

Diseño de un prototipo de laboratorio transceptor basado en redes intracorporales

Valeria Aristizábal Zuluaga, Joan Sebastián Triana Viveros

Facultad de ingeniería

Pontificia Universidad Javeriana Cali

varistizabal30@javerianacali.edu.co, j triana@javerianacali.edu.co

Resumen- El presente artículo muestra el proceso de transceptor, logrando establecer una comunicación a corto alcance por medio de cuerpo humano, dicha técnica de comunicación se denomina comunicación intracorporal. Para la concepción del diseño fue de vital importancia identificar los factores que afectaban la comunicación, donde encontraron las propiedades eléctricas del tejido biológico: permitividad relativa, conductividad eléctrica y bioimpedancia. Con estos factores se establece los rangos de operación de frecuencia tanto para el modelo circuital como para el diseño de transceptor. A su vez, se realiza una caracterización del canal corporal humano en el antebrazo, para esto fue necesario desarrollar mediciones en 10 sujetos, para el desarrollo de las mediciones se presenta la investigación ante el comité de ética de la Universidad Pontificia Javeriana Cali, donde se sustenta que el protocolo de pruebas no genera ningún riesgo para los participantes. Por otro lado, se desarrolla adicionalmente una propuesta “handshake” de transceptor IBC y una de transceptor portable.

Palabras Clave- redes de área corporal, redes intracorporales, modelo circuital, acople galvánico, acople capacitivo, permitividad relativa, conductividad eléctrica, bioimpedancia, transceptor, modulación, modulación PWM.

Abstract - This article shows the transceiver process, managing to establish a short-range communication through a human body, this communication technique is called intracorporeal communication. For the design conception it was vital to identify the factors that affected communication, where they found the electrical properties of the biological tissue: relative permittivity, electrical conductivity and bioimpedance. With these factors, the frequency operation ranges are established both for the circuit model and for the transceiver design. In turn, a characterization of the human body channel in the forearm is performed, for this it was necessary to develop measurements in 10 subjects, for the development of these measurements the research is presented before the ethics committee of the Pontifical University Javeriana Cali, where maintains that the test protocol does not generate any risk for the participants. On the other hand, a handshake proposal of IBC transceiver and a portable transceiver are also developed.

Keywords - body area networks, intracorporeal networks, circuit model, galvanic coupling, capacitive coupling, relative permittivity, electrical conductivity, bioimpedance, transceiver, modulation, PWM modulation.

I. INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones inalámbricas juegan un papel muy importante en la actualidad, debido al gran impacto que han generado a la sociedad en todos los aspectos, desde la calidad y forma de vivir hasta la manera de comunicarnos e informarnos. Las redes de área corporal utilizan el cuerpo humano como medio de transmisión, hacen parte de las comunicaciones inalámbricas y nacen de la necesidad de la comunicación de datos a corto alcance, suministrando bajo consumo y operación tanto en energía como en potencia. Se considera mucho más eficiente en comparación con las técnicas de radiofrecuencia ya existentes, debido a que la propagación en los dispositivos electrónicos cuenta con un alto consumo de potencia, lo cual limita el periodo de operación de este, además de reducir la vida útil del dicho dispositivo [1].

II. OBJETIVOS

Objetivo General

- Diseñar un prototipo de laboratorio transceptor que logre establecer una comunicación intracorporal.

Objetivos Específicos

- Identificar los factores más relevantes en la transmisión intracorporal que pueden afectar la comunicación.
- Establecer el modelo circuital del canal corporal humano en una ubicación determinada.
- Caracterizar el medio de transmisión según la permitividad, conductividad y bioimpedancia.
- Determinar los requerimientos del transceptor que permitan una transferencia intracorporal de información.
- Diseñar los componentes del prototipo considerando los factores estudiados y los requerimientos planteados.

III. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El protocolo IEEE 802.15.5 WBAN, define la comunicación de área corporal, que emplean como medio de transmisión el cuerpo humano y se divide en dos métodos que se determinan de acuerdo con la característica del medio de propagación que son: *Comunicación intracorporal (IBC)* y *Canal de comunicación corporal*

(BCC). El primer método, hace referencia a la transmisión que se realiza dentro del cuerpo humano traspasando músculo, tejido y piel. El segundo método se transmite en la superficie del cuerpo humano que puede ser sobre la piel o la ropa. [1][2]

El acoplamiento al cuerpo se realiza a través de electrodos, existen dos tipos de acoplamiento: galvánico y capacitivo. La primera configuración cuenta con un par de electrodos para el transmisor y para el receptor, que van conectados directamente al cuerpo. La segunda configuración también cuenta con dos electrodos en el transmisor y receptor, sin embargo, solo uno de ellos va conectado al cuerpo y el otro no. [2][3]

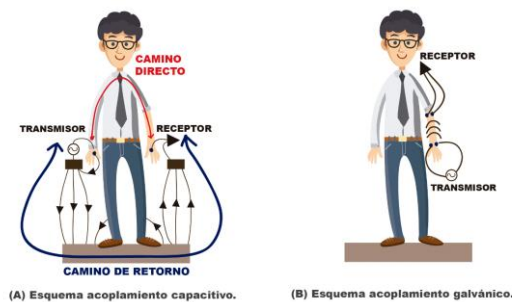


Figura 1. Esquema de acoplamiento. (A) Capacitivo. (B) Galvánico

Las propiedades eléctricas del tejido humano, principalmente la permitividad y conductividad eléctrica, son factores internos y externos que pueden afectar en la transmisión de datos a través del canal. Factores como los tipos de tejidos, el rango de frecuencia de operación, la temperatura, el contenido de agua en los tejidos, afectan la comunicación entre dos dispositivos por medio del cuerpo humano.

Según un estudio completo y detallado reportado por Gabriel [3][4][5], sobre las propiedades dieléctricas del tejido biológico a partir de 17, logra caracterizar de manera experimental en el rango de 10 Hz a 20 GHz, donde emula cuatro regiones de dispersión. Sin embargo, para la presente investigación solo se hace un análisis de 7 tejidos de interés, que son: piel seca, grasa, músculo, corteza ósea, núcleo óseo y sangre. De la misma manera se obtiene la respuesta en frecuencia de la permitividad relativa y la conductividad eléctrica, por medio de las siguientes ecuaciones.

$$\hat{\epsilon} = \epsilon_{\infty} + \frac{\epsilon_s - \epsilon_{\infty}}{1 + j\omega\tau} \quad (1)$$

$$\hat{\epsilon} = \epsilon_{\infty} + \frac{\Delta\epsilon}{1 + (j\omega\tau)^{(1-\alpha_n)}} \quad (2)$$

$$\hat{\epsilon} = \epsilon_{\infty} + \sum_{n=1}^4 \frac{\Delta\epsilon_n}{1 + (j\omega\tau_n)^{(1-\alpha_n)}} + \frac{\sigma_s}{j\omega\epsilon_0} \quad (3)$$

$$\hat{\sigma} = j\omega\epsilon_0\hat{\epsilon} \quad (4)$$

Se procesa la información por medio del software Matlab, donde se observa en la Figura 2, que a medida que

aumenta la frecuencia, la permitividad relativa de los tejidos va disminuyendo, el caso contrario ocurre para la conductividad eléctrica que aumenta a mayor frecuencia, la relación que tiene la permitividad relativa y conductividad eléctrica con respecto a la frecuencia es que son inversamente proporcionales. El comportamiento de estos tejidos biológicos se puede asemejar al comportamiento que tiene un condensador con respecto a la frecuencia, a mayor frecuencia la impedancia de éste va disminuyendo.

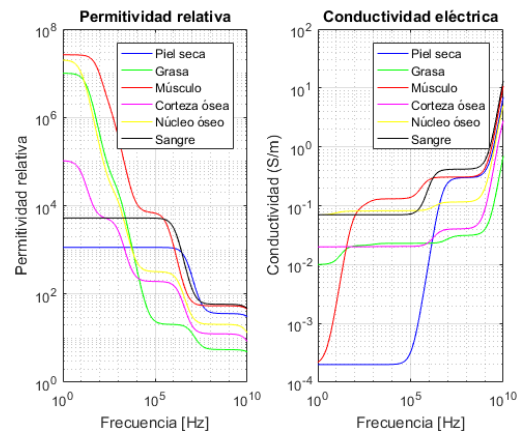


Figura 2. Permitividad relativa y conductividad eléctrica de los tejidos piel seca, grasa, músculo, corteza ósea, núcleo óseo y sangre.

Luego de calcular la permitividad relativa y la conductividad, se puede obtener la respuesta en frecuencia de la bioimpedancia, donde se identifica que, a mayor frecuencia, existe menor bioimpedancia, como se muestra en la Figura 3.

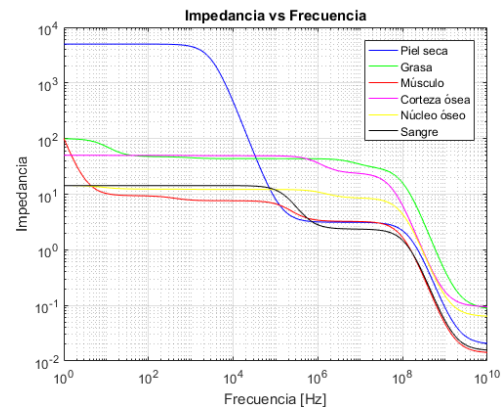


Figura 3. Impedancia de los tejidos piel seca, grasa, músculo, corteza ósea, núcleo óseo y sangre.

Para diseñar un transceptor IBC es de vital importancia comprender la propagación de la señal por el canal corporal teniendo en cuenta el tipo de acoplamiento, siendo galvánico o capacitivo, por lo cual es necesario modelar éste como medio de transmisión. Por lo tanto, la investigación se basa en el modelo circuital presentado por la autora Maria Amparo Callejón, quien propone una red circuital simétrica y recíproca, se compone de cuatro impedancias complejas; Z_a y Z_c emulan el flujo de corriente transversal entre los pares de electrodos,

mientras que Z_b y Z_d emulan el flujo de corriente longitudinal entre el receptor y transmisor. Las impedancias representan el modelo Debye, que modelan la capacitancia de la membrana, la resistencia intracelular y extracelular. [6]

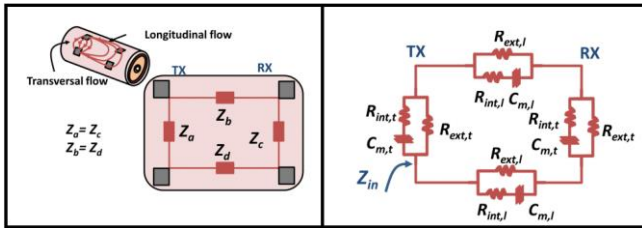


Figura 4. Modelo circuital del cuerpo humano. Tomado de [6].

IV. RESULTADOS

Para poder caracterizar el canal corporal, se transmite a 5cm, 10 cm y 15 cm una señal sinusoidal de amplitud 3 Vpp, con una corriente menor a 1 mA, por medio de un generador de señales que iba conectado a los electrodos de transmisión, mientras que los electrodos de recepción iban conectados a un osciloscopio, la frecuencia de la señal se varió desde 250 Hz hasta 1.28 MHz. La duración de las mediciones fue aproximadamente 30 – 40 minutos y el acoplamiento que se empleo fue galvánico. Cabe resaltar que se garantizó que se encontraba debajo de los límites establecidos por la ICNIRP [7] y las normativas 4120 y 4121 de ICONTEC. [8][9].

Luego de capturar el voltaje de transmisión y recepción, además del tiempo, se obtiene la respuesta de ganancia de voltaje y fase del canal corporal, y se identifica que tanto la distancia como la frecuencia afectan la propagación de la señal, es decir a mayor frecuencia y distancia, existe mayor atenuación. Por otro lado, con respecto a la fase que no es lineal se puede establecer que el cuerpo humano tiene un comportamiento capacitivo.

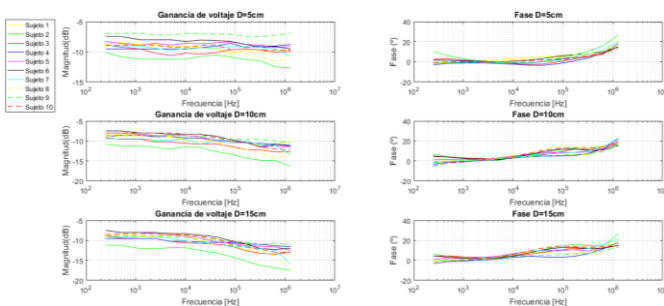


Figura 5. Respuesta en frecuencia de los sujetos.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos anteriormente, se logra caracterizar el cuerpo como medio de transmisión, por lo cual se decide establecer un rango de operación de ganancia de voltaje y fase, con respecto a la media de los valores obtenidos en las mediciones y así poder verificar el modelo circuital posteriormente. En la Figura 6, se observa la respuesta en frecuencia con el rango de operación establecido.

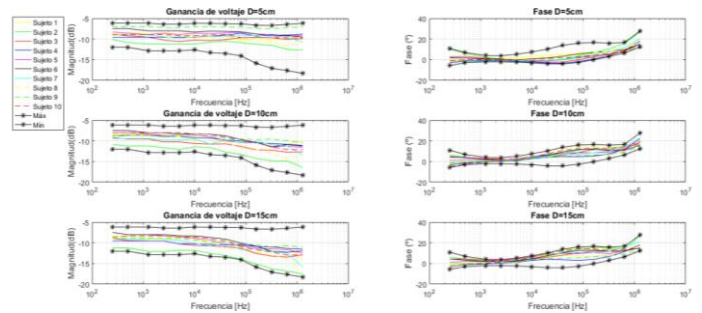


Figura 6. Respuesta en frecuencia de los sujetos con límites.

Teniendo en cuenta la respuesta en frecuencia de los 10 sujetos, encontrada a partir de las mediciones se procede diseñando un modelo circuital, con base en el presentado en [6], por lo cual se cambian los valores de las resistencias y capacitancias.

- Fluidos transversales:
 - Resistencia extracelular: 470Ω
 - Resistencia intracelular: 390Ω
 - Capacitancia de la membrana: 220pF
- Fluidos longitudinales:
 - Resistencia extracelular: 82kΩ
 - Resistencia intracelular: 1.2kΩ
 - Capacitancia de la membrana: 180pF

Se implementa un modelo circuital, Figura 7, con los valores anteriores, donde el comportamiento tanto de ganancia como de fase es el esperado, como se observa en la Figura 8, lo cual garantiza que satisface la caracterización del rango de operación obtenido durante las mediciones con los sujetos.



Figura 7. Modelo circuital propuesto.

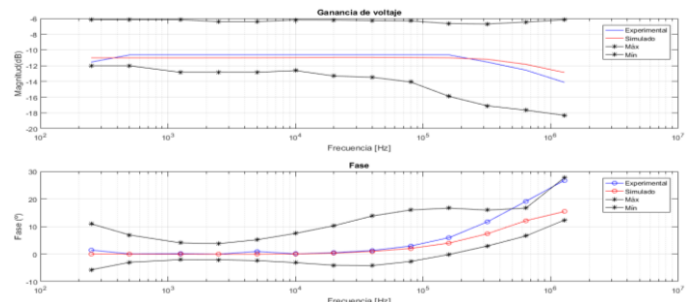


Figura 8. Comportamiento en ganancia y fase del modelo circuital simulado y experimental.

Se consideran los efectos de la impedancia de contacto-electrodo, donde se adiciona al modelo circuital las impedancias de los electrodos de transmisión y recepción, como se observa en la Figura 9.

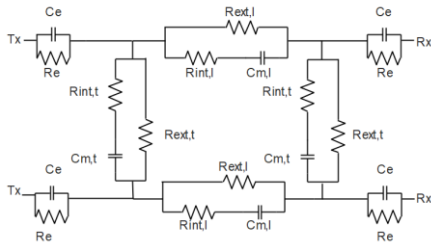


Figura 9. Modelo circuital del cuerpo humano con consideración de electrodos.

En la figura 10 se muestra el modelo circuital con la consideración de los electrodos y en la Figura 11 se evidencia el comportamiento tanto de la ganancia como de la fase.

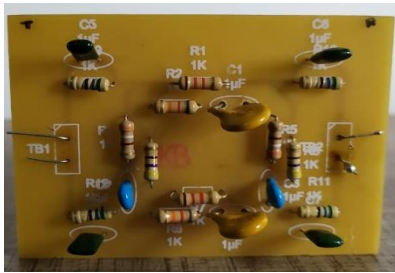


Figura 10. Modelo circuital con electrodos.

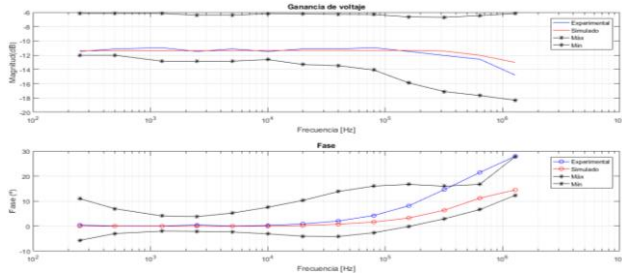


Figura 11. Comportamiento en fase y ganancia del modelo circuital con electrodo simulado y experimental.

En cuanto al diseño del prototipo de laboratorio transceptor, se logra establecer una comunicación entre dos dispositivos Arduino, por medio de una modulación PWM, estableciendo un ciclo de trabajo útil de 75 % para el bit 1 y 25 % para el bit 0, en la demodulación se calcula el periodo de la señal en alto, que se encuentra relacionado con el ciclo de trabajo y así poder obtener la señal que contiene la información. Durante la caracterización del prototipo se obtiene por medio de una variación de la frecuencia de transmisión y los baudios que proporciona el dispositivo Arduino, que hace referencia a la tasa de muestro del receptor, además se envía un tren de pulso y se calcula la tasa de error, donde se identifica que el rango de operación de 1 Hz – 2.4 kHz.

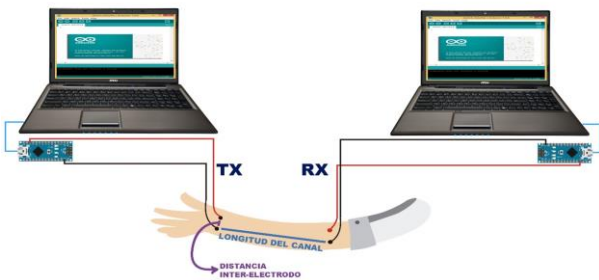


Figura 12. Transceptor IBC con Arduino.

En un principio se había establecido que, la distancia máxima del canal corporal para la comunicación intracorporal era 15 cm, sin embargo, durante la concepción del prototipo transceptor, en un momento de curiosidad se transmite a distancias mayores y entre dos sujetos, por medio del apretón de manos, se logra establecer una comunicación intracorporal.

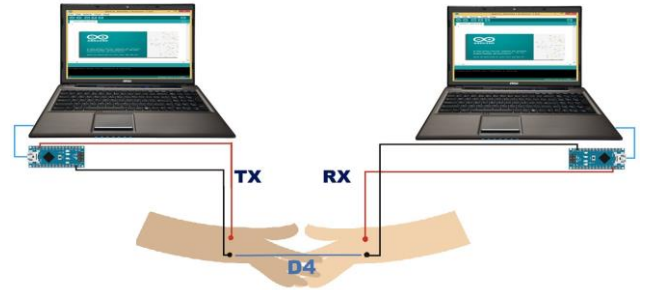


Figura 13. Configuración experimental handshake.

Se realiza una propuesta de transceptor portable, la cual se diseña y queda planteada para futuros trabajos y desarrollos.

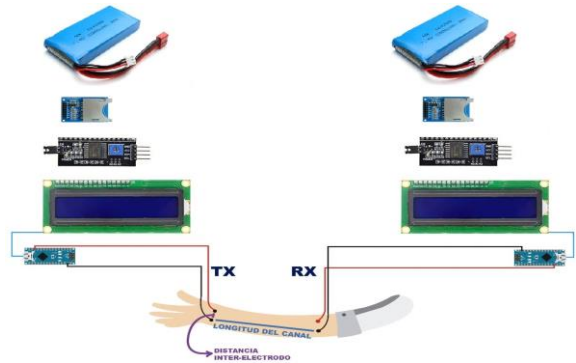


Figura 14. Propuesta transceptor portable.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos anteriormente se puede concluir lo siguiente:

- La identificación de los factores más relevantes que pueden afectar la comunicación intracorporal que son: permitividad relativa, conductividad eléctrica y bioimpedancia, fueron de vital importancia para establecer los rangos de operación del modelo circuital y del transceptor IBC.
- A partir de las mediciones desarrolladas en los sujetos se logra caracterizar como medio de transmisión el antebrazo de acuerdo con las distancias determinadas, por medio de la ganancia de voltaje y fase. A su vez se identifica que el comportamiento del cuerpo humano es capacitivo.
- La implementación de modelos circuitales que emulen el comportamiento de un cuerpo humano son de gran utilidad, puesto que se pueden hacer diferentes pruebas o testeos en corriente, voltaje o frecuencia sin necesidad de involucrar una

persona, evitando consideraciones éticas y consentimientos informados.

- Se logra establecer una transferencia de información digital de dos dispositivos Arduino, por medio del cuerpo humano, empleando la modulación PWM y a su vez se implementa la técnica de apretón de manos o “handshake”, comunicando dos dispositivos a distancias mayores a 15 cm.

REFERENCIAS

- [1] Betancur, Ph.D., L. (2011). Redes de área corporal. Una perspectiva al futuro desde la investigación. *Revista Sistemas y Telemática*, 9 (16), pp.11-30.
- [2] CHAVEZ-SANTIAGO, Raul, et al. Propagation models for IEEE 802.15. 6 standardization of implant communication in body area networks. *IEEE Communications Magazine*, 2013, vol. 51, no 8, p. 80-87.
- [3] GABRIEL, Camelia; GABRIEL, Sami; CORTHOUT, y E. The dielectric properties of biological tissues: I. Literature survey. *Physics in medicine & biology*, 1996, vol. 41, no 11, p. 2231.
- [4] GABRIEL, Sami; LAU, R. W.; GABRIEL, Camelia. The dielectric properties of biological tissues: II. Measurements in the frequency range 10 Hz to 20 GHz. *Physics in medicine & biology*, 1996, vol. 41, no 11, p. 2251.
- [5] GABRIEL, Sami; LAU, R. W.; GABRIEL, Camelia. The dielectric properties of biological tissues: III. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues. *Physics in Medicine & Biology*, 1996, vol. 41, no 11, p. 2271.
- [6] CALLEJÓN, M. Amparo, et al. Measurement issues in galvanic intrabody communication: Influence of experimental setup. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2015, vol. 62, no 11, p. 2724-2732.
- [7] INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION, et al. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). *Health physics*, 2010, vol. 99, no 6, p. 818-836.
- [8] ICONTEC, NTC. 4120: Efectos de la corriente sobre los seres humanos y los animales domésticos. Parte 1. Aspectos generales. 1997.
- [9] ICONTEC, NTC. 4121: Efectos de la corriente que pasa por el cuerpo humano. Parte 2. Aspectos especiales. 1997.