

## **Protocolo de pruebas para evaluar el SAR (Tasa de Absorción Específica) producido por terminales móviles**

**Andrés F. Romero G.**

Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, Dirección de Políticas de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información y Comunicación, Av. 6 de Diciembre N25-75 y Av. Colón, Quito, Ecuador, 170143.

Autor para correspondencia: andres.romero@mintel.gob.ec

Fecha de recepción: 28 de septiembre 2015 - Fecha de aceptación: 12 de octubre 2015

### **RESUMEN**

Este artículo propone un protocolo de pruebas para evaluar la Tasa de absorción específica (SAR) producido por los teléfonos celulares. Primero se analiza la resolución emitida por el ex CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones) para la homologación de equipos terminales de telecomunicaciones. A continuación, se hace un estudio sobre la exposición a los campos electromagnéticos basado en los estándares internacionales para determinar los procedimientos apropiados para realizar las mediciones de SAR. El siguiente paso es analizar la tasa de absorción específica. 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. Fue posible determinar que estándar es el adecuado para realizar la verificación de SAR y que pueda ser aplicado en el Ecuador.

Palabras clave: Tasa de absorción específica, Campos electromagnéticos, Estándares internacionales, Sistema de medición, Protocolo de pruebas.

### **ABSTRACT**

This paper proposes a test protocol to evaluate the Specific Absorption Rate (SAR) produced by cell phones. First the resolution issued by ex CONATEL (National Telecommunications Council) for the approval of telecommunications terminal equipment is analyzed. Then a study on exposure to electromagnetic fields based on international standards to determine the appropriate procedures for SAR measurements is made. The next step is to analyze the specific absorption rate. Once done this theoretical study, the equipment and the SAR measurement system are specified, and then a testing protocol is developed to evaluate the SAR. It was possible to determine which is the appropriate standard for verification of SAR and can be applied in Ecuador.

Keywords: Specific absorption rate, Electromagnetic fields, International standards, Measurement system, testing protocol.

## **1. INTRODUCCIÓN**

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 (Acceso múltiple por división de tiempo) a CDMA (Acceso múltiple por división de código), 2G, 3G (UMTS - Sistema universal de telecomunicaciones móviles) y 4G (LTE - Evolución a largo plazo). 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 global de comunicaciones móviles (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, 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 radio frecuencia (Taurisano & Vander, 2000).

Las recomendaciones ICNIRP (Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No-Ionizantes) (ICNIRP, 1994) consideran dos tipos de SAR (Tasa de absorción específica) dentro de las restricciones básicas: el SAR de cuerpo entero que se produce en una persona por acción de las ondas emitidas por una estación base y el SAR localizado que es el que se aplica para determinar si un teléfono móvil cumple con las recomendaciones de seguridad. El SAR localizado en la cabeza recomendada por la ICNIRP es de 2 W/kg promedio sobre una masa de tejido de 10 g (Ornetta, 2004).

La Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos de América - FCC (FCC, 1996) ha adoptado para la exposición a la radiación de RF de teléfonos móviles el límite 1.6 W/kg promediado sobre cualquier tejido de 1g de masa. La Unión Europea ha adoptado la norma CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica) EN 50360 (Norma Europea) (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 10 g. Australia, Canadá y Nueva Zelanda han adoptado los límites de Estados Unidos de América. Japón y Corea han adoptado 2 W/Kg promedio sobre una masa de tejido de 10 g, tal como se utiliza en Europa (López, 2009).

## 2. SAR

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 1.** 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 ( $\rho$ ). La unidad en la que se expresa el SAR es (W/Kg) (Solano, 2013).

$$SAR = \frac{d}{dt} \left( \frac{dU}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left( \frac{dU}{\rho dv} \right) \quad (1)$$

O bien:

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

Donde:

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

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

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

La SAR (Tasa de absorción específica) 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):

$$SAR = C_i \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (3)$$

### 2.1. SAR en teléfonos móviles celulares

Un teléfono móvil celular es un radio de baja potencia (0.125 - 0.250 mW), 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 (radio frecuencia) a y desde la estación base. La potencia de la batería limita su potencia de transmisión. La radiación emitida por la antena es muy pequeña ( $1 \mu W/cm^2$ ), 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 restringiendo el flujo de aire a los mismos (Ornetta, 2004).

La energía RF (radio frecuencia) producida por el móvil es absorbida en el cuerpo y produce calentamiento, pero el proceso termorregulador 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.

## 3. PROTOCOLO DE MEDICIONES DE SAR

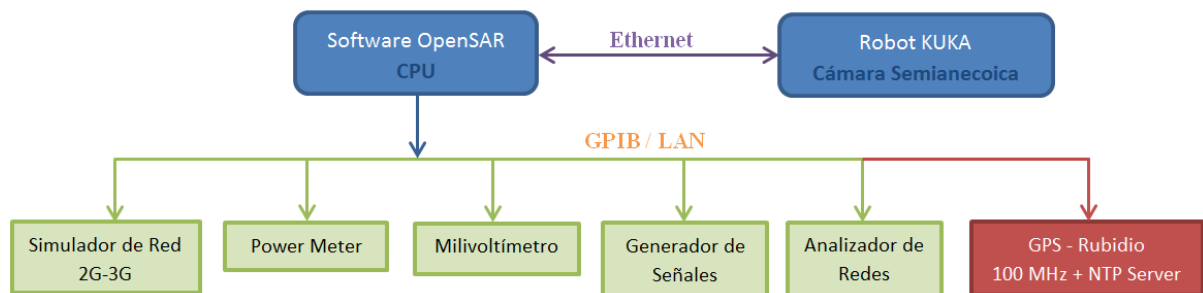
### 3.1. Esquema de conexión

En la Figura 3 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.



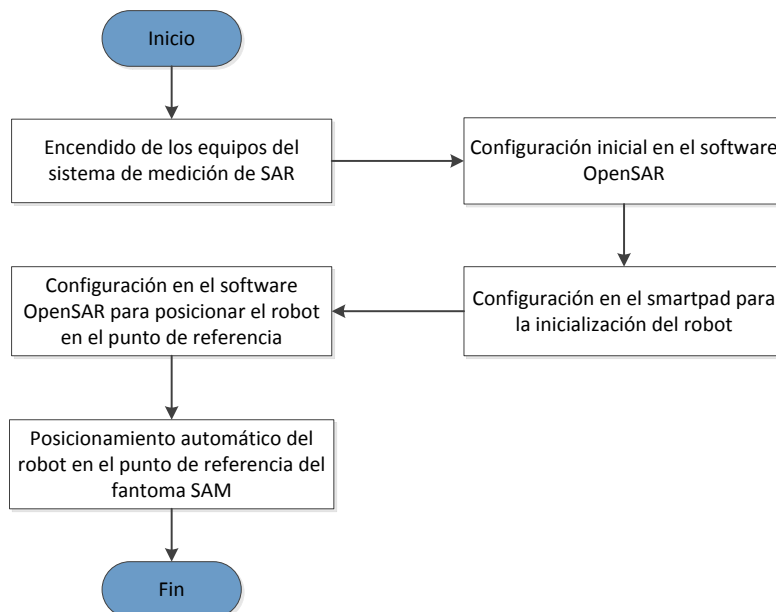
**Figura 2.** Zona afectada por la radiación de los teléfonos celulares.



**Figura 3.** Esquema de conexión.

### 3.2. Inicialización del sistema

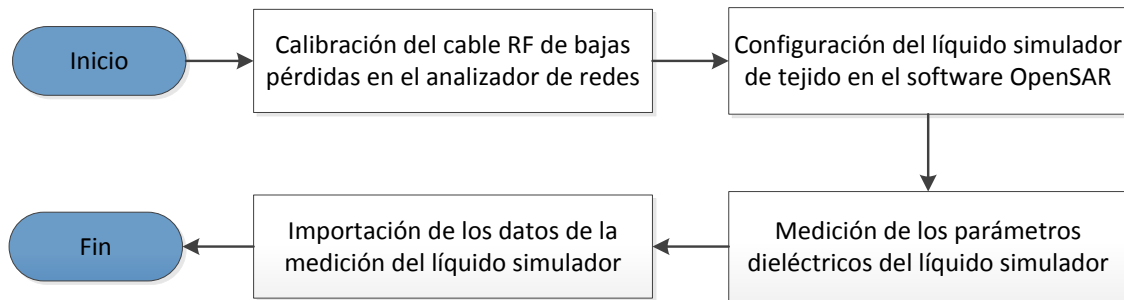
Se describe el procedimiento a seguir para inicializar los equipos del sistema de medición de SAR.



**Figura 4.** Inicialización del Sistema

### 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.

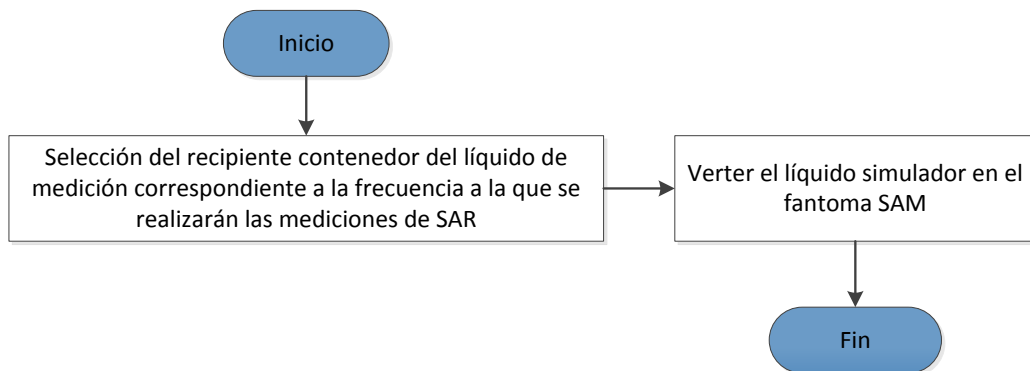


**Figura 5.** Medición de líquidos.

### 3.4. Llenado y vaciado de líquidos

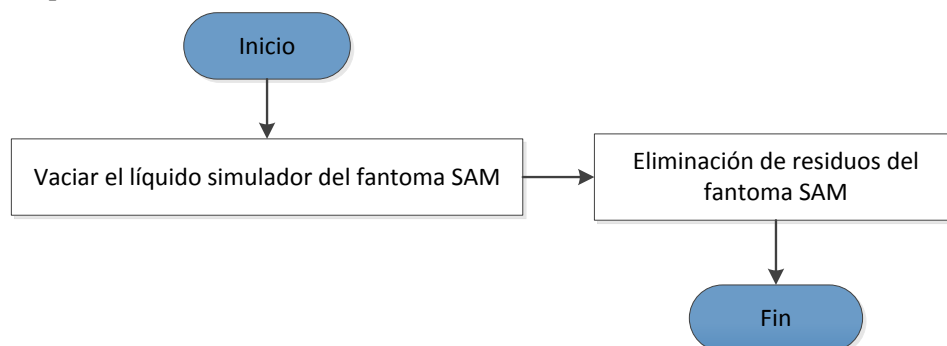
Este procedimiento describe los pasos a seguir para llenar y vaciar del fantoma SAM el líquido simulador del tejido a utilizarse en la medición de SAR.

#### Llenado de líquidos



**Figura 6.** Llenado de líquidos.

#### Vaciado de líquidos

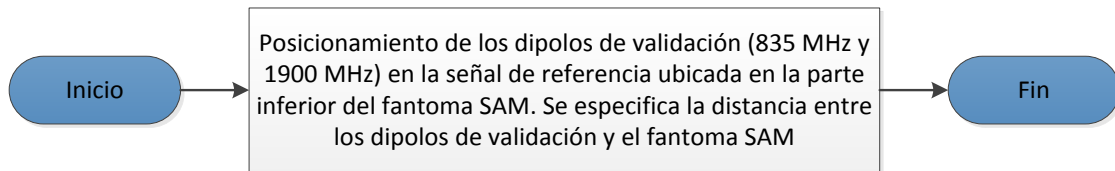


**Figura 7.** Vaciado de líquidos.

### 3.5. Posicionamiento del dispositivo bajo prueba

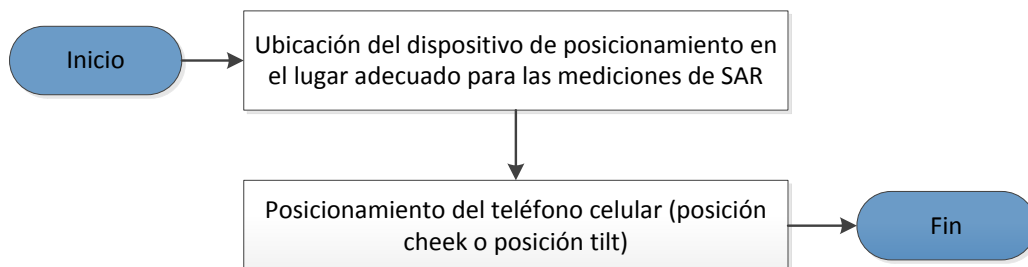
El procedimiento tiene como objetivo posicionar los dispositivos bajo prueba de forma correcta según las recomendaciones establecidas en los estándares internacionales.

### Posicionamiento de los dipolos



**Figura 8.** Posicionamiento de los dipolos.

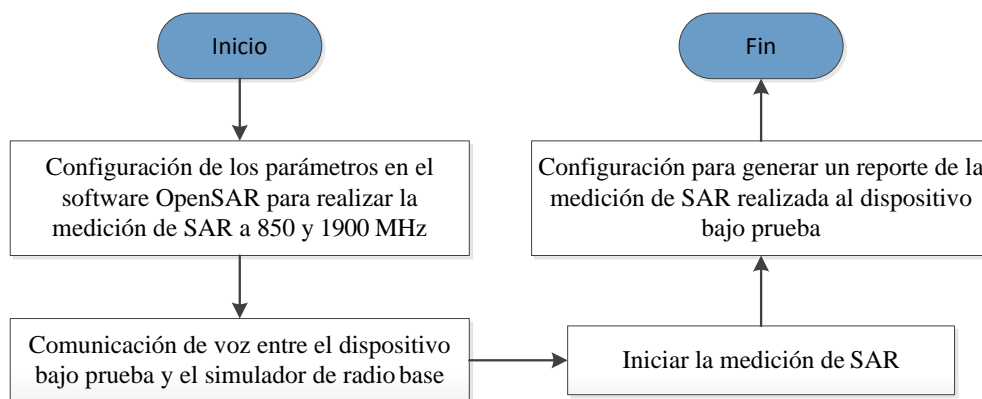
### Posicionamiento del terminal móvil



**Figura 9.** Posicionamiento del terminal móvil.

### **3.6. Medición de SAR a 850 y 1900 MHz**

El procedimiento tiene como objetivo medir la tasa de absorción específica a teléfonos celulares con tecnología GSM en la banda de 850 y 1900 MHz.

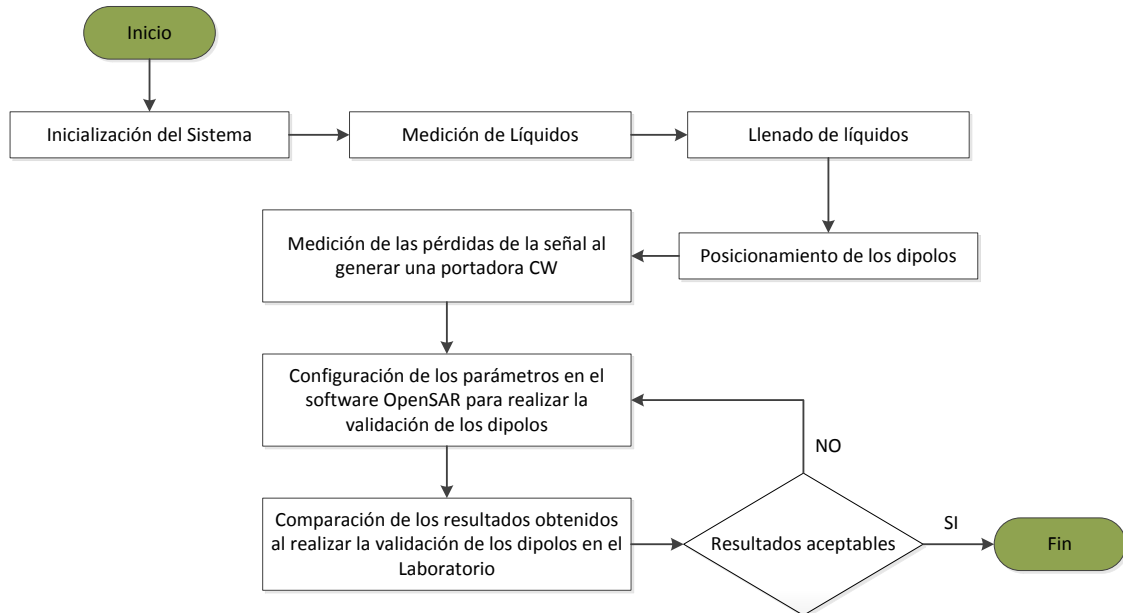


**Figura 10.** Medición de SAR.

## **4. PRUEBAS REALIZADAS EN EL LABORATORIO**

### **4.1. Validación del sistema**

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.



**Figura 11.** Validación del sistema.

#### 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.

**Tabla 1.** Especificaciones de las pruebas realizadas.

Especificaciones de las pruebas de SAR	
Temperatura ambiente	18 °C a 25 °C
Temperatura del líquido	± 2 °C de la temperatura ambiente
Líquido en el fantoma SAM	15 ± 0,5 cm
Batería del equipo bajo prueba	Cargada completamente
Posiciones para la medición de SAR	Posición cheek y posición tilt
Medición en el fantoma	Lado derecho e izquierdo
Canales	Bajo, medio y alto
Líquido simulador	Medido cada 24 horas
Variación de potencia	Menor que ± 5%
Validación del sistema	Cada 24 horas

Se realizaron las pruebas de SAR a 4 teléfonos celulares. Para cada teléfono se realizaron 24 mediciones de SAR, se empleó el protocolo propuesto. Los teléfonos celulares que se utilizaron fueron: Nokia Lumia 925.1, Samsung Galaxy S5 Mini, Zte Blade C2 Plus, Huawei Ascend Y600D.

## 5. RESULTADOS

**Tabla 1.** Resultados aleatorios de los terminales móviles.

Banda GSM	Canal	Frecuencia	Fantoma	Posición del EBP	SAR 10 g	SAR 1 g
GSM1900	Medio	1880.0 MHz	Left head	Cheek	0.431	0.761
GSM1900	Bajo	1850.4 MHz	Right head	Cheek	0.293	0.481
GSM850	Alto	848.6 MHz	Left head	Tilt	0.277	0.374
GSM850	Medio	836.4 MHz	Right head	Cheek	0.227	0.317

Los resultados de las mediciones de SAR realizadas a los teléfonos celulares indican que el SAR de 2 W/kg sobre 10 g es del 21% al 44% menor que el SAR de 1.6 W/kg sobre 1 g en condiciones iguales.

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 10 g.

## 6. CONCLUSIONES

El protocolo de pruebas para evaluar el SAR producido por terminales móviles se basa en las normas internacionales (ICNIRP, FCC OET Bulletin 65, EN 50360, IEC 62209-1) y puede ser implementado dentro del proceso de homologación del servicio móvil avanzado.

Para realizar o recibir una llamada el utilizar el teléfono en la posición correcta (posición tilt - ángulo de 15° entre el oído y el teléfono) reduce la absorción de la radiación emitida por el móvil.

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 móviles en el Ecuador.

La tasa de absorción específica es un valor importante en los terminales móviles, las personas suponen erróneamente que al usar un teléfono celular con un menor valor de SAR la exposición a la radiación es menor que al usar un teléfono con un mayor valor de SAR. Debido que de todas las pruebas que se realizan se toma el valor más alto de SAR y ese valor se informa en el teléfono móvil.

## AGRADECIMIENTOS

Expreso mis sinceros agradecimientos a la Dirección Nacional de Certificación de Equipos de Telecomunicaciones e Investigación de la ex Superintendencia de Telecomunicaciones, por la oportunidad para realizar este proyecto.

## REFERENCIAS

- Boulic, R., O. Renault, 1991. *3D Hierarchies for Animation*. John Wiley & Sons Ltd.
- EN 50360, CENELEC, 2001. *Product standard to demonstrate the compliance of mobile phones with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (300 MHz-3 GHz)*. <http://www.ursi.org/Proceedings/ProcGA02/papers/p1876.pdf>.
- FCC. SAR: FCC. 1996. [http://transition.fcc.gov/cgb/sar/welcome\\_spanish.html](http://transition.fcc.gov/cgb/sar/welcome_spanish.html).
- ICNIRP, 1994. *Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos*. <http://www.icnirp.de/documents/emfgdlesp.pdf> (último acceso: Abril de 2014).
- López, J., 2009. *La exposición RF, Normas SAR y métodos de prueba: SAR DE RADIACIÓN*. <http://www.gigahertz.es/sar-metodo.html> (último acceso: 20 de Enero de 2014).
- Ornetta, V., 2004. *La Telefonía Móvil y su Salud*. [http://www.who.int/peh-emf/publications/en/esp\\_mobphonehealthbk.pdf](http://www.who.int/peh-emf/publications/en/esp_mobphonehealthbk.pdf) (último acceso: 19 de Enero de 2014).
- Solano, F., 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.



- SUPERTEL, 2013. *Tasa de Absorción Específica SAR (Specific Absorption Rate)*. Laboratorio de Homologación.
- Taurisano, M., A Vander, 2000. *IEEE Trans. On MTT* 48.
- Zamorano, M., H. Torres-Silva, 2005. SAR inducido en un modelo bioplasmático quiral por radiación de teléfonos celulares. *Revista Mexicana de Física*, 209-216.