

# Estimación de las pérdidas de propagación para un implante inalámbrico y un receptor ubicado en la residencia de un paciente.

Telmo Alfredo Perugachi Betancourt MSc, [telmo.perugachib@epn.edu.ec](mailto:telmo.perugachib@epn.edu.ec) Escuela Politécnica Nacional

*Abstract— The high need for medical implant systems has considerably increased over the last years; this has led to an upsurge demand of sensitive and complex wireless communication designs in order to guarantee the coverage of a designated area in a hospital or in the patient home.*

*This article analyzes different techniques related to the propagation model of implant inside the human body, and a bedside receiver with a operation frequency of 915 MHz, and a maximum distance between transmitter and receiver of 10m. The estimation of the propagation losses is based on the ITU-R recommendation for indoor models, and it will compare with the Ericsson model. Furthermore, statistics fading model were used to find the multipath parameters. The total overall of the system was made by counting on the attenuation inside the human body considering this as a propagation channel*

**Index Terms**—modelos de propagación, BAN, pérdidas de trayectoria

## I. INTRODUCCION

La alta necesidad para sistemas de implantes médicos ha crecido considerablemente los últimos años, esto ha llevado a una demanda de sensibilidad y complejidad en sistemas de diseños inalámbricos para garantizar la cobertura en diversas áreas como un hospital o la residencia del paciente.

Este artículo analiza diferentes aspectos técnicos, referentes a la propagación de una antena implantada en la piel de un paciente con un receptor ubicado a una distancia de 10 m en la residencia del paciente y transmitiendo a 915MHz. La estimación de las pérdidas de propagación se basa en la recomendación ITU-R para un ambiente de interiores, y se los compara con el modelo Ericsson. Modelos estadísticos de desvanecimiento son usados para la predicción de los componentes en múltiples trayectorias. El rendimiento del sistema se basa en una investigación acerca de los parámetros de atenuación sobre el cuerpo humano.

## II. ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE PROPAGACIÓN

Actualmente, las aplicaciones para las comunicaciones personales de corto alcance han ido incrementando

dramáticamente y la demanda de precisos diseños para modelos de propagación se ha convertido en una prioridad para estos sistemas.

Esta parte del diseño se basa en la estimación de las pérdidas de propagación desde el implante transmisor hasta el receptor ubicado en el hogar del paciente. En esta sección se incluye un análisis estadístico de desvanecimiento, perturbaciones en la propagación, y los cálculos de pérdidas en el enlace cuando la señal se propaga a través de la piel humana. Con la frecuencia de operación definida en 915 MHz, y un área de cobertura de 10 m para el sistema, un apropiado modelo para transmisiones sin línea de vista fue analizado.

La estimación de las pérdidas de propagación para esta específica aplicación no puede ser descrita dentro de un escenario abierto, debido a que las aproximaciones matemáticas no son precisas para este tipo de escenarios, donde los cambios en la trayectoria inalámbrica tienen una respuesta considerable en las características de propagación. En este sistema el grado de cobertura está definido por: la distancia mínima, además, la frecuencia está limitada por la región 2 de la UIT ISM banda de radio, y finalmente considera el estudio de la geometría de la edificación.[1][2]

### A. ITU modelo general para transmisiones en interiores

La ITU-R para modelos en ambientes de interiores es obtenida de la recomendación: "Propagación de Datos y Métodos de Predicción para la Planeación de Sistemas cerrados de Radiocomunicación y Redes de Radio Local en el Rango de Frecuencias de 300 MHz hasta 100 GHz", esta norma brinda una guía en orden de planificar un desempeño necesario para el sistema de implante considerando el rango de operación.[3]

La primera parte del modelo básico de la ITU-R está basada en las pérdidas de trayectoria para una distancia de referencia  $d_0=1m$ , y asumiendo una propagación en el espacio libre. El modelo además toma en cuenta de manera implícita el balance para la transmisión a través de bloqueos en pisos únicos, esta tolerancia se encuentra contenida en el coeficiente de pérdidas de potencia de la distancia, para el diseño del implante este valor es obtenido de la tabla de recomendaciones del UIT-R para una frecuencia de 900 MHz en un entorno de oficina y es



igual a 33.

Existe otra variable en la ecuación que puede ser encontrada en la recomendación ITU-R y es el factor de penetración del piso ( $L_f$ ) expresado en dB. Este factor depende del número de pisos penetrados ( $n$ ), para el diseño se ha considerado un valor de 9 dB obtenido de una frecuencia de 900 MHz y un ambiente de oficina considerando  $n=1$  como el peor escenario. [3]

La variable  $f$  representa la frecuencia de operación del sistema en MHz,  $d$  indica la distancia entre el implante y el receptor ( $d=10m$ ). La ecuación correspondiente a la norma ITU-R para un modelo de pérdidas de trayectoria es expresada en la ecuación 1.

$$L_{total} = 20 \log f - 28 + N \log \frac{d}{d_0} + L_f(n) \quad (1)$$

**B. Retraso de multitrayectoria**

Dentro del canal de transmisión la señal sufre un cambio Doppler, por lo tanto, se generan fluctuaciones en frecuencia, tiempo y desplazamientos. De las fluctuaciones generadas se obtiene que el máximo tiempo de retardo en el ambiente es aproximadamente 3.3d[ns], este análisis es basado en la recomendación ITU-R P.1238-8 la cual garantiza que con un enlace de 10m se espera un retraso igual a 33 ns.[3]

**III. ITU-R MODELO ESTADÍSTICO PARA USOS ESTÁTICOS**

El modelo de propagación también puede ser estudiado como un ambiente “real”, tomando en cuenta ciertas incertidumbres tales como: retrasos en tiempo, la fase, cambios de frecuencia y ruido.

El uso de modelos determinísticos para la propagación pueden ser considerados como una buena aproximación sin embargo los eventos estocásticos involucrados en el desempeño continuo del sistema deben ser tomados en cuenta. Incertidumbres aleatorias como: personas bloqueando la señal en el enlace directo y el bloqueo de las paredes son considerados dentro de este sistema. Predicciones en el desempeño del sistema son brindados como datos aleatorios, entonces, la necesidad de una teoría de probabilidades surge debido a que la medición de datos empíricos no puede ser confiable.[4]

El desvanecimiento temporal causado por el movimiento de la gente dentro de edificaciones provoca un desvanecimiento del tipo Riceano dentro del receptor. Para establecer un correcto entorno de variaciones, las configuraciones del sistema son autodefinidas, por tanto, el modelo circular ITU-R es usado sin trayectoria directa, esto con el fin de garantizar la cobertura del enlace dentro del círculo con radio igual a la distancia máxima de transmisión, como se puede apreciar en las figuras 1.a y 1.b. [4]

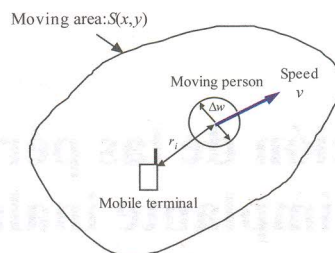


Figura 1.a ITU-R P area en interiores[3]

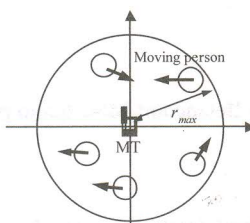


Figura 1.b No línea de vista para un cuarto circular[3]

De acuerdo a la recomendación ITU-R P.1238-8 la función de densidad de probabilidad de  $r_p$  obedece una distribución del tipo Nakagami-Rice con factor  $K$  y es expresado en la ecuación 2 mediante la forma  $p(r_p, K)$ , donde  $I_0(x)$  es el cero de primer orden de la función modificada de Bessel.

$$p(r_p, K) = (K + 1)e^{-(K+1)r_p^{-k}} I_0(\sqrt{4(K+1)Kr_p} \quad (2)$$

En la ecuación 3,  $K$  esta expresado en terminos de: la portadora compleja de la trayectoria directa  $e_{Direct}(x)$ , la portadora compleja de las multitrayectorias  $e_s(x)$ , el número de personas en movimiento  $N_{person}$  y el diámetro equivalente de gente en movimiento  $\Delta w$ .

$$K = \frac{|e_{Direct}(x) + e_s(x)|^2}{\frac{N_{person} \Delta w}{2\pi}} \quad (3)$$

La recomendación UIT-R P.1238-8 brinda una serie de graficas relacionadas a la función acumulada de probabilidad, el coeficiente de auto correlación, y la potencia del espectro para un área de recepción equivalente a un cuarto circular.

**IV. MODELO DE PÉRDIDAS DE LA TRAYECTORIA PARA INTERIORES (DISTANCIA)**

La falta de referencias de modelos de propagación para implantes a 900 MHz radica en que la mayoría de aplicaciones médicas, se encuentran especificadas para las frecuencias de 400 MHz, y 2.4 GHz, sin embargo el modelo de Rappaport de trayectorias en ambientes de interiores puede ser usado en esta banda de frecuencias, tal como se muestra en la ecuación 4.[4]

$$PL(dB) = PL(d_0) + 10n \log \left( \frac{d}{d_0} \right) + X_\sigma \quad (4)$$

Donde  $n$  determina el tipo de ambiente, y  $X_\sigma$  representa la variable aleatoria normal en dB con una desviación estándar  $\sigma$ . Usando los parametros del sistema propuesto en la ecuación, 4 se obtiene un valor de 68.92 dB correspondiente a las pérdidas de trayectoria.

V. MODELO DE ERICSSON DE MÚLTIPLE PUNTO DE INFLEXIÓN

Considerando la residencia del paciente como una edificación de varios pisos, y con una frecuencia de 900 MHz, un límite determinístico del tipo Dag Akerberg puede ser adoptado. En la figura 2 se observa que la salida para pérdidas de trayectoria de 10 m es aproximadamente 50 dB.[4]

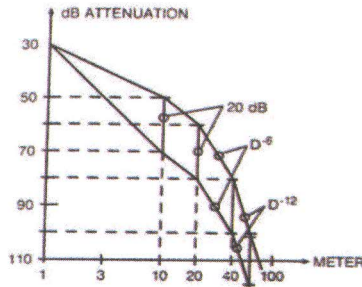


Figura 2 Modelo de Erickson para edificaciones [4]

VI. EFECTOS EXTERNOS DE PROPAGACIÓN

Los modelos de propagación antes mencionados no consideran al cuerpo humano como un canal adicional de transmisión, esto origina nuevas pérdidas dentro del diseño. Razón por la cual es necesario analizar la propagación a través del cuerpo humano tomando en consideración las perdidas tomadas en los músculos, grasa y ropa, esto es realizado para modelar una caracterización más precisa del sistema.

A. Propagación a través del cuerpo humano

La propagación de señales de radio por medio del cuerpo humano ha sido un problema debido a la complejidad de modelar un sistema inalámbrico a una determinada penetración en la piel. Los modelos que toman en consideración los factores de atenuación en medios inalámbricos corresponden a redes BAN (Body Area Network) y PAN(Personal Area Network), estas tecnologías han venido creciendo considerablemente para los nuevos sistemas móviles y la tasa específica de absorción (SAR) de estas redes se ha convertido en una necesidad para la transmisión de los implantes inalámbricos dentro del cuerpo humano.[5][6]

Para el modelo propuesto, los cálculos de la atenuación del SAR están basados en las diferentes mediciones de parámetros del cuerpo humano. La permitividad de la piel es igual a  $\epsilon = 46.7$ , con una conductividad igual a  $\sigma = 0.69$  y densidad de masa  $\rho = 1001Kg/m^3$ . Para el diseño del implante se ha considerado un coeficiente de penetración igual a  $p=0.001$ . La ecuación 5 incorpora estas variables para obtener el valor estimado del SAR.[7]

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} \left[ \frac{W}{Kg} \right] \text{ (5) donde } |E| = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ (5)}$$

Usando la ecuación 5 con de los parámetros del sistema propuesto se obtiene un valor de SAR de 0.015 W/kg.

Para la estimación de pérdidas de trayectoria, el modelo se ha adecuado como una función de separación la frecuencia de operación. En este caso para  $\sigma=0.69$  [S/m] la salida de pérdidas de trayectoria con un valor aproximado de 9 dB para un espesor de 1 cm de piel. [8]

VII. ANÁLISIS DE PÉRDIDAS DE TRAYECTORIA

El aislamiento a través de múltiples pisos, conocido también como factor de penetración de pisos, presenta un límite al momento de incrementar el número de pisos dentro del modelo básico de pérdidas de trayectoria, considerando que la señal puede dividirse en diferentes trayectorias y completara el enlace inalámbrico con una reducida cantidad de pérdidas

La dificultad del análisis radica en no encontrar una relación lineal entre el ajuste de la frecuencia de operación y la variabilidad en el coeficiente de las pérdidas de trayectoria dentro del ambiente propuesto. Primeramente, una reducción del coeficiente de perdidas es esperado cuando se incrementa la frecuencia, pero este efecto no siempre se produce debido que ante el aumento de frecuencia la atenuación se reduce dado que las ondas son reflejadas desde objetos y además componentes de las múltiples trayectorias contribuyen a la señal recibida total. Sin embargo al momento de operar a altas frecuencias se obtienen claros en las zonas Fresnel, lo cual genera una disminución del total de las perdidas.

El alcanzar un sistema de línea de vista en un máximo alcance radica en considerar la posición del transmisor y receptor, entonces la estación base debería ser ubicada en el punto más alto del piso del paciente, para de esta manera evitar la atenuación producida por objetos bloqueando el enlace

VIII. CONCLUSIONES

La estimación de las perdidas de propagación en ambientes de interiores se baso en consideraciones de la ITU-RP1238-8. Dicha recomendación esta estructurada en considerar: propagación en el espacio libre, el aislamiento por medio de múltiples pisos, el balance de la transmisión considerando bloques o columnas en la construcción de la residencia, y los modelos estadísticos de propagación, con el fin de garantizar una caracterización apropiada para el canal de transmisión.

Adicionalmente se ha considerado un sistema de propagación a través del cuerpo humano, considerando un modelo de perdidas en la piel para la frecuencia de operación del sistema Finalmente, todos los valores obtenidos correspondientes a las pérdidas de propagación deberán ser considerados dentro de las estimaciones de balance de enlace, para determinar la cantidad de potencia requerida por las antenas transmisoras y receptoras, para de esta forma determinar la factibilidad de un implante inalámbrico en la residencia de un paciente.



## REFERENCIAS

- [1] International Telecommunication Union - Radiocommunication Sector, "Frequency allocations of amateur satellite service," [Online]. Available: [http://www.itu.int/en/ITU-R/space/AmateurDoc/ARS-ART5\\_E.pdf](http://www.itu.int/en/ITU-R/space/AmateurDoc/ARS-ART5_E.pdf). [Accessed November 2015].
- [2] International Telecommunication Union - ITU-R, "Effects of building materials and structures on radiowave propagation above about 100 MHz," [Online]. Available: <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.2040-1-201507-1/en>. [Accessed October 2015].
- [3] International Telecommunication Union - Radiocommunication Sector, "Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz," September 2015. [Online]. Disponible: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.1411-8-201507-1/en>.
- [4] Theodore S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, United States of America, Massachusetts: Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies, Editor Series, 2003.
- [5] Kamran Sayrafian-Pour, Wen-Bin Yang, John Hagedorn, Judith Terrill, "A Statistical Path Loss Model for Medical Implant Communication Channels," 2009. [Online].
- [6] Konstantina Nikita, James C. Lin, "Wireless Mobile Communication and Healthcare: Second International ICST Conference MobiHealth," October 2011.
- [7] Jaehoon Kim, Student, and Yahya Rahmat-Samii - *IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES*, VOL. 52, NO. 8, "Implanted Antennas Inside a Human Body: Simulations, Designs, and Characterizations," August 2004. [Online]. Disponible: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1318789>.
- [8] Divya Kurup, Wout Joseph, Gunter Vermeeren, and Luc Martens, "In-body Path Loss Model for Homogeneous Human Tissues," *IEEE TRANSACTIONS ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY*, JUNE 2012, vol. 54, no. 3.

**Telmo Perugachi.** Graduado de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional en el 2014. Trabajo como Técnico Docente en el Departamento de Electrónica y Redes de la Información desde 2014 -2016. Obtuvo su título de cuarto nivel como Master of Science con mención en Radio Frecuencia y Microondas en la Universidad de Birmingham (Reino Unido) en el 2017. Actualmente trabaja en el Departamento de Formación Básica de la Escuela Politécnica Nacional.