones S, O, R y Aut están activados (verdes). A continuación presionar el “icono del robot”, el cual se encuentra en el extremo izquierdo superior de la pantalla táctil del smartpad.

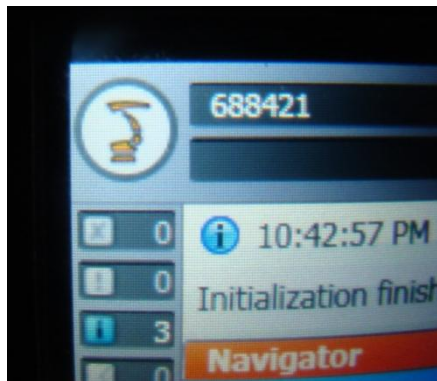


Figura 71. Icono del robot

24. Luego de presionar el “icono del robot”, escoger el botón Display del Main menu. Elegir el botón SATIMO del menú Display.

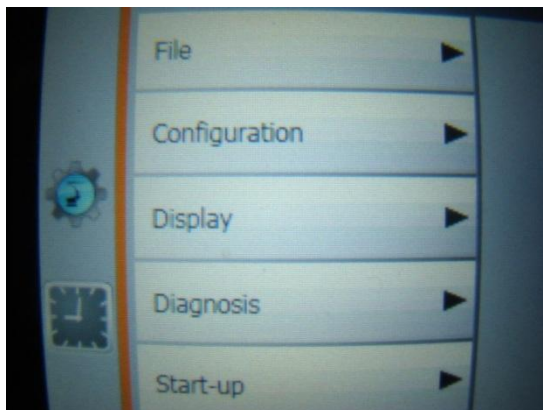


Figura 72. Main menu

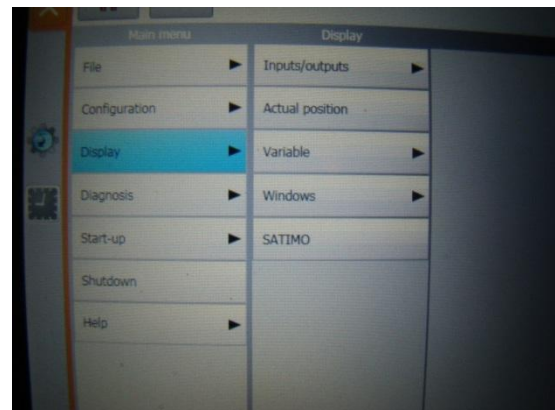


Figura 73. Menú Display

25. Se desplegará la pantalla SATIMO. Presionar el botón Connexion, al presionar el botón se genera un cambio de color (de rojo a verde) en el estado Etat connexion. Con esto el estado Etat connexion se encuentra activado.

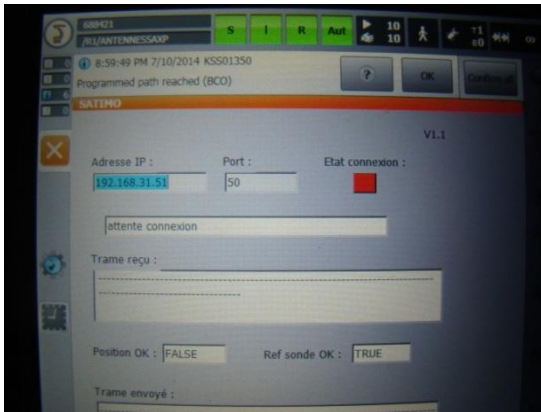


Figura 74. Pantalla SATIMO

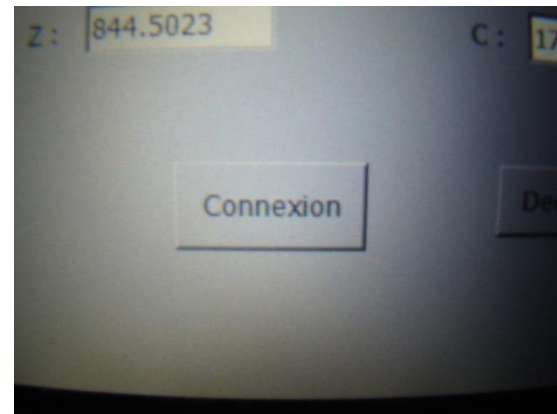


Figura 75. Botón Connexion

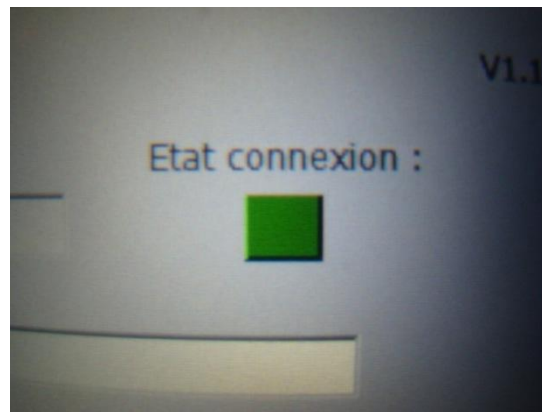


Figura 76. Etat connexion activado

26. En la pantalla principal del programa OpenSAR. En el menú Init seleccionar la opción Robot.

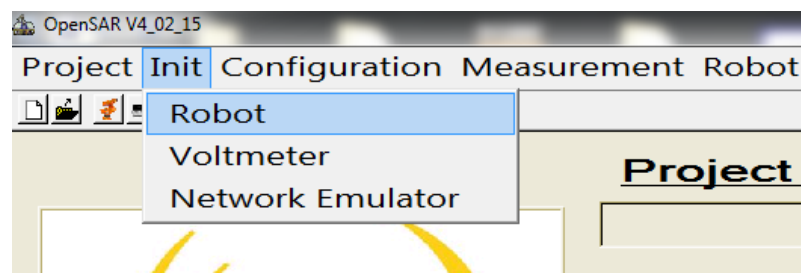


Figura 77. Opción Robot

27. Verificar en la pantalla principal del programa OpenSAR la tabla Device Status donde todos los dispositivos del sistema deben estar en estado OK.

Device Status		
Robot	Voltmeter	Network Emulator
OK	OK	Local Mode

Figura 78. Estado OK

28. En el programa OpenSAR en la sección Configuration hacer click en el botón alargado que corresponda al fantoma sobre el cual se desea realizar la medición de SAR.

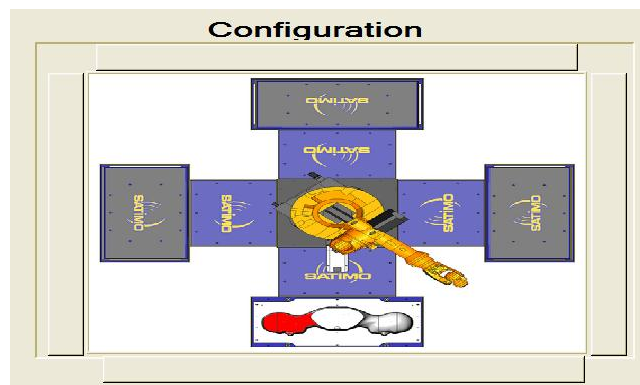


Figura 79. Sección Configuration

29. En la pantalla principal del programa OpenSAR. En el menú Robot seleccionar la opción Go to reference.

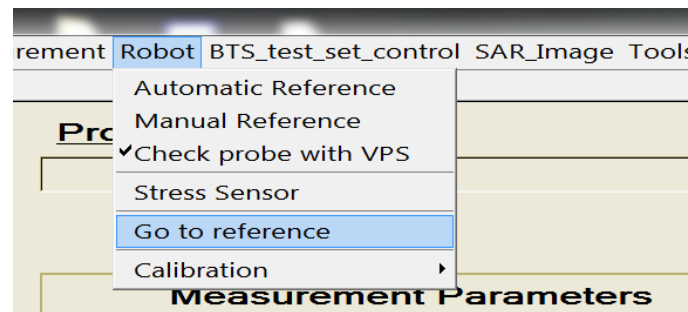


Figura 80. Opción Go to reference

30. Una vez que el brazo del robot KUKA se haya posicionado en el punto de referencia del fantoma SAM, se debe colocar la sonda de medición.

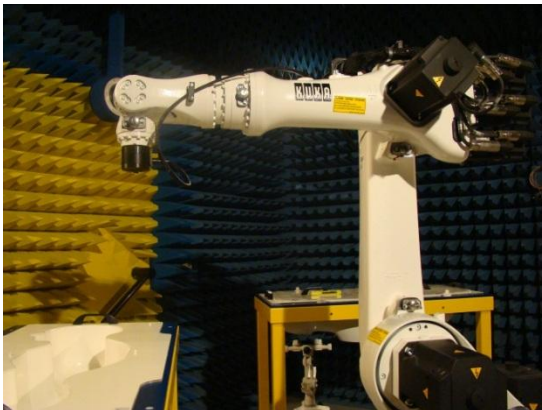


Figura 81. Punto de referencia



Figura 82. Sondas de medición

31. Para colocar la sonda en el brazo del robot KR 6-2 se debe acercar el conector de la sonda al conector del sensor de estrés del robot, hasta sentir el engranaje entre ambos y posteriormente asegurar la sonda girando únicamente el conector de la sonda.

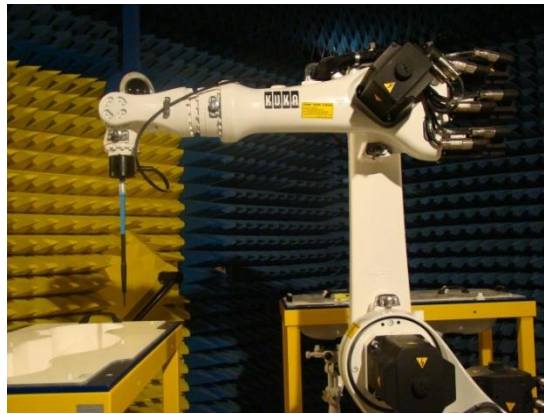


Figura 83. Sonda en el brazo del robot

32. Comprobar el número de serie de la sonda a utilizarse. En la pantalla principal del programa OpenSAR en la opción Probe seleccionar el número de serie de la sonda.

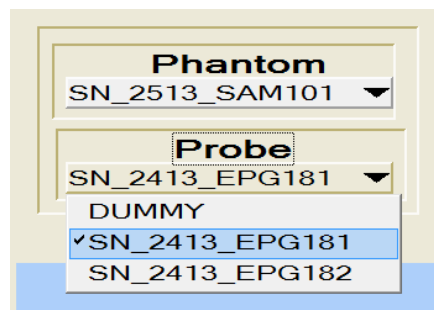


Figura 84. Opción Probe

33. En el menú Robot seleccionar la opción Automatic Reference. En esta opción el robot utiliza el VPS (sistema de posicionamiento de video) para obtener el punto de referencia automáticamente. El robot se moverá a la posición de referencia en la parte plana del fantoma SAM.

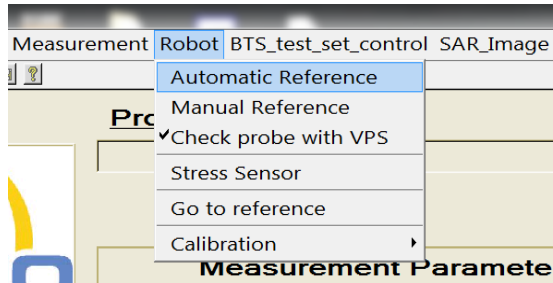


Figura 85. Menú Robot

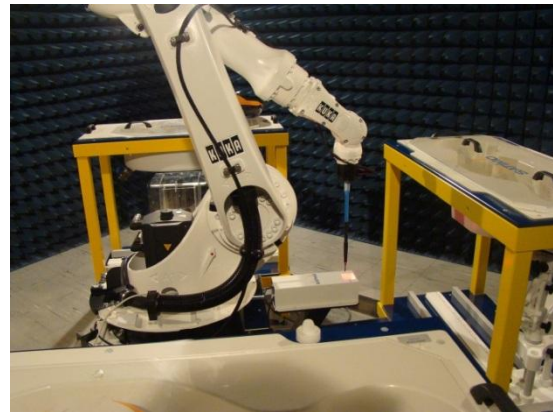


Figura 86. Automatic Reference

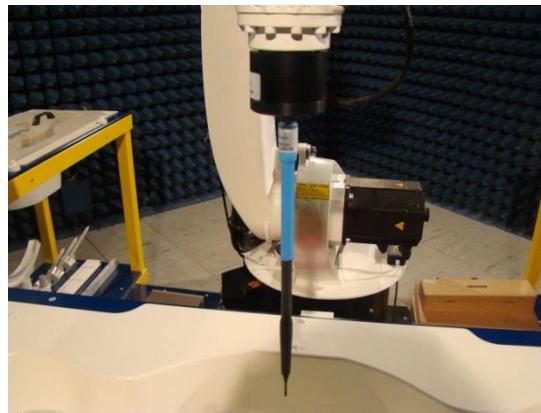


Figura 87. Posición de referencia

3.3.3 Medición de Líquidos

El procedimiento tiene como objetivo medir los parámetros dieléctricos del líquido simulador de tejido en el rango de frecuencias sobre el que se realizará las mediciones de SAR.

1. Encender el VNA E5071C (Vector Network Analyzer).



Figura 88. VNA E5071C apagado



Figura 89. VNA E5071C encendido

2. Para la calibración del Vector Network Analyzer E5071C se usa el kit de calibración 85052D, con las terminaciones OSL: Open (circuito abierto), Short (cortocircuito) y Load (circuito con carga).



Figura 90. Caja del kit de calibración



Figura 91. Kit de calibración

3. Conectar el cable RF de bajas pérdidas en uno de los conectores del VNA. El cable RF de bajas pérdidas se encuentra en el kit de medición de líquidos.



Figura 92. Kit de medición

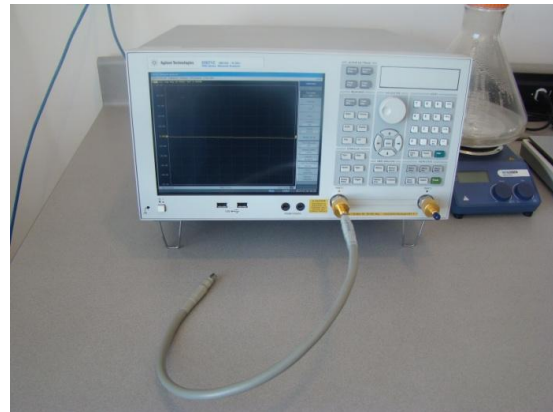


Figura 93. Cable RF

4. El otro extremo del cable RF de bajas pérdidas colocarlo en las tenazas del soporte vertical de tal manera que no se mueva durante el proceso de calibración, pues si cambia su posición podría alterar la medición del líquido.

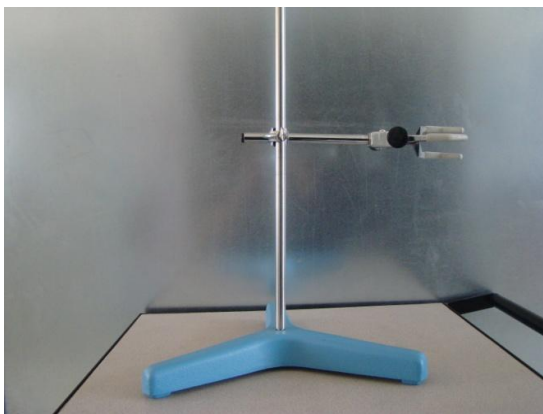


Figura 94. Soporte vertical



Figura 95. Plataforma manual



Figura 96. Probetas



Figura 97. Cable RF en el soporte

5. Presionar el botón Start en el analizador de redes para configurar la frecuencia inicial del rango de calibración del equipo. Para medir el líquido simulador de 850 MHz y 1900 MHz la frecuencia inicial es 800 MHz y 1800 MHz respectivamente.



Figura 98. Botón Start

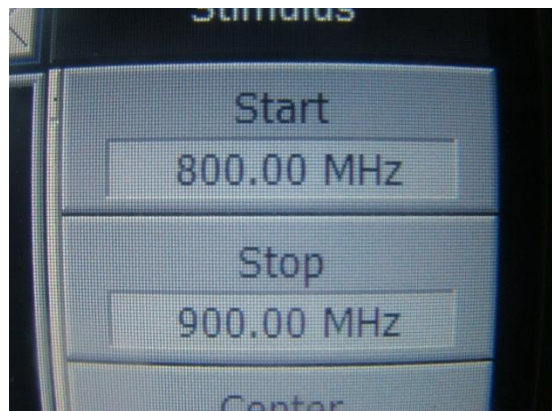


Figura 99. Configuración 850 MHz

6. Luego presionar el botón Stop el cual permite ingresar la frecuencia final del rango de calibración del equipo. Para medir el líquido simulador de 850 MHz y 1900 MHz la frecuencia final es 900 MHz y 2000 MHz respectivamente.



Figura 100. Botón Stop

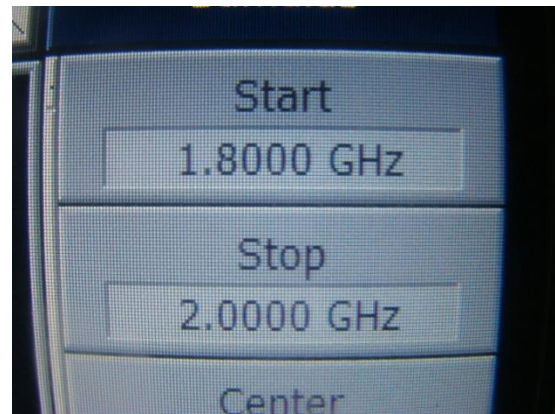


Figura 101. Configuración 1900 MHz

7. Oprimir el botón Cal. Seleccionar la opción Cal Kit.



Figura 102. Botón CAL



Figura 103. Opción Cal Kit

8. Seleccionar el kit de calibración 85052D.



Figura 104. Kit 85052D

9. Oprimir el botón Cal. Escoger la opción Calibrate.

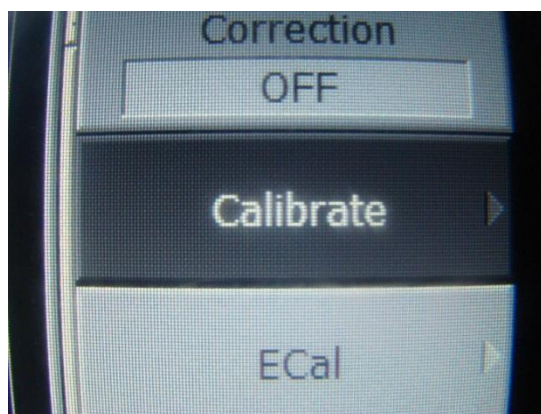


Figura 105. Opción Calibrate

10. Seleccionar el puerto al que se encuentra conectado el cable RF de bajas pérdidas. Tener en cuenta que 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.



Figura 106. Puertos del analizador

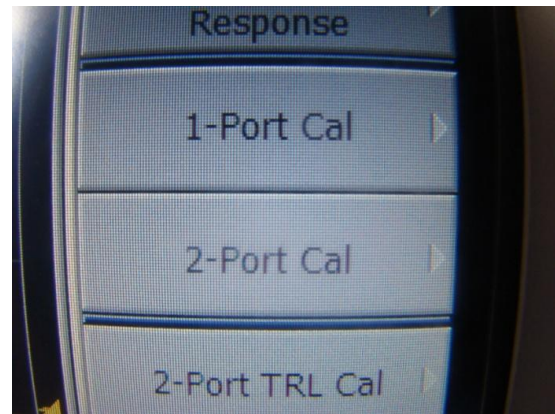


Figura 107. Port Cal

11. En el conector del cable RF que se encuentra sujeto al soporte vertical. Colocar la terminación OPEN. Cada terminación OSL tiene una etiqueta que permite su identificación.



Figura 108. Terminaciones OSL

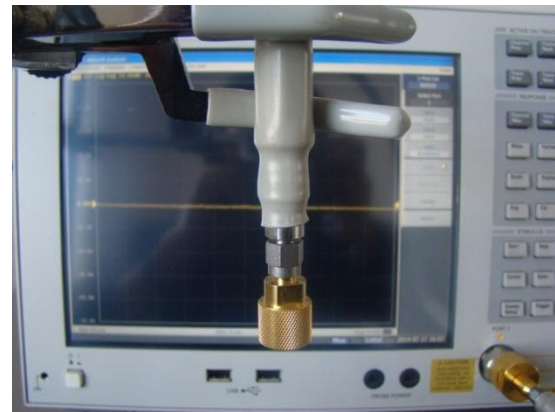


Figura 109. Terminación OPEN

12. Con la terminación OPEN conectada. Presionar el botón Open en las opciones del puerto. El visto indica que la terminación OPEN fue calibrada.



Figura 110. Botón Open



Figura 111. Terminación calibrada

13. Retirar la terminación OPEN sin mover el cable RF del soporte. Colocar la terminación SHORT.



Figura 112. Terminación SHORT

14. Con la terminación SHORT conectada. Presionar el botón Short en las opciones del puerto. El visto indica que la terminación SHORT fue calibrada.

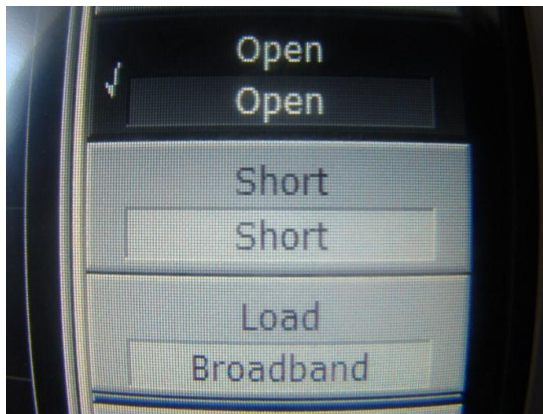


Figura 113. Botón Short

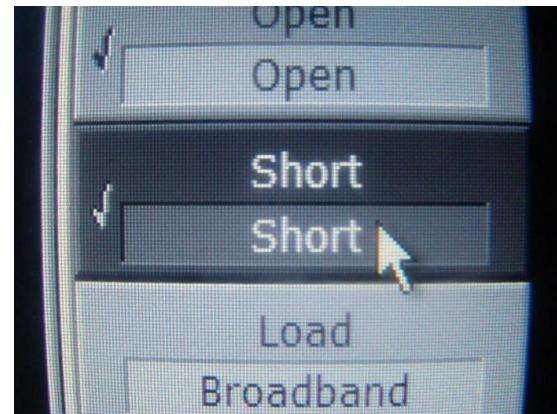


Figura 114. Terminación calibrada

15. Retirar la terminación SHORT sin mover el cable RF del soporte. Colocar la terminación LOAD.

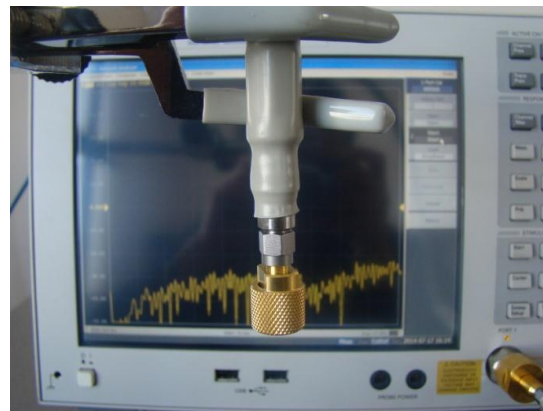


Figura 115. Terminación LOAD

16. Con la terminación LOAD conectada. Presionar el botón Load en las opciones del puerto. El visto indica que la terminación LOAD fue calibrada.

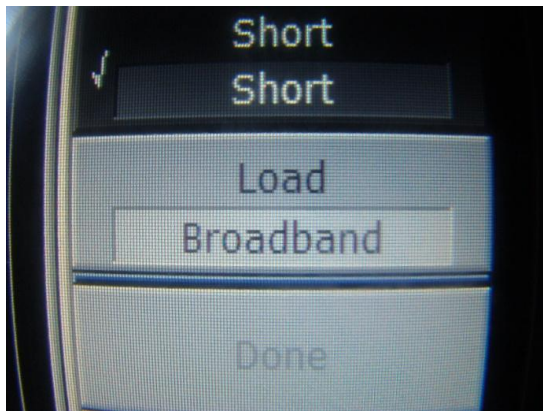


Figura 116. Botón Load

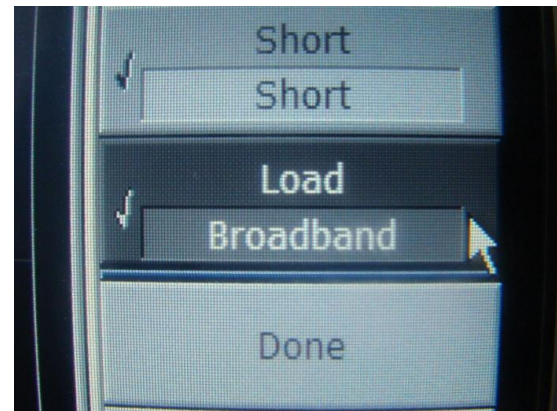


Figura 117. Terminación calibrada

17. Retirar la terminación LOAD sin mover el cable RF del soporte. Presionar el botón Done en las opciones del puerto. Con esta configuración el puerto conoce las pérdidas en el cable RF. El asterisco en la opción Select Port indica que el puerto fue calibrado. Este proceso de calibración se realiza para que el analizador de redes pueda compensar las pérdidas en el cable RF.

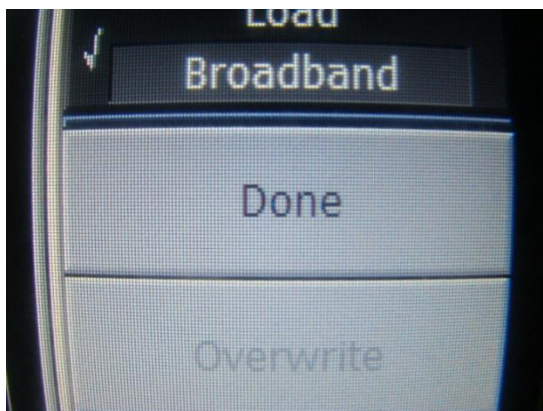


Figura 118. Botón Done

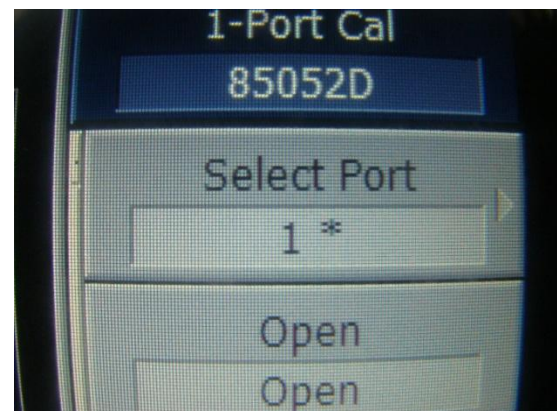


Figura 119. Puerto calibrado

18. En la pantalla principal del programa OpenSAR. En el menú Configuration seleccionar la opción Liquid.

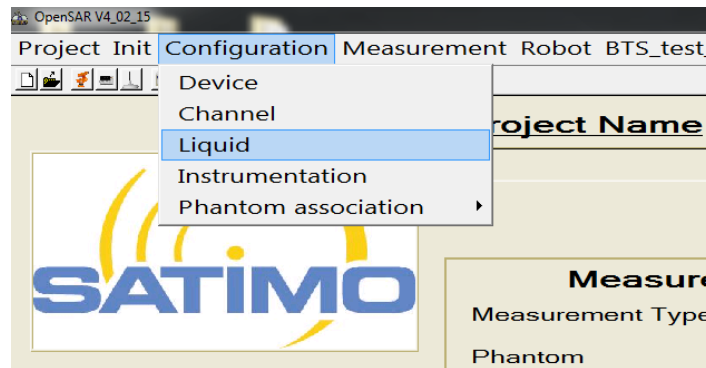


Figura 120. Opción Liquid

19. Aparecerá una ventana “Liquid Configuration” que contiene parámetros informativos que no deben ser modificados. Estos parámetros no alterarán la medición del líquido.

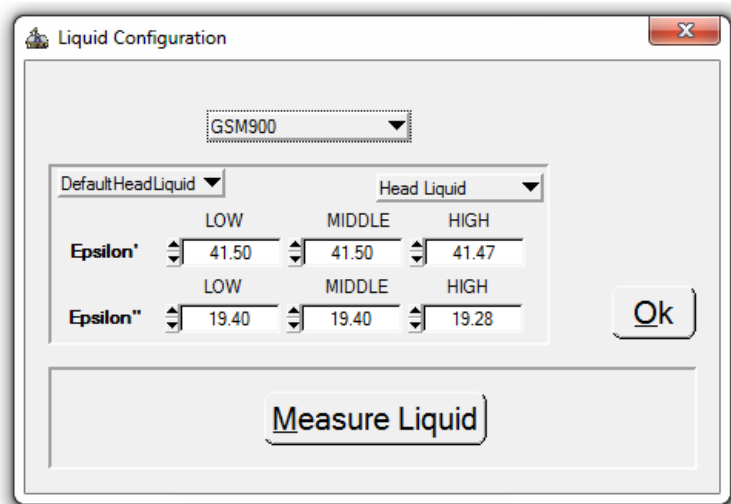


Figura 121. Ventana Liquid Configuration

20. Dar clic en el botón Measure Liquid. Se abrirá una nueva ventana “Measurement of liquid permittivity”.

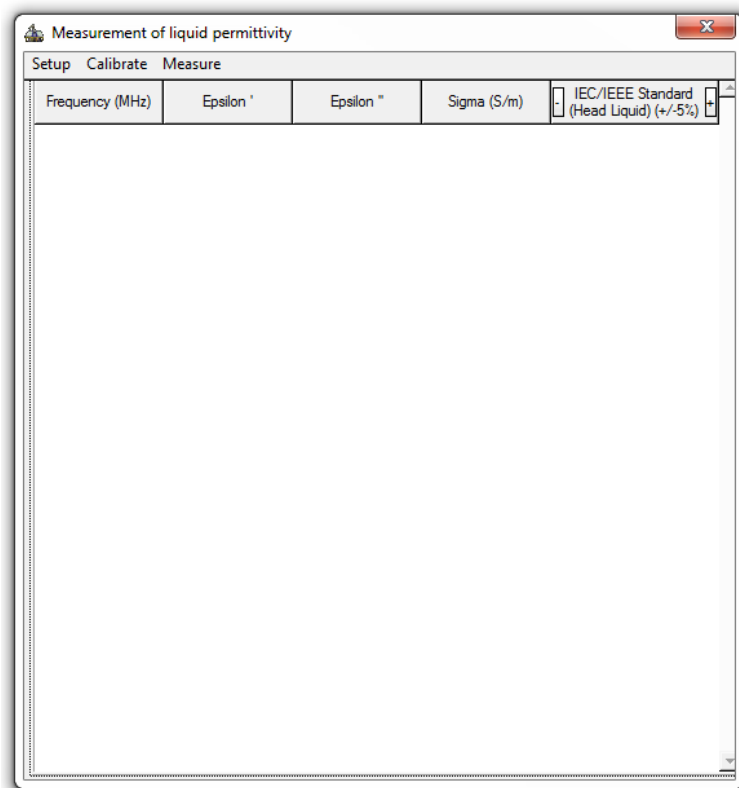


Figura 122. Measurement of liquid permittivity

21. En el menú Setup seleccionar el submenú Standard. En el submenú Standard escoger la opción IEC 62209/IEEE 1528 (Head liquid). Es importante aclarar que es posible cambiar el estándar en cualquier punto de la medición del líquido, ya que aquello no causa ningún efecto en las mediciones, puesto que sirve como referencia para la comparación de los resultados obtenidos con los valores que establece cada estándar.

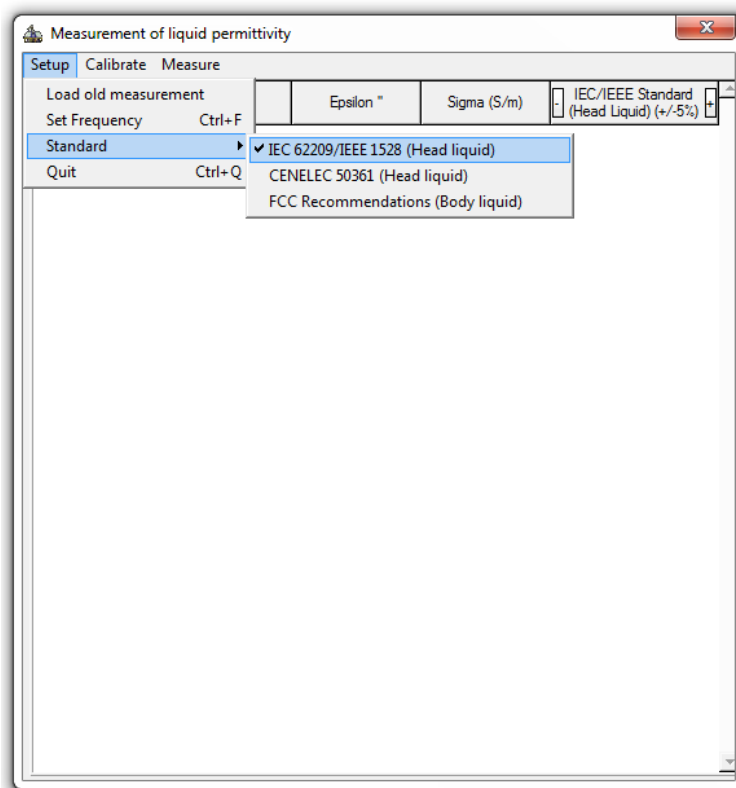


Figura 123. Opción IEC 62209/IEEE 1528 (Head liquid)

22. En el menú Setup elegir la opción Set Frequency. Esta opción permite definir el rango de frecuencias para el que se va a realizar la medición del líquido.

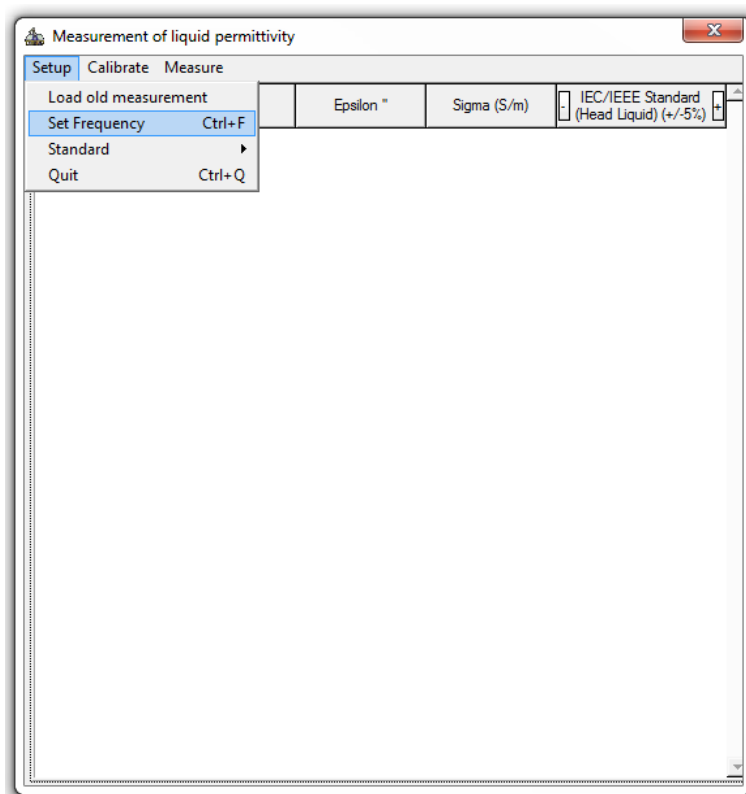


Figura 124. Opción Set Frequency

23. Se abrirá una ventana “Set Frequency” donde se configura los siguientes parámetros:

- Start (MHz): frecuencia inicial de la medición.
- Stop (MHz): frecuencia final de la medición.
- Step: valor que indica el espacio en MHz entre cada medición del líquido.
- Nb Points: número de mediciones del líquido que se desea realizar.

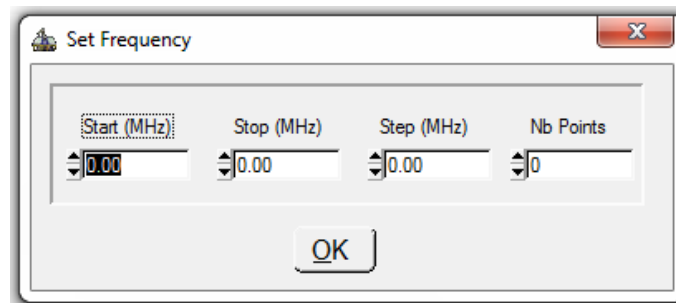


Figura 125. Set Frequency

24. La configuración de los dos primeros parámetros (Start - Stop) es obligatoria. Sin embargo, al configurar alguno de los dos siguientes parámetros (Step o Nb Points) automáticamente se obtiene el valor del otro parámetro. Por ejemplo, si el rango de frecuencias va desde los 800 MHz (parámetro Start) a 900 MHz (parámetro Stop) y el valor Step se ha configurado en 5 MHz, el programa calcula el valor Nb Points (número de mediciones del líquido que se desea realizar) que es igual a 21 y se tomaran mediciones del líquido, a 800 MHz, después a 805 MHz, 810 MHz,..., 900 MHz. Si el rango de frecuencias va desde los 1800 MHz (parámetro Start) a 2000 MHz (parámetro Stop) y el valor Nb Points se configura a 21 mediciones, el programa calcula el valor Step (espacio en MHz entre cada medición del líquido) que es igual a 10MHz y se tomaran mediciones del líquido, a 1800 MHz, después a 1810 MHz, 1820MHz,..., 2000 MHz.

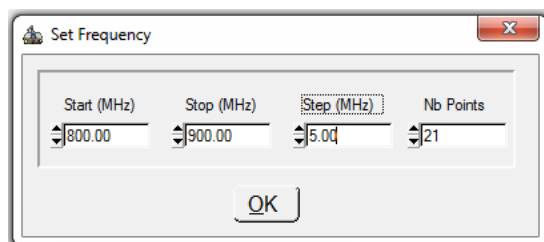


Figura 126. Configuración GSM 850

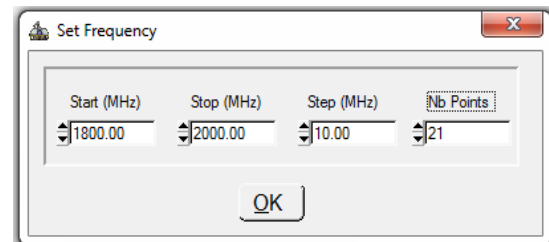
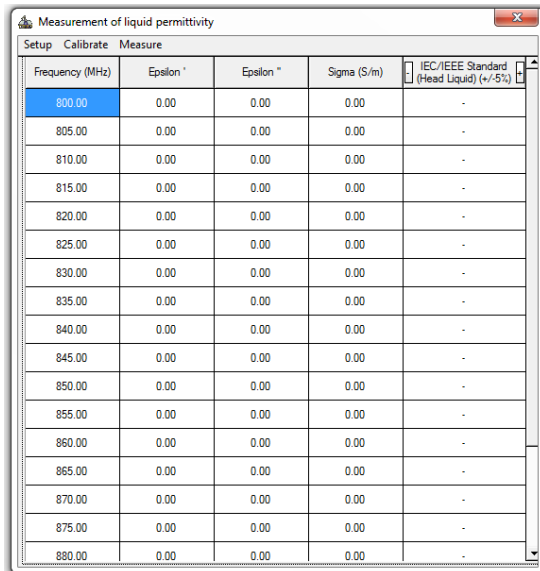


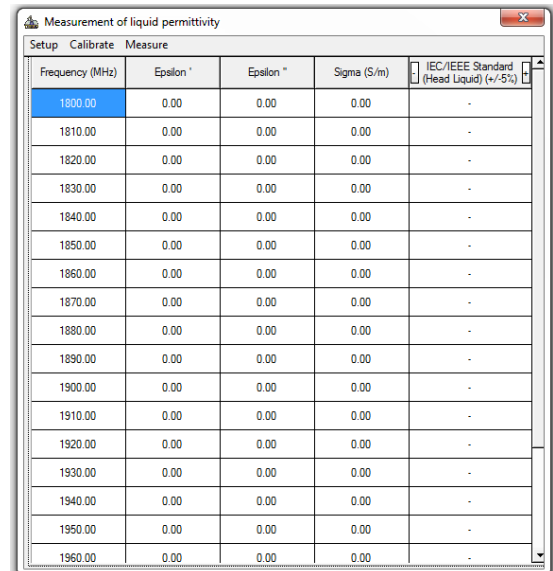
Figura 127. Configuración GSM 1900

25. Dar clic en el botón OK. En la ventana “Measurement of liquid permittivity” se puede ver una tabla donde se muestra los valores de las mediciones que se realizarán.



Frequency (MHz)	Epsilon'	Epsilon''	Sigma (S/m)	IEC/IEEE Standard (Head Liquid) (+/-5%)
800.00	0.00	0.00	0.00	-
805.00	0.00	0.00	0.00	-
810.00	0.00	0.00	0.00	-
815.00	0.00	0.00	0.00	-
820.00	0.00	0.00	0.00	-
825.00	0.00	0.00	0.00	-
830.00	0.00	0.00	0.00	-
835.00	0.00	0.00	0.00	-
840.00	0.00	0.00	0.00	-
845.00	0.00	0.00	0.00	-
850.00	0.00	0.00	0.00	-
855.00	0.00	0.00	0.00	-
860.00	0.00	0.00	0.00	-
865.00	0.00	0.00	0.00	-
870.00	0.00	0.00	0.00	-
875.00	0.00	0.00	0.00	-
880.00	0.00	0.00	0.00	-

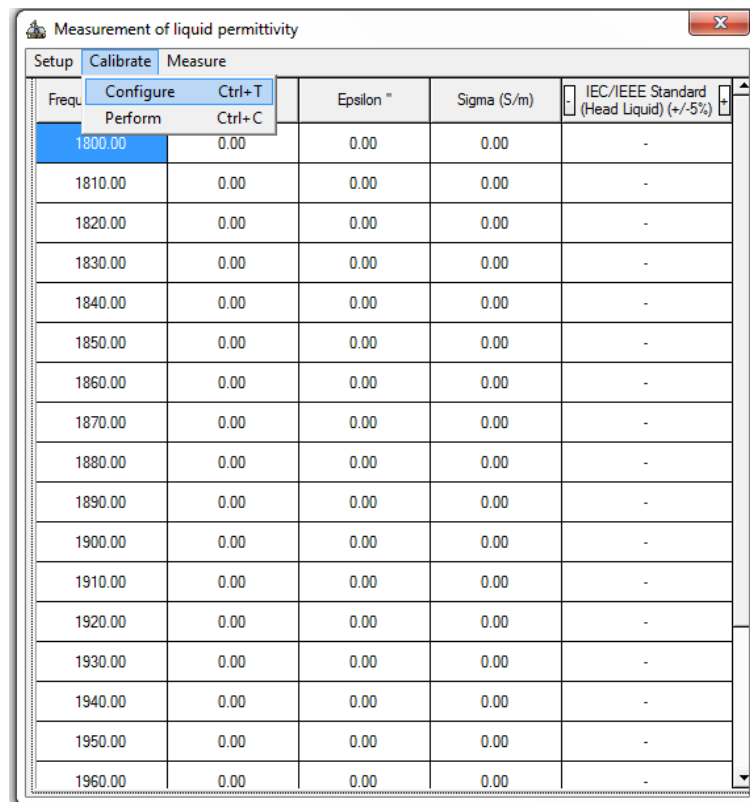
Figura 128. Mediciones GSM 850



Frequency (MHz)	Epsilon'	Epsilon''	Sigma (S/m)	IEC/IEEE Standard (Head Liquid) (+/-5%)
1800.00	0.00	0.00	0.00	-
1810.00	0.00	0.00	0.00	-
1820.00	0.00	0.00	0.00	-
1830.00	0.00	0.00	0.00	-
1840.00	0.00	0.00	0.00	-
1850.00	0.00	0.00	0.00	-
1860.00	0.00	0.00	0.00	-
1870.00	0.00	0.00	0.00	-
1880.00	0.00	0.00	0.00	-
1890.00	0.00	0.00	0.00	-
1900.00	0.00	0.00	0.00	-
1910.00	0.00	0.00	0.00	-
1920.00	0.00	0.00	0.00	-
1930.00	0.00	0.00	0.00	-
1940.00	0.00	0.00	0.00	-
1950.00	0.00	0.00	0.00	-
1960.00	0.00	0.00	0.00	-

Figura 129. Mediciones GSM 1900

26. En el menú Calibrate seleccionar la opción Configure.



Freq	Epsilon "	Sigma (S/m)	IEC/IEEE Standard (Head Liquid) (+/-5%)
1800.00	0.00	0.00	-
1810.00	0.00	0.00	-
1820.00	0.00	0.00	-
1830.00	0.00	0.00	-
1840.00	0.00	0.00	-
1850.00	0.00	0.00	-
1860.00	0.00	0.00	-
1870.00	0.00	0.00	-
1880.00	0.00	0.00	-
1890.00	0.00	0.00	-
1900.00	0.00	0.00	-
1910.00	0.00	0.00	-
1920.00	0.00	0.00	-
1930.00	0.00	0.00	-
1940.00	0.00	0.00	-
1950.00	0.00	0.00	-
1960.00	0.00	0.00	-

Figura 130. Opción Configure

27. Se abrirá una ventana “Water temperature” donde se configura el valor de la temperatura del agua que se utiliza para la medición del líquido. Luego de configurar el valor de la temperatura del agua. Dar clic en el botón OK.

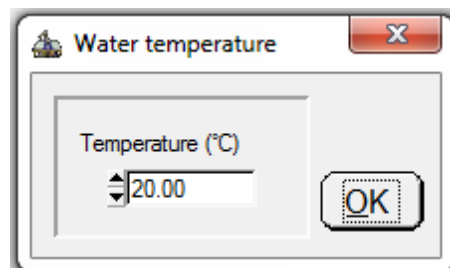


Figura 131. Water temperature

28. En el menú Calibrate seleccionar la opción Perform.

Measurement of liquid permittivity				
Setup		Calibrate	Measure	
Freq.	Configure	Ctrl+T	Epsilon "	Sigma (S/m)
	Perform	Ctrl+C		IEC/IEEE Standard (Head Liquid) (+/-5%)
1800.00		0.00	0.00	0.00
1810.00		0.00	0.00	0.00
1820.00		0.00	0.00	0.00
1830.00		0.00	0.00	0.00
1840.00		0.00	0.00	0.00
1850.00		0.00	0.00	0.00
1860.00		0.00	0.00	0.00
1870.00		0.00	0.00	0.00
1880.00		0.00	0.00	0.00
1890.00		0.00	0.00	0.00
1900.00		0.00	0.00	0.00
1910.00		0.00	0.00	0.00
1920.00		0.00	0.00	0.00
1930.00		0.00	0.00	0.00
1940.00		0.00	0.00	0.00
1950.00		0.00	0.00	0.00
1960.00		0.00	0.00	0.00

Figura 132. Opción Perform

29. Aparecerá una ventana “Probe Calibration” con el mensaje “Please, Leave probe tip in the air”. Colocar la sonda de medición en el cable RF de bajas pérdidas. La sonda se encuentra en el kit de medición de líquidos.



Figura 133. Sonda de medición



Figura 134. Sonda en el cable RF

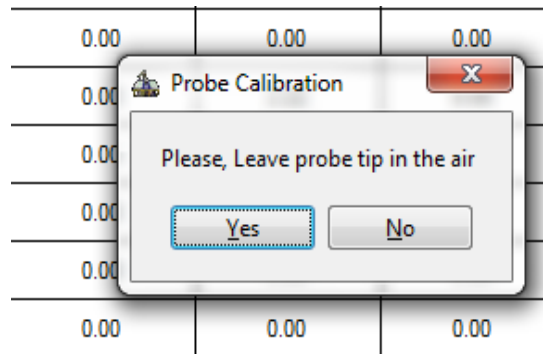


Figura 135. Mensaje Please, Leave probe tip in the air

30. Con la sonda conectada. Verificar que en la parte inferior de la sonda no se encuentre ningún objeto que afecte la medición. Dar clic en el botón Yes.



Figura 136. Medición de la sonda en el aire

31. Se abrirá la ventana “Probe Calibration” con el mensaje “Please, Put probe tip in contact with the water”.

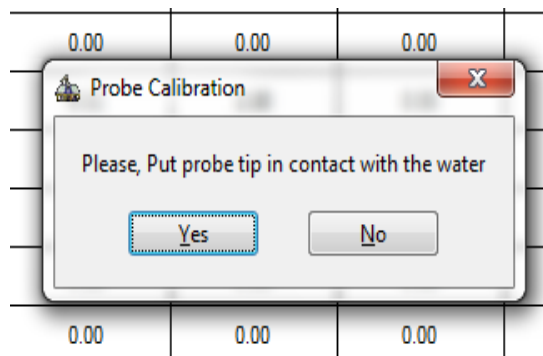


Figura 137. Mensaje Please, Put probe tip in contact with the water

32. Poner la probeta con agua desionizada sobre la plataforma y elevarla hasta que el agua cubra la parte inferior de la sonda de medición. No dejar que el agua desionizada llegue al conector que une la sonda con el cable RF de bajas pérdidas. Ya que la sonda puede oxidarse.

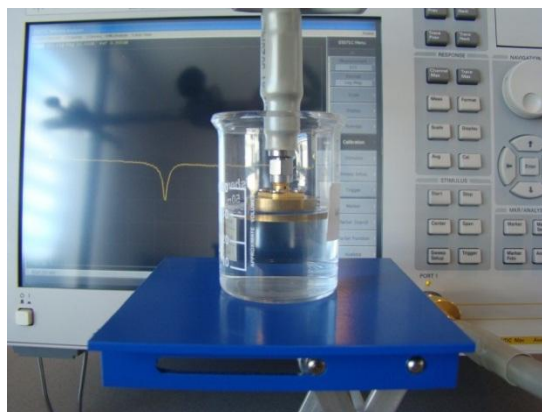


Figura 138. Medición de la sonda en el agua desionizada

33. Hacer clic en el botón Yes. Aparecerá una ventana “OpenSar” confirmando que se ha calibrado la sonda y que es posible realizar la medición al líquido simulador del tejido. Dar clic en el botón OK.

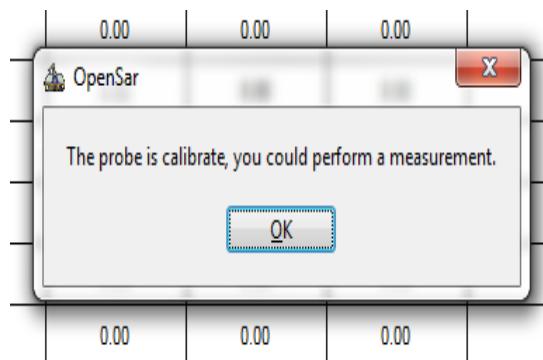


Figura 139. Mensaje The probe is calibrate

34. Retirar la probeta con agua desionizada. Limpiar la sonda de medición de cualquier residuo de agua para no alterar la medición del líquido simulador.

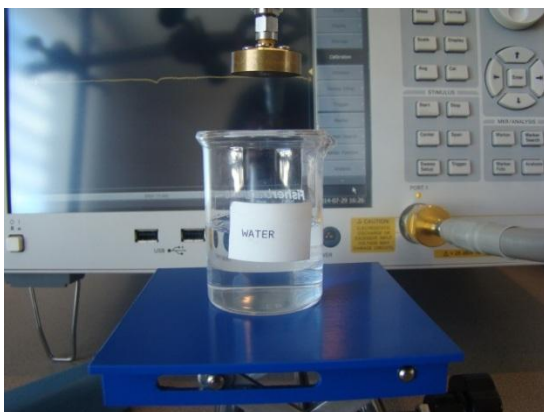


Figura 140. Retirando la sonda



Figura 141. Limpiando la sonda

35. Poner la probeta con el líquido simulador de tejido que va a ser medido sobre la plataforma y elevarla hasta que cubra la parte inferior de la sonda de medición. No dejar que el líquido simulador llegue al conector que une la sonda con el cable RF de bajas pérdidas. Ya que la sonda puede oxidarse.



Figura 142. Medición de la sonda en el líquido simulador

36. En el menú Measure seleccionar la opción Perform. Esta opción mide los parámetros dieléctricos del líquido simulador. Los resultados obtenidos de la medición se visualizan en la tabla.

Measurement of liquid permittivity					
Frequency (MHz)	Perform	Ctrl+M	epsilon "	Sigma (S/m)	IEC/IEEE Standard (Head Liquid) (+/-5%)
1800.00	Stop	Ctrl+S	0.00	0.00	-
1810.00	Import	Ctrl+I	0.00	0.00	-
1820.00	Export	Ctrl+E	0.00	0.00	-
1830.00			0.00	0.00	-
1840.00			0.00	0.00	-
1850.00			0.00	0.00	-
1860.00			0.00	0.00	-
1870.00			0.00	0.00	-
1880.00			0.00	0.00	-
1890.00			0.00	0.00	-
1900.00			0.00	0.00	-
1910.00			0.00	0.00	-
1920.00			0.00	0.00	-
1930.00			0.00	0.00	-
1940.00			0.00	0.00	-
1950.00			0.00	0.00	-
1960.00			0.00	0.00	-

Figura 143. Opción Perform

37. Las celdas en color verde indican que los valores obtenidos están dentro de los rangos recomendados por el estándar IEC 62209/IEEE 1528 (Head liquid). Las celdas en color rojo indican que los valores obtenidos se encuentran fuera de los rangos recomendados por el estándar.

Frequency (MHz)	Epsilon'	Epsilon''	Sigma (S/m)	IEC/IEEE Standard (Head Liquid) (+/-5%)
1800.00	39.06	13.60	1.36	Epsilon': -2.34 % Epsilon'': -2.89 %
1810.00	39.05	13.57	1.36	Epsilon': -2.37 % Epsilon'': -2.55 %
1820.00	39.09	13.55	1.37	Epsilon': -2.28 % Epsilon'': -2.15 %
1830.00	39.03	13.52	1.37	Epsilon': -2.42 % Epsilon'': -1.80 %
1840.00	38.97	13.52	1.38	Epsilon': -2.57 % Epsilon'': -1.27 %
1850.00	38.96	13.52	1.39	Epsilon': -2.61 % Epsilon'': -0.74 %
1860.00	38.90	13.51	1.40	Epsilon': -2.75 % Epsilon'': -0.31 %
1870.00	38.88	13.47	1.40	Epsilon': -2.80 % Epsilon'': -0.06 %
1880.00	38.87	13.41	1.40	Epsilon': -2.84 % Epsilon'': 0.03 %
1890.00	38.89	13.35	1.40	Epsilon': -2.78 % Epsilon'': 0.10 %
1900.00	38.77	13.35	1.41	Epsilon': -3.06 % Epsilon'': 0.63 %
1910.00	38.64	13.30	1.41	Epsilon': -3.39 % Epsilon'': 0.78 %
1920.00	38.56	13.28	1.42	Epsilon': -3.60 % Epsilon'': 1.15 %
1930.00	38.56	13.24	1.42	Epsilon': -3.59 % Epsilon'': 1.39 %
1940.00	38.61	13.18	1.42	Epsilon': -3.47 % Epsilon'': 1.49 %
1950.00	38.65	13.09	1.42	Epsilon': -3.37 % Epsilon'': 1.30 %
1960.00	38.69	13.05	1.42	Epsilon': -3.27 %

Figura 144. Valores dentro del rango recomendado por el estándar

Measurement of liquid permittivity				
Setup Calibrate Measure				
Frequency (MHz)	Epsilon'	Epsilon''	Sigma (S/m)	IEC/IEEE Standard (Head Liquid) (+/-5%)
1800.00	37.52	13.63	1.36	Epsilon: -6.20 % Epsilon: -2.63 %
1810.00	37.53	13.62	1.37	Epsilon: -6.17 % Epsilon: -2.18 %
1820.00	37.55	13.58	1.37	Epsilon: -6.12 % Epsilon: -1.92 %
1830.00	37.49	13.56	1.38	Epsilon: -6.28 % Epsilon: -1.56 %
1840.00	37.44	13.55	1.39	Epsilon: -6.39 % Epsilon: -1.04 %
1850.00	37.41	13.56	1.39	Epsilon: -6.47 % Epsilon: -0.44 %
1860.00	37.36	13.55	1.40	Epsilon: -6.60 % Epsilon: 0.05 %
1870.00	37.34	13.51	1.40	Epsilon: -6.65 % Epsilon: 0.26 %
1880.00	37.33	13.45	1.40	Epsilon: -6.69 % Epsilon: 0.35 %
1890.00	37.33	13.39	1.41	Epsilon: -6.68 % Epsilon: 0.45 %
1900.00	37.23	13.38	1.41	Epsilon: -6.93 % Epsilon: 0.86 %
1910.00	37.09	13.35	1.42	Epsilon: -7.26 % Epsilon: 1.17 %
1920.00	37.02	13.33	1.42	Epsilon: -7.44 % Epsilon: 1.54 %
1930.00	37.03	13.29	1.42	Epsilon: -7.43 % Epsilon: 1.75 %
1940.00	37.06	13.24	1.43	Epsilon: -7.35 % Epsilon: 1.96 %
1950.00	37.10	13.16	1.43	Epsilon: -7.24 % Epsilon: 1.85 %
1960.00	37.16	13.11	1.43	Epsilon: -7.10 % Epsilon: 1.62 %

Figura 145. Valores fuera del rango recomendado por el estándar

Measurement of liquid permittivity				
Setup Calibrate Measure				
Frequency (MHz)	Epsilon'	Epsilon''	Sigma (S/m)	IEC/IEEE Standard (Head Liquid) (+/-5%)
1800.00	39.61	14.09	1.41	Epsilon': -0.97 % Epsilon'': 0.61 %
1810.00	39.48	14.00	1.41	Epsilon': -1.29 % Epsilon'': 0.55 %
1820.00	39.40	13.96	1.41	Epsilon': -1.51 % Epsilon'': 0.84 %
1830.00	39.39	13.97	1.42	Epsilon': -1.54 % Epsilon'': 1.48 %
1840.00	39.39	14.03	1.43	Epsilon': -1.52 % Epsilon'': 2.44 %
1850.00	39.48	14.13	1.45	Epsilon': -1.30 % Epsilon'': 3.73 %
1860.00	39.57	14.19	1.47	Epsilon': -1.07 % Epsilon'': 4.73 %
1870.00	39.68	14.27	1.48	Epsilon': -0.80 % Epsilon'': 5.92 %
1880.00	39.80	14.32	1.50	Epsilon': -0.50 % Epsilon'': 6.83 %
1890.00	39.94	14.30	1.50	Epsilon': -0.15 % Epsilon'': 7.21 %
1900.00	40.08	14.28	1.51	Epsilon': 0.21 % Epsilon'': 7.70 %
1910.00	40.15	14.17	1.50	Epsilon': 0.39 % Epsilon'': 7.40 %
1920.00	40.21	14.09	1.50	Epsilon': 0.53 % Epsilon'': 7.96 %
1930.00	40.22	14.02	1.50	Epsilon': 0.54 % Epsilon'': 7.39 %
1940.00	40.17	13.95	1.50	Epsilon': 0.43 % Epsilon'': 7.42 %
1950.00	40.08	13.85	1.50	Epsilon': 0.20 % Epsilon'': 7.20 %
1960.00	39.88	13.81	1.50	Epsilon': -0.29 % Epsilon'': 6.92 %

Figura 146. Valores dentro y fuera del rango recomendado por el estándar

38. Retirar la probeta con el líquido simulador de tejido. Limpiar la sonda de medición de cualquier residuo de líquido simulador.

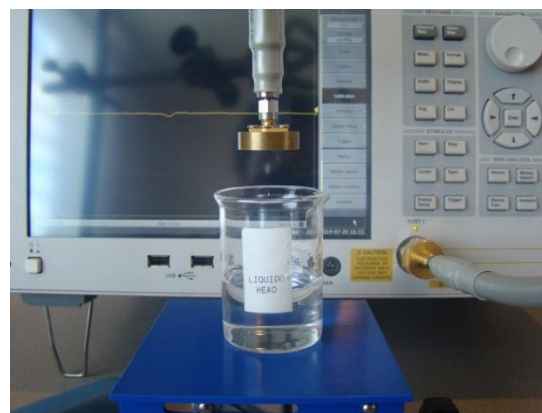


Figura 147. Retirando la probeta

39. Si los parámetros dieléctricos del líquido simulador están dentro de los rangos recomendados por el estándar IEC 62209/IEEE 1528 (Head liquid). En el menú Measure seleccionar la opción Import.

Frequency (MHz)	Epsilon	Sigma (S/m)	IEC/IEEE Standard (Head Liquid) (+/-10%)	
820.00	19.11	0.87	Epsilon: 9.25 % Epsilon: -3.06 %	
825.00	19.15	0.88	Epsilon: 9.25 % Epsilon: -2.37 %	
830.00	45.32	19.14	0.88	Epsilon: 9.14 % Epsilon: -1.89 %
835.00	45.28	19.18	0.89	Epsilon: 9.10 % Epsilon: -1.16 %
840.00	45.23	19.20	0.90	Epsilon: 8.98 % Epsilon: -1.03 %
845.00	45.14	19.23	0.90	Epsilon: 8.76 % Epsilon: -0.89 %
850.00	45.08	19.26	0.91	Epsilon: 8.63 % Epsilon: -0.71 %
855.00	45.04	19.27	0.92	Epsilon: 8.52 % Epsilon: -0.70 %
860.00	44.97	19.27	0.92	Epsilon: 8.37 % Epsilon: -0.67 %
865.00	44.90	19.31	0.93	Epsilon: 8.19 % Epsilon: -0.47 %
870.00	44.84	19.31	0.93	Epsilon: 8.05 % Epsilon: -0.47 %
875.00	44.80	19.35	0.94	Epsilon: 7.95 % Epsilon: -0.27 %
880.00	44.73	19.37	0.95	Epsilon: 7.79 % Epsilon: -0.17 %
885.00	44.65	19.40	0.95	Epsilon: 7.59 % Epsilon: 0.01 %
890.00	44.59	19.41	0.96	Epsilon: 7.45 % Epsilon: 0.07 %
895.00	44.55	19.43	0.97	Epsilon: 7.34 % Epsilon: 0.15 %
900.00	44.49	19.46	0.97	Epsilon: 7.19 % Epsilon: 0.29 %

Figura 148. Opción Import

40. Se abrirá una ventana “Import liquid data”. En la opción Available band seleccionar la banda (GSM850 - GSM1900) a la que se realizó la medición de los parámetros dieléctricos. El visto indica que la banda fue seleccionada.

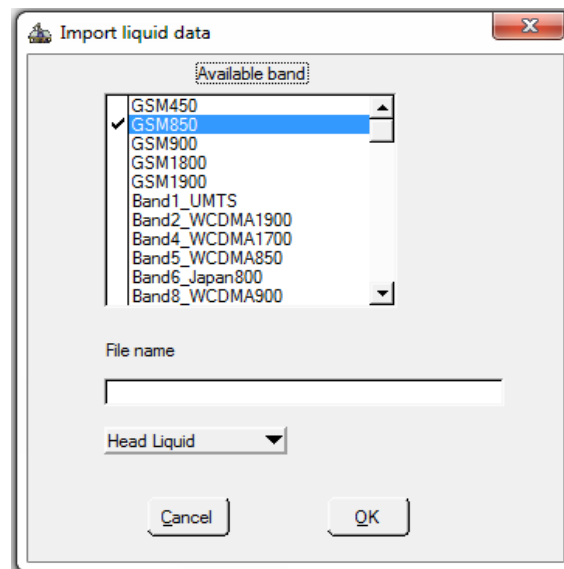


Figura 149. Opción Available band

41. En la opción File name ingresar el nombre a la medición del líquido.

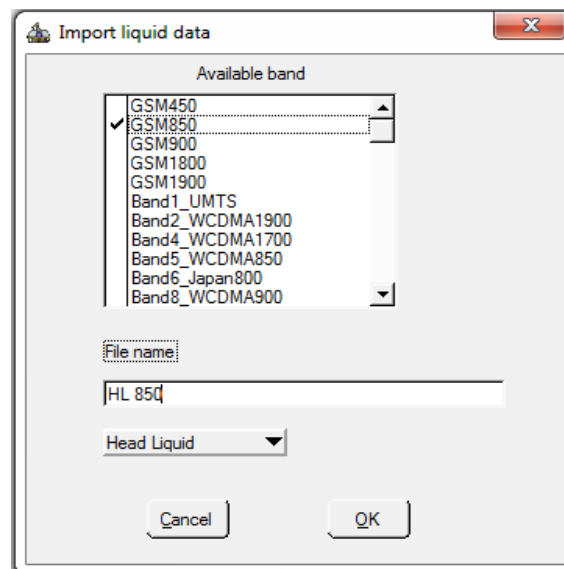


Figura 150. Opción File name

42. Escoger la opción Head Liquid.

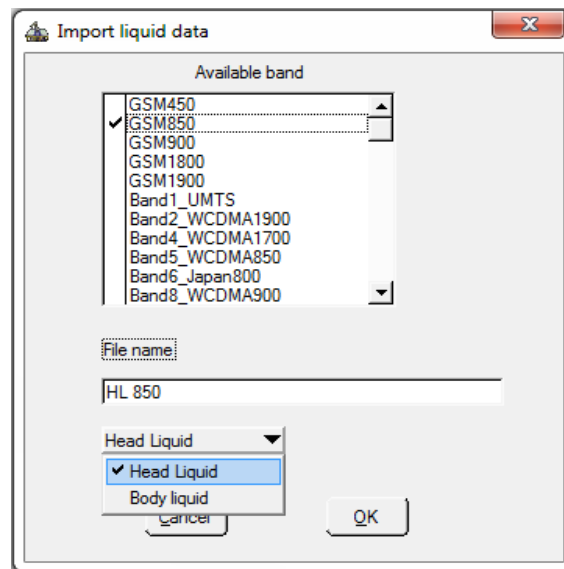


Figura 151. Opción Head Liquid

43. Dar clic en el botón OK. Aparecerá la ventana “Warning” con el mensaje “Are you sure you want to import HEAD liquid?”. Dar clic en el botón Yes.

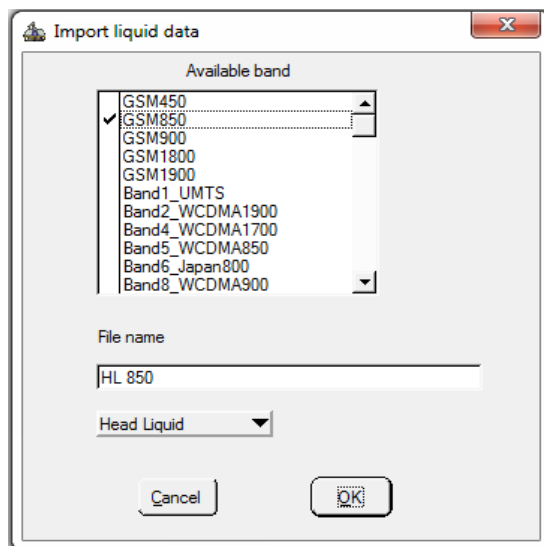


Figura 152. Botón OK

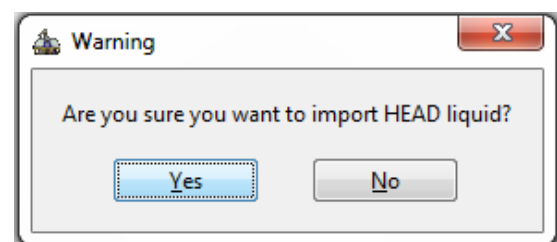


Figura 153. Botón Yes

44. Cerrar la ventana Import liquid data.

45. Cerrar la ventana Measurement of liquid permittivity.

46. En la ventana Liquid Configuration. En la pestaña superior central escoger la banda de frecuencia a la que se realizó la medición de los parámetros dieléctricos.

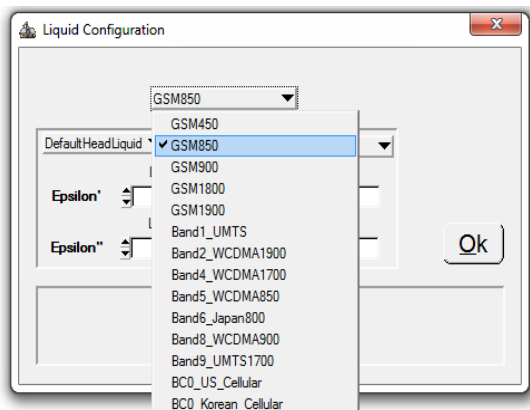


Figura 154. GSM 850

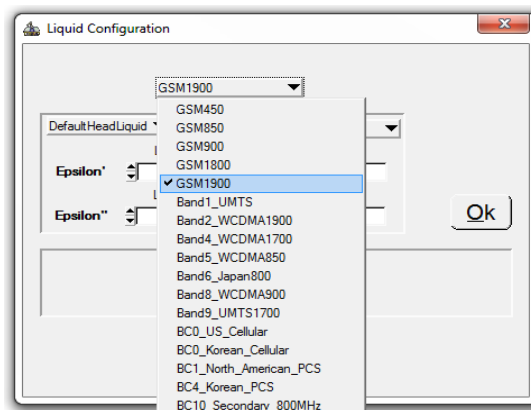


Figura 155. GSM 1900

47. En la pestaña superior izquierda seleccionar el archivo importado. La pestaña superior derecha se configura automáticamente al escoger el archivo.

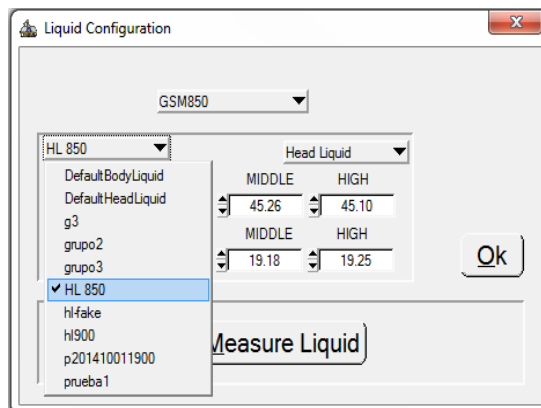


Figura 156. Archivo importado

48. Los parámetros dieléctricos del líquido al que se realizó la medición se configuran en el software OpenSar. Dar clic en el botón OK.

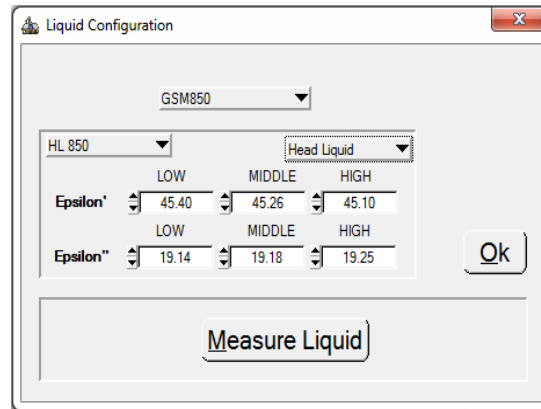


Figura 157. Parámetros dieléctricos

3.3.4 Llenado y Vaciado de Líquidos

Este procedimiento describe los pasos a seguir para llenar y vaciar del fantoma SAM el líquido simulador del tejido a utilizarse en la medición de SAR.

3.3.4.1 Llenado del líquido de medición al fantoma SAM

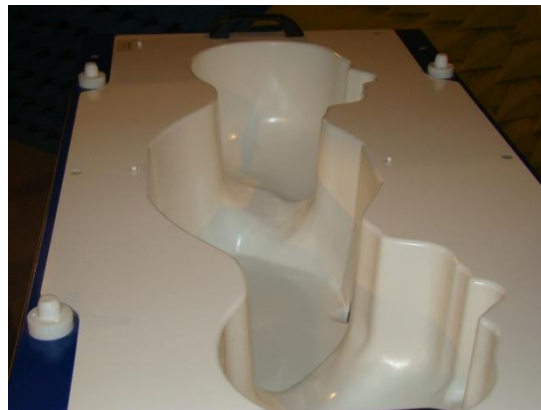


Figura 158. Fantoma SAM sin líquido de medición

1. Verificar que la perilla de desfogue este cerrada. La posición de cerrado es perpendicular a la orientación que tiene la tubería por la cual se desfoga el líquido simulador de tejido contenido en el fantoma. En caso de que la posición de la perilla sea paralela a la orientación de la tubería de desfogue, se deberá cambiar la posición a perpendicular para que esté cerrada.

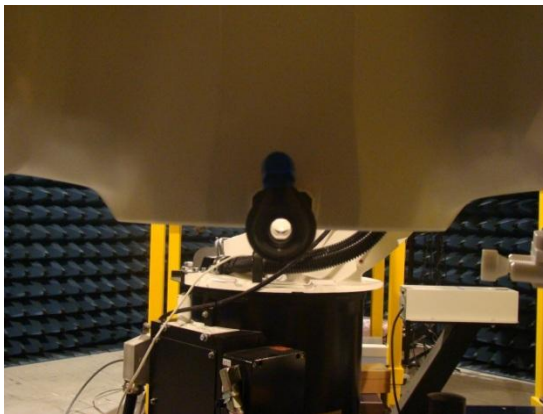


Figura 159. Perilla abierta



Figura 160. Perilla cerrada

2. Ingresar al área de líquidos. El área de líquidos se encuentra al frente de la cámara semianecoica. En los estantes están los recipientes contenedores del líquido simulador del tejido.



Figura 161. Área de líquidos



Figura 162. Contenedores del líquido

3. Seleccionar el recipiente contenedor del líquido de medición correspondiente a la frecuencia a la que se realizarán las mediciones de SAR (850 MHz y 1900 MHz). Para la frecuencia de 850 MHz se utiliza el líquido simulador de 900 MHz, el líquido simulador de 900 MHz cumple con las propiedades dieléctricas para la frecuencia de 850 MHz. Los recipientes tienen una etiqueta. En la etiqueta se especifica si es de cabeza o cuerpo, la frecuencia, la capacidad y el contenido del líquido.



Figura 163. Líquido de 900 MHz

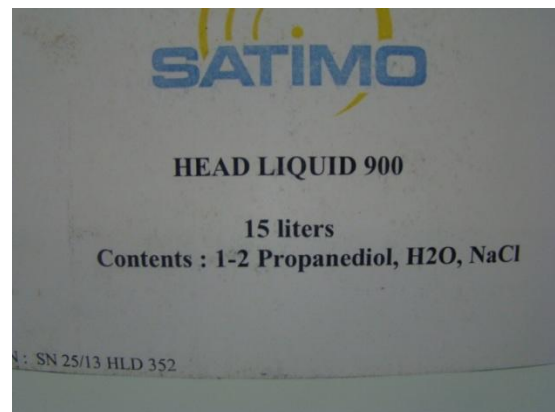


Figura 164. Etiqueta de 900 MHz



Figura 165. Líquido de 1900 MHz

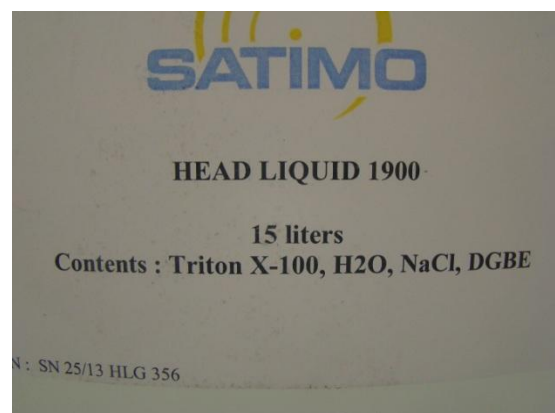


Figura 166. Etiqueta de 1900 MHz

4. En el área de líquidos se encuentran tapas con llaves plásticas rojas que usan para facilitar el llenado del líquido simulador del tejido dentro del fantoma

SAM. Ajustar una tapa con llave al recipiente contenedor del líquido de medición.



Figura 167. Tapa con llave plástica



Figura 168. Tapa del contenedor



Figura 169. Tapa con llave en el contenedor

5. Llevar el recipiente contenedor a la cámara semianecoica donde se va a llenar al fantoma SAM del líquido de medición.



Figura 170. Contenedor en la cámara semianecoica

6. Colocar sobre el fantoma la cara lateral izquierda del contenedor teniendo en cuenta que la llave roja este perpendicular a la superficie del fantoma.



Figura 171. Cara lateral



Figura 172. Llave perpendicular

7. Girar la llave roja del recipiente contenedor para verter el líquido de medición.



Figura 173. Vertiendo el líquido de medición

8. El fantoma SAM debe ser llenado con líquido simulador de tejido a una profundidad de $15 \pm 0,5$ cm. Según las recomendaciones internacionales.

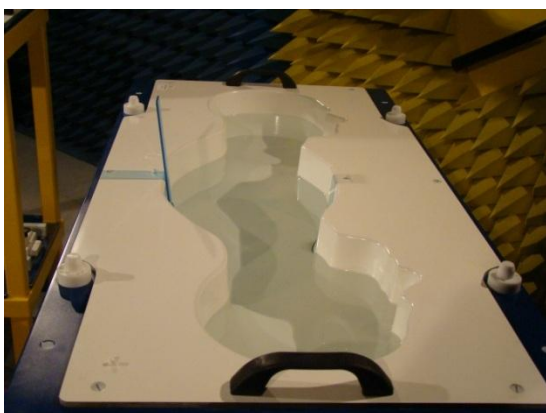


Figura 174. Verificando el límite



Figura 175. Límite correcto

9. Si el líquido simulador en el contenedor no es suficiente para cumplir con el límite establecido en la norma. Se debe ingresar al área de líquidos. Tomar de los estantes el recipiente contenedor correspondiente al líquido simulador que se está llenando en el fantoma SAM.



Figura 176. Nuevo contenedor de líquido simulador

10. Seguir los pasos 4, 5, 6, 7, 8 para llenar de líquido simulador al fantoma SAM y cumplir con el límite establecido en la norma.
11. Al cumplir con el límite de la norma. El contenedor o los contenedores, deben ser llevados a los estantes en el área de líquidos. Antes de llevar el contenedor o los contenedores al área de líquidos, quitar la tapa con llave roja y poner la tapa del recipiente contenedor.



Figura 177. Contenedor con tapa



Figura 178. Contenedores en el área

3.3.4.2 Vaciado del líquido de medición del fantoma SAM

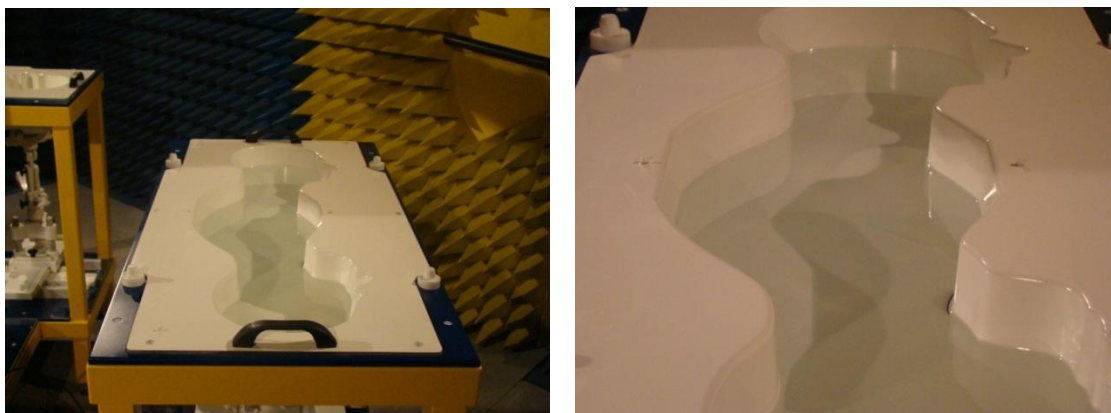


Figura 179. Fantoma SAM con líquido de medición

1. Ingresar al área de líquidos. Tomar el recipiente contenedor vacío del líquido simulador de tejido (850 MHz y 1900 MHz) correspondiente al líquido que se encuentra en el fantoma SAM. Los contenedores tienen una etiqueta. En la etiqueta se especifica si es de cabeza o cuerpo, la frecuencia, la capacidad y el contenido del líquido.



Figura 180. Contenedor de 1900 MHz



Figura 181. Contenedor de 900 MHz

2. Llevar el recipiente contenedor a la cámara semianecoica donde se va a vaciar el líquido de medición del fantoma SAM.



Figura 182. Contenedor vacío en la cámara semianecoica

3. Verificar que la perilla de desfogue este cerrada. La posición de cerrado es perpendicular a la orientación que tiene la tubería por la cual se desfoga el líquido simulador de tejido contenido en el fantoma. En caso de que la posición de la perilla sea paralela a la orientación de la tubería de desfogue, se deberá cambiar la posición a perpendicular para que esté cerrada.

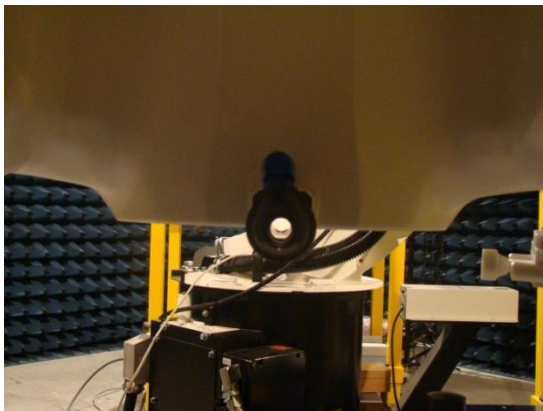


Figura 183. Perilla abierta

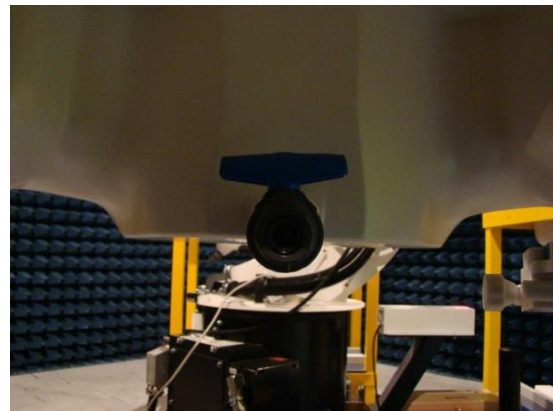


Figura 184. Perilla cerrada

4. Con la perilla de desfogue cerrada conectar la manguera. La manguera se encuentra en el closet del Laboratorio, en el tercer cajón del lado derecho. Se debe conectar la manguera de tal forma que la manipulación no ejerza presión

sobre la perilla de desfogue, ya que esto podría ocasionar el derrame del líquido y el daño de la estructura física del punto de conexión de la tubería de desfogue.



Figura 185. Closet del Laboratorio



Figura 186. Tercer cajón



Figura 187. Manguera

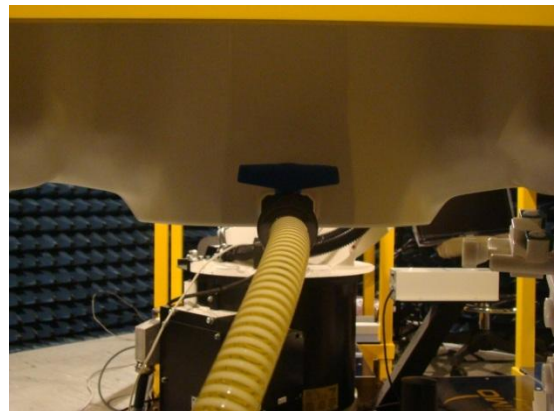


Figura 188. Manguera conectada

5. Una vez que la manguera haya sido asegurada en la tubería de desfogue y el otro extremo este ubicado dentro de un recipiente contenedor del líquido de medición. Abrir la llave de desfogue.



Figura 189. Manguera asegurada

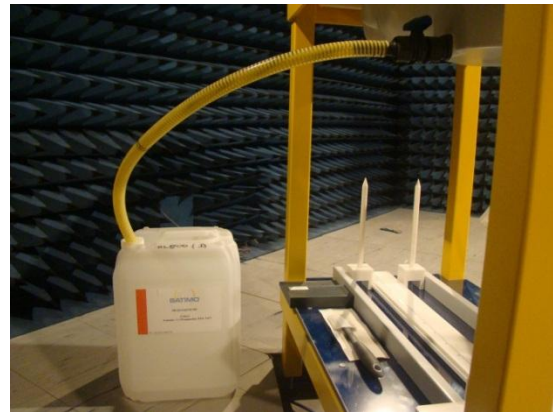


Figura 190. Manguera ubicada

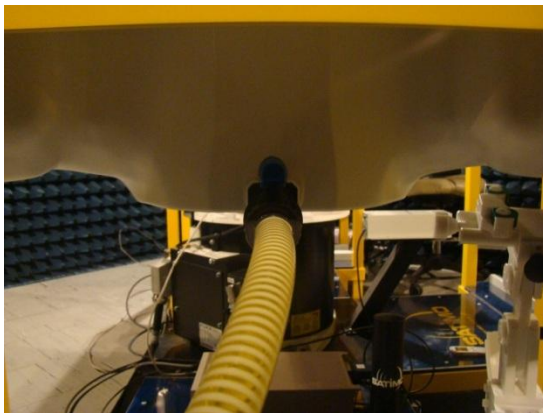


Figura 191. Llave abierta



Figura 192. Contenedor con líquido

6. Con la espátula se debe remover el líquido de medición remanente en el fantoma SAM a fin de que este líquido sea evacuado a través de la manguera hacia el recipiente contenedor del líquido de medición. La espátula se encuentra en el closet del Laboratorio, en el segundo cajón del lado izquierdo.



Figura 193. Segundo cajón izquierdo



Figura 194. Espátula



Figura 195. Líquido de medición remanente

7. Una vez que se ha retirado todo el líquido de medición. Se debe cerrar la perilla de desfogue.



Figura 196. Fantoma SAM sin líquido

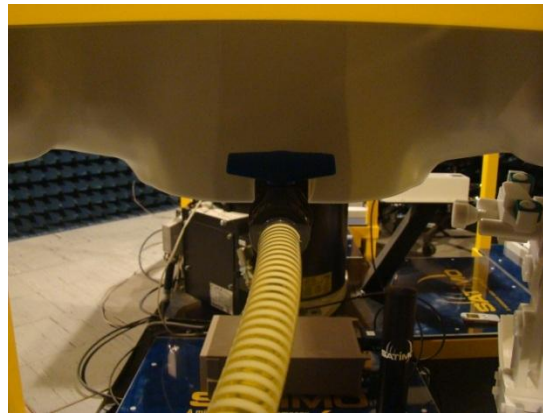


Figura 197. Llave cerrada

8. Desconectar la manguera del punto de conexión de la tubería de desfogue.



Figura 198. Manguera desconectada de la tubería

9. Sujetar el extremo de la manguera que estaba conectada a la tubería de desfogue, retirar el otro extremo de la manguera del recipiente de recolección del líquido de medición.



Figura 199. Manguera desconectada

10. El recipiente de recolección del líquido de medición deberá ser tapado y asegurado con el objetivo de mantener las condiciones dieléctricas del líquido. Llevar el recipiente de recolección a los estantes que se encuentran dentro del área de líquidos.



Figura 200. Contenedor tapado



Figura 201. Contenedor guardado

11. Con el objetivo de eliminar del fantoma SAM los residuos del líquido de medición, se debe limpiar el fantoma SAM con agua. Verificar que la perilla de desfogue este cerrada. En el fregadero dentro del área de líquidos, se encuentra un envase plástico. Este envase nos sirve para limpiar el fantoma SAM.



Figura 202. Fregadero



Figura 203. Envase plástico

12. Poner agua en el envase plástico. Verter el agua en el fantoma SAM.



Figura 204. Envase con agua



Figura 205. Fantoma SAM con agua

13. Con la espátula limpiar la superficie del fantoma SAM.

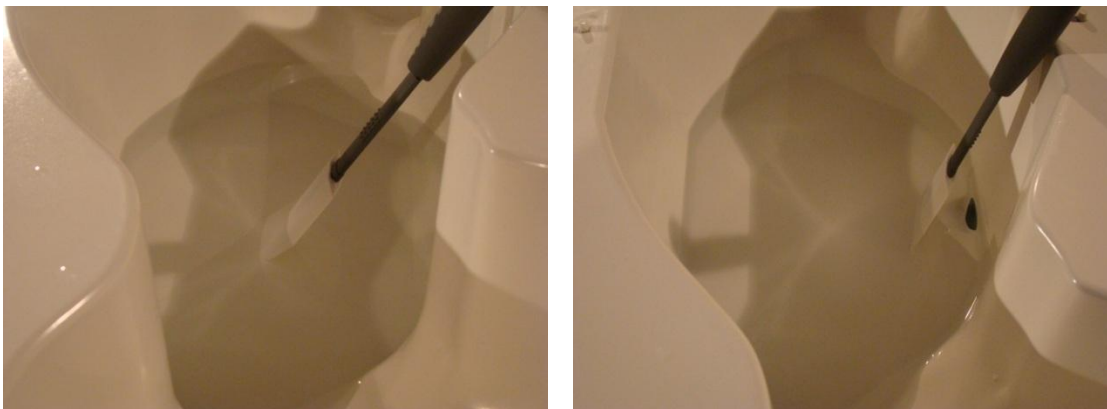


Figura 206. Eliminando residuos del fantoma SAM

14. Conectar un extremo de la manguera en la tubería de desfogue y el otro extremo dentro del recipiente de recolección de agua.

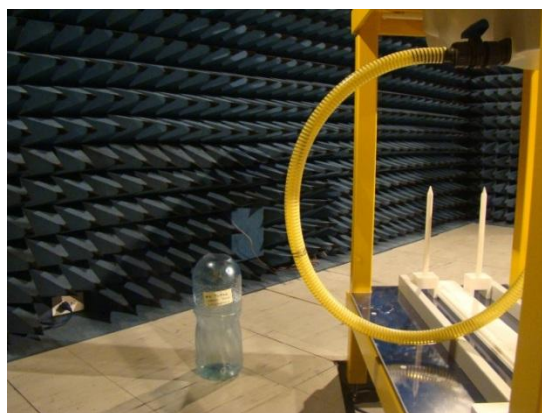


Figura 207. Manguera conectada en la tubería de desfogue

15. Abrir la perilla de desfogue a fin de que el agua vertida en el fantoma sea vaciada por la manguera hacia el recipiente de recolección de agua.



Figura 208. Vaciando el agua del fantoma

16. Con la espátula se debe remover el agua remanente en el fantoma SAM a fin de que este líquido sea evacuado a través de la manguera hacia el recipiente de recolección de agua.



Figura 209. Agua remanente en el fantoma SAM

17. Llevar el recipiente de recolección de agua al área de líquidos. Verter el líquido del envase en el fregadero. Limpiar el recipiente y poner el envase plástico en su sitio según lo especificado en el punto 11.



Figura 210. Agua en el recipiente



Figura 211. Vertiendo el agua

18. La manguera que se encuentra en la cámara semianecoica, se debe colocar en su sitio según lo especificado en el punto 3.

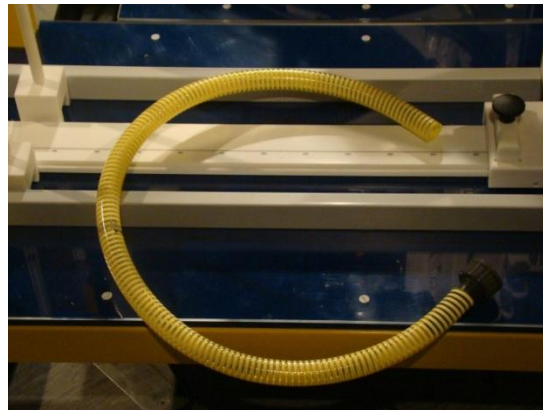


Figura 212. Manguera en la cámara semianecoica

19. Una vez que el agua colocada en el fantoma SAM haya sido removida, se debe secar la superficie del fantoma utilizando toallas de papel.



Figura 213. Secando la superficie del fantoma SAM

3.3.5 Posicionamiento del Dispositivo Bajo Prueba

El procedimiento tiene como objetivo posicionar los dispositivos bajo prueba de forma correcta según las recomendaciones establecidas en los estándares internacionales.

3.3.5.1 Posicionamiento de los dipolos de validación

1. Ingresar a la cámara semianecoica. Al lado del dispositivo de posicionamiento del fantoma plano se encuentran dos cajas las cuales tienen los dipolos de validación.



Figura 214. Cajas con los dipolos de validación

2. En la caja superior se encuentra los dipolos para las frecuencias de 835 MHz y 1900 MHz, en la caja inferior están los dipolos para las frecuencias de 2000 MHz y 2450 MHz. Seleccionar el dipolo que se usará durante la validación del sistema.



Figura 215. Dipolos de validación **Figura 216. Dipolo de 835 y 1900 MHz**

3. Colocar el dipolo en el dispositivo de posicionamiento, teniendo la precaución de ubicarlo en el lugar adecuado (usar el tornillo que se encuentra en la caja de los dipolos de validación para sujetar al dipolo con el dispositivo de posicionamiento).



Figura 217. Dipolo de 1900MHz

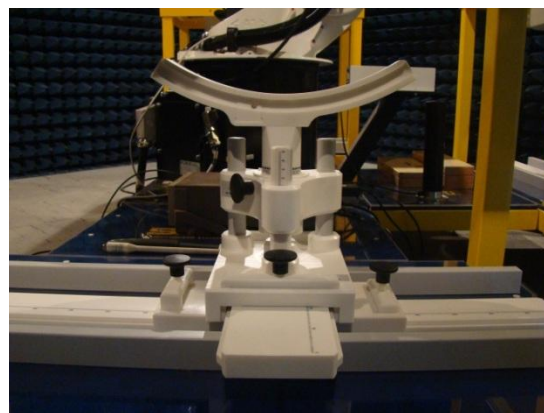


Figura 218. Dispositivo de pos.



Figura 219. Tornillo plástico

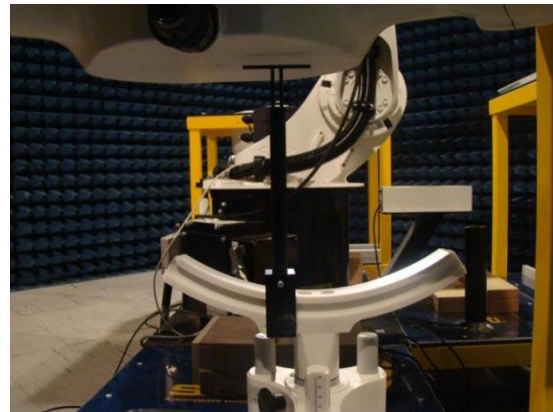


Figura 220. Dipolo en el dispositivo

4. Para mover el dispositivo de posicionamiento se debe aflojar los tornillos de plástico negros. Para desplazar el dispositivo de forma horizontal aflojar los tornillos horizontales, para desplazar el dispositivo de forma vertical aflojar los tornillos verticales, para mover la parte superior del dispositivo aflojar en tornillo que se encuentra en la parte central del dispositivo de posicionamiento, para subir o bajar la parte superior del dispositivo girar la tuerca que se encuentra debajo del soporte central.

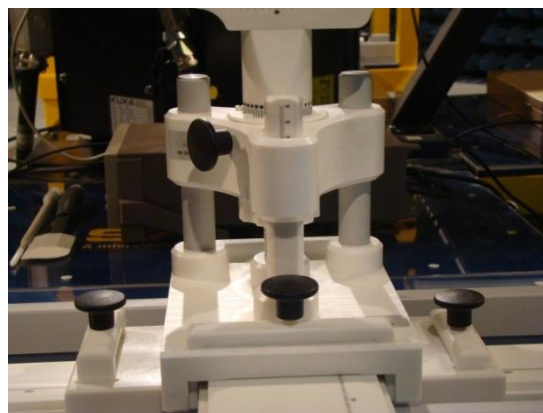


Figura 221. Tornillos plásticos del dispositivo de posicionamiento

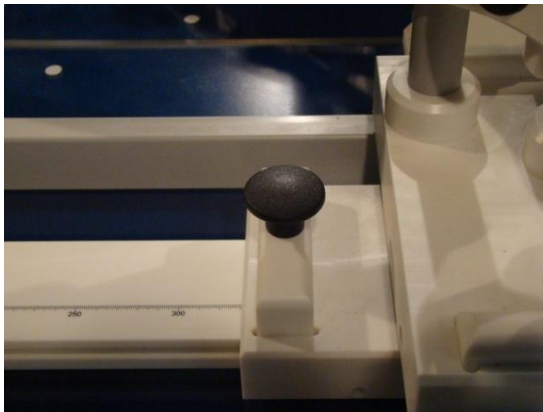


Figura 222. Tornillo horizontal izq.

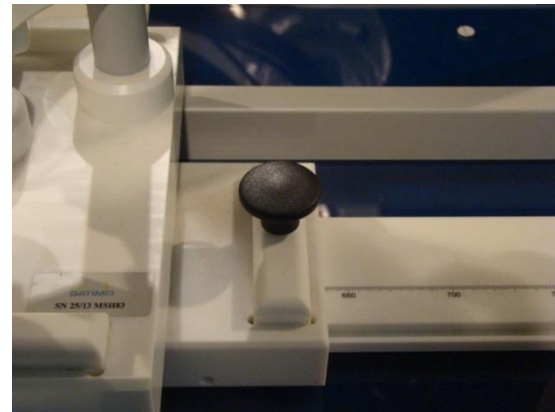


Figura 223. Tornillo horizontal der.

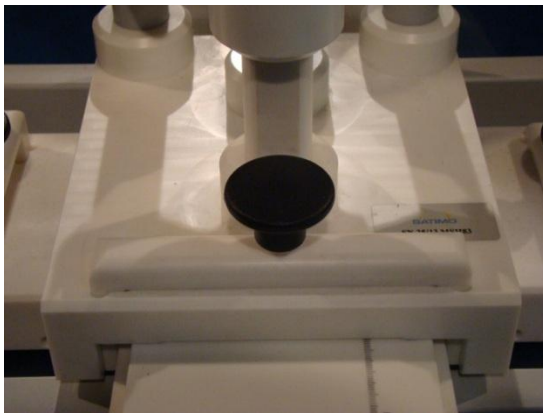


Figura 224. Tornillo vertical frontal



Figura 225. Tornillo vertical posterior

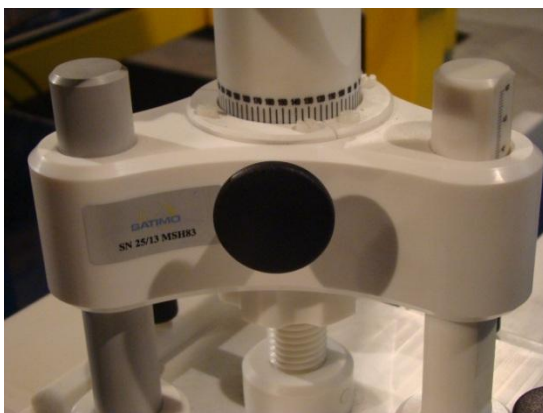


Figura 226. Tornillo central

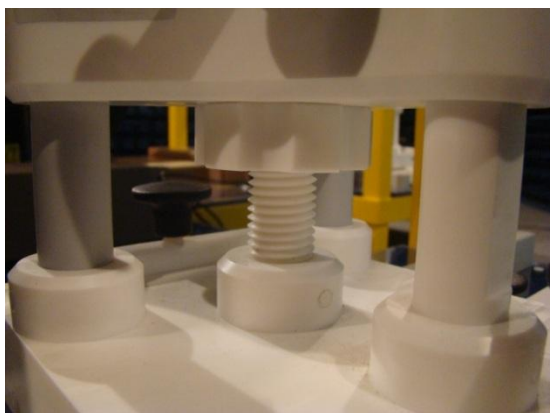


Figura 227. Tuerca del soporte

5. Trasladar el dipolo hacia la señal "X" ubicada en la parte inferior del fantoma SAM.



Figura 228. Señal de referencia

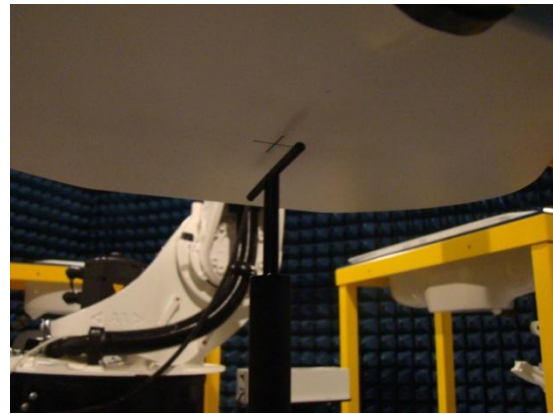


Figura 229. Dipolo en la señal "X"

6. La distancia entre el dipolo de validación y el líquido simulador está normada en los estándares y debe ser de 10 mm en frecuencias altas ($f > 1.0$ GHz) y 15 mm para frecuencias bajas ($0.8 \text{ GHz} < f < 1.0 \text{ GHz}$), para que esta distancia sea la adecuada en la medición, usar los espaciadores que se encuentran en las cajas de los dipolos de validación. Tener en cuenta que existen dos diferentes, uno para frecuencias bajas y otro para altas.



Figura 230. Espaciadores

7. Ubicar el espaciador dependiendo de la frecuencia del dipolo de validación.

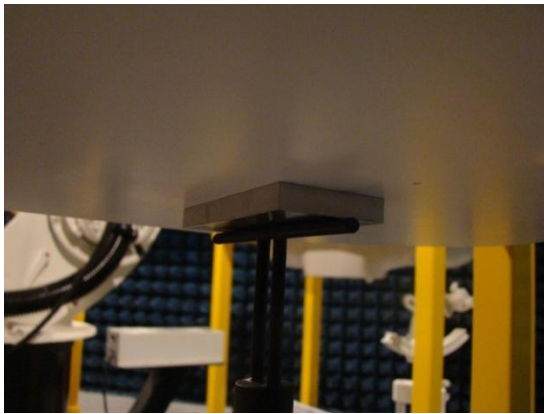


Figura 231. Alta frecuencia

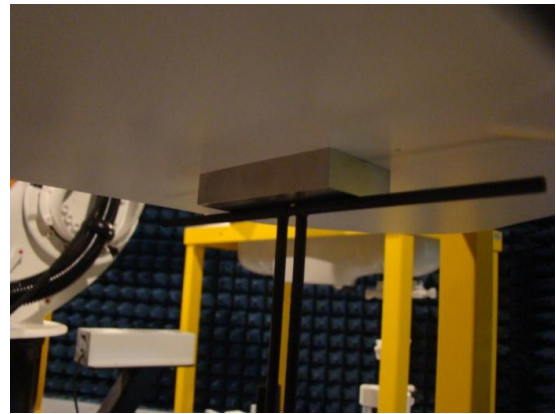


Figura 232. Baja frecuencia

8. Retirar el espaciador del dipolo de validación (usar la tuerca que se encuentra debajo del soporte central para retirar el espaciador).

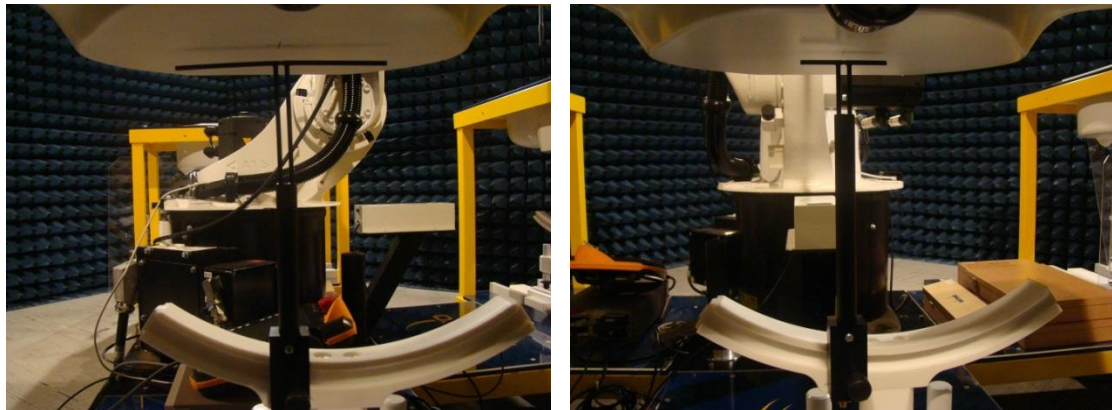


Figura 233. Posicionamiento de los dipolos (835 MHz y 1900 MHz)

3.3.5.2 Posicionamiento de un teléfono celular

1. Retirar el dipolo de validación del dispositivo de posicionamiento (usar el tornillo plástico negro para separar el dipolo del dispositivo de posicionamiento).

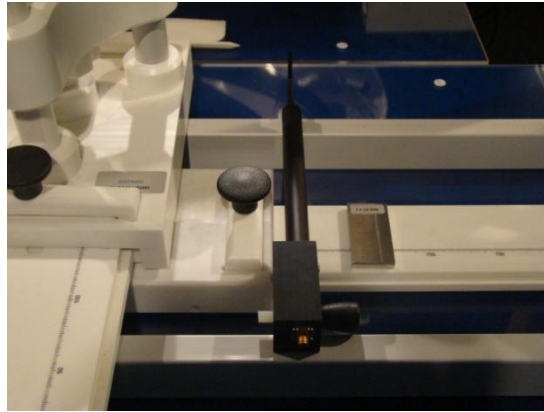


Figura 234. Dipolo separado del dispositivo de posicionamiento

2. Ingresar a la cámara semianecoica. En la parte inferior del fantoma plano se encuentran las puntas de ubicación. Tomar una punta de ubicación.

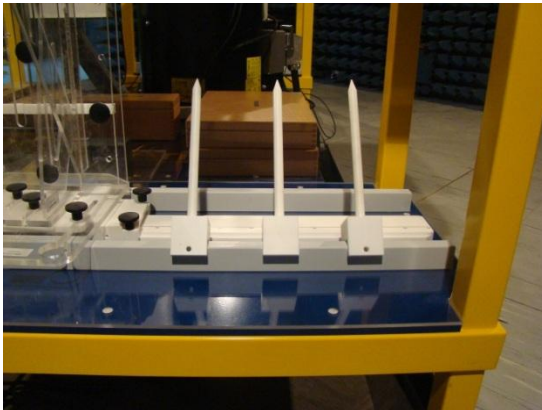


Figura 235. Puntas de ubicación

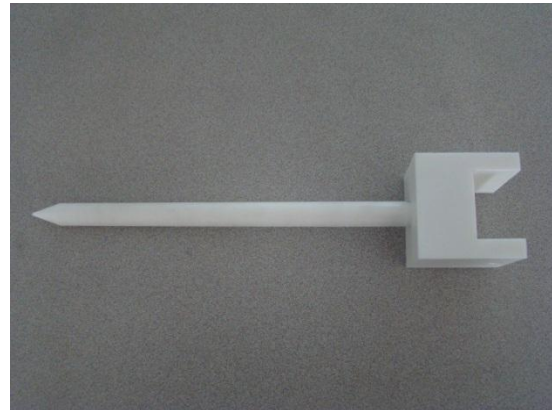


Figura 236. Punta de ubicación

3. Colocar la punta de ubicación sobre el dispositivo de posicionamiento.

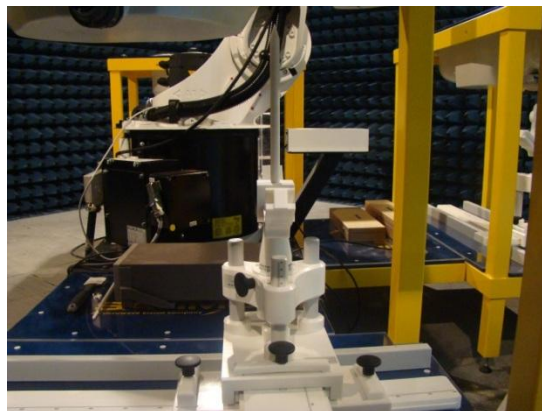


Figura 237. Punta de ubicación en el dispositivo de posicionamiento

4. Mover la punta de ubicación hasta el punto de referencia en el oído del fantoma. La punta sirve para ubicar el dispositivo de posicionamiento en el lugar adecuado para las mediciones de SAR. Una vez que se ha conseguido ubicar el dispositivo de posicionamiento, no se debe mover durante todo el proceso.

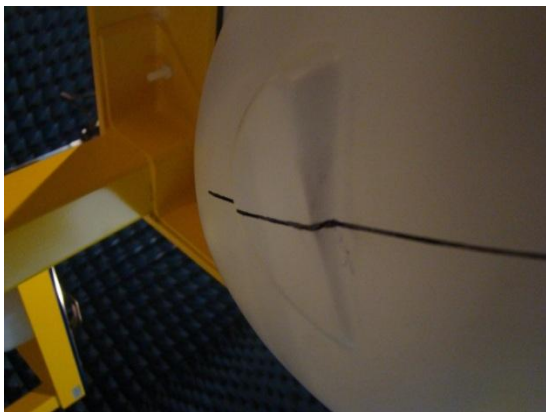


Figura 238. Punto de referencia

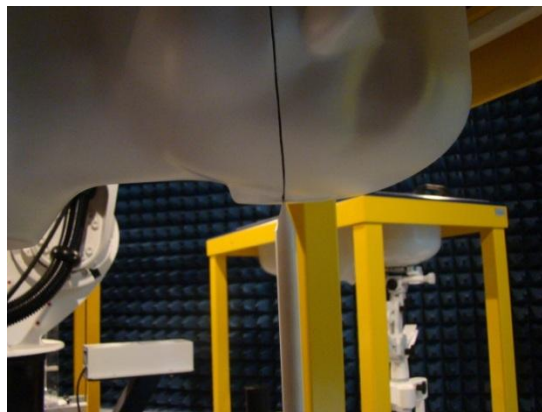


Figura 239. Punta en la referencia

5. Una forma de verificar que la punta de ubicación se encuentra en el lugar correcto, es hacer oscilar la punta sobre el dispositivo de posicionamiento y que esta se mantenga en contacto con el punto de referencia en el oído del fantoma.

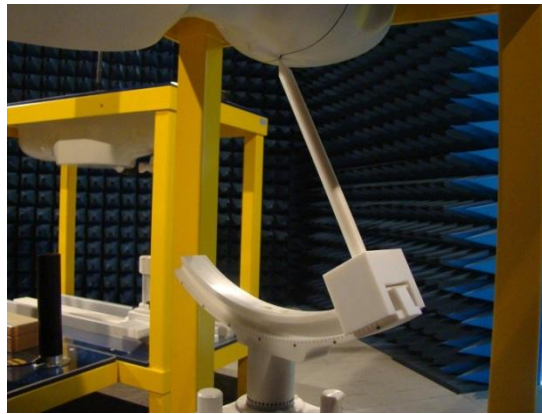


Figura 240. Verificando la punta de ubicación

6. Retirar la punta de ubicación del dispositivo de posicionamiento.

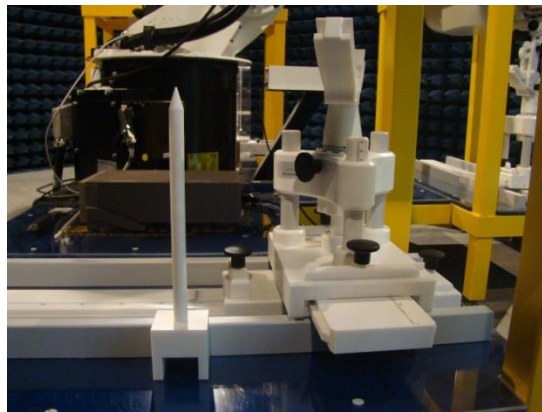


Figura 241. Punta de ubicación retirada del dispositivo

7. Ir hacia los estantes del Laboratorio. Coger un soporte para dispositivos móviles (teléfonos celulares).



Figura 242. Estantes del Laboratorio

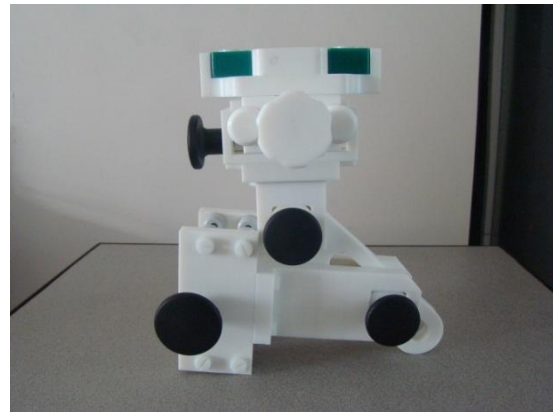


Figura 243. Soporte para teléfonos

8. Colocar el teléfono celular en el soporte para dispositivos móviles. El soporte debe estar alineado con la cara superior del teléfono celular. Para nivelar el sujetador del teléfono celular aflojar el tornillo superior del soporte. Para adaptar el ancho del teléfono celular al sujetador utilizar el tornillo derecho o izquierdo del sujetador. Para que el soporte este alineado con la cara superior del teléfono celular mover los ajustadores del sujetador. Quedará un espacio entre el teléfono y el soporte que no requiere ser cubierto con ningún tipo de material, pues podría alterar las mediciones de SAR.

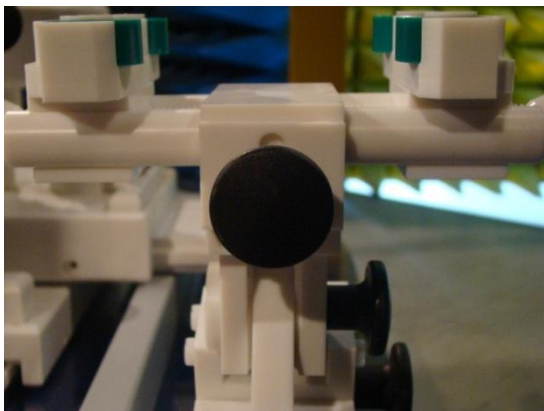


Figura 244. Tornillo superior

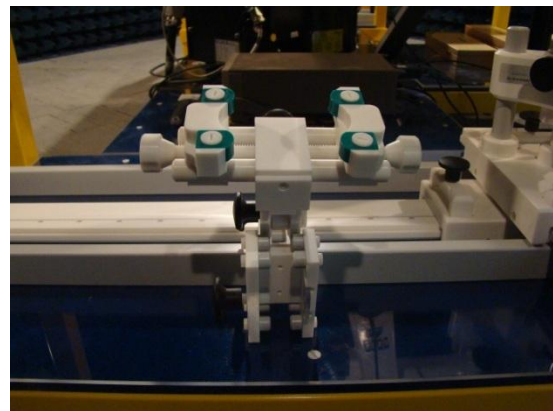


Figura 245. Tornillos del sujetador

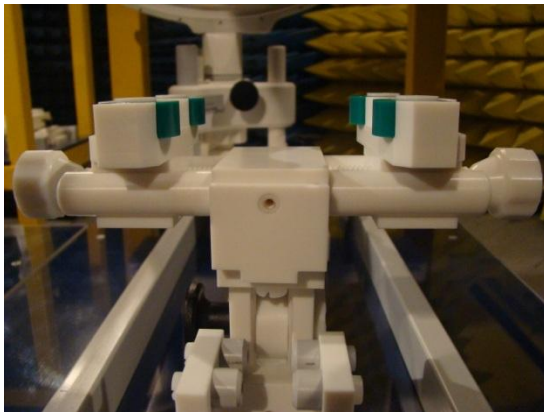


Figura 246. Ajustadores

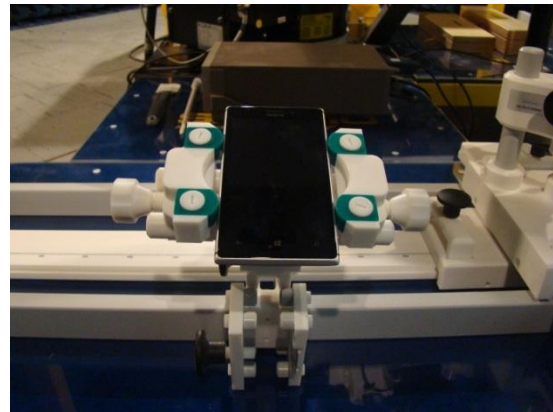


Figura 247. Teléfono en el soporte

9. Ubicar el soporte para dispositivos móviles (con el teléfono celular ya instalado) en el dispositivo de posicionamiento.

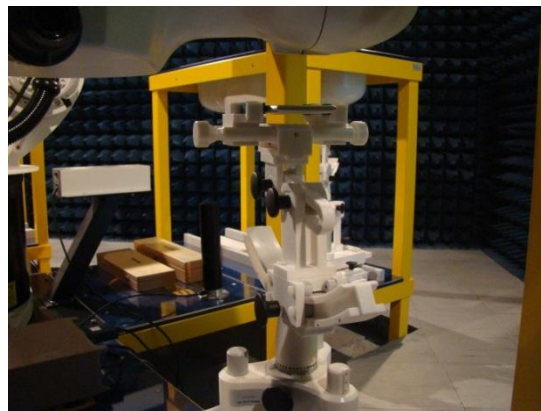


Figura 248. Soporte ubicado en el dispositivo de posicionamiento

10. Para mover el soporte para dispositivos móviles se debe aflojar los tornillos de plástico negros. Para sujetar el soporte para dispositivos móviles con el dispositivo de posicionamiento ajustar el tornillo derecho. Para disminuir o aumentar la altura del soporte desplazar el tornillo izquierdo por el agujero del soporte. Para mover la parte superior del soporte (sujetador del teléfono celular) aflojar el tornillo central. Para fijar el soporte para dispositivos móviles ajustar el tornillo central.

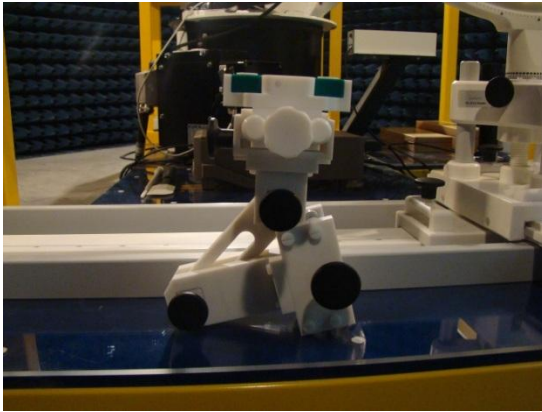


Figura 249. Tornillos del soporte

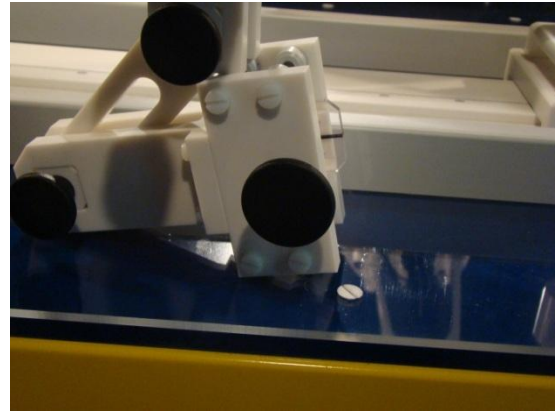


Figura 250. Tornillo derecho

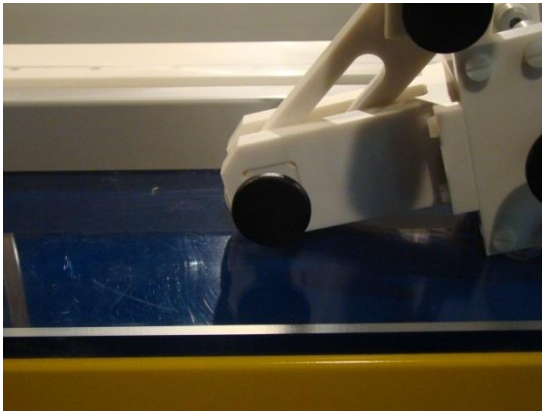


Figura 251. Tornillo izquierdo



Figura 252. Tornillo central

11. Elevar verticalmente el soporte para dispositivos móviles hasta que tenga contacto con el oído del fantoma SAM. Existen dos posibles posiciones de acuerdo a los estándares.

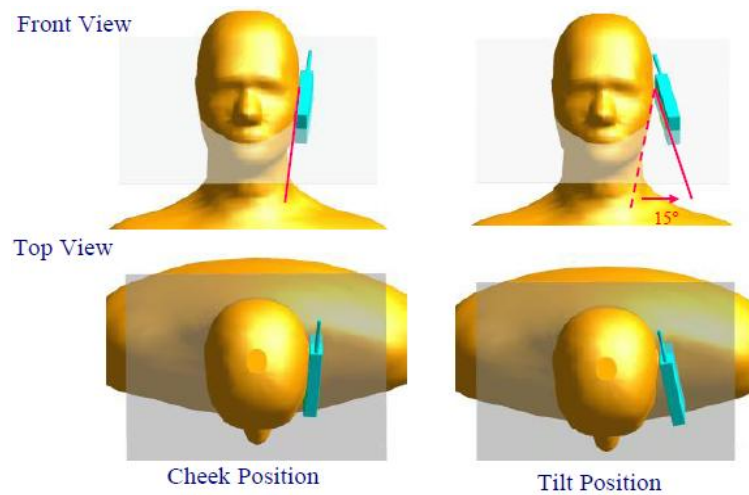


Figura 253. Posiciones para la medición de SAR

12. Posición mejilla ("cheek position"): requiere de dos puntos de contacto, uno en oído y otro en mejilla.

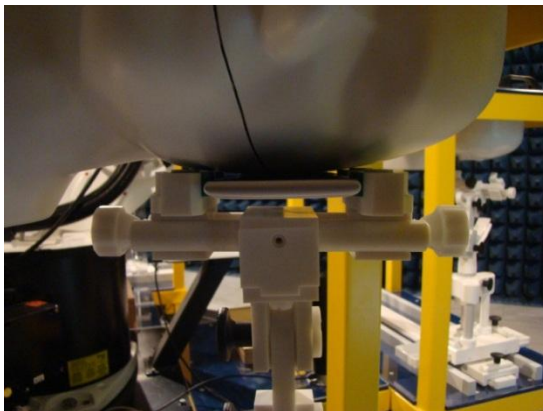


Figura 254. Vista frontal cheek



Figura 255. Vista posterior cheek

13. Posición inclinada ("tilt position"): forma un ángulo de 15° entre el oído del fantoma y el teléfono celular. El ángulo puede ser modificado en el punto de unión entre el dispositivo de posicionamiento y el soporte para dispositivos móviles.

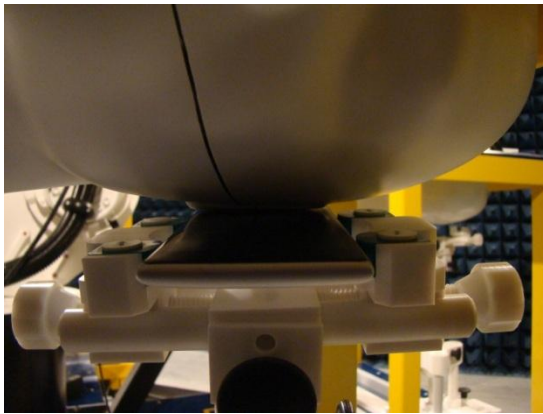


Figura 256. Vista frontal tilt position

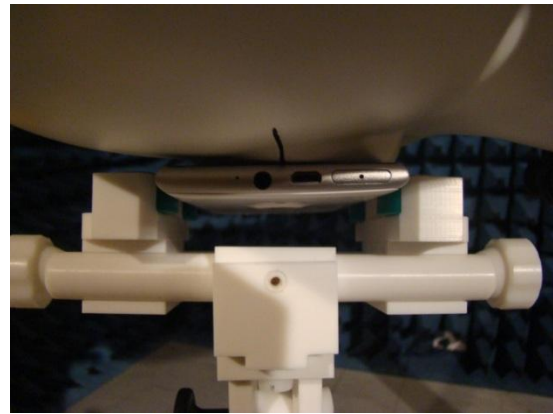


Figura 257. Vista posterior

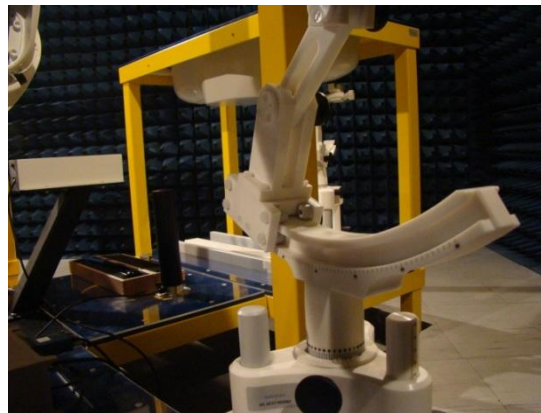


Figura 258. Punto de unión entre el dispositivo y el soporte

3.3.6 Medición de SAR a 850 MHz

El procedimiento tiene como objetivo medir la tasa de absorción específica a teléfonos celulares con tecnología GSM en la banda de 850 MHz.

1. Inicialización del sistema según el punto 3.3.2.

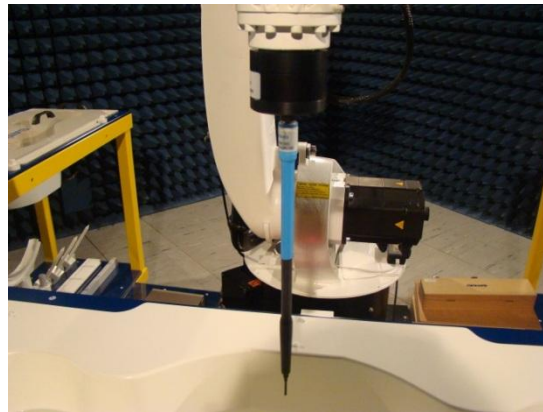


Figura 259. Sistema del robot inicializado

2. En el software OpenSAR de acuerdo al punto 3.3.2 ya se tiene configurado lo siguiente:

2.1 Creado un nuevo proyecto.

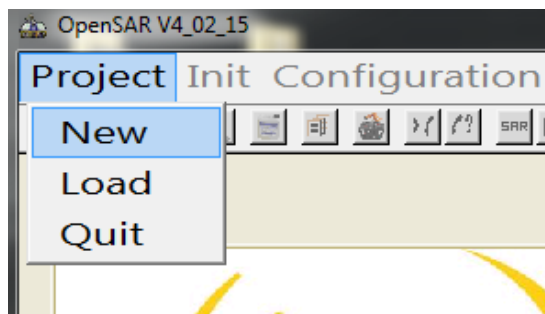


Figura 260. Menú Project

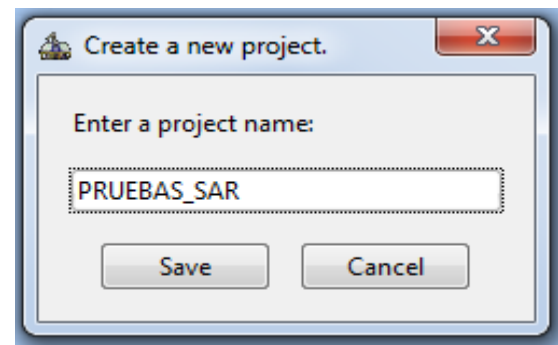


Figura 261. New project

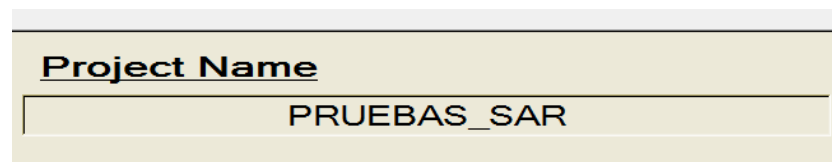


Figura 262. Project Name

- 2.2 Seleccionado el fantoma SAM sobre el que se realizarán las mediciones de SAR.

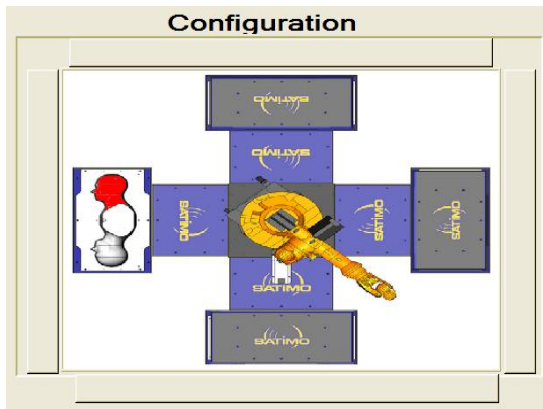


Figura 263. Fantoma SAM 850 MHz

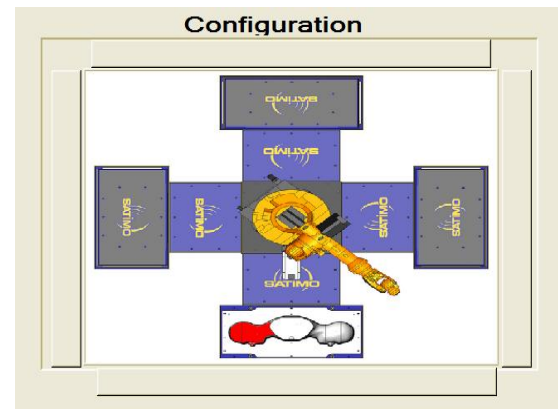


Figura 264. Fantoma SAM 1900 MHz

2.3 Conectado el robot mediante TCP.

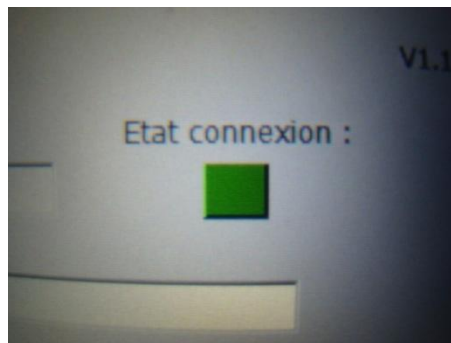


Figura 265. Etat connexion activo

Device Status		
Robot	Voltmeter	Network Emulator
OK	OK	Local Mode

Figura 266. Device Status

3. Medición del líquido a 850 MHz según el punto 3.3.3.

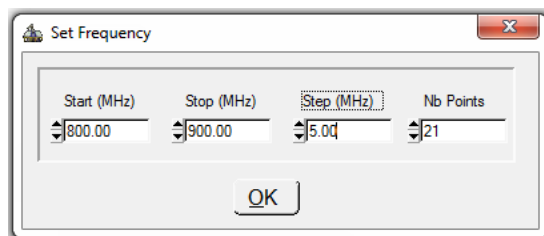


Figura 267. Configuración GSM 850

Frequency (MHz)	Epsilon'	Epsilon''	Sigma (S/m)	IEC/IEEE Standard (Head Liquid) (+/-5%)
800.00	0.00	0.00	0.00	-
805.00	0.00	0.00	0.00	-
810.00	0.00	0.00	0.00	-
815.00	0.00	0.00	0.00	-
820.00	0.00	0.00	0.00	-
825.00	0.00	0.00	0.00	-
830.00	0.00	0.00	0.00	-
835.00	0.00	0.00	0.00	-
840.00	0.00	0.00	0.00	-
845.00	0.00	0.00	0.00	-
850.00	0.00	0.00	0.00	-
855.00	0.00	0.00	0.00	-
860.00	0.00	0.00	0.00	-
865.00	0.00	0.00	0.00	-
870.00	0.00	0.00	0.00	-
875.00	0.00	0.00	0.00	-
880.00	0.00	0.00	0.00	-

Figura 268. Liquid Calibration 850

Frequency (MHz)	Epsilon'	Epsilon''	Sigma (S/m)	IEC/IEEE Standard (Head Liquid) (+/-5%)
820.00	41.42	18.96	0.86	Epsilon' -3.85 % Epsilon'' -0.44 % Epsilon''' -3.15 %
825.00	41.36	18.99	0.87	Epsilon' -0.57 % Epsilon'' -2.75 %
830.00	41.28	18.97	0.87	Epsilon' -0.65 % Epsilon'' -2.15 %
835.00	41.23	18.98	0.88	Epsilon' -0.82 % Epsilon'' -1.94 %
840.00	41.16	19.03	0.89	Epsilon' -0.97 % Epsilon'' -1.77 %
845.00	41.10	19.06	0.89	Epsilon' -1.08 % Epsilon'' -1.77 %
850.00	41.05	19.06	0.90	Epsilon' -1.28 % Epsilon'' -1.68 %
855.00	40.97	19.08	0.91	Epsilon' -1.39 % Epsilon'' -1.52 %
860.00	40.92	19.11	0.91	Epsilon' -1.58 % Epsilon'' -1.47 %
865.00	40.84	19.12	0.92	Epsilon' -1.72 % Epsilon'' -1.43 %
870.00	40.79	19.12	0.92	Epsilon' -1.87 % Epsilon'' -1.30 %
875.00	40.72	19.15	0.93	Epsilon' -1.98 % Epsilon'' -1.13 %
880.00	40.67	19.18	0.94	Epsilon' -2.19 % Epsilon'' -1.05 %
885.00	40.59	19.19	0.94	Epsilon' -2.31 % Epsilon'' -0.99 %
890.00	40.54	19.21	0.95	Epsilon' -2.48 % Epsilon'' -0.91 %
895.00	40.47	19.22	0.96	Epsilon' -2.69 % Epsilon'' -0.78 %
900.00	40.38	19.25	0.96	

Figura 269. Medición GSM 850

- Configurar los siguientes parámetros en el software OpenSAR para realizar la medición de SAR.

Measurement Parameters	
Measurement Type	Phone
Phantom	Right Head
Device position	Cheek
Standard	GSM
Tested band	GSM900
Channel	Middle
Liquid	Head Liquid

Figura 270. Parámetros software

4.1 Measurement type: tipo de medición, seleccionar la opción Phone.

Measurement Parameters	
Measurement Type	Phone Noise Validation
Phantom	
Device position	✓Phone
Standard	GSM
Tested band	GSM900
Channel	Middle
Liquid	Head Liquid

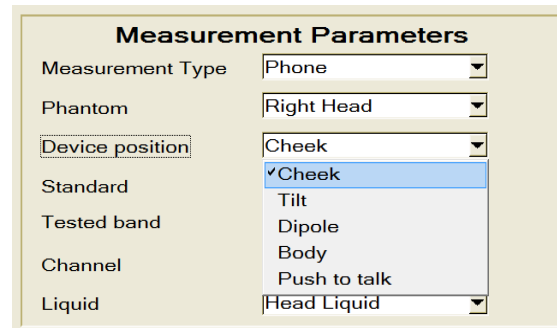
Figura 271. Opción Phone

4.2 Phantom: escoger la posición del fantoma SAM, derecha o izquierda (Right Head – Left Head).

Measurement Parameters	
Measurement Type	Phone
Phantom	Right Head Left Head Flat
Device position	
Standard	
Tested band	GSM900
Channel	Middle
Liquid	Head Liquid

Figura 272. Opción Right o Left Head

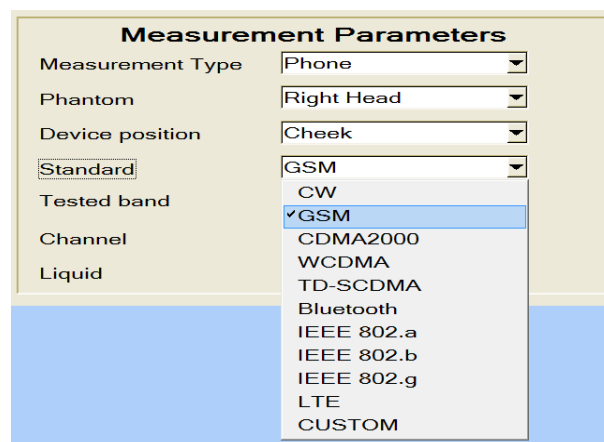
4.3 Device position: seleccionar la posición Cheek o la posición Tilt.



The screenshot shows a dialog box titled "Measurement Parameters" with several dropdown menus. The "Device position" dropdown is open, showing a list of options: "Cheek" (which is selected and highlighted in blue), "Tilt", "Dipole", "Body", "Push to talk", and "Head Liquid". Other dropdowns include "Measurement Type" (Phone), "Phantom" (Right Head), "Standard", "Tested band", "Channel", and "Liquid" (Head Liquid).

Figura 273. Opción Cheek o Tilt

4.4 Standart: escoger la tecnología GSM.



The screenshot shows the same "Measurement Parameters" dialog box. The "Standard" dropdown menu is open, displaying a list of technologies: "GSM" (selected and highlighted in blue), "CW", "CDMA2000", "WCDMA", "TD-SCDMA", "Bluetooth", "IEEE 802.a", "IEEE 802.b", "IEEE 802.g", "LTE", and "CUSTOM". Other dropdowns are the same as in the previous figure.

Figura 274. Tecnología GSM

4.5 Tester band: es la banda de frecuencias dentro de la tecnología GSM, seleccionar GSM 850 MHz.

Measurement Parameters	
Measurement Type	Phone
Phantom	Right Head
Device position	Cheek
Standard	GSM
Tested band	GSM850
Channel	GSM450 ✓GSM850 GSM900 GSM1800 GSM1900
Liquid	

Figura 275. GSM 850 MHz

4.6 Channel: low, middle o high. Para el caso de la primera medición, es recomendable seleccionar el canal medio.

Measurement Parameters	
Measurement Type	Phone
Phantom	Right Head
Device position	Cheek
Standard	GSM
Tested band	GSM850
Channel	Middle Low Low, Middle Low, High Low, Middle, High ✓Middle Middle, High High
Liquid	

Figura 276. Opción Channel

4.7 Liquid: escoger el líquido simulador de tejido para cabeza.

Measurement Parameters

Measurement Type: Phone

Phantom: Right Head

Device position: Cheek

Standard: GSM

Tested band: GSM850

Channel: Middle

Liquid: Head Liquid

▼ Head Liquid

Body Liquid

Figura 277. Opción Head Liquid

5. El software OpenSAR usa un Emulador de Redes Local (Network Emulator) por defecto, pero para realizar las mediciones de SAR se necesita del Emulador de Red Agilent 8960 Series 10 E5515C. Para esto, en el menú BTS_test_set_control seleccionar la opción Remote Mode, con lo que el estado de Network Emulator pasa a Fail.

Device Status

Robot	Voltmeter	Network Emulator
OK	OK	Local Mode

Figura 278. Local Mode

Robot	BTS_test_set_control	SAR_Image
	MS	
	BS	
ject	▼ Stop After Meas	
	Call Test	SAR
	Remote Mode	

Figura 279. Opción Remote Mode

Device Status

Robot	Voltmeter	Network Emulator
OK	OK	FAIL

Figura 280. Fail

6. En el menú Init escoger la opción Network Emulator con lo que el software OpenSAR ya se encuentra conectado con el Emulador de Redes Agilent 8960 Series 10 E5515C y el estado de Network Emulator pasa a OK.

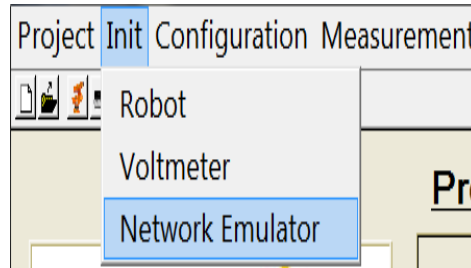


Figura 281. Opción Network Emulator

Device Status		
Robot	Voltmeter	Network Emulator
OK	OK	OK (GSM850)

Figura 282. Estado OK (GSM 850)

7. Para optimizar el AreaScan, es posible configurar en el software OpenSAR las dimensiones del teléfono celular sobre el que se realizara las mediciones de SAR. En el menú Tools, seleccionar la opción Phone Representation.

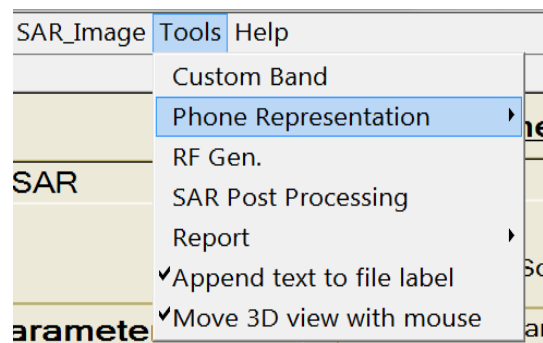


Figura 283. Opción Phone Representation

8. En la opción Phone Representation, escoger la opción Basic Phone.

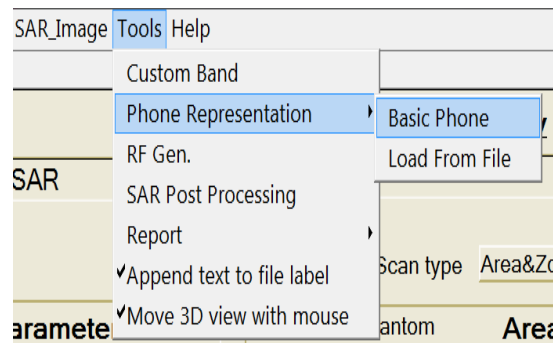


Figura 284. Opción Basic Phone

9. Se desplegará una ventana “Phone Representation” donde se pueden configurar las dimensiones del teléfono celular.

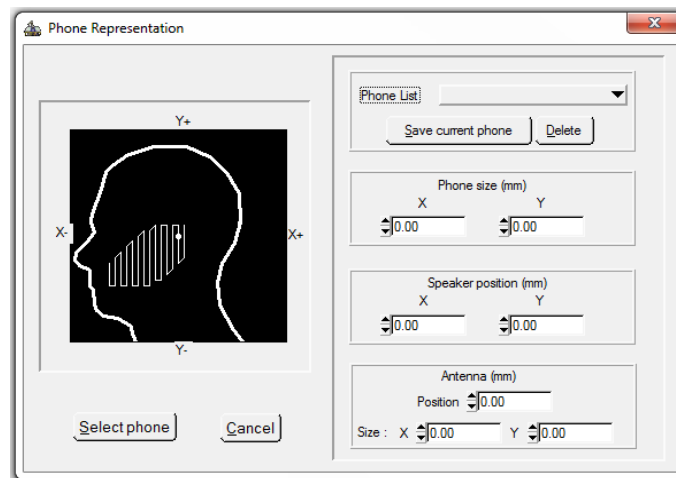


Figura 285. Ventana Phone Representation

10. Después de configurar el tamaño del teléfono, la posición del speaker y la posición de la antena. Dar click en el botón Select phone.

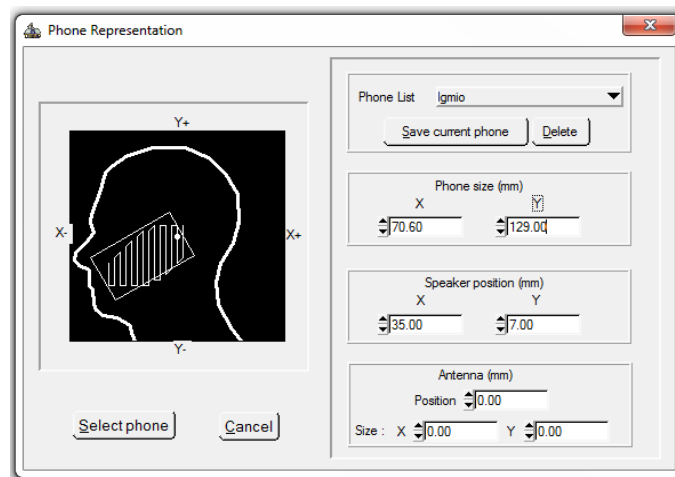


Figura 286. Opción Basic Phone

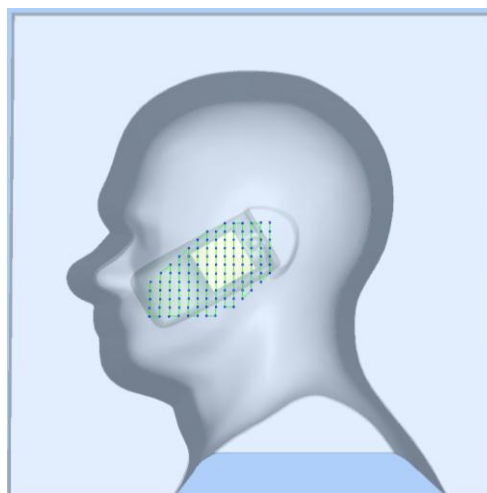


Figura 287. Teléfono configurado en el software

11. En la pantalla principal del programa OpenSAR, seleccionar el Area scan con la opción User-defined. Se desplegará una ventana "User probe path". Presionar el botón Optimize Path.

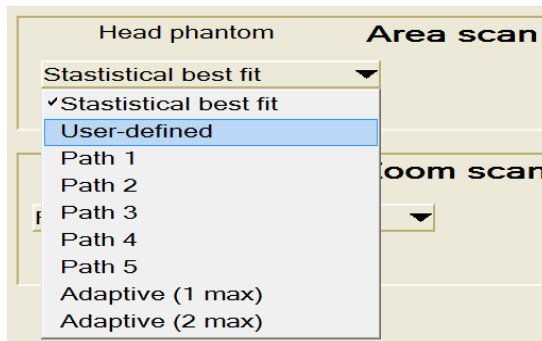


Figura 288. Opción User-defined

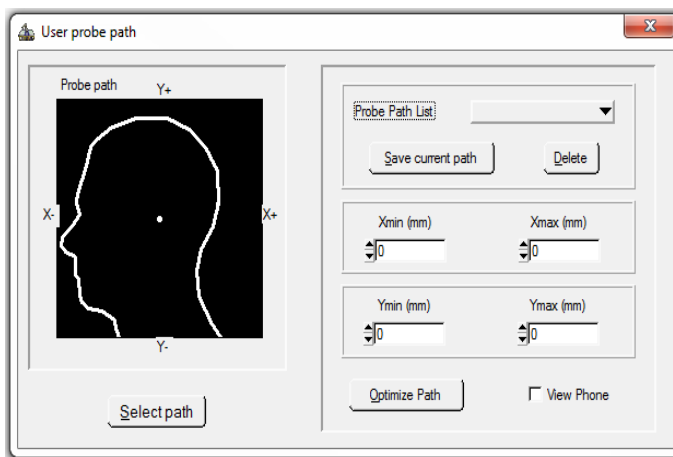


Figura 289. Ventana User probe path

12. A continuación dar click en el botón Select path.

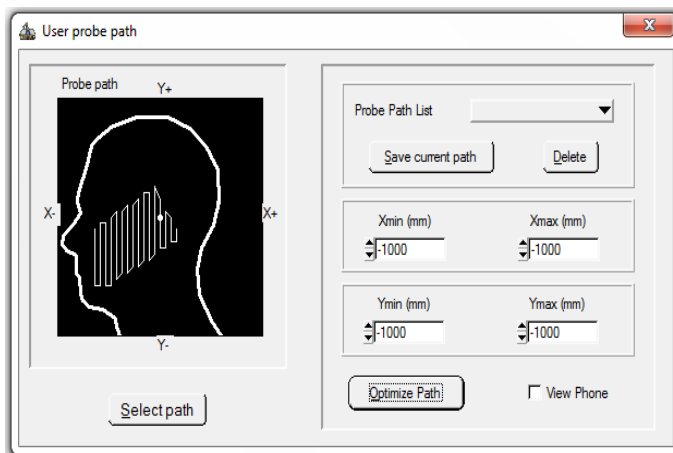


Figura 290. Botón Select path

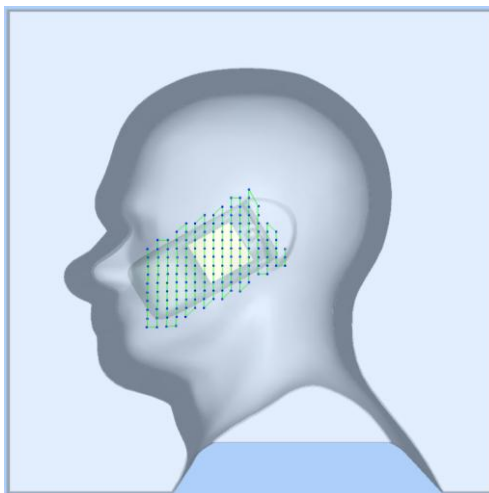


Figura 291. Area scan configurada en el software

13. En la pantalla principal del programa OpenSAR. En el menú Zoom scan seleccionar la opción Full measurement.

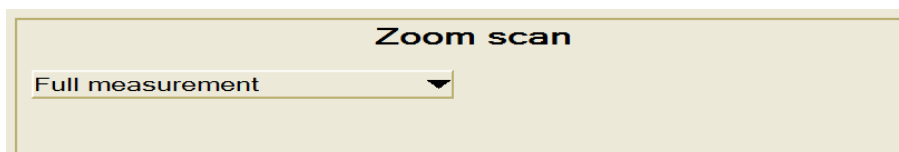


Figura 292. Opción Full measurement

14. En el menú Measurement escoger la opción Zoom scan step. Seleccionar el Zoom scan, el estándar establece que para frecuencias menores a 3 GHz es conveniente utilizar la opción de Zoom scan step de 8 x 8 x 5 mm, mientras que para frecuencias de 5 y 6 GHz se debe utilizar la opción de Zoom scan step de 4 x 4 x 2 mm.

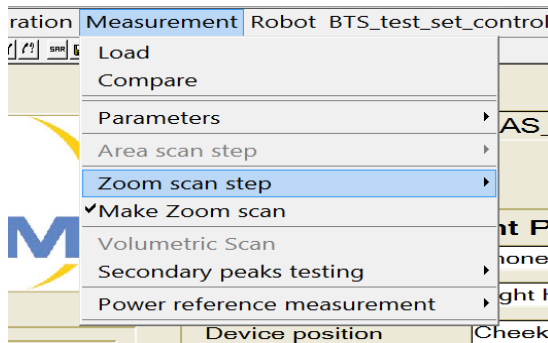


Figura 293. Opción Zoom scan step

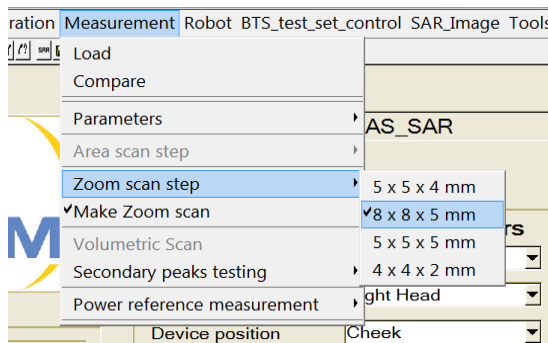


Figura 294. Zoom scan step de 8 x 8 x 5 mm

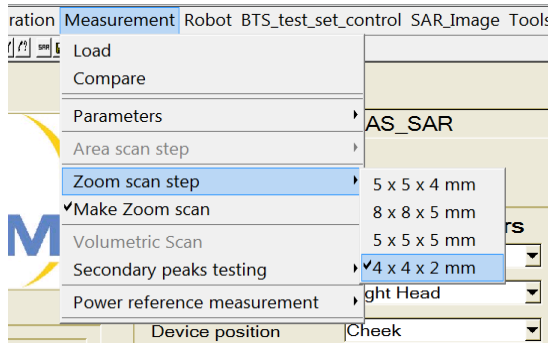


Figura 295. Zoom scan step de 4 x 4 x 2 mm

15. Colocar el teléfono celular de acuerdo al punto 3.3.5.2.

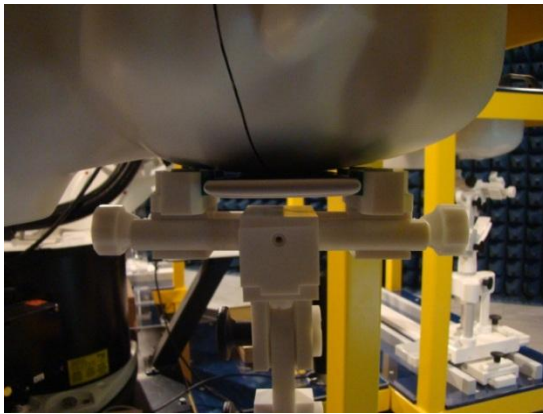


Figura 296. Cheek position

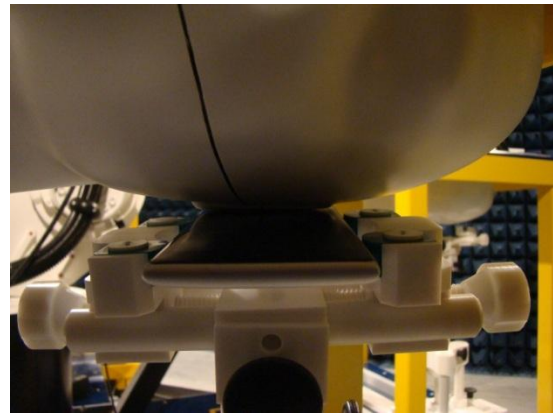


Figura 297. Tilt position

16. En el menú `BTS_test_set_control` activar la opción `Stop After Meas`. Esta opción permite terminar la comunicación de voz establecida entre el simulador de radio base y el equipo bajo prueba después de haber realizado la medición de SAR de forma automática.

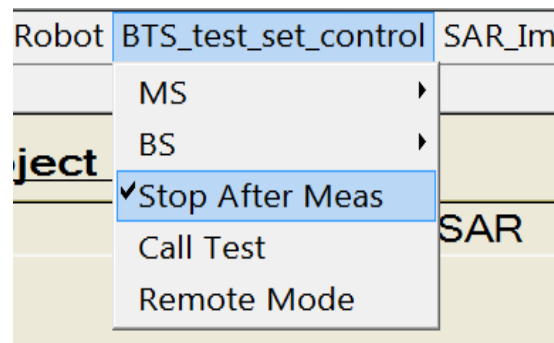


Figura 298. Opción Stop After Meas

17. Establecer una comunicación de voz entre el dispositivo bajo prueba y el Emulador de Red Agilent 8960 Series 10 E5515C, las formas de establecer una comunicación de voz son:

- 17.1 En el menú `BTS_test_set_control` seleccionar la opción `BS`. En el submenú `BS` escoger la opción `Call`. La estación base realizará una llamada al

dispositivo bajo prueba. Se debe contestar la llamada desde el dispositivo bajo prueba, al contestar la llamada se establece la comunicación de voz. Para verificar la comunicación de voz, en el Emulador de Red se debe visualizar en la pantalla principal el mensaje “Connected”.

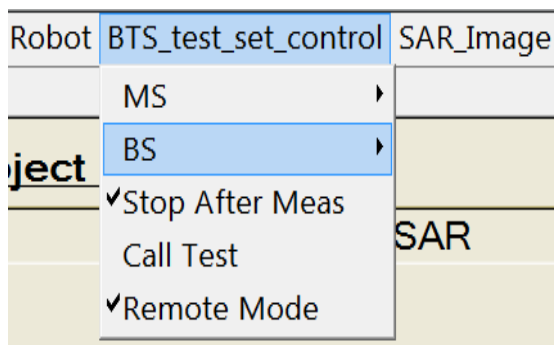


Figura 299. Opción BS

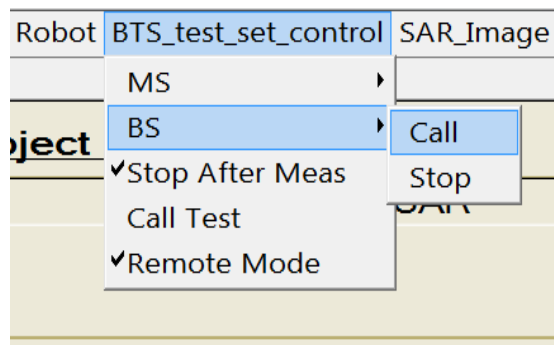


Figura 300. Opción Call

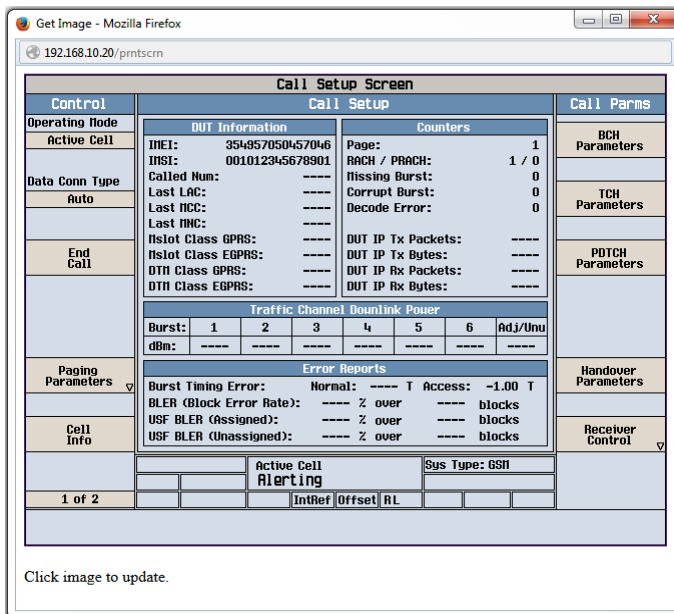


Figura 301. Llamada realizada al teléfono

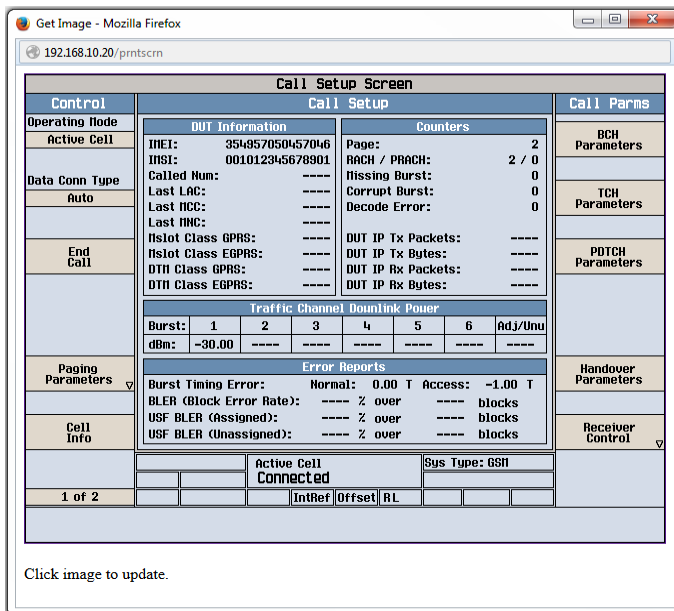


Figura 302. Comunicación de voz establecida

17.2 Realizar una llamada a cualquier número de al menos 3 dígitos (por ejemplo: 458, 6785, 34567) desde el dispositivo bajo prueba a la estación base. Al realizar la llamada se establece la comunicación de voz. Para

verificar la comunicación de voz, en el Emulador de Red se debe visualizar en la pantalla principal el mensaje “Connected”.



Figura 303. Llamada desde el teléfono

Call Setup Screen						
Control	Call Setup					Call Params
Operating Mode	DUT Information					BCH Parameters
Active Cell	IMEI: 354957050457046	Page: 0				
Data Conn Type	INSI: 001012345678901	RACH / PRACH: 1 / 0			TCH Parameters	
Auto	Called Num: 2458	Missing Burst: 0				
End Call	Last LAC: ----	Corrupt Burst: 0			PDTCH Parameters	
	Last MCC: ----	Decode Error: 0				
	Last MNC: ----	DUT IP Tx Packets: ----				
	flslot Class GPRS: ----	DUT IP Tx Bytes: ----				
Paging Parameters	flslot Class EGPRS: ----	DUT IP Rx Packets: ----			Handover Parameters	
	DTM Class GPRS: ----	DUT IP Rx Bytes: ----				
Cell Info	DTM Class EGPRS: ----	Traffic Channel Downlink Power				Receiver Control
		Burst: 1 2 3 4 5 6 Adj/Unu				
		dBm: -30.00 ----				
	Error Reports					
	Burst Timing Error: Normal: -0.25 T Access: -0.75 T					
	BLER (Block Error Rate): ---- % over ---- blocks					
	USF BLER (Assigned): ---- % over ---- blocks					
	USF BLER (Unassigned): ---- % over ---- blocks					
	Active Cell			Sys Type: GSM		
	Connected					
1 of 2		IntRef	Offset	RL		

Figura 304. Comunicación establecida

- En la pantalla principal del programa OpenSAR, dar clic en el botón START para iniciar la medición de SAR. Se desplegará una ventana “Opensar”, donde se debe ingresar un comentario para el reporte y un string para la etiqueta del archivo. Dar clic en el botón OK.



Figura 305. Botón START

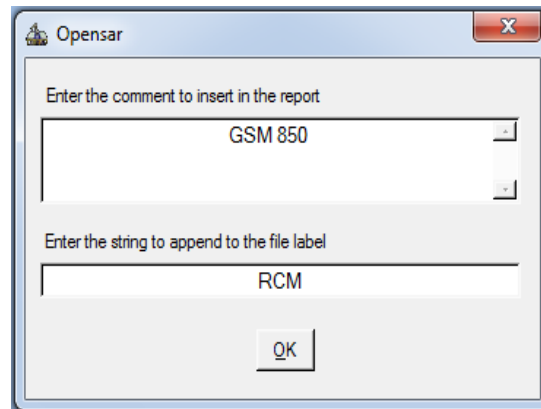


Figura 306. Ventana Opensar

19. Se abrirá la ventana “Measurement (SAM Phantom)” con el mensaje “Are you sure your probe is on the Rest point? (on the flat part of the SAM phantom)”. Dar clic en el botón YES. Iniciará la medición de SAR.

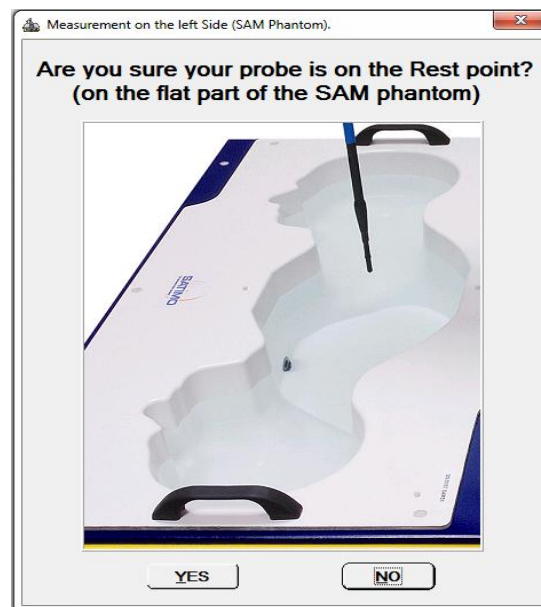


Figura 307. Measurement (SAM Phantom)

20. Durante la medición de SAR, los resultados de las mediciones realizadas por la sonda son presentados en tiempo real por el programa OpenSAR.

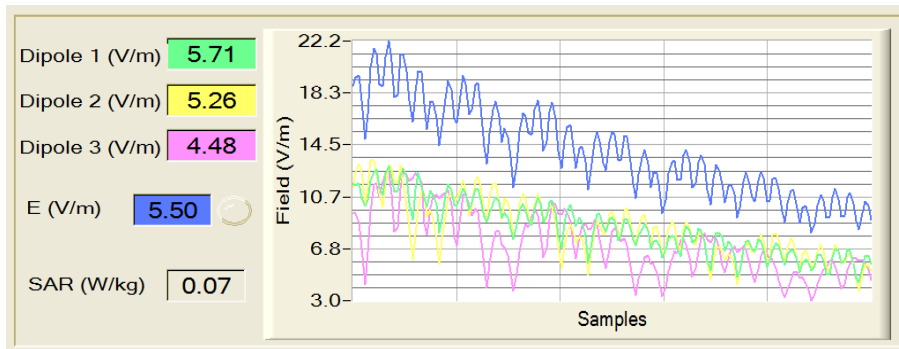


Figura 308. Mediciones en tiempo real

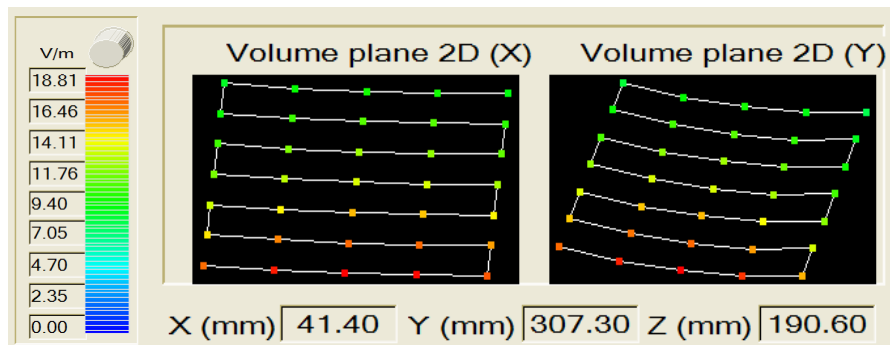


Figura 309. Mediciones en el plano 2D

21. Al finalizar la medición de SAR, en el software OpenSAR aparecerá un mensaje donde se indica que la medición es válida. El software OpenSAR determina el valor de SAR del dispositivo bajo prueba. El resultado de la medición de SAR se puede visualizar en la pantalla del programa OpenSAR.

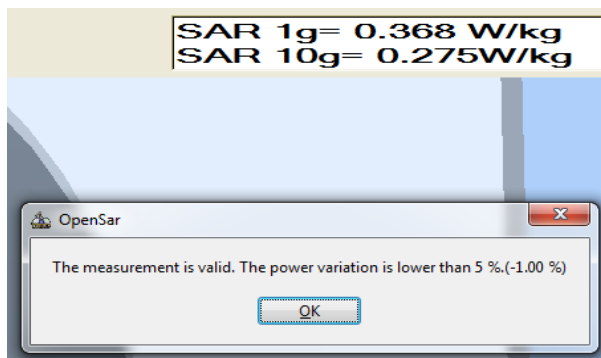


Figura 310. Resultado de la medición de SAR

22. El software OpenSAR permite generar un reporte de la medición de SAR realizada al dispositivo bajo prueba. Para generar este reporte en el menú Tools seleccionar la opción Report.

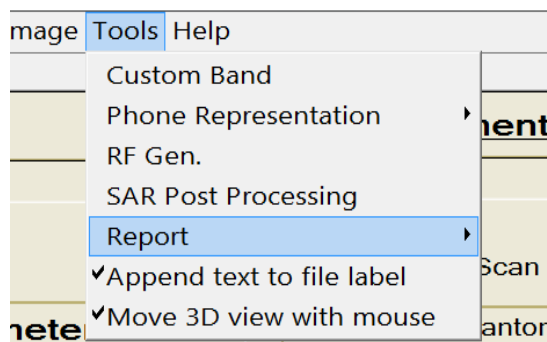


Figura 311. Opción Report

23. En el submenú Reporte escoger la opción WORD. Se desplegará una ventana “Measurements”, donde se debe elegir el reporte de la medición de SAR que se desea generar. Dar clic en el botón Generate report para generar el reporte.

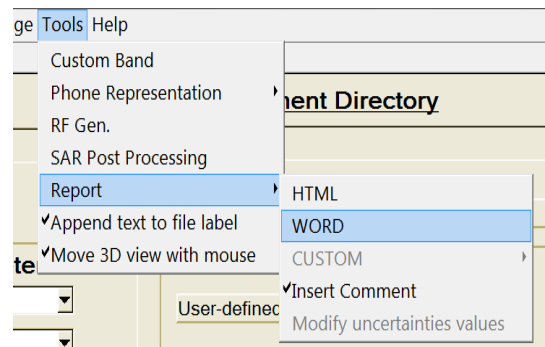


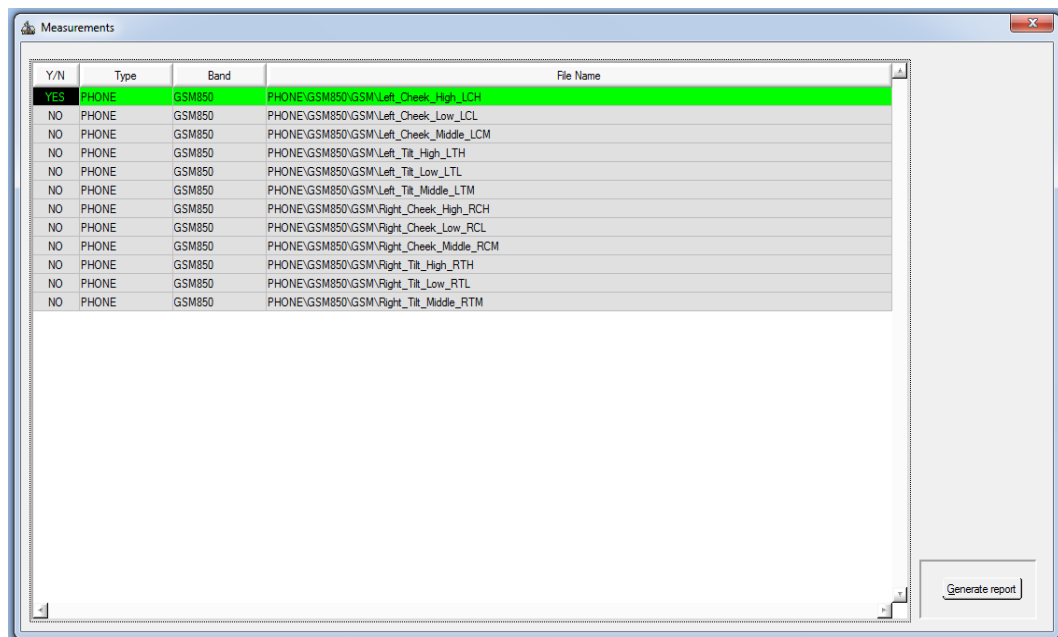
Figura 312. Opción WORD

The image shows a window titled 'Measurements' containing a table with the following data:

Y/N	Type	Band	File Name
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Left_Cheek_High_LCH
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Left_Cheek_Low_LCL
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Left_Cheek_Middle_LCM
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Left_Tilt_High_LTH
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Left_Tilt_Low_LTL
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Left_Tilt_Middle_LTM
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Right_Cheek_High_RCH
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Right_Cheek_Low_RCL
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Right_Cheek_Middle_RCM
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Right_Tilt_High_RTH
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Right_Tilt_Low_RTL
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Right_Tilt_Middle_RTM

At the bottom right of the window, there is a button labeled 'Generate report!'.

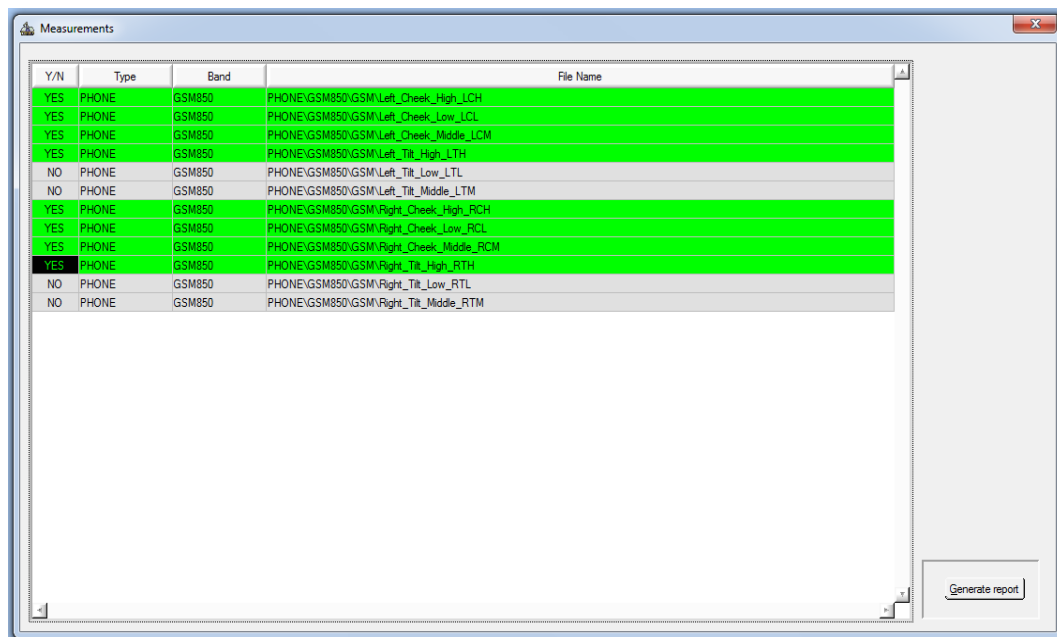
Figura 313. Ventana Measurements



Y/N	Type	Band	File Name
YES	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Left_Cheek_High_LCH
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Left_Cheek_Low_LCL
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Left_Cheek_Middle_LCM
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Left_Tilt_High_LTH
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Left_Tilt_Low_LTL
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Left_Tilt_Middle_LTM
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Right_Cheek_High_RCH
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Right_Cheek_Low_RCL
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Right_Cheek_Middle_RCM
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Right_Tilt_High_RTH
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Right_Tilt_Low_RTL
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Right_Tilt_Middle_RTM

Figura 314. Reporte de una medición de SAR

24. Se puede generar un reporte de varias mediciones de SAR. Para esto se debe elegir las mediciones de SAR que se desean generar en el reporte. Dar clic en el botón Generate report para generar el reporte.



Y/N	Type	Band	File Name
YES	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Left_Cheek_High_LCH
YES	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Left_Cheek_Low_LCL
YES	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Left_Cheek_Middle_LCM
YES	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Left_Tit_High_LTH
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Left_Tit_Low_LTL
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Left_Tit_Middle_LTM
YES	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Right_Cheek_High_RCH
YES	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Right_Cheek_Low_RCL
YES	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Right_Cheek_Middle_RCM
YES	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Right_Tit_High_RTH
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Right_Tit_Low_RTL
NO	PHONE	GSM850	PHONE\GSM850\GSM\Right_Tit_Middle_RTM

Generate report

Figura 315. Reporte de varias mediciones de SAR

25. Se desplegará una ventana “Please, enter the name of the report”, donde se debe ingresar el nombre del reporte que se desea generar.

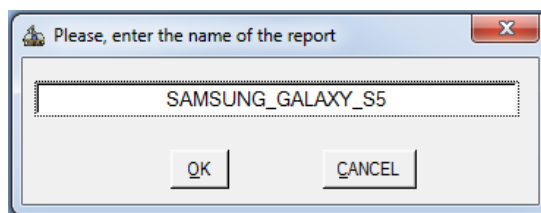


Figura 316. Ventana Please, enter the name of the report

26. Para visualizar los reportes generados se debe ir a la dirección C:\OpenSAR_V4\meas\nombre del proyecto. Se generan dos reportes, un archivo Word donde está el informe de la medición o las mediciones de SAR y un archivo Excel que especifica en una tabla la información importante de la medición o las mediciones de SAR.

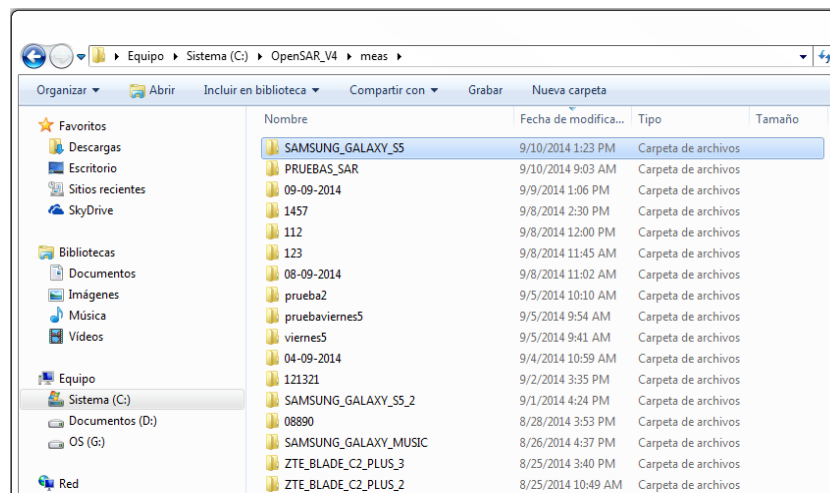


Figura 317. Dirección C:\OpenSAR_V4\meas\SAMSUNG_GALAXY_S5

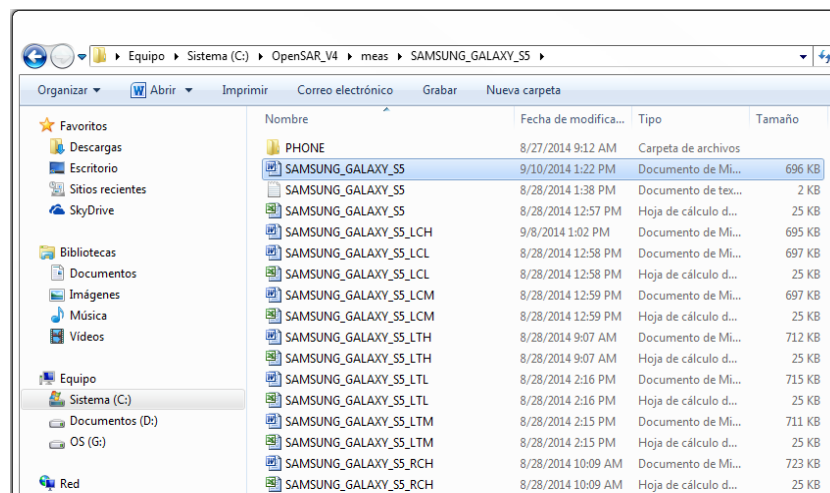


Figura 318. Archivo Word generado

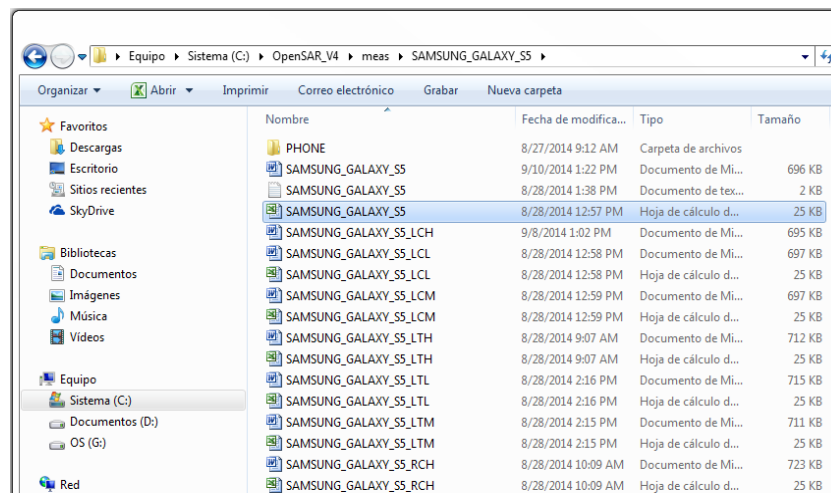


Figura 319. Archivo Excel generado

3.3.7 Medición de SAR a 1900 MHz

El procedimiento tiene como objetivo medir la tasa de absorción específica a teléfonos celulares con tecnología GSM en la banda de 1900 MHz.

1. Inicialización del sistema según el punto 3.3.2.

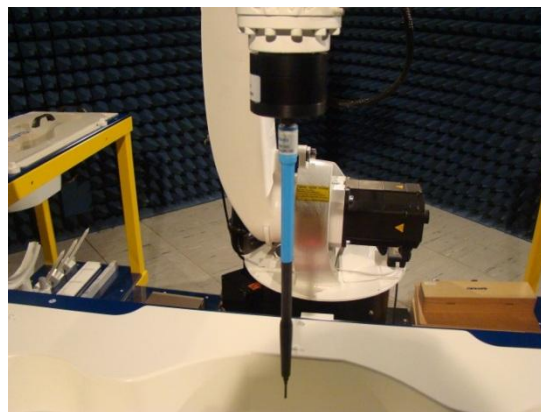


Figura 320. Sistema del robot inicializado

2. En el software OpenSAR de acuerdo al punto 3.3.2 ya se tiene configurado lo siguiente:

2.1 Creado un nuevo proyecto.

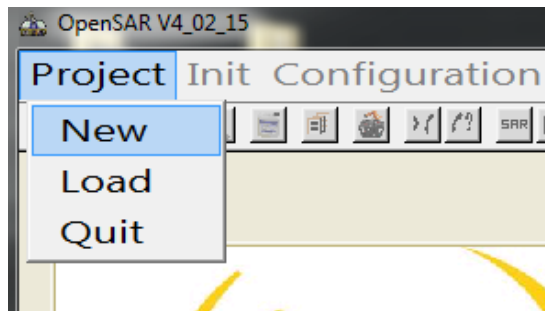


Figura 321. Menú Project

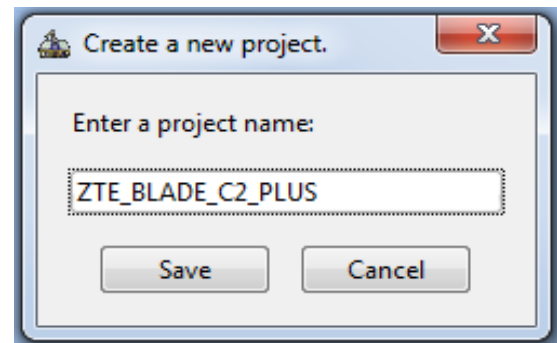


Figura 322. New project

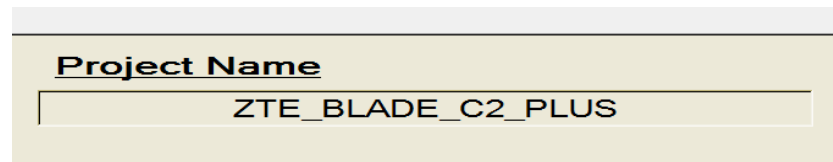


Figura 323. Project Name

2.2 Seleccionado el fantoma SAM sobre el que se realizarán las mediciones de SAR.

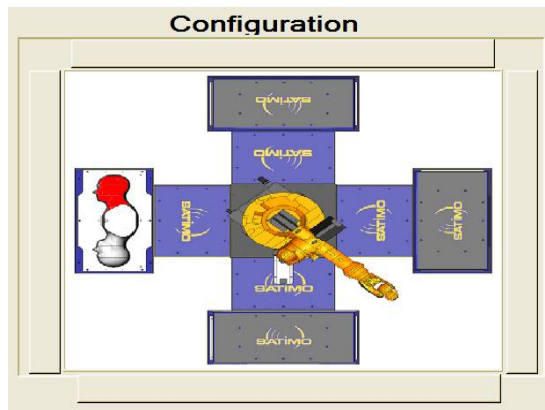


Figura 324. Fantoma SAM 850 MHz

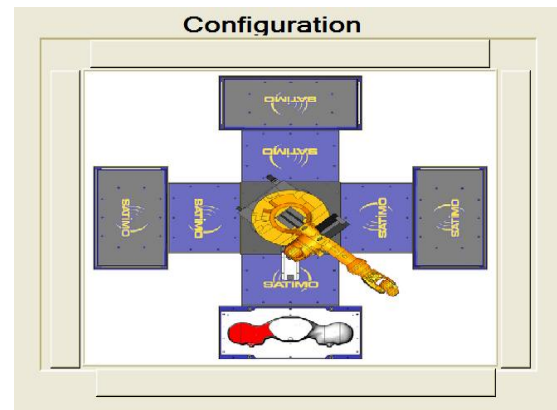


Figura 325. Fantoma SAM 1900 MHz

2.3 Conectado el robot mediante TCP.

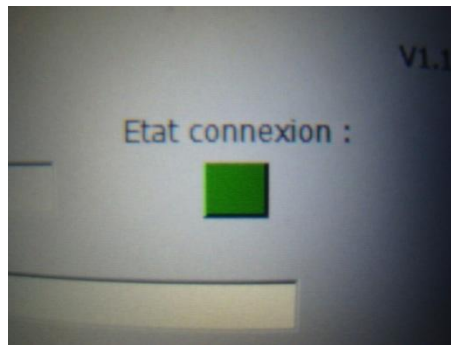


Figura 326. Etat connexion activo

Device Status		
Robot	Voltmeter	Network Emulator
OK	OK	Local Mode

Figura 327. Device Status

3. Medición del líquido a 1900 MHz según el punto 3.3.3.

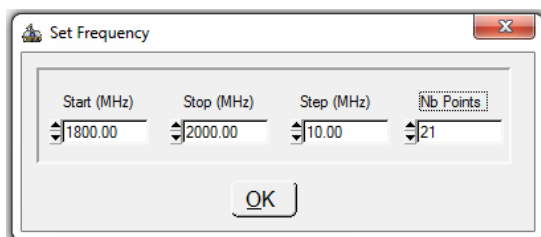


Figura 328. Configuración GSM 1900

Frequency (MHz)	Epsilon ' (Epsilon " (Sigma (S/m)	IEC/IEEE Standard (Head Liquid) (+/-5%)
1800.00	0.00	0.00	0.00	-
1810.00	0.00	0.00	0.00	-
1820.00	0.00	0.00	0.00	-
1830.00	0.00	0.00	0.00	-
1840.00	0.00	0.00	0.00	-
1850.00	0.00	0.00	0.00	-
1860.00	0.00	0.00	0.00	-
1870.00	0.00	0.00	0.00	-
1880.00	0.00	0.00	0.00	-
1890.00	0.00	0.00	0.00	-
1900.00	0.00	0.00	0.00	-
1910.00	0.00	0.00	0.00	-
1920.00	0.00	0.00	0.00	-
1930.00	0.00	0.00	0.00	-
1940.00	0.00	0.00	0.00	-
1950.00	0.00	0.00	0.00	-
1960.00	0.00	0.00	0.00	-

Figura 329. Liquid Calibration 1900

Frequency (MHz)	Epsilon'	Epsilon''	Sigma (S/m)	IEC/IEEE Standard (Head Liquid) (+/- %)
1840.00	40.24	13.07	1.34	Epsilon'' -4.58 %
1850.00	40.20	13.01	1.34	Epsilon'' 0.50 % Epsilon'' -4.51 %
1860.00	40.20	12.95	1.34	Epsilon'' 0.50 % Epsilon'' -4.39 %
1870.00	40.18	12.91	1.34	Epsilon'' 0.46 % Epsilon'' -4.22 %
1880.00	40.18	12.85	1.34	Epsilon'' 0.44 % Epsilon'' -4.12 %
1890.00	40.18	12.79	1.34	Epsilon'' 0.45 % Epsilon'' -4.09 %
1900.00	40.21	12.75	1.35	Epsilon'' 0.51 % Epsilon'' -3.87 %
1910.00	40.23	12.70	1.35	Epsilon'' 0.57 % Epsilon'' -3.73 %
1920.00	40.26	12.68	1.35	Epsilon'' 0.65 % Epsilon'' -3.37 %
1930.00	40.31	12.66	1.36	Epsilon'' 0.77 % Epsilon'' -3.03 %
1940.00	40.33	12.62	1.36	Epsilon'' 0.82 % Epsilon'' -2.84 %
1950.00	40.37	12.64	1.37	Epsilon'' 0.92 % Epsilon'' -2.16 %
1960.00	40.42	12.66	1.38	Epsilon'' 1.04 % Epsilon'' -1.55 %
1970.00	40.47	12.68	1.39	Epsilon'' 1.17 % Epsilon'' -0.91 %
1980.00	40.51	12.67	1.39	Epsilon'' 1.27 % Epsilon'' -0.45 %
1990.00	40.52	12.72	1.41	Epsilon'' 1.30 % Epsilon'' -0.44 %
2000.00	40.56	12.73	1.41	Epsilon'' 1.41 % Epsilon'' -1.05 %

Figura 330. Medición GSM 1900

4. Configurar los siguientes parámetros en el software OpenSAR para realizar la medición de SAR.

Measurement Parameters	
Measurement Type	Phone
Phantom	Right Head
Device position	Cheek
Standard	GSM
Tested band	GSM900
Channel	Middle
Liquid	Head Liquid

Figura 331. Parámetros software

- 4.1 Measurement type: tipo de medición, seleccionar la opción Phone.

Measurement Parameters	
Measurement Type	Phone
Phantom	Noise Validation
Device position	✓Phone
Standard	GSM
Tested band	GSM900
Channel	Middle
Liquid	Head Liquid

Figura 332. Opción Phone

4.2 Phantom: escoger la posición del fantoma SAM, derecha o izquierda (Right Head – Left Head).

Measurement Parameters	
Measurement Type	Phone
Phantom	Right Head
Device position	✓Right Head Left Head
Standard	Flat
Tested band	GSM900
Channel	Middle
Liquid	Head Liquid

Figura 333. Opción Right o Left Head

4.3 Device position: seleccionar la posición Cheek o la posición Tilt.

Measurement Parameters	
Measurement Type	Phone
Phantom	Right Head
Device position	Cheek
Standard	✓Cheek Tilt
Tested band	Dipole
Channel	Body Push to talk
Liquid	Head Liquid

Figura 334. Opción Cheek o Tilt

4.4 Standart: escoger la tecnología GSM.

The screenshot shows a 'Measurement Parameters' dialog box with the following settings:

- Measurement Type: Phone
- Phantom: Right Head
- Device position: Cheek
- Standard: GSM (dropdown menu is open)
- Tested band: GSM (highlighted)
- Channel: (empty)
- Liquid: (empty)

The dropdown menu for 'Standard' contains the following options: GSM, CW, CDMA2000, WCDMA, TD-SCDMA, Bluetooth, IEEE 802.a, IEEE 802.b, IEEE 802.g, LTE, and CUSTOM.

Figura 335. Tecnología GSM

4.5 Tester band: es la banda de frecuencias dentro de la tecnología GSM, seleccionar GSM 1900 MHz.

The screenshot shows the same 'Measurement Parameters' dialog box with the following settings:

- Measurement Type: Phone
- Phantom: Right Head
- Device position: Cheek
- Standard: GSM
- Tested band: GSM1900 (dropdown menu is open)
- Channel: (empty)
- Liquid: (empty)

The dropdown menu for 'Tested band' contains the following options: GSM1900, GSM450, GSM850, GSM900, GSM1800, and GSM1900 (highlighted).

Figura 336. GSM 1900 MHz

4.6 Channel: low, middle o high. Para el caso de la primera medición, es recomendable seleccionar el canal medio.

Measurement Parameters

Measurement Type	Phone
Phantom	Right Head
Device position	Cheek
Standard	GSM
Tested band	GSM1900
Channel	Middle
Liquid	

Channel dropdown menu options:

- Low
- Low, Middle
- Low, High
- Low, Middle, High
- ✓ Middle
- Middle, High
- High

Figura 337. Opción Channel

4.7 Liquid: escoger el líquido simulador de tejido para cabeza.

Measurement Parameters

Measurement Type	Phone
Phantom	Right Head
Device position	Cheek
Standard	GSM
Tested band	GSM1900
Channel	Middle
Liquid	Head Liquid

Liquid dropdown menu options:

- ✓ Head Liquid
- Body Liquid

Figura 338. Opción Head Liquid

5. El software OpenSAR usa un Emulador de Redes Local (Network Emulator) por defecto, pero para realizar las mediciones de SAR se necesita del Emulador de Red Agilent 8960 Series 10 E5515C. Para esto, en el menú BTS_test_set_control seleccionar la opción Remote Mode, con lo que el estado de Network Emulator pasa a Fail.

Device Status		
Robot	Voltmeter	Network Emulator
OK	OK	Local Mode

Figura 339. Local Mode

Robot	BTS_test_set_control	SAR_Image
	MS	
	BS	
Project	Stop After Meas	SAR
	Call Test	
	Remote Mode	

Figura 340. Opción Remote Mode

Device Status		
Robot	Voltmeter	Network Emulator
OK	OK	FAIL

Figura 341. Fail

- En el menú Init escoger la opción Network Emulator con lo que el software OpenSAR ya se encuentra conectado con el Emulador de Redes Agilent 8960 Series 10 E5515C y el estado de Network Emulator pasa a OK.

Project	Init	Configuration	Measurement
	Robot		
	Voltmeter		
	Network Emulator		

Figura 342. Opción Network Emulator

Device Status		
Robot	Voltmeter	Network Emulator
OK	OK	OK (GSM1900)

Figura 343. Estado OK (GSM 1900)

7. Para optimizar el AreaScan, es posible configurar en el software OpenSAR las dimensiones del teléfono celular sobre el que se realizara las mediciones de SAR. En el menú Tools, seleccionar la opción Phone Representation.

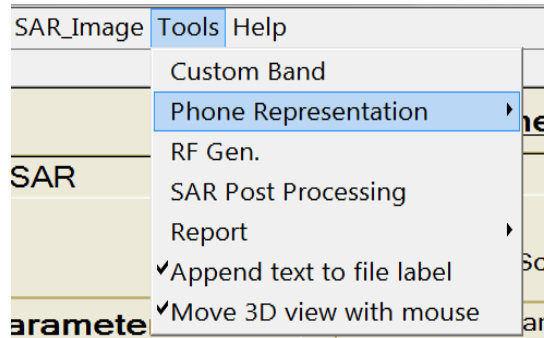


Figura 344. Opción Phone Representation

8. En la opción Phone Representation, escoger la opción Basic Phone.

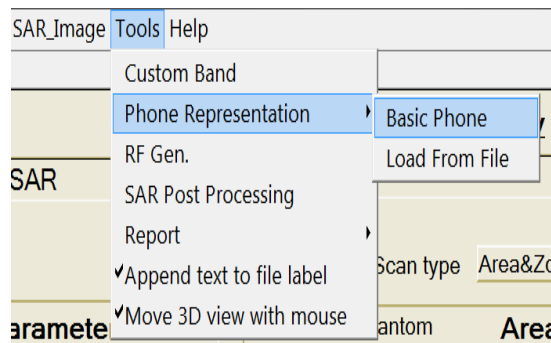


Figura 345. Opción Basic Phone

9. Se desplegará una ventana “Phone Representation” donde se pueden configurar las dimensiones del teléfono celular.

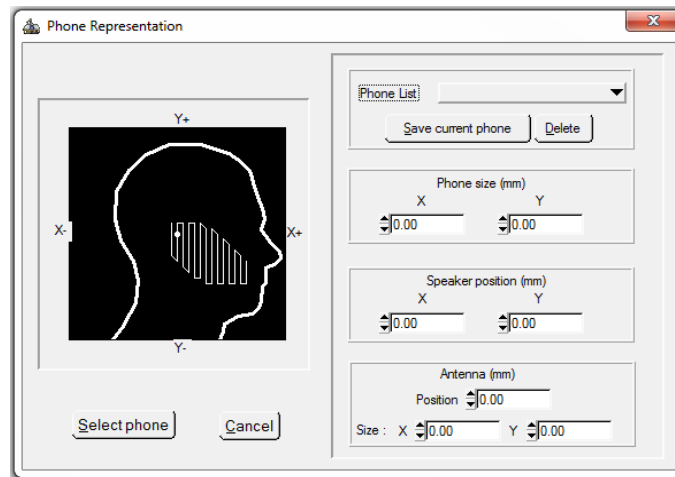


Figura 346. Phone Representation

10. Después de configurar el tamaño del teléfono, la posición del speaker y la posición de la antena. Dar click en el botón Select phone.

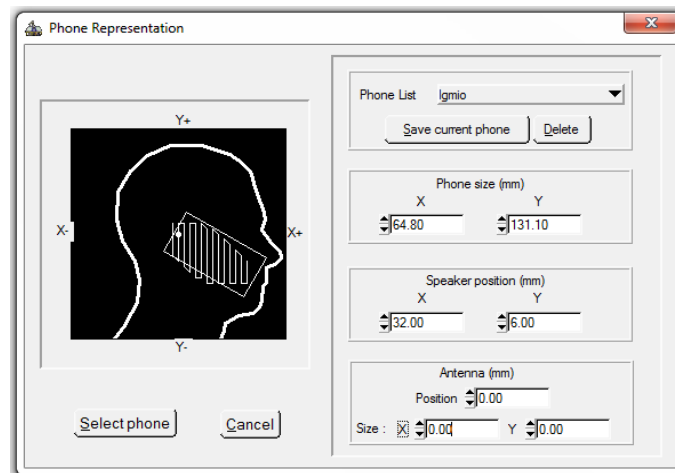


Figura 347. Basic Phone

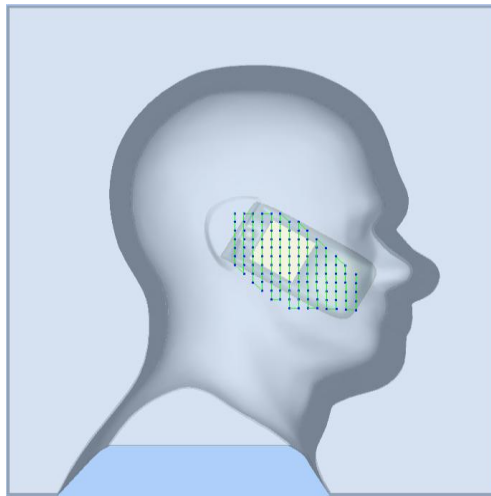


Figura 348. Teléfono configurado en el software

11. En la pantalla principal del programa OpenSAR, seleccionar el Area scan con la opción User-defined. Se desplegará una ventana “User probe path”. Presionar el botón Optimize Path.

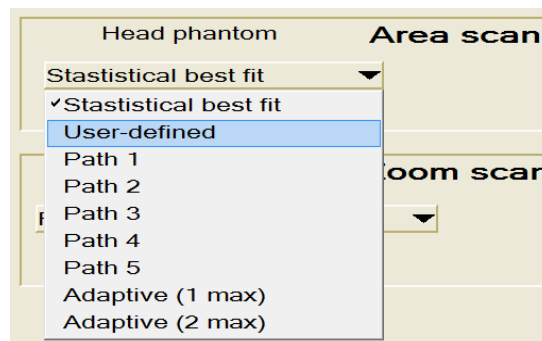


Figura 349. Opción User-defined

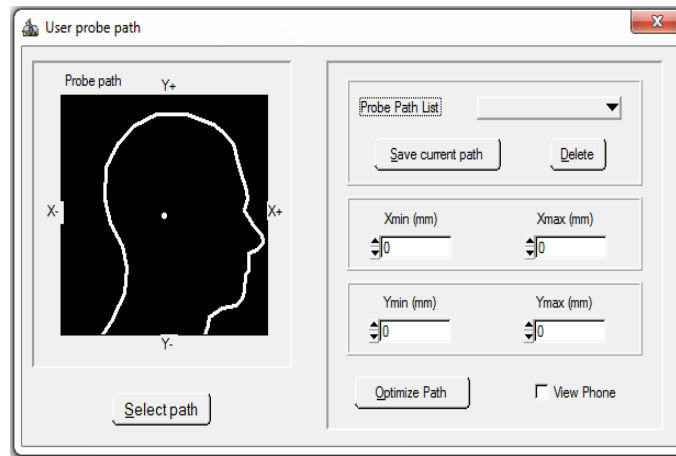


Figura 350. User probe path

12. A continuación dar click en el botón Select path.

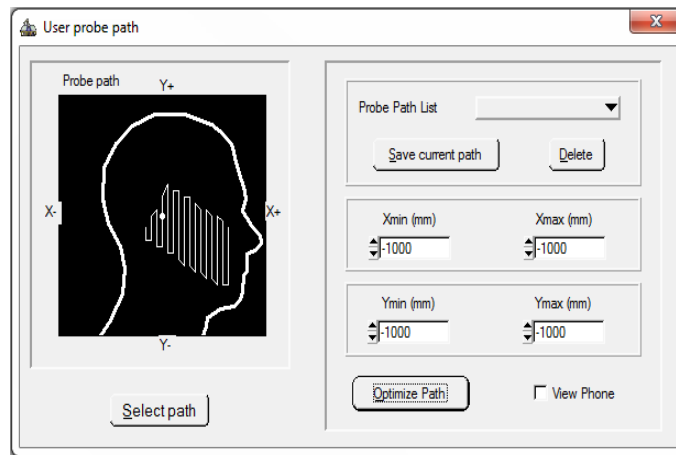


Figura 351. Select path

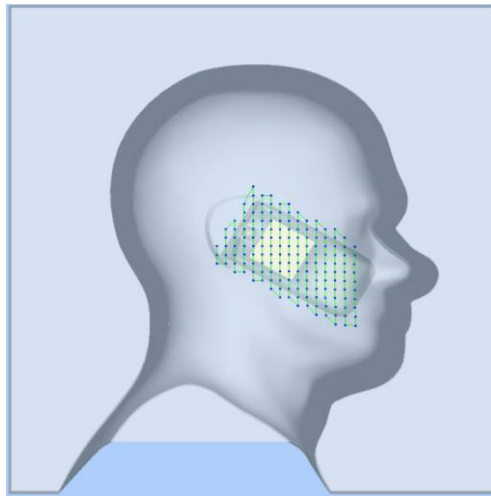


Figura 352. Área scan configurada en el OpenSAR

13. En la pantalla principal del programa OpenSAR. En el menú Zoom scan seleccionar la opción Full measurement.

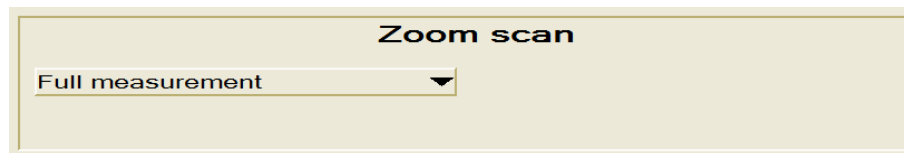


Figura 353. Opción Full measurement

14. En el menú Measurement escoger la opción Zoom scan step. Seleccionar el Zoom scan, el estándar establece que para frecuencias menores a 3 GHz es conveniente utilizar la opción de Zoom scan step de 8 x 8 x 5 mm, mientras que para frecuencias de 5 y 6 GHz se debe utilizar la opción de Zoom scan step de 4 x 4 x 2 mm.

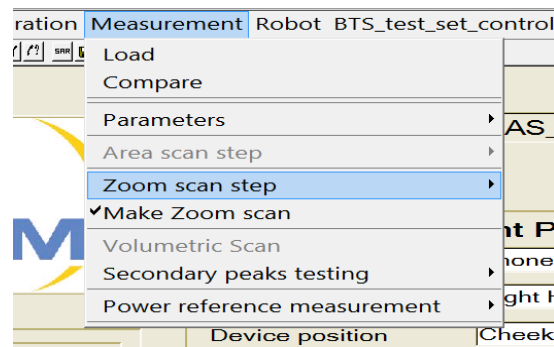


Figura 354. Opción Zoom scan step

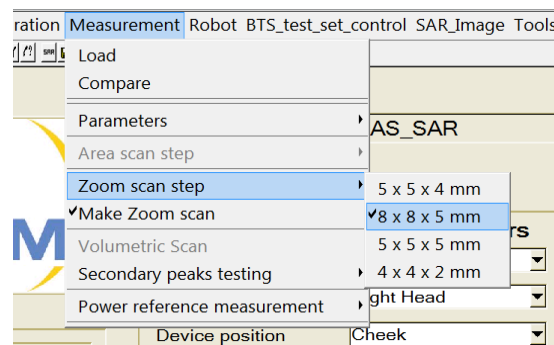


Figura 355. Zoom scan step de 8 x 8 x 5 mm

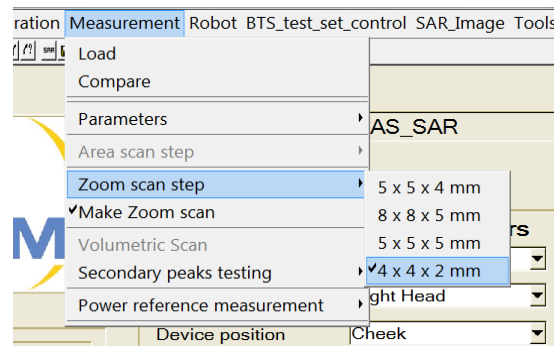


Figura 356. Zoom scan step de 4 x 4 x 2 mm

15. Colocar el teléfono celular de acuerdo al punto 3.3.5.2.

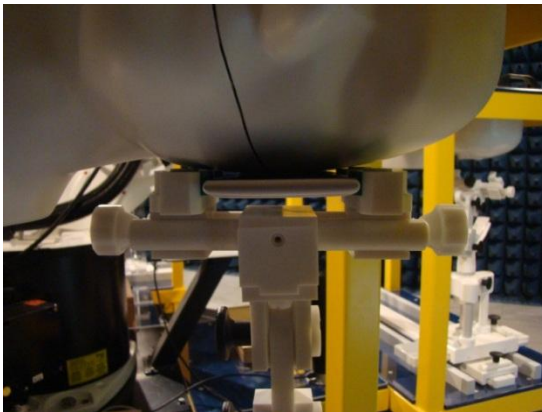


Figura 357. Cheek position

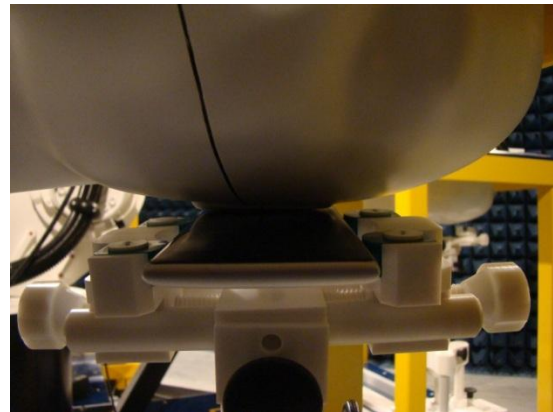


Figura 358. Tilt position

16. En el menú `BTS_test_set_control` activar la opción `Stop After Meas`. Esta opción permite terminar la comunicación de voz establecida entre el simulador de radio base y el equipo bajo prueba después de haber realizado la medición de SAR de forma automática.

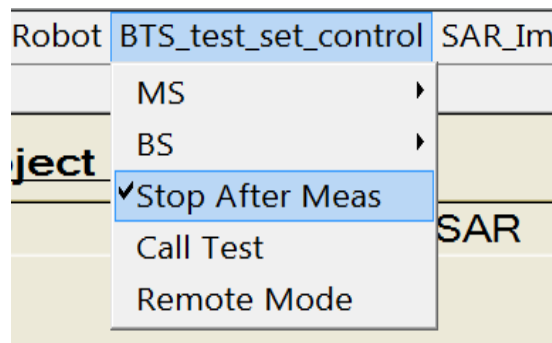


Figura 359. Opción Stop After Meas

17. Establecer una comunicación de voz entre el dispositivo bajo prueba y el Emulador de Red Agilent 8960 Series 10 E5515C, las formas de establecer una comunicación de voz son:

- 17.1 En el menú `BTS_test_set_control` seleccionar la opción `BS`. En el submenú `BS` escoger la opción `Call`. La estación base realizará una llamada al

dispositivo bajo prueba. Se debe contestar la llamada desde el dispositivo bajo prueba, al contestar la llamada se establece la comunicación de voz. Para verificar la comunicación de voz, en el Emulador de Red se debe visualizar en la pantalla principal el mensaje “Connected”.

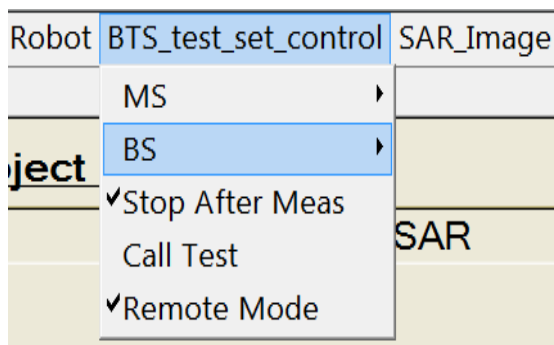


Figura 360. Opción BS

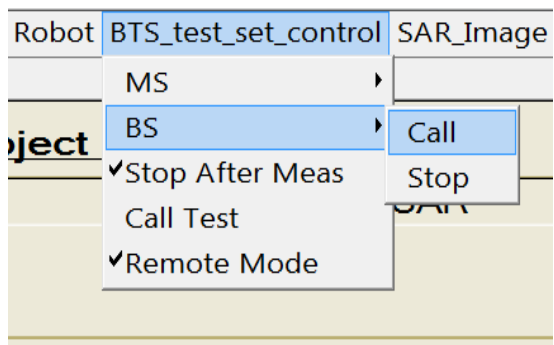


Figura 361. Opción Call

Call Setup Screen						
Control	Call Setup				Call Parms	
Operating Mode	DUT Information		Counters		BCH Parameters	
Active Cell	IMEI: 354957050457046	Page: 1	RACH / PRACH: 1 / 0			
	MSI: 001012345678901	Missing Burst: 0	Corrupt Burst: 0		TCH Parameters	
Data Conn Type	Called Num: ----	Decode Error: 0	DUT IP Tx Packets: ----			
Auto	Last LAC: ----	DUT IP Tx Bytes: ----	DUT IP Rx Packets: ----		PDTCH Parameters	
	Last MCC: ----	DUT IP Rx Bytes: ----	DUT IP Tx Packets: ----			
	Last MNC: ----	DUT IP Rx Bytes: ----	DUT IP Rx Bytes: ----			
End Call	ISlot Class GPRS: ----	Traffic Channel Downlink Power				
	ISlot Class EGPRS: ----	Burst: 1 2 3 4 5 6 Adj/Unu				
	DTM Class GPRS: ----	dBm: ----				
	DTM Class EGPRS: ----	Error Reports				
Paging Parameters	Burst Timing Error: Normal: ---- T Access: -1.00 T	BLER (Block Error Rate): ---- % over ---- blocks		Handover Parameters		
	USF BLER (Assigned): ---- % over ---- blocks	USF BLER (Unassigned): ---- % over ---- blocks				
Cell Info	Active Cell Alerting		Sys Type: GSM		Receiver Control	
	IntRef Offset RL					
1 of 2						

Click image to update.

Figura 362. Llamada realizada al teléfono

Call Setup Screen						
Control	Call Setup				Call Parms	
Operating Mode	DUT Information		Counters		BCH Parameters	
Active Cell	IMEI: 354957050457046	Page: 2	RACH / PRACH: 2 / 0			
	MSI: 001012345678901	Missing Burst: 0	Corrupt Burst: 0		TCH Parameters	
Data Conn Type	Called Num: ----	Decode Error: 0	DUT IP Tx Packets: ----			
Auto	Last LAC: ----	DUT IP Tx Bytes: ----	DUT IP Rx Packets: ----		PDTCH Parameters	
	Last MCC: ----	DUT IP Rx Bytes: ----	DUT IP Rx Bytes: ----			
	Last MNC: ----	DUT IP Rx Bytes: ----	DUT IP Rx Bytes: ----			
End Call	ISlot Class GPRS: ----	Traffic Channel Downlink Power				
	ISlot Class EGPRS: ----	Burst: 1 2 3 4 5 6 Adj/Unu				
	DTM Class GPRS: ----	dBm: -30.00				
	DTM Class EGPRS: ----	Error Reports				
Paging Parameters	Burst Timing Error: Normal: 0.00 T Access: -1.00 T	BLER (Block Error Rate): ---- % over ---- blocks		Handover Parameters		
	USF BLER (Assigned): ---- % over ---- blocks	USF BLER (Unassigned): ---- % over ---- blocks				
Cell Info	Active Cell Connected		Sys Type: GSM		Receiver Control	
	IntRef Offset RL					
1 of 2						

Click image to update.

Figura 363. Comunicación de voz establecida

17.2 Realizar una llamada a cualquier número de al menos 3 dígitos (por ejemplo: 458, 6785, 34567) desde el dispositivo bajo prueba a la estación base. Al realizar la llamada se establece la comunicación de voz. Para

verificar la comunicación de voz, en el Emulador de Red se debe visualizar en la pantalla principal el mensaje “Connected”.



Figura 364. Llamada desde el teléfono

Call Setup Screen							
Control	Call Setup					Call Params	
Operating Mode	DUT Information		Counters			BCH Parameters	
Active Cell	IMEI: 354957050457046	INSI: 001012345678901	Page: 0	RACH / PRACH: 1 / 0	Missing Burst: 0		
Data Conn Type	Called Num: 782	Last LAC: ----	Last MCC: ----	Last MNC: ----	Corrupt Burst: 0	TCH Parameters	
Auto	nslot Class GPRS: ----	DTM Class GPRS: ----	DTM Class EGPRS: ----	DUT IP Tx Packets: ----	DUT IP Tx Bytes: ----		
End Call	Traffic Channel Downlink Power			DUT IP Rx Packets: ----	DUT IP Rx Bytes: ----	PDTC Parameters	
	Burst: 1	2	3	4	5		6
	dBm: -30.00	----	----	----	----	----	----
Paging Parameters	Error Reports					Handover Parameters	
	Burst Timing Error: Normal: -0.25 T Access: -1.00 T						
	BLER (Block Error Rate): ---- % over	----	blocks				
	USF BLER (Assigned): ---- % over	----	blocks				
Cell Info	USF BLER (Unassigned): ---- % over	----	blocks				
	Active Cell	Connected			Sys Type: GSM		
1 of 2	IntRef	Offset	RL				

Figura 365. Comunicación establecida

- En la pantalla principal del programa OpenSAR, dar clic en el botón START para iniciar la medición de SAR. Se desplegará una ventana “Opensar”, donde se debe ingresar un comentario para el reporte y un string para la etiqueta del archivo. Dar clic en el botón OK.



Figura 366. Botón START

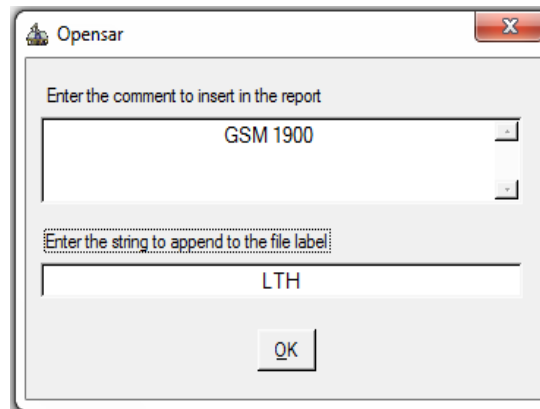


Figura 367. Ventana Opensar

19. Se abrirá la ventana “Measurement (SAM Phantom)” con el mensaje “Are you sure your probe is on the Rest point? (on the flat part of the SAM phantom)”. Dar clic en el botón YES. Iniciará la medición de SAR.

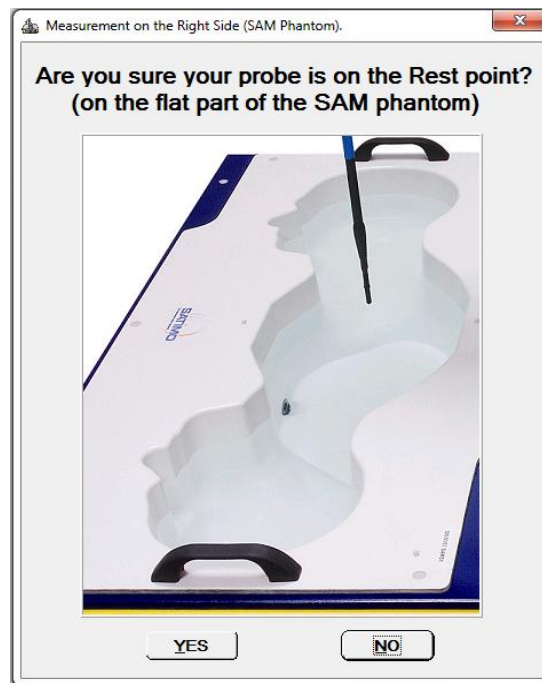


Figura 368. Measurement (SAM Phantom)

20. Durante la medición de SAR, los resultados de las mediciones realizadas por la sonda son presentados en tiempo real por el programa OpenSAR.

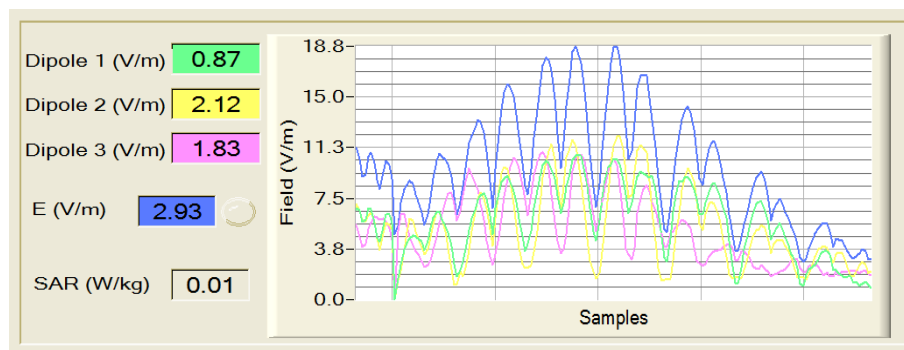


Figura 369. Mediciones en tiempo real

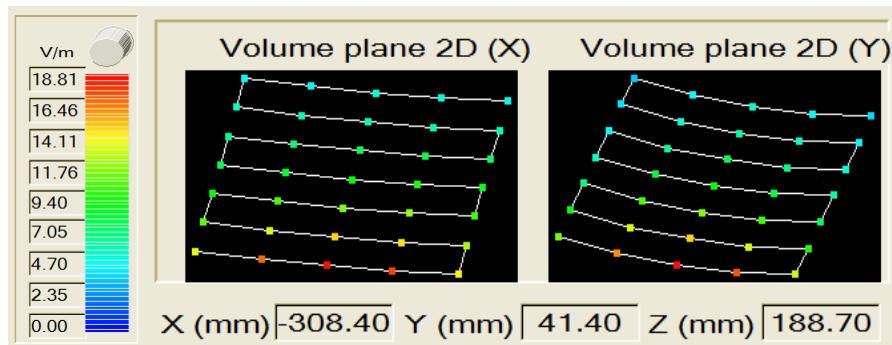


Figura 370. Mediciones en el plano 2D

21. Al finalizar la medición de SAR, en el software OpenSAR aparecerá un mensaje donde se indica que la medición es válida. El software OpenSAR determina el valor de SAR del dispositivo bajo prueba. El resultado de la medición de SAR se puede visualizar en la pantalla del programa OpenSAR.

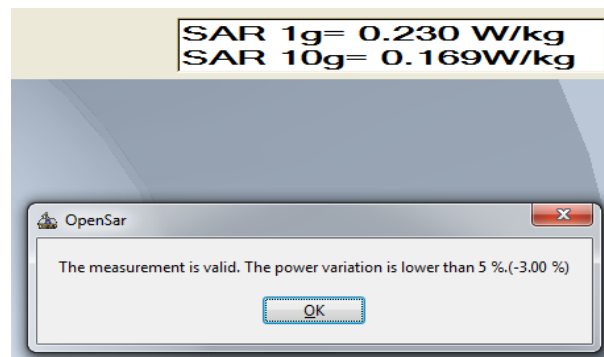


Figura 371. Resultado de la medición de SAR

22. El software OpenSAR permite generar un reporte de la medición de SAR realizada al dispositivo bajo prueba. Para generar este reporte en el menú Tools seleccionar la opción Report.

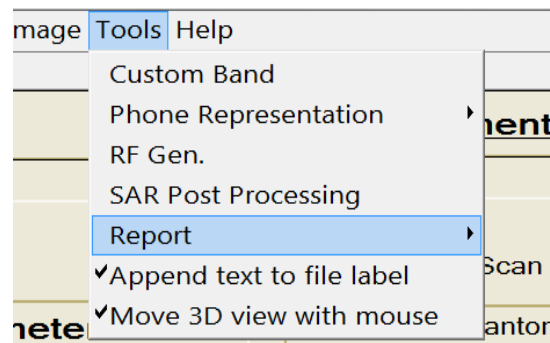


Figura 372. Opción Report

23. En el submenú Reporte escoger la opción WORD. Se desplegará una ventana “Measurements”, donde se debe elegir el reporte de la medición de SAR que se desea generar. Dar clic en el botón Generate report para generar el reporte.

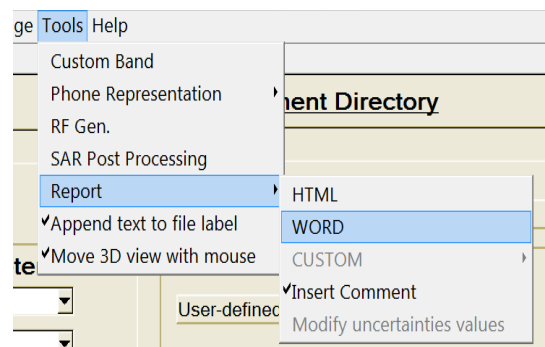
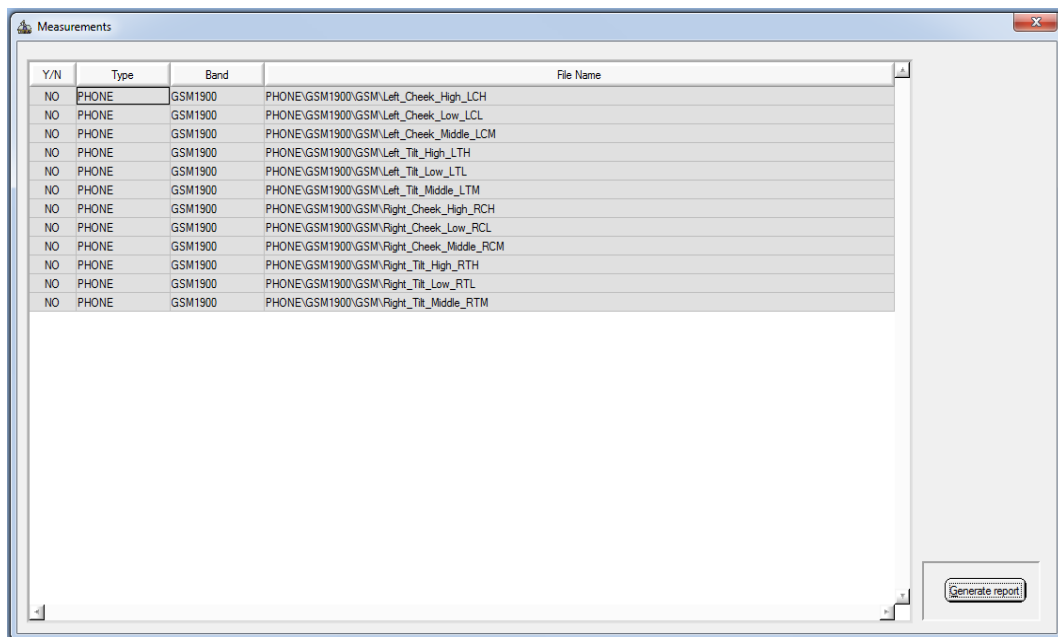


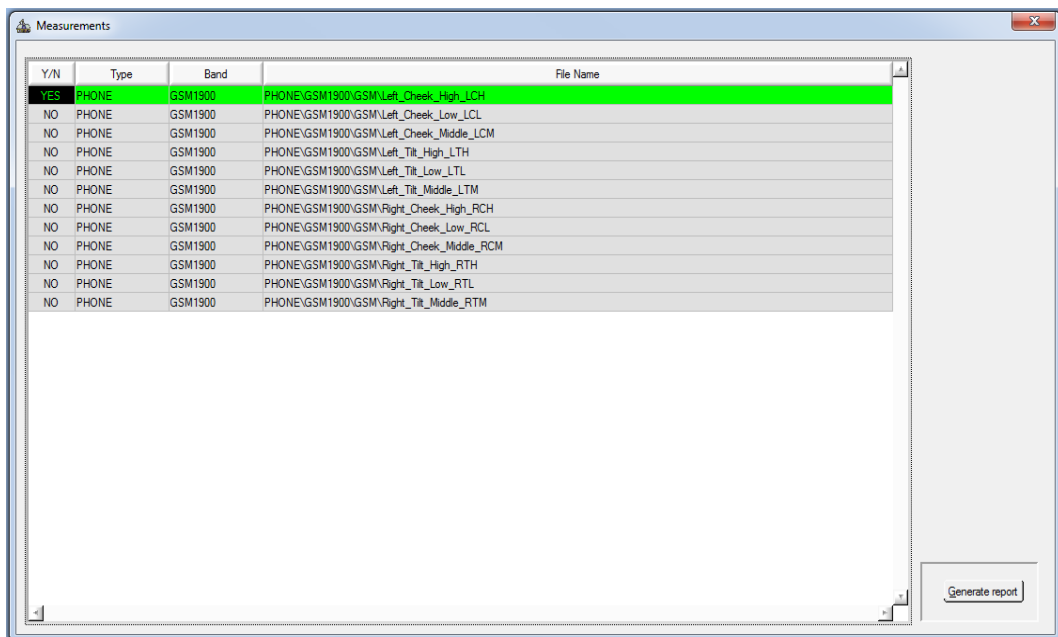
Figura 373. Opción WORD



Y/N	Type	Band	File Name
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Left_Cheek_High_LCH
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Left_Cheek_Low_LCL
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Left_Cheek_Middle_LCM
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Left_Tilt_High_LTH
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Left_Tilt_Low_LTL
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Left_Tilt_Middle_LTM
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Right_Cheek_High_RCH
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Right_Cheek_Low_RCL
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Right_Cheek_Middle_RCM
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Right_Tilt_High_RTH
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Right_Tilt_Low_RTL
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Right_Tilt_Middle_RTM

Generate report

Figura 374. Ventana Measurements



Y/N	Type	Band	File Name
YES	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Left_Cheek_High_LCH
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Left_Cheek_Low_LCL
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Left_Cheek_Middle_LCM
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Left_Tilt_High_LTH
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Left_Tilt_Low_LTL
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Left_Tilt_Middle_LTM
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Right_Cheek_High_RCH
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Right_Cheek_Low_RCL
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Right_Cheek_Middle_RCM
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Right_Tilt_High_RTH
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Right_Tilt_Low_RTL
NO	PHONE	GSM1900	PHONE\GSM1900\GSM\Right_Tilt_Middle_RTM

Generate report

Figura 375. Reporte de una medición de SAR

24. Se puede generar un reporte de varias mediciones de SAR. Para esto se debe elegir las mediciones de SAR que se desean generar en el reporte. Dar clic en el botón Generate report para generar el reporte.

Y/N	Type	Band	File Name
YES	PHONE	GSM1900	PHONE:GSM1900:GSM:Left_Cheek_High_LCH
YES	PHONE	GSM1900	PHONE:GSM1900:GSM:Left_Cheek_Low_LCL
YES	PHONE	GSM1900	PHONE:GSM1900:GSM:Left_Cheek_Middle_LCM
YES	PHONE	GSM1900	PHONE:GSM1900:GSM:Left_Tilt_High_LTH
YES	PHONE	GSM1900	PHONE:GSM1900:GSM:Left_Tilt_Low_LTL
YES	PHONE	GSM1900	PHONE:GSM1900:GSM:Left_Tilt_Middle_LTM
YES	PHONE	GSM1900	PHONE:GSM1900:GSM:Right_Cheek_High_RCH
NO	PHONE	GSM1900	PHONE:GSM1900:GSM:Right_Cheek_Low_RCL
NO	PHONE	GSM1900	PHONE:GSM1900:GSM:Right_Cheek_Middle_RCM
NO	PHONE	GSM1900	PHONE:GSM1900:GSM:Right_Tilt_High_RTH
NO	PHONE	GSM1900	PHONE:GSM1900:GSM:Right_Tilt_Low_RTL
NO	PHONE	GSM1900	PHONE:GSM1900:GSM:Right_Tilt_Middle_RTM

Figura 376. Reporte de varias mediciones de SAR

25. Se desplegará una ventana “Please, enter the name of the report”, donde se debe ingresar el nombre del reporte que se desea generar.

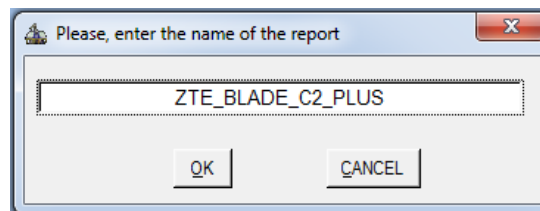


Figura 377. Ventana Please, enter the name of the report

26. Para visualizar los reportes generados se debe ir a la dirección C:\OpenSAR_V4\meas\nombre del proyecto. Se generan dos reportes, un archivo Word donde está el informe de la medición o las mediciones de SAR y un archivo Excel que especifica en una tabla la información importante de la medición o las mediciones de SAR.

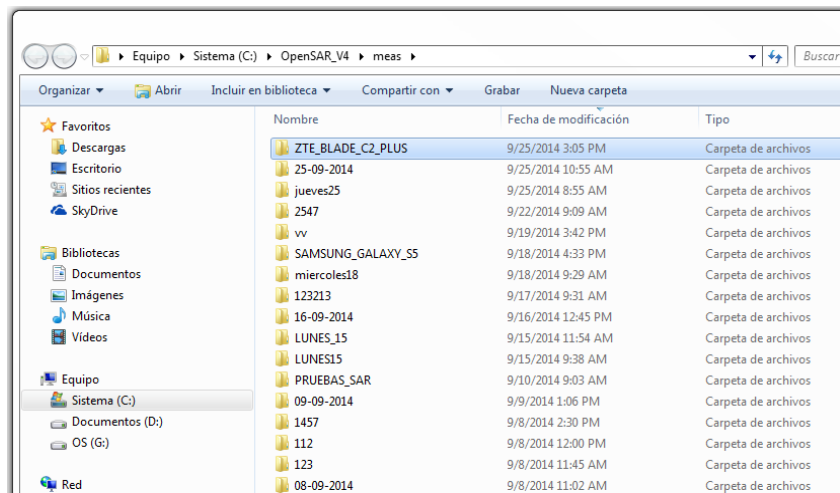


Figura 378. Dirección C:\OpenSAR_V4\meas\ZTE_BLADE_C2_PLUS

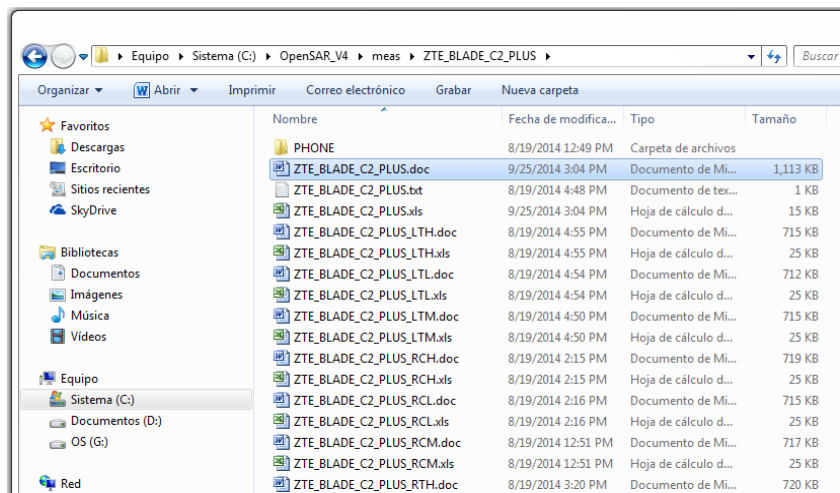


Figura 379. Archivo Word generado

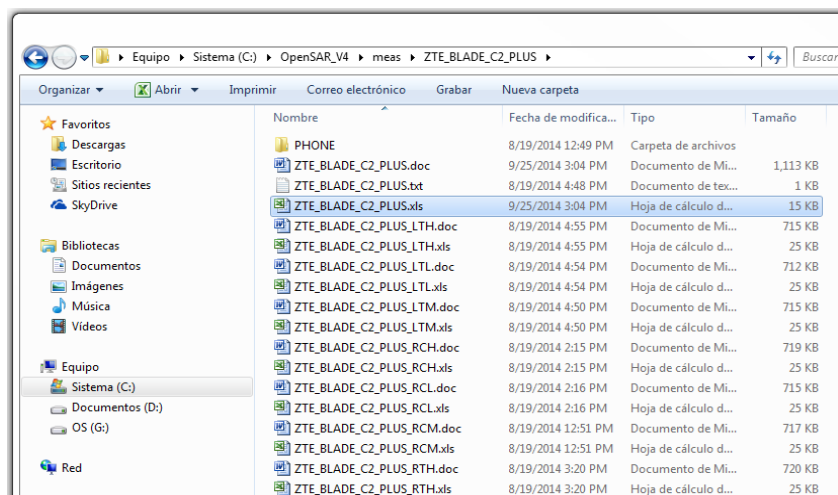


Figura 380. Archivo Excel generado

3.4 PRUEBAS REALIZADAS EN EL LABORATORIO

3.4.1 Validación del Sistema

1. La validación del sistema se la debe realizar antes de las mediciones de SAR al equipo bajo prueba. El plazo de validez del sistema es de 24 horas. Antes de realizar la validación del sistema se debe haber realizado los siguientes procedimientos:
 - Inicialización del Sistema.
 - Medición de Líquidos (850 MHz y 1900 MHz).
 - Llenado del líquido de medición al fantoma SAM (850 MHz y 1900 MHz).
 - Posicionamiento de los dipolos de validación (835 MHz y 1900 MHz).

2. A continuación se debe validar los dipolos. Se valida los dipolos en las frecuencias de 835 MHz y 1900 MHz. Antes de realizar la validación de los dipolos hay que compensar las pérdidas de la señal. Para determinar las

pérdidas de la señal se generan las siguientes señales en el generador de señales vectoriales:

- Señal CW portadora a 835 MHz con potencia de -30 dBm.
- Señal CW portadora a 1900 MHz con potencia de -30 dBm.

3. Con el medidor de potencia se mide las pérdidas de la señal en dos puntos:

3.1 El primer punto donde se mide la potencia de la señal es después de amplificar la señal con el amplificador de potencia.



Figura 381. Primer punto de medición

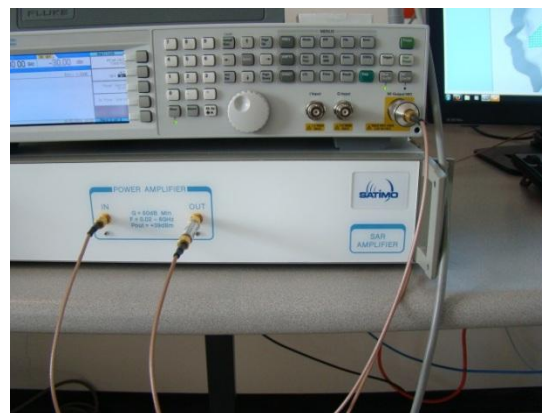


Figura 382. Salida del amplificador de potencia

3.2 El segundo punto donde se mide la potencia de la señal es dentro de la cámara semianecoica. Dentro de la cámara semianecoica se encuentra el cable donde se realiza la segunda medición.

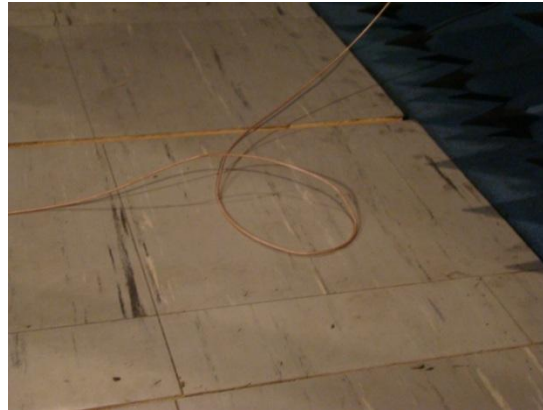


Figura 383. Cable dentro de la cámara

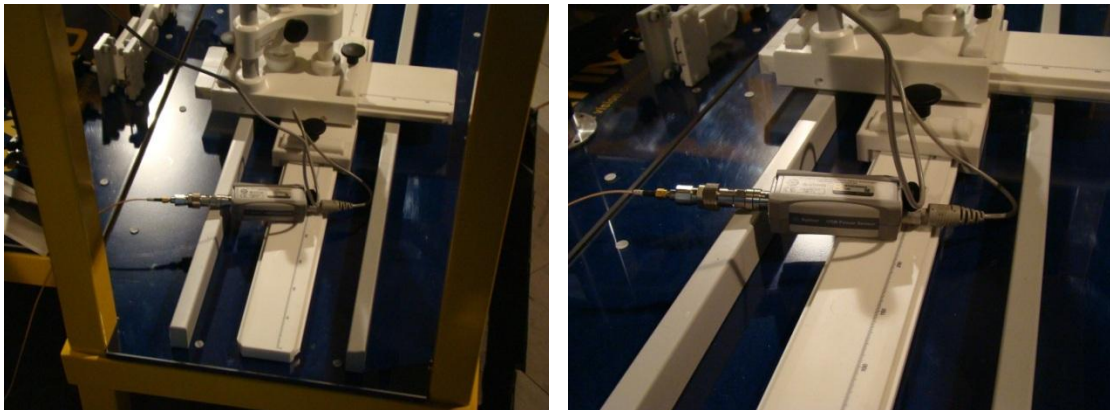


Figura 384. Segundo punto de medición

4. Al conocer las pérdidas de la señal. Ya podemos realizar la validación de los dipolos. En la tabla 29 se muestra el valor de la pérdida de potencia de la señal en las diferentes frecuencias.

Tabla 29.

Pérdidas de la señal

Frecuencia	Potencia
835 MHz	15.46 dBm
1900 MHz	12.09 dBm

5. Conectar el cable que se encuentra en la cámara semianecoica al dipolo.

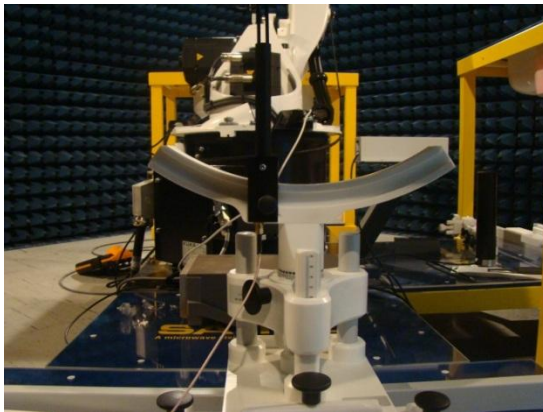


Figura 385. Dipolo 835 MHz

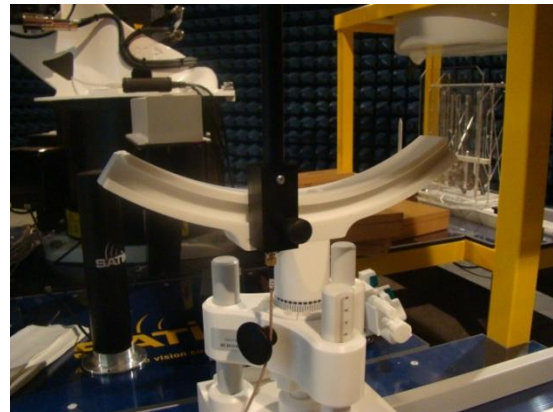


Figura 386. Dipolo 1900 MHz

6. Para realizar la validación de los dipolos en el software configuramos los siguientes parámetros:

Measurement Parameters	
Measurement Type	Validation
Phantom	Flat
Device position	Dipole
Standard	CW
Tested band	CW835
Channel	Middle
Liquid	Head Liquid

Figura 387. Parámetros de configuración

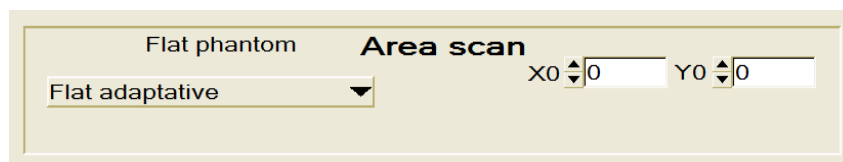
Tabla 30.**Dipolo 835 MHz**

Measurement Type	Validation
Phantom	Flat
Device position	Dipole
Standard	CW
Tested band	CW835
Liquid	Head Liquid

Tabla 31.**Dipolo 1900 MHz**

Measurement Type	Validation
Phantom	Flat
Device position	Dipole
Standard	CW
Tested band	CW1900
Liquid	Head Liquid

7. En la pantalla principal del programa OpenSAR. En el menú Area scan seleccionar la opción Flat adaptative.

**Figura 388. Opción Flat adaptative**

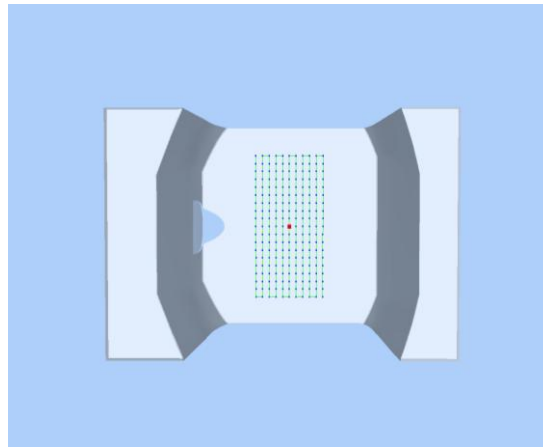


Figura 389. Area scan

8. 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.

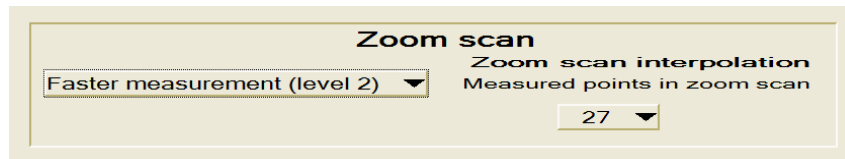


Figura 390. Zoom scan

9. En el menú Tools seleccionar la opción RF Gen.

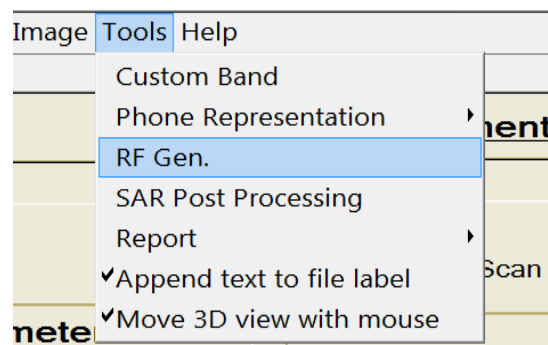


Figura 391. Opción RF Gen.

10. Se abrirá una ventana “Synthesizer / Power meter” donde se configura los parámetros para realizar la validación de los dipolos.

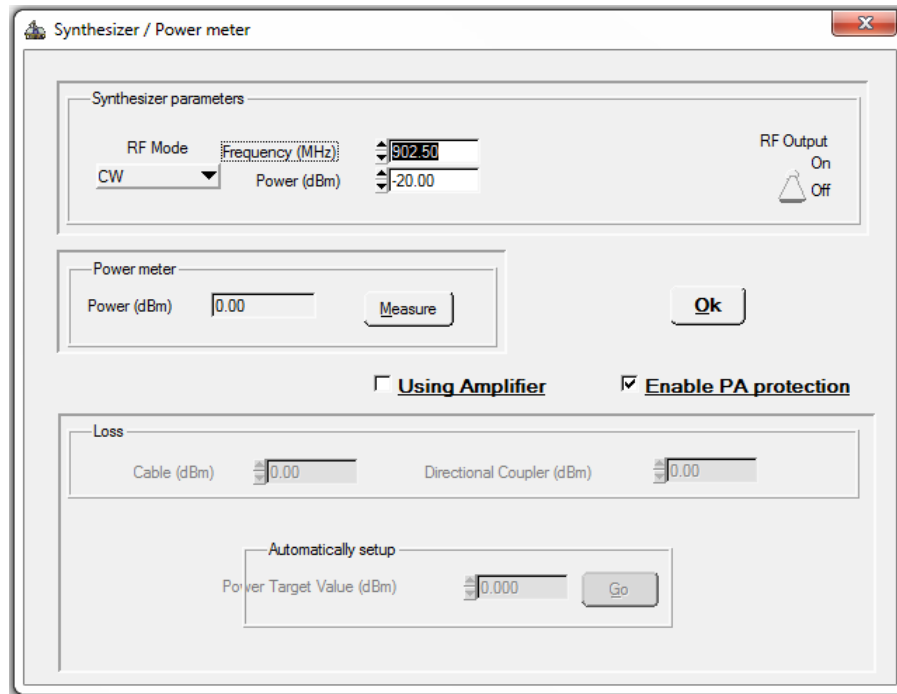


Figura 392. Synthesizer / Power meter

Tabla 32.

Parámetros dipolo 835 MHz

RF Mode	CW
Frequency	835 MHz
Power	-20 dBm
Using Amplifier	✓
Directional Coupler	15.46 dBm
Power Target Value	20 dBm
RF Output	On

Tabla 33.

Parámetros dipolo 1900 MHz

RF Mode	CW
Frequency	1900 MHz
Power	-20 dBm
Using Amplifier	✓
Directional Coupler	12.09 dBm
Power Target Value	20 dBm
RF Output	On

11. Dar clic en el botón Go.

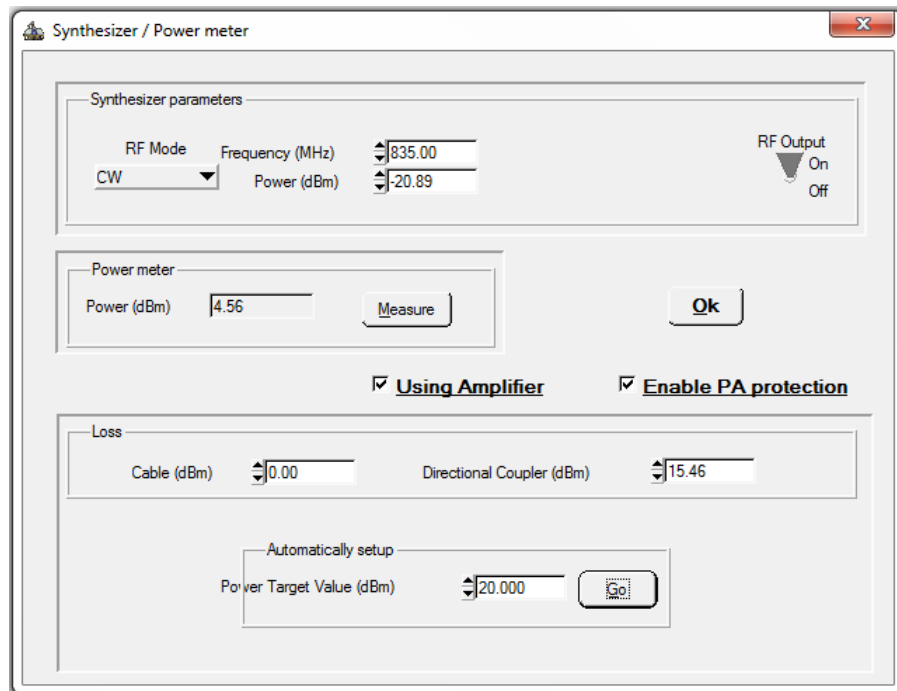


Figura 393. Configuración dipolo 835 MHz

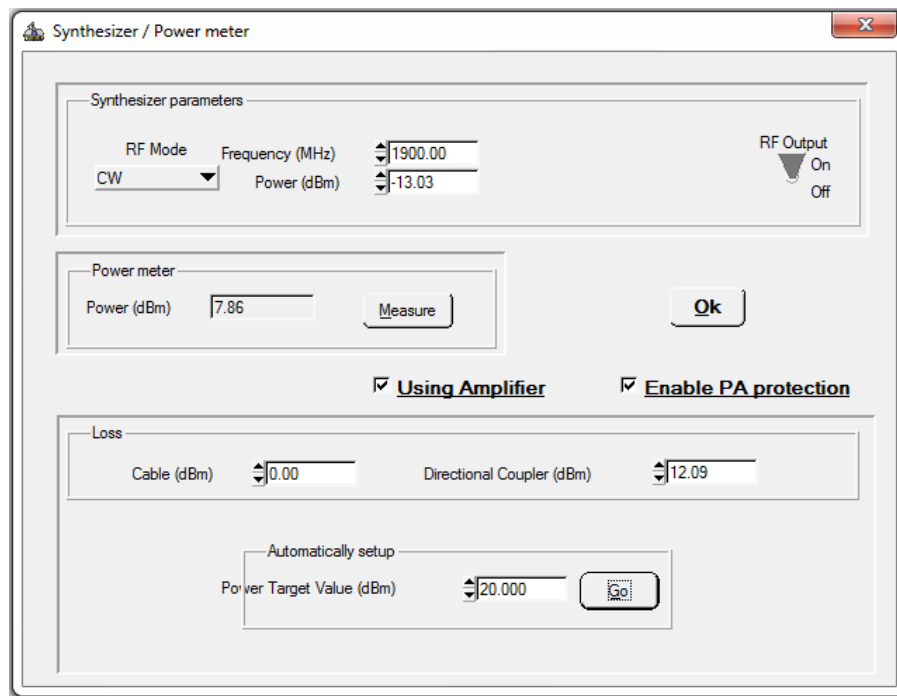


Figura 394. Configuración dipolo 1900 MHz

12. Cerrar la ventana Synthesizer / Power meter.
13. El líquido simulador debe ser agitado ligeramente y debe estar libre de burbujas de aire antes de realizar una medición de SAR. En el área de líquidos se encuentra las cucharas que se utilizan para agitar y liberar de burbujas el líquido simulador.



Figura 395. Líquido listo para las mediciones de SAR

14. Dar click en el botón START para iniciar la validación del dipolo. Al finalizar la medición de SAR, en el software OpenSAR aparecerá un mensaje donde se indica que la medición es válida. El software OpenSAR determina el valor de SAR del dipolo. El resultado de la medición de SAR se puede visualizar en la pantalla del programa OpenSAR.

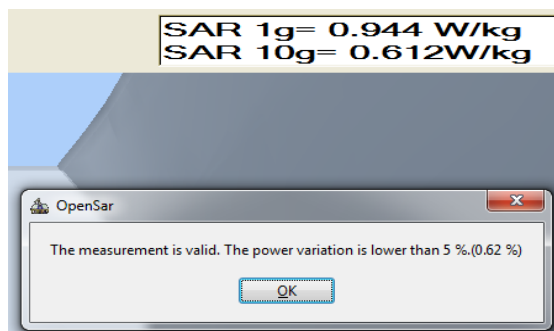


Figura 396. Resultado de la medición de SAR dipolo 835 MHz

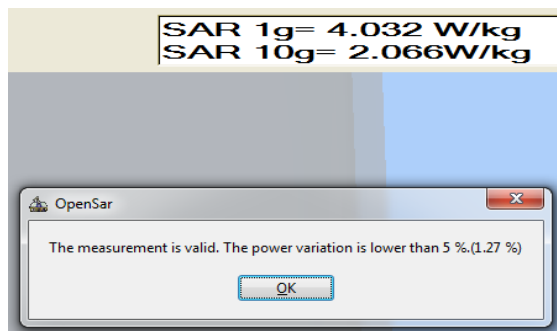


Figura 397. Resultado de la medición de SAR dipolo 1900 MHz

15. El resultado de la medición de SAR se debe comparar con el punto 7.2 del documento “SAR Reference Dipole Calibration Report”. Se comparará con el resultado de la medición de SAR realizada en el Laboratorio de SATIMO USA.

Tabla 34.

Resultados de la medición de SAR en el Laboratorio de SATIMO

Frecuencia	1g SAR	10g SAR
835 MHz	0.95 W/kg	0.61 W/kg
1900 MHz	4.05 W/kg	2.07 W/kg

Fuente: (LUC, 2014)

Tabla 35.

Resultados de la medición de SAR en el Laboratorio

Frecuencia	1g SAR	10g SAR
835 MHz	0.944 W/kg	0.612 W/kg
1900 MHz	4.032 W/kg	2.066 W/kg

16. Si la validación de los dipolos es correcta, los resultados de la medición de SAR deben ser similares. La validación del sistema está completa y ya se puede realizar las mediciones de SAR al dispositivo bajo prueba.

3.4.2 Especificaciones de las pruebas realizadas

Para realizar las pruebas de SAR a los teléfonos celulares se debe cumplir con los estándares internacionales para obtener resultados idóneos de las mediciones de SAR. A continuación se detallan las condiciones y especificaciones en las que se realizaron las pruebas de SAR:

- La temperatura ambiente debe estar en el rango entre 18 °C a 25 °C.
- La temperatura del líquido durante la medición de SAR debe estar dentro de ± 2 °C de la temperatura a la cual los parámetros dieléctricos del líquido fueron medidos.
- El fantoma SAM debe ser llenado con líquido simulador de tejido a una profundidad de $15 \pm 0,5$ cm, para evitar reflexiones en la superficie líquida.
- La batería debe estar completamente cargada antes de cada prueba.
- Las posiciones para la medición de SAR en equipos terminales portátiles que operan cerca de la cabeza son:
 - Posición mejilla ("cheek position").
 - Posición inclinada ("tilt position").
- El equipo terminal portátil se debe probar en las dos posiciones, en el lado derecho e izquierdo del fantoma SAM.
- La medición de SAR se debe realizar en los 3 canales (bajo, medio y alto).
- El líquido simulador del tejido debe ser siempre caracterizado antes de su uso en la medición de SAR. La caracterización es válida por un período de 24 horas, después de este plazo, se debe hacer una nueva caracterización para el uso del líquido simulador.

- El líquido simulador debe ser agitado ligeramente después de la introducción en el fantoma y debe estar libre de burbujas de aire para realizar la medición de SAR.
- El equipo bajo prueba debe utilizar su transmisor interno.
- El equipo bajo prueba no debe tener ninguna conexión externa para alimentación o conexión con la red al momento de realizar la prueba.
- El valor absoluto de la variación de potencia en las mediciones de SAR debe ser menor que el $\pm 5\%$.
- La validación del sistema es válida por un período de 24 horas, después de este plazo, se debe realizar una nueva validación del sistema.

3.4.3 Resultados obtenidos en el Laboratorio

3.4.3.1 Nokia Lumia 925.1

Tabla 36.

Características técnicas Nokia Lumia 925.1

Red 2G	GSM/GPRS/EGPRS: 850 MHz / 900 MHz /1800 MHz / 1900 MHz
Red 3G	UMTS/HSPA/HSPA+: 850 MHz / 900 MHz / 1900 MHz / 2100 MHz
Red 4G	LTE: 800 MHz / 900 MHz / 1800 MHz / 2100 MHz / 2600 MHz
Dimensiones	129 x 70.6 x 8.5 mm
Peso	139 g
Batería	2000 mAh

Fuente: (VIAMOVIL)

Tabla 37.

Mediciones de SAR GSM 1900 cabeza izquierda Nokia Lumia 925.1

	Banda GSM	Canal	Frecuencia	Fantoma	Posición del EBP	SAR 10g	SAR 1g
Measurement 1	GSM1900	Medio	1880.0 MHz	Left head	Cheek	0,305	0,492
Measurement 2	GSM1900	Bajo	1850.4 MHz	Left head	Cheek	0,281	0,446
Measurement 3	GSM1900	Alto	1909.6 MHz	Left head	Cheek	0,303	0,500
Measurement 4	GSM1900	Medio	1880.0 MHz	Left head	Tilt	0,079	0,123
Measurement 5	GSM1900	Bajo	1850.4 MHz	Left head	Tilt	0,083	0,132
Measurement 6	GSM1900	Alto	1909.6 MHz	Left head	Tilt	0,083	0,130

Tabla 38.

Mediciones de SAR GSM 1900 cabeza derecha Nokia Lumia 925.1

	Banda GSM	Canal	Frecuencia	Fantoma	Posición del EBP	SAR 10g	SAR 1g
Measurement 7	GSM1900	Medio	1880.0 MHz	Right head	Cheek	0,210	0,342
Measurement 8	GSM1900	Bajo	1850.4 MHz	Right head	Cheek	0,198	0,320
Measurement 9	GSM1900	Alto	1909.6 MHz	Right head	Cheek	0,199	0,327
Measurement 10	GSM1900	Medio	1880.0 MHz	Right head	Tilt	0,104	0,176
Measurement 11	GSM1900	Bajo	1850.4 MHz	Right head	Tilt	0,115	0,201
Measurement 12	GSM1900	Alto	1909.6 MHz	Right head	Tilt	0,098	0,165

Tabla 39.

Mediciones de SAR GSM 850 cabeza izquierda Nokia Lumia 925.1

	Banda GSM	Canal	Frecuencia	Fantoma	Posición del EBP	SAR 10g	SAR 1g
Measurement 13	GSM850	Medio	836.4 MHz	Left head	Cheek	0,304	0,435
Measurement 14	GSM850	Bajo	824.2 MHz	Left head	Cheek	0,320	0,418
Measurement 15	GSM850	Alto	848.6 MHz	Left head	Cheek	0,357	0,472
Measurement 16	GSM850	Medio	836.4 MHz	Left head	Tilt	0,246	0,310
Measurement 17	GSM850	Bajo	824.2 MHz	Left head	Tilt	0,282	0,366
Measurement 18	GSM850	Alto	848.6 MHz	Left head	Tilt	0,257	0,330

Tabla 40.

Mediciones de SAR GSM 850 cabeza derecha Nokia Lumia 925.1

	Banda GSM	Canal	Frecuencia	Fantoma	Posición del EBP	SAR 10g	SAR 1g
Measurement 19	GSM850	Medio	836.4 MHz	Right head	Cheek	0,443	0,593
Measurement 20	GSM850	Bajo	824.2 MHz	Right head	Cheek	0,443	0,591
Measurement 21	GSM850	Alto	848.6 MHz	Right head	Cheek	0,444	0,608
Measurement 22	GSM850	Medio	836.4 MHz	Right head	Tilt	0,328	0,425
Measurement 23	GSM850	Bajo	824.2 MHz	Right head	Tilt	0,350	0,462
Measurement 24	GSM850	Alto	848.6 MHz	Right head	Tilt	0,347	0,441

3.4.3.2 Samsung Galaxy S5 Mini

Tabla 41.

Características técnicas Samsung Galaxy S5 Mini

Red 2G	GSM/GPRS/EGPRS: 850 MHz / 900 MHz /1800 MHz / 1900 MHz
Red 3G	UMTS/HSPA/HSPA+: 850 MHz / 900 MHz / 1900 MHz / 2100 MHz
Dimensiones	131.1 x 64.8 x 9.1 mm
Peso	120 g
Batería	2100 mAh

Fuente: (smartGSM)

Tabla 42.

Mediciones de SAR GSM 1900 cabeza izquierda Samsung Galaxy S5 Mini

	Banda GSM	Canal	Frecuencia	Fantoma	Posición del EBP	SAR 10g	SAR 1g
Measurement 1	GSM1900	Medio	1880.0 MHz	Left head	Cheek	0,431	0,761
Measurement 2	GSM1900	Bajo	1850.4 MHz	Left head	Cheek	0,362	0,621
Measurement 3	GSM1900	Alto	1909.6 MHz	Left head	Cheek	0,361	0,641
Measurement 4	GSM1900	Medio	1880.0 MHz	Left head	Tilt	0,232	0,395
Measurement 5	GSM1900	Bajo	1850.4 MHz	Left head	Tilt	0,191	0,320
Measurement 6	GSM1900	Alto	1909.6 MHz	Left head	Tilt	0,159	0,257

Tabla 43.

Mediciones de SAR GSM 1900 cabeza derecha Samsung Galaxy S5 Mini

	Banda GSM	Canal	Frecuencia	Fantoma	Posición del EBP	SAR 10g	SAR 1g
Measurement 7	GSM1900	Medio	1880.0 MHz	Right head	Cheek	0,310	0,522
Measurement 8	GSM1900	Bajo	1850.4 MHz	Right head	Cheek	0,293	0,481
Measurement 9	GSM1900	Alto	1909.6 MHz	Right head	Cheek	0,282	0,467
Measurement 10	GSM1900	Medio	1880.0 MHz	Right head	Tilt	0,182	0,313
Measurement 11	GSM1900	Bajo	1850.4 MHz	Right head	Tilt	0,168	0,284
Measurement 12	GSM1900	Alto	1909.6 MHz	Right head	Tilt	0,164	0,282

Tabla 44.

Mediciones de SAR GSM 850 cabeza izquierda Samsung Galaxy S5 Mini

	Banda GSM	Canal	Frecuencia	Fantoma	Posición del EBP	SAR 10g	SAR 1g
Measurement 13	GSM850	Medio	836.4 MHz	Left head	Cheek	0,309	0,426
Measurement 14	GSM850	Bajo	824.2 MHz	Left head	Cheek	0,233	0,317
Measurement 15	GSM850	Alto	848.6 MHz	Left head	Cheek	0,396	0,541
Measurement 16	GSM850	Medio	836.4 MHz	Left head	Tilt	0,215	0,288
Measurement 17	GSM850	Bajo	824.2 MHz	Left head	Tilt	0,161	0,213
Measurement 18	GSM850	Alto	848.6 MHz	Left head	Tilt	0,277	0,374

Tabla 45.

Mediciones de SAR GSM 850 cabeza derecha Samsung Galaxy S5 Mini

	Banda GSM	Canal	Frecuencia	Fantoma	Posición del EBP	SAR 10g	SAR 1g
Measurement 19	GSM850	Medio	836.4 MHz	Right head	Cheek	0,227	0,317
Measurement 20	GSM850	Bajo	824.2 MHz	Right head	Cheek	0,176	0,245
Measurement 21	GSM850	Alto	848.6 MHz	Right head	Cheek	0,290	0,390
Measurement 22	GSM850	Medio	836.4 MHz	Right head	Tilt	0,179	0,238
Measurement 23	GSM850	Bajo	824.2 MHz	Right head	Tilt	0,134	0,175
Measurement 24	GSM850	Alto	848.6 MHz	Right head	Tilt	0,233	0,310

3.4.3.3 Zte Blade C2 Plus

Tabla 46.

Características técnicas Zte Blade C2 Plus

Red 2G	GSM/GPRS/EGPRS: 850 MHz / 900 MHz /1800 MHz / 1900 MHz
Red 3G	UMTS/HSPA/HSPA+: 850 MHz / 1900 MHz
Dimensiones	126.4 x 64.8 x 10.3 mm
Peso	135.4 g
Batería	1600 mAh

Fuente: (SUPERTEL, 2014)

Tabla 47.

Mediciones de SAR GSM 1900 cabeza izquierda Zte Blade C2 Plus

	Banda GSM	Canal	Frecuencia	Fantoma	Posición del EBP	SAR 10g	SAR 1g
Measurement 1	GSM1900	Medio	1880.0 MHz	Left head	Cheek	0,076	0,120
Measurement 2	GSM1900	Bajo	1850.4 MHz	Left head	Cheek	0,099	0,162
Measurement 3	GSM1900	Alto	1909.6 MHz	Left head	Cheek	0,071	0,116
Measurement 4	GSM1900	Medio	1880.0 MHz	Left head	Tilt	0,049	0,072
Measurement 5	GSM1900	Bajo	1850.4 MHz	Left head	Tilt	0,057	0,085
Measurement 6	GSM1900	Alto	1909.6 MHz	Left head	Tilt	0,042	0,062

Tabla 48.

Mediciones de SAR GSM 1900 cabeza derecha Zte Blade C2 Plus

	Banda GSM	Canal	Frecuencia	Fantoma	Posición del EBP	SAR 10g	SAR 1g
Measurement 7	GSM1900	Medio	1880.0 MHz	Right head	Cheek	0,093	0,160
Measurement 8	GSM1900	Bajo	1850.4 MHz	Right head	Cheek	0,108	0,183
Measurement 9	GSM1900	Alto	1909.6 MHz	Right head	Cheek	0,080	0,134
Measurement 10	GSM1900	Medio	1880.0 MHz	Right head	Tilt	0,039	0,057
Measurement 11	GSM1900	Bajo	1850.4 MHz	Right head	Tilt	0,029	0,044
Measurement 12	GSM1900	Alto	1909.6 MHz	Right head	Tilt	0,045	0,067

Tabla 49.

Mediciones de SAR GSM 850 cabeza izquierda Zte Blade C2 Plus

	Banda GSM	Canal	Frecuencia	Fantoma	Posición del EBP	SAR 10g	SAR 1g
Measurement 13	GSM850	Medio	836.4 MHz	Left head	Cheek	0,189	0,259
Measurement 14	GSM850	Bajo	824.2 MHz	Left head	Cheek	0,144	0,194
Measurement 15	GSM850	Alto	848.6 MHz	Left head	Cheek	0,234	0,316
Measurement 16	GSM850	Medio	836.4 MHz	Left head	Tilt	0,185	0,240
Measurement 17	GSM850	Bajo	824.2 MHz	Left head	Tilt	0,149	0,197
Measurement 18	GSM850	Alto	848.6 MHz	Left head	Tilt	0,240	0,314

Tabla 50.

Mediciones de SAR GSM 850 cabeza derecha Zte Blade C2 Plus

	Banda GSM	Canal	Frecuencia	Fantoma	Posición del EBP	SAR 10g	SAR 1g
Measurement 19	GSM850	Medio	836.4 MHz	Right head	Cheek	0,211	0,287
Measurement 20	GSM850	Bajo	824.2 MHz	Right head	Cheek	0,169	0,230
Measurement 21	GSM850	Alto	848.6 MHz	Right head	Cheek	0,275	0,368
Measurement 22	GSM850	Medio	836.4 MHz	Right head	Tilt	0,182	0,242
Measurement 23	GSM850	Bajo	824.2 MHz	Right head	Tilt	0,141	0,188
Measurement 24	GSM850	Alto	848.6 MHz	Right head	Tilt	0,240	0,326

3.4.3.4 Huawei Ascend Y600D

Tabla 51.

Características técnicas Huawei Ascend Y600D

Red 2G	GSM/GPRS/EGPRS: 850 MHz / 900 MHz /1800 MHz / 1900 MHz
Red 3G	UMTS/HSPA/HSPA+: 850 MHz / 1900 MHz / 2100 MHz
Dimensiones	144.5 x 74.5 x 10.8 mm
Peso	180 g
Batería	2100 mAh

Fuente: (SUPERTEL, 2014)

Tabla 52.

Mediciones de SAR GSM 1900 cabeza izquierda Huawei Ascend Y600D

	Banda GSM	Canal	Frecuencia	Fantoma	Posición del EBP	SAR 10g	SAR 1g
Measurement 1	GSM1900	Medio	1880.0 MHz	Left head	Cheek	0,162	0,272
Measurement 2	GSM1900	Bajo	1850.4 MHz	Left head	Cheek	0,156	0,253
Measurement 3	GSM1900	Alto	1909.6 MHz	Left head	Cheek	0,156	0,263
Measurement 4	GSM1900	Medio	1880.0 MHz	Left head	Tilt	0,084	0,125
Measurement 5	GSM1900	Bajo	1850.4 MHz	Left head	Tilt	0,102	0,157
Measurement 6	GSM1900	Alto	1909.6 MHz	Left head	Tilt	0,072	0,108

Tabla 53.

Mediciones de SAR GSM 1900 cabeza derecha Huawei Ascend Y600D

	Banda GSM	Canal	Frecuencia	Fantoma	Posición del EBP	SAR 10g	SAR 1g
Measurement 7	GSM1900	Medio	1880.0 MHz	Right head	Cheek	0,209	0,354
Measurement 8	GSM1900	Bajo	1850.4 MHz	Right head	Cheek	0,223	0,371
Measurement 9	GSM1900	Alto	1909.6 MHz	Right head	Cheek	0,208	0,355
Measurement 10	GSM1900	Medio	1880.0 MHz	Right head	Tilt	0,101	0,152
Measurement 11	GSM1900	Bajo	1850.4 MHz	Right head	Tilt	0,139	0,213
Measurement 12	GSM1900	Alto	1909.6 MHz	Right head	Tilt	0,114	0,178

Tabla 54.

Mediciones de SAR GSM 850 cabeza izquierda Huawei Ascend Y600D

	Banda GSM	Canal	Frecuencia	Fantoma	Posición del EBP	SAR 10g	SAR 1g
Measurement 13	GSM850	Medio	836.4 MHz	Left head	Cheek	0,292	0,386
Measurement 14	GSM850	Bajo	824.2 MHz	Left head	Cheek	0,277	0,373
Measurement 15	GSM850	Alto	848.6 MHz	Left head	Cheek	0,310	0,417
Measurement 16	GSM850	Medio	836.4 MHz	Left head	Tilt	0,222	0,292
Measurement 17	GSM850	Bajo	824.2 MHz	Left head	Tilt	0,211	0,271
Measurement 18	GSM850	Alto	848.6 MHz	Left head	Tilt	0,213	0,282

Tabla 55.

Mediciones de SAR GSM 850 cabeza derecha Huawei Ascend Y600D

	Banda GSM	Canal	Frecuencia	Fantoma	Posición del EBP	SAR 10g	SAR 1g
Measurement 19	GSM850	Medio	836.4 MHz	Right head	Cheek	0,258	0,334
Measurement 20	GSM850	Bajo	824.2 MHz	Right head	Cheek	0,255	0,332
Measurement 21	GSM850	Alto	848.6 MHz	Right head	Cheek	0,258	0,343
Measurement 22	GSM850	Medio	836.4 MHz	Right head	Tilt	0,205	0,269
Measurement 23	GSM850	Bajo	824.2 MHz	Right head	Tilt	0,201	0,253
Measurement 24	GSM850	Alto	848.6 MHz	Right head	Tilt	0,233	0,301

3.5 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

3.5.1 Comparación entre la norma Europea y la norma de Estados Unidos

Europa acepta el estándar de la IEEE con un límite de 2 W/kg en una masa de 10g. Estados Unidos acepta el estándar de la FCC con un límite de 1,6 W/kg en una masa de 1g. La diferencia entre los estándares de 1,6 W/kg y 2 W/kg no puede parecer considerable, pero el volumen promedio es el factor clave. Si analizamos la siguiente fórmula para el cálculo de la tasa de absorción específica:

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad (3.1)$$

La unidad que se toma para el cálculo de la tasa de absorción específica es de volumen y no de masa. La diferencia está en la expansión del volumen alrededor del punto de cálculo hasta contener la masa requerida de 1g o 10g. Al realizar la medición de la tasa de absorción específica el cubo es diferente. El cubo analizado en la norma Europea es más grande que el cubo que se analiza en la norma Americana. Un SAR de 2 W/kg sobre 10g, permite una mayor emisión a la exposición de campos electromagnéticos.

Los resultados de las mediciones de SAR realizadas a los teléfonos celulares indican que el SAR de 2 W/kg sobre 10g es menor que el SAR de 1.6 W/kg sobre 1g en condiciones iguales. Evaluar la tasa de absorción específica en 1g o 10g afecta la relación de los estándares por un factor de dos o tres. Para explicarlo, un SAR de 2 W/kg sobre 10g es aproximadamente equivalente a un SAR de 4 o 6 W/kg sobre 1g.

Europa aprueba el límite de 2 W/kg en una masa de 10g por facilidad de fabricación. Para los fabricantes de teléfonos móviles este estándar favorece a la producción de sus equipos ya que el valor límite es 2W/kg no es tan restringido.

Estados Unidos aprueba el límite de 1,6 W/kg en una masa de 1g. Este estándar es más restringido, adecuado para la verificación técnica de teléfonos celulares ya que garantiza el resultado al realizar la medición de SAR.

3.5.2 Comparación con los certificados internacionales

Para realizar la comparación de los resultados de las mediciones de SAR obtenidos en el Laboratorio se basó en los informes de SAR (bandas GSM) emitidos por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC).

La FCC es un organismo internacional reconocido por el CONATEL. Dentro del proceso de homologación de equipos terminales de telecomunicaciones el certificado de la FCC es el más utilizado (99%).

3.5.2.1 Nokia Lumia 925.1

FCC ID: PYARM-892

Tabla 56

Comparación de resultados Nokia Lumia 925.1

SAR Laboratorio			SAR FCC		
GSM	Frecuencia	Posición	GSM	Frecuencia	Posición
850 MHz	836.4 MHz	Left cheek	850 MHz	836.6 MHz	Left cheek
0.435 W/kg			0.396 W/kg		
1900 MHz	1880.0 MHz	Left cheek	12.09 dBm	1880.0 MHz	Left cheek
0.492 W/kg			0.583 W/kg		

Fuente: (TCC Nokia, 2013)

3.5.2.2 Samsung Galaxy S5 Mini

FCC ID: A3LSMG800H

Tabla 57

Comparación de resultados GSM 850 Samsung Galaxy S5 Mini

SAR Laboratorio			SAR FCC		
GSM	Frecuencia	Posición	GSM	Frecuencia	Posición
850 MHz	836.4 MHz	Right cheek	850 MHz	836.6 MHz	Right cheek
0.317 W/kg			0.222 W/kg		
850 MHz	836.4 MHz	Right tilt	12.09 dBm	836.6 MHz	Right tilt
0.238 W/kg			0.154 W/kg		
850 MHz	836.4 MHz	Left cheek	850 MHz	836.6 MHz	Left cheek
0.426 W/kg			0.304 W/kg		
850 MHz	836.4 MHz	Left tilt	12.09 dBm	836.6 MHz	Left tilt
0.288 W/kg			0.195 W/kg		

Fuente: (PCTEST ENGINEERING LABORATORY, 2014)

Tabla 58**Comparación de resultados GSM 1900 Samsung Galaxy S5 Mini**

SAR Laboratorio			SAR FCC		
GSM	Frecuencia	Posición	GSM	Frecuencia	Posición
1900 MHz	1880.0 MHz	Right cheek	1900 MHz	1880.0 MHz	Right cheek
0.522 W/kg			0.398 W/kg		
1900 MHz	1880.0 MHz	Right tilt	12.09 dBm	1880.0 MHz	Right tilt
0.313 W/kg			0.260 W/kg		
1900 MHz	1880.0 MHz	Left cheek	1900 MHz	1880.0 MHz	Left cheek
0.761 W/kg			0.725 W/kg		
1900 MHz	1880.0 MHz	Left tilt	12.09 dBm	1880.0 MHz	Left tilt
0.395 W/kg			0.171 W/kg		

Fuente: (PCTEST ENGINEERING LABORATORY, 2014)

3.5.2.3 Zte Blade C2 Plus

FCC ID: SRQ-ZTEV813W

Tabla 59**Comparación de resultados GSM 850 Zte Blade C2 Plus**

SAR Laboratorio			SAR FCC		
GSM	Frecuencia	Posición	GSM	Frecuencia	Posición
850 MHz	836.4 MHz	Right cheek	850 MHz	836.4 MHz	Right cheek
0.287 W/kg			0.686 W/kg		
850 MHz	836.4 MHz	Right tilt	12.09 dBm	836.4 MHz	Right tilt
0.242 W/kg			0.456 W/kg		
850 MHz	836.4 MHz	Left cheek	850 MHz	836.4 MHz	Left cheek
0.259 W/kg			0.569 W/kg		
850 MHz	836.4 MHz	Left tilt	12.09 dBm	836.4 MHz	Left tilt
0.240 W/kg			0.431 W/kg		

Fuente: (SPORTON LAB., 2014)

Tabla 60**Comparación de resultados GSM 1900 Zte Blade C2 Plus**

SAR Laboratorio			SAR FCC		
GSM	Frecuencia	Posición	GSM	Frecuencia	Posición
1900 MHz	1850.4 MHz	Right cheek	1900 MHz	1850.2 MHz	Right cheek
0.183 W/kg			0.208 W/kg		
1900 MHz	1850.4 MHz	Right tilt	12.09 dBm	1850.2 MHz	Right tilt
0.044 W/kg			0.066 W/kg		
1900 MHz	1850.4 MHz	Left cheek	1900 MHz	1850.2 MHz	Left cheek
0.162 W/kg			0.175 W/kg		
1900 MHz	1850.4 MHz	Left tilt	12.09 dBm	1850.2 MHz	Left tilt
0.085 W/kg			0.074 W/kg		

Fuente: (SPORTON LAB., 2014)

3.5.2.4 Huawei Ascend Y600D

FCC ID: QISY600-U351

Tabla 61**Comparación de resultados GSM 850 Huawei Ascend Y600D**

SAR Laboratorio			SAR FCC		
GSM	Frecuencia	Posición	GSM	Frecuencia	Posición
850 MHz	836.4 MHz	Right cheek	850 MHz	836.6 MHz	Right cheek
0.334 W/kg			0.409 W/kg		
850 MHz	836.4 MHz	Right tilt	12.09 dBm	836.6 MHz	Right tilt
0.269 W/kg			0.293 W/kg		
850 MHz	836.4 MHz	Left cheek	850 MHz	836.6 MHz	Left cheek
0.386 W/kg			0.442 W/kg		
850 MHz	836.4 MHz	Left tilt	12.09 dBm	836.6 MHz	Left tilt
0.292 W/kg			0.263 W/kg		

Fuente: (ECIT, 2014)

Tabla 62**Comparación de resultados GSM 1900 Huawei Ascend Y600D**

SAR Laboratorio			SAR FCC		
GSM	Frecuencia	Posición	GSM	Frecuencia	Posición
1900 MHz	1880.0 MHz	Right cheek	1900 MHz	1880.0 MHz	Right cheek
0.354 W/kg			0.352 W/kg		
1900 MHz	1880.0 MHz	Right tilt	12.09 dBm	1880.0 MHz	Right tilt
0.152 W/kg			0.104 W/kg		
1900 MHz	1880.0 MHz	Left cheek	1900 MHz	1880.0 MHz	Left cheek
0.272 W/kg			0.331 W/kg		
1900 MHz	1880.0 MHz	Left tilt	12.09 dBm	1880.0 MHz	Left tilt
0.125 W/kg			0.105 W/kg		

Fuente: (ECIT, 2014)

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

✓ El protocolo para el procedimiento de pruebas técnicas de la tasa de absorción específica en la cabeza del ser humano de terminales con tecnología 2G consta de los siguientes procedimientos: Inicialización del Sistema, Medición de Líquidos, Llenado y Vaciado de Líquidos, Posicionamiento del Dispositivo Bajo Prueba, Medición de SAR a 850 MHz, Medición de SAR a 1900 MHz.

✓ Después de realizar las mediciones de SAR a los equipos bajo prueba, analizar los estándares internacionales y los límites de SAR. Se determinó que el estándar de los Estados Unidos con límite de 1,6 W/kg en una masa de 1g es más restringido, adecuado para realizar la verificación de SAR a los teléfonos celulares.

✓ Se desarrolló pruebas de la tasa de absorción específica en la banda de GSM 850 y en la banda GSM 1900. Los resultados de las mediciones de SAR realizadas a los teléfonos celulares indican que el SAR de 2 W/kg sobre 10g es del 21% al 44% menor que el SAR de 1.6 W/kg sobre 1g en condiciones iguales.

✓ Una vez que los cuatro teléfonos celulares se sometieron al protocolo establecido. El protocolo es minucioso y cumple con los estándares internacionales para

realizar pruebas de SAR. Los resultados de las mediciones fueron los esperados, ningún valor superó el límite de 1,6 W/kg en una masa de 1g y el límite de 2 W/kg en una masa de 10g.

✓ Los parámetros importantes que afectan a la energía absorbida en la cabeza humana expuesta a la radiación del teléfono celular son: el tipo de antena, la distancia entre la cabeza y la antena, la posición del teléfono celular y la potencia de transmisión.

✓ La comparación de los resultados de las mediciones de SAR realizadas en el Laboratorio de la SUPERTEL con la Comisión Federal de Comunicaciones no son válidos porque las condiciones en las que se realizaron las pruebas de SAR no fueron las mismas: temperatura ambiente, potencia del equipo bajo prueba, parámetros dieléctricos del líquido simulador, equipo bajo prueba y la potencia de transmisión.

✓ Al analizar los resultados de las mediciones de SAR a los equipos bajo prueba se comprobó que en las bandas GSM 850 y GSM 1900. En los canales bajo, medio y alto. En el fantoma derecho o izquierdo. En el SAR 1g y el SAR 10g. La posición tilt donde se forma un ángulo de 15° entre el oído del fantoma y el teléfono celular genera un menor valor de SAR.

✓ La tasa de absorción específica es un valor importante para determinar la máxima exposición posible a la energía de RF emitida por un teléfono celular. Las personas suponen erróneamente que al usar un teléfono celular con un menor valor informado de SAR la exposición del usuario a emisiones de RF es menor o más segura que al usar un teléfono celular con un valor informado de SAR más alto. Se analizó los siguientes casos:

- El teléfono celular A podría haber arrojado una sola medición más alta que todas las mediciones arrojadas por el teléfono celular B. Por lo tanto, se habría

informado un valor SAR más alto para el teléfono celular A, aunque el teléfono celular B hubiese arrojado mediciones más altas que el teléfono celular A en la mayoría de las posiciones o configuraciones de uso restantes. En ese caso, generalmente un usuario recibiría, en total, más energía de RF del teléfono celular B.

- Es posible que el teléfono celular A establezca comunicación de manera más eficiente que el teléfono celular B, en cuanto a que opera a una potencia menor que la del teléfono celular B, en condiciones comparables. En consecuencia, un usuario recibiría en total, más energía de RF del teléfono celular B.
- El valor más alto arrojado por el teléfono celular A podría proceder de una posición que el usuario rara vez o nunca adopta para sostener un teléfono, mientras que el usuario podría sostener el teléfono a menudo en la posición que arrojó el máximo valor para el teléfono celular B. Por lo tanto, el usuario recibiría la máxima exposición a RF arrojada por el teléfono celular B, pero no la máxima exposición arrojada por el teléfono celular A.

✓ Al realizar una llamada en las redes móviles del país, la exposición a la radiación del teléfono celular varía principalmente en función de la potencia de transmisión. Cuanto la potencia de transmisión es mayor la exposición del usuario a la radiación es mayor. La potencia de transmisión aumenta especialmente cuando el usuario realiza una llamada en condiciones desfavorables.

4.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda la norma de los Estados Unidos para que sea aplicada en el Ecuador. Los Estados Unidos acepta el estándar de la FCC con un límite de 1,6 W/kg en una masa de 1g para la exposición poblacional no controlada en partes del cuerpo.

- ✓ Se recomienda que la SUPERTEL utilice este protocolo para realizar mediciones de SAR a los teléfonos celulares en las bandas GSM 850 y GSM 1900.

- ✓ Se recomienda la realización de un protocolo para mediciones de SAR a equipos WLAN teniendo en cuenta sus estándares IEEE 802.11 a/b/g/n/ac, utilizando los equipos disponibles en el Laboratorio de la SUPERTEL.

- ✓ Los líquidos simuladores son muy importantes para realizar las mediciones de SAR. Se recomienda que la SUPERTEL agregue un protocolo para el mantenimiento de los líquidos, recuperación de los parámetros dieléctricos del líquido, preparación de los líquidos y manejo de residuos en el Laboratorio.

- ✓ En el procedimiento Medición de Líquidos se recomienda calibrar en el analizador de redes las pérdidas del cable RF para cada frecuencia por separado.

- ✓ Al realizar el posicionamiento del dispositivo bajo prueba. Se recomienda posicionar el teléfono celular de forma correcta. Una mala posición del teléfono altera los resultados de las mediciones de SAR.

- ✓ Se recomienda utilizar un kit de manos libres para las llamadas telefónicas esto reduce la exposición de la cabeza a las radiaciones de radiofrecuencia.

✓ Se recomienda utilizar un teléfono celular en buenas condiciones de recepción. El teléfono ajusta automáticamente la potencia de transmisión en función de las señales de radio que recibe del operador de la red móvil.

✓ Se recomienda utilizar las funcionalidades de SMS o internet ya que mantiene la distancia del teléfono celular lejos de la cabeza y del tronco, reduciendo la exposición a las radiaciones de RF.

✓ Al realizar o recibir una llamada se recomienda que la posición del teléfono celular sea la posición tilt donde se forma un ángulo de 15° entre el oído del usuario y el teléfono celular ya que reduce la exposición de la cabeza a las radiaciones de RF.

✓ El teléfono celular emite radiaciones de radiofrecuencia aun si no se realiza una llamada por lo que se encuentra conectado con la red móvil. Para evitar la exposición a las radiaciones de RF se recomienda mantener una distancia mínima de 15 cm entre el teléfono celular y el usuario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agilent Technologies. (s.f.). *refdocs: Agilent Technologies*. Recuperado el 23 de Enero de 2014, de sitio web de Agilent Technologies: <http://wireless.agilent.com/rfcomms/refdocs/>
- BS EN. (Marzo de 2012). Norma de producto para demostrar el cumplimiento de los teléfonos móviles con las restricciones básicas relacionadas con la exposición humana a los campos electromagnéticos (300 MHz - 3 GHz). *BS EN 50360*.
- Calvopiña, W. (s.f.). *Sistemas de Segunda Generación: Radiocomunicaciones Espaciales*. Recuperado el 5 de Junio de 2014, de sitio web de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo: <http://radioepoch.galeon.com/MATERIA/generacion2.pdf>
- CENELEC. (2001). *Electromagnetic fields in the human environment: CENELEC*. Obtenido de sitio web de CENELEC: <http://www.cenelec.eu/dyn>
- CNET. (s.f.). *Mobile, Phones, Cell phones radiation levels: CNET*. Recuperado el 16 de Junio de 2014, de sitio web de CNET: http://reviews.cnet.com/2719-6602_7-291-6.html
- CONATEL. (2007). *Reglamento para la homologación de equipos terminales de telecomunicaciones: Resolución No. 452-29-CONATEL-2007*. Recuperado el 10 de Abril de 2014, de sitio web de la Superintendencia de Telecomunicaciones: http://www.supertel.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=157:resolucion-no-452-29-conatel-2007-&catid=54:homologaciones&Itemid=307
- ECIT. (3 de Marzo de 2014). *Full SAR TEST REPORT: ECIT*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2014, de sitio web de la FCC: <https://apps.fcc.gov/eas/GetApplicationAttachment.html?id=2226082>
- EN. (Mayo de 1997). Cámaras anecóicas. Medida de la atenuación del apantallamiento. *EN-50147-1*.
- FCC. (1996). *SAR: FCC*. Obtenido de sitio web de la FCC: http://transition.fcc.gov/cgb/sar/welcome_spanish.html
- FCC. (Agosto de 1997). Evaluación de la Conformidad con las Directrices de FCC para la exposición humana a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia. *OET Bulletin 65*.

- FCC. (Junio de 2001). Suplemento C. Información adicional para Evaluación de la Conformidad con las Directrices de FCC para la exposición humana a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia. *OET Bulletin 65*.
- Franco, J. (2002). *Interacción de campos electromagnéticos con sistemas biológicos: Dosimetría y microdosimetría*. Facultad de Ciencias Físicas, Física Aplicada III. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Fundación Wikimedia. (6 de Noviembre de 2013). *Telefonía móvil 2G: Wikimedia*. Recuperado el 15 de Enero de 2014, de sitio web de Wikimedia Inc.: http://es.wikipedia.org/wiki/Telefonía_móvil_2G
- Fundación Wikimedia. (Marzo de 2014). *Telefonía móvil 2G. Protocolos de telefonía 2G: Wikimedia, Inc.* Recuperado el 12 de Junio de 2014, de sitio web de Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_2G
- Gillam-FEI. (s.f.). *UNISYNCE: Gillam-FEI*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2014, de sitio web de Gillam-FEI: <http://www.gillam-fei.be/products/synchronization/ssus-bits/unisynce-1u/>
- ICNIRP. (1994). *Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos*. Recuperado el Abril de 2014, de sitio web de ICNIRP: <http://www.icnirp.de/documents/emfgdlesp.pdf>
- ICNIRP. (1998). Recomendaciones para Limitar la Exposición a Campos Eléctricos, Magnéticos y Electromagnéticos (Hasta 300 GHz). *International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection e.V.*, 18-24.
- IEC. (Febrero de 2005). Exposición humana a los campos de radiofrecuencia de dispositivos inalámbricos de comunicación, de mano y montados en el cuerpo - Modelos humanos, instrumentación y procedimientos. *IEC 62209-1. Procedimiento para determinar la tasa de absorción específica (SAR) de los dispositivos de mano usados en las proximidades de la oreja (rango de frecuencia de 300 MHz a 3 GHz)*.
- IEEE. (2003). IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques. *IEEE Std 1528*.
- KEITHLEY. (s.f.). *Model 2000 Digital Multimeter: KEITHLEY*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2014, de sitio web de KEITHLEY: <http://www.keithley.com/products/dcac/dmm/broadpurpose/?mn=2000>

KEYSIGHT TECHNOLOGIES. (s.f.). *Key Features and Specifications MXG Vector Signal Generator: KEYSIGHT TECHNOLOGIES*. Recuperado el 6 de Septiembre de 2014, de sitio web de KEYSIGHT TECHNOLOGIES: <http://www.keysight.com/en/pd-797248-pn-N5182A/mxg-rf-vector-signal-generator?&cc=EC&lc=eng>

KEYSIGHT TECHNOLOGIES. (s.f.). *Key Features and Specifications Network Analyzer: KEYSIGHT TECHNOLOGIES*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2014, de sitio web de KEYSIGHT TECHNOLOGIES: <http://www.keysight.com/en/pd-810708-pn-E5071C/ena-series-network-analyzer?cc=US&lc=eng>

KEYSIGHT TECHNOLOGIES. (s.f.). *Key Features and Specifications Power Meter: KEYSIGHT TECHNOLOGIES*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2014, de sitio web de KEYSIGHT TECHNOLOGIES: <http://www.keysight.com/en/pd-1659613-pn-N1913A/epm-series-single-channel-power-meter?cc=US&lc=eng>

KEYSIGHT TECHNOLOGIES. (s.f.). *Key Features and Specifications Wireless Communications Test Set: KEYSIGHT TECHNOLOGIES*. Recuperado el 8 de Septiembre de 2014, de sitio web de KEYSIGHT TECHNOLOGIES: <http://www.keysight.com/en/pd-1000000847%3Aeps%3Apro-pn-E5515C/8960-series-10-wireless-communications-test-set?cc=EC&lc=eng>

KUKA Roboter GmbH. (s.f.). *KR C4: KUKA*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2014, de sitio web de KUKA Roboter GmbH: http://www.kuka-robotics.com/es/products/controllers/kr_c4/

KUKA Roboter GmbH. (s.f.). *KUKA SMARTPAD: KUKA*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2014, de sitio web de KUKA Roboter GmbH: <http://www.kuka-robotics.com/es/products/controllers/smartPAD/>

KUKA Roboter GmbH. (s.f.). *Los contorsionistas de la clase de cargas bajas KR 6-2: KUKA*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2014, de sitio web de Logismarket: <http://www.logismarket.es/ip/kuka-robots-iberica-robot-industrial-catalogo-robot-kuka-kr-6-506172.pdf>

López, J. (2009). *La exposición RF, Normas SAR y métodos de prueba: SAR DE RADIACIÓN*. Recuperado el 20 de Enero de 2014, de sitio web de GIGAHERTZ: <http://www.gigahertz.es/sar-metodo.html>

LUC, J. (2014). *SAR Reference Dipole Calibration Report*. Atlanta : SATIMO.

MICROWAVE VISION. (2008). *RF Safety. SAR and HAC test benches. OPENSAR SW: SATIMO*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2014, de sitio web de MICROWAVE VISION:

http://www.microwavevision.com/sites/www.microwavevision.com/files/files/MW%20GROUP_SAR_FINAL_0.pdf

Next-up organisation . (2010). Teléfono Móvil: Decreto y Orden para visualización de la DAS. *Maya - Prensa de Francia*.

Ornetta, V. (2004). *La Telefonía Móvil y su Salud*. Recuperado el 19 de Enero de 2014, de sitio web de World Health Organization: http://www.who.int/peh-emf/publications/en/esp_mobphonehealthbk.pdf

Pardell, X. (s.f.). *Specific Absorption Rate: X.Pardell*. Recuperado el 15 de Julio de 2014, de sitio web de X. Pardell: <http://www.pardell.es/specific-absorption-rate.html>

PCTEST ENGINEERING LABORATORY. (3 de Julio de 2014). *SAR EVALUATION REPORT: PCTEST*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2014, de sitio web de la FCC: <https://apps.fcc.gov/eas/GetApplicationAttachment.html?id=2314572>

Portal de compras públicas. (2011). *Contrato de implementación del Laboratorio de verificación técnica de equipos, Fase I: Portal de compras públicas*. Obtenido de sitio web de Compras Públicas: <https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/informacionProcesoContratacion.2cpe?idSoliCompra=kye7mKn0T6XtG0t5FD6KgW7hpLLCMATWCas6DJaTsiY>

Shimabuk, C. (2010). *Implementación de un sistema de ubicación y discernimiento entre tecnología celular GSM y satelital para el seguimiento de unidades móviles*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Shimabuko, C. (2010). *Implementación de un sistema de ubicación y discernimiento entre tecnología celular GSM y satelital para el seguimiento de unidades móviles*. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

smartGSM. (s.f.). *Características técnicas Samsung Galaxy S5 mini: smartGSM*. Recuperado el 12 de Octubre de 2014, de sitio web de smartGSM: <http://www.smart-gsm.com/moviles/samsung-galaxy-s5-mini>

Solano, F. (Julio de 2013). *Ensayos de laboratorio para la medida de la tasa de absorción específica (SAR) en dispositivos móviles*. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Telecomunicación. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

- SPORTON LAB. (19 de Mayo de 2014). *FCC SAR Test Report: SPORTON LAB*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2014, de sitio web de la FCC:
<https://apps.fcc.gov/eas/GetApplicationAttachment.html?id=2270696>
- SUPERTEL. (2013). Contrato para la adquisición de equipos para el laboratorio de homologación de equipos de telecomunicaciones, Fase II. *Acta de recepción única y definitiva del contrato PRG-2013-014*.
- SUPERTEL. (2013). Tasa de Absorción Específica SAR (Specific Absorption Rate). *Laboratorio de Homologación*.
- SUPERTEL. (2014). Especificaciones Técnicas Huawei Ascend Y600D. *HT 2014-08943*.
- SUPERTEL. (2014). ZTE Blade C2 Plus Product SPEC. *HT 2014-07250*.
- Taurisano, M., & Vander, A. (2000). On MTT 48. *IEEE* .
- TCC Nokia. (26 de Junio de 2013). *SAR Compliance Test Report: TCC Nokia*. Recuperado el 6 de Noviembre de 2014, de sitio web de la FCC:
<https://apps.fcc.gov/eas/GetApplicationAttachment.html?id=2035194>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (Febrero de 2000). Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos. *Recomendaciones UIT-T K.52*.
- UPS. (2007). *Capítulo 1. Tecnología GSM y CDMA: Universidad Politécnica Salesiana*. Recuperado el 5 de Junio de 2014, de sitio web de la UPS - Ingeniería Electrónica:
<http://dSPACE.ups.edu.ec/bitstream/123456789/177/2/Capitulo%201.pdf>
- VIAMOVIL. (s.f.). *Especificaciones Nokia Lumia 925.1: VIAMOVIL*. Recuperado el 10 de Octubre de 2014, de sitio web de VIAMOVIL:
<http://www.viamovil.es/producto/telefonos/nokia-lumia-925-1-white/1100>
- WorldTimeZone. (Mayo de 2014). *GSM Bands information by country: WorldTimeZone*. Recuperado el 24 de Junio de 2014, de sitio web de WorldTimeZone:
<http://www.worldtimezone.com/gsm.html>
- Zamorano, M., & Torres-Silva, H. (2005). SAR inducido en un modelo bioplasmático quiral por radiación de teléfonos celulares. *Revista Mexicana de Física*, 209-216.