

Diseño de un sistema de autenticación complementario basado en comunicación corporal galvánica

Eduardo André Correa Zúñiga, Alex Cartagena Gordillo

eduardo.correa@ucsp.edu.pe, acartagena@ucsp.edu.pe

Universidad Católica San Pablo, Perú
S/n Urb. Campiña Paisajista, Quinta Vivanco
Arequipa - Perú

Resumen: Este artículo trata del diseño, desarrollo y funcionamiento de la comunicación corporal por acoplamiento galvánico orientada a las aplicaciones de seguridad, junto con el análisis, evaluación y diseño de un sistema complementario de autenticación de usuarios a través de la huella dactilar y un código de autenticación. Se realizaron diferentes pruebas en el modelo galvánico, para observar el rango de frecuencias, ancho de banda adecuado, así mismo la conductividad del cuerpo humano con el cual se va a trabajar. De esta forma se puede obtener un modelo de autenticación más seguro y sencillo para los usuarios. Además de ello se diseñó e implementó un método para poder limitar la potencia de transmisión de la señal, para sólo tener la potencia transmitida en una parte del cuerpo, y así evitar que se pueda propagar la información por otras áreas del cuerpo. Dado que el método galvánico excluye la emisión de campos electromagnéticos lo cual reduce la posibilidad del hurto de la información.

Palabras clave: GBCC, Red Corporal, Autenticación de usuarios, Seguridad en capa física.

Abstract: This article deals with the design, development and operation of security applications oriented in body communication, along with analysis, evaluation and design of a complementary system of user authentication through fingerprint galvanic coupling and an authentication code. Different tests of galvanic model were performed to observe frequency range, bandwidth, also the conductivity of the human body. This way you can get an easier and safer model for user authentication. Besides it was designed and implemented a method to limit the transmission power and the signal is only transmitted in one part of the body, and prevent the information can be spread by other areas of the body. This galvanic method excludes the emission of electromagnetic fields which reduces the possibility of theft information.

Keywords: GBCC, Red Body, User Authentication, Security physical layer.

1 Introducción

La comunicación corporal por acoplamiento galvánico (GBCC), es un método en el cual se combina el uso del cuerpo humano y las comunicaciones del área corporal. A partir de ella podemos utilizar al cuerpo humano como canal de comunicación, a través del cual estaremos conectados y así podremos compartir nuestra información personal con aquellos dispositivos que tengan como característica la autenticación de personas, dado que el cuerpo humano es capaz de transmitir una señal eléctrica y todo lo relacionado con el potencial eléctrico. La principal ventaja de poder usar este tipo de comunicación es que el cuerpo humano presenta alta conductividad si es que lo comparamos con el aire. Además, podemos transmitir la información sin la presencia de interferencia de algún dispositivo cercano, ya que la comunicación se da por contacto directo con la piel [1].

La revisión de la literatura existente provee diferentes pautas sobre las frecuencias de operación en la comunicación corporal. Precisamente, debemos de conocer la resistencia que opone nuestro cuerpo como canal de comunicación es muy baja, esta es de 70 ohm. Debido a la baja resistencia que pone nuestro cuerpo este funcionará como un cable, el cual puede soportar la comunicación entre dos dispositivos.

Además de ello la comunicación corporal galvánica, trabaja a bajas frecuencias de transmisión, estas permitirán que al transmitir señales en nuestro cuerpo este no se vea alterado por los fenómenos físicos adicionales

como potencia, corriente y voltaje inducidos. De igual manera como se trabaja con bajos valores de voltaje, amperaje y potencia logrando que el campo electromagnético que se genera en nuestro cuerpo no sea tan grande y así no se altere el funcionamiento de los dispositivos con los cuales entraremos en contacto [2].

En la sección 2 entenderemos mejor el funcionamiento de la comunicación corporal galvánica, los parámetros de conductividad del cuerpo humano y como este facilita la transmisión de las señales y la información enviada. En la sección 3 se explica la metodología usada para realizar el proyecto, describiendo cada una de las partes para llevar a cabo la implementación. En la sección 4 veremos las diferentes pruebas que se realizaron junto con los resultados obtenidos para el desarrollo del proyecto. Además del desarrollo del mecanismo de transmisión que se tiene para poder permitir la comunicación entre dos dispositivos.

2 Teoría del dominio y Trabajos Previos

2.1. Comunicación Corporal Galvánica

La comunicación corporal galvánica entabla un tipo de comunicación intracorporal, ya que se usa el cuerpo humano como canal de comunicación y también se realiza la propagación de un campo eléctrico en el interior de nuestro cuerpo. Originalmente cuando se realiza la transmisión de la señal esta puede ser ubicada en cualquier parte de nuestro cuerpo, pero la distorsión de la señal depende de la distancia y las capas de piel donde se quiere recepcionar la señal. Por ende, todo aquello que se

quiera enviar a cortas distancias llegará en buenas condiciones, debido a la baja influencia del ruido e interferencias.

La entrada de la señal debe de estar dada por un generador de señales o un circuito transmisor que cumpla con esta característica, a través del cual se puede enviar una señal con una amplitud, frecuencia y voltaje designado por el usuario. Como receptor se tiene un analizador de espectros o un osciloscopio que detectará la señal, tal como se aprecia en la Figura 1. Cabe recalcar que en investigaciones previas nos indican que cuando se envía una señal en el rango de 10 a 100kHz, se tiene como resultado una ganancia máxima, esto nos indica que mientras haya mayor rango de frecuencia transmitida, la ganancia y energía que se vaya a recibir será menor, perdiendo el campo eléctrico y se irá generando un campo magnético mayor.

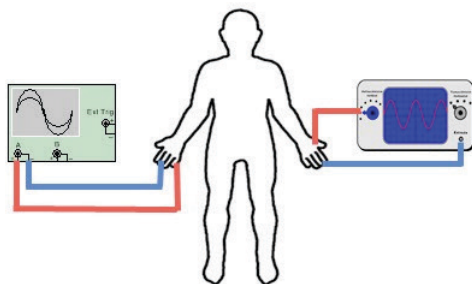


Figura 1: Esquema de pruebas de la Comunicación Corporal Galvánica.

Según la Internatinal Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), el cuerpo humano no debe de exponerse a frecuencia mayores de 1MHz y un amperaje mayor de 0.7 mA [3]. Como sabemos si estos parámetros van cambiando el campo eléctrico que pasa por nuestro cuerpo podrá generar alteraciones en él, esta corriente puede tomar dos patrones de propagación diferentes que son: la propagación dentro del cuerpo y la propagación en el aire, este último ni el osciloscopio ni el analizador de espectros pueden detectarlas ya que el campo electromagnético que se genera será despreciable por las bajas frecuencias aplicadas en el cuerpo. [4]

2.2. Propagación de la señal eléctrica en el cuerpo humano

2.2.1. Campo cercano y campo lejano: En la ecuación 1 se puede ver el rango del campo cercano, pero como la distancia de propagación aumenta, también aumentará la atenuación, donde el campo eléctrico domina el campo lejano [4].

$$E_{\theta} = \frac{I * dz * k^3}{4\pi\omega\epsilon_0} i \left[\frac{1}{kr} - \frac{i}{(kr)^2} - \frac{1}{(kr)^3} \right] \sin\theta * e^{-ikr} \quad (1)$$

Donde:

- I = Corriente (A)
- dz = Longitud (m)
- k = Número de onda
- w = Frecuencia angular (Rad)
- Eo = Permitividad en el espacio
- 1/r = Campo eléctrico

2.2.2. Pérdida del camino según la distancia: La pérdida de trayectoria tiene la siguiente ecuación 2, el decremento de la potencia en altas frecuencias es mayor cuando se transmite a bajas frecuencias. Cuando la distancia espacial entre cada uno es de 1 metro se puede despreciar la onda de espacio, sin embargo, cuando la distancia disminuye a 10 cm la onda de espacio es más grande, lo que genera una recepción con fases desplazadas [4].

$$\left| \frac{E_z v(r, k)}{E_z v(r_0, k)} \right| = \begin{cases} \left| \frac{E_z v(r, k)}{E_z v(r_0, k)} \right| & \text{Corta distancia} \\ \left| \frac{k(1-u^2+u^4)F(r, k) * \frac{1}{r}}{E_z v(r_0, k)} \right| & \text{Larga distancia} \end{cases} \quad (2)$$

Donde:

- Ro = 0.1 (m)
- F = Factor de atenuación
- K = Número de onda
- r = radio (m)

En el campo lejano la atenuación es casi lineal, lo que significa que la señal se atenúa exponencialmente con la distancia del canal, y esta atenuación irá en aumento a medida que se incremente la frecuencia de transmisión [2].

2.3. Proceso de reconocimiento de huellas dactilares

En el proceso de reconocimiento de huellas dactilares, se cuenta con una base de datos que contiene las imágenes de las huellas dactilares, para luego realizar el procesamiento de estas. Primero realiza un filtrado de la imagen que la irá mejorando, luego se extrae el valor característico de la huella digital del propietario, después se verifica con la base de datos y por último se da los resultados si corresponde o no a la persona como se ve en la Figura 2.

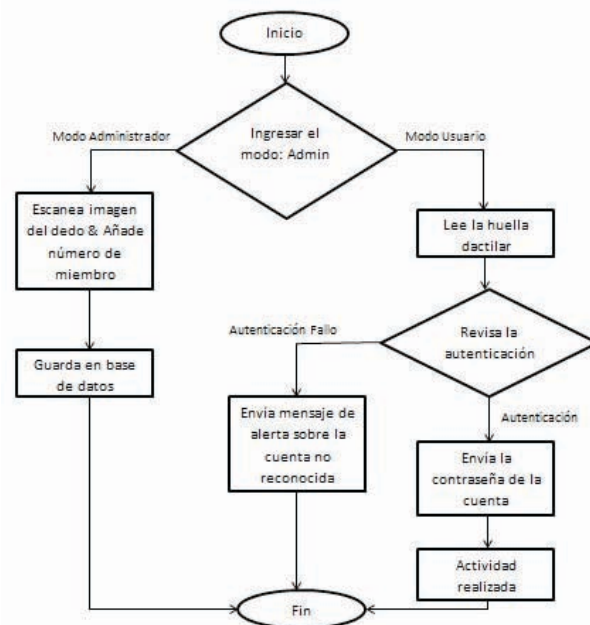


Figura 2: Reconocimiento de Huella Dactilar [5].

3 Metodología

3.1. Pruebas de comunicación con placas metálicas

El proceso de pruebas empezó con la determinación sobre cuál de los dos tipos de comunicación corporal capacitiva o galvánica se debe elegir, para lo cual se realizó pruebas en ambos modelos. Las pruebas se realizaron con el envío de una señal sinusoidal a través de 4 placas de cobre que estaban conectadas entre sí con puesta tierra cada una, tal como se puede ver en la Figura 3, en esta parte del proceso las placas tenían una dimensión irregular, las cuales estaban separadas por la muñeca derecha e izquierda y un brazalete de plástico alrededor como se observa en la Figura 4. Asimismo, se realizaron pruebas para el modelo capacitivo, para lo cual a cada par de placas de cobre se colocó una esponja entre ellas, conectando cada par de placas al transmisor y el receptor para así ver la comunicación con campos electromagnéticos, y poder realizar una comparación entre los tipos de comunicación corporal, para poder analizar cómo será la transmisión de la señal y cuál es la potencia que se alcanza a propagar en el cuerpo humano.

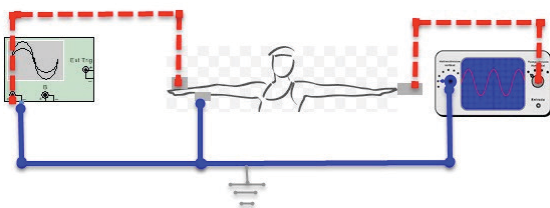


Figura 3: Circuito de prueba.

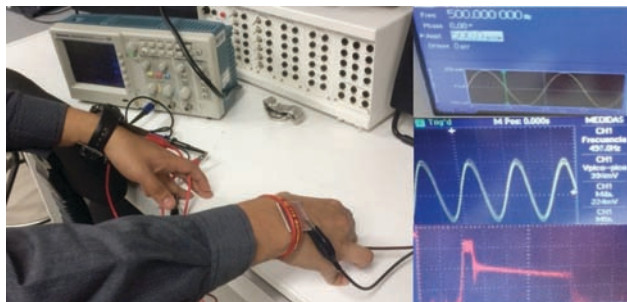


Figura 4: Pruebas del modelo galvánico.

Además, se realizó el análisis de la transformada de Fourier de la señal con la ayuda del osciloscopio. Para ello se envió por el generador de señales un barrido de la señal para poder observar el ancho de banda bajo el cual trabaja, y así poder determinar cuál de los dos modelos capacitivo o galvánico nos ofrece un mejor ancho de banda de trabajo cuando se realiza el envío de la señal. Al momento de analizar ambas señales se observó que el modelo capacitivo trabaja a mayores frecuencias y el ancho de banda de trabajo es menor, en cambio el modelo galvánico trabaja a menores frecuencias y el ancho de banda de trabajo es mayor. Por los resultados obtenidos se procedió a determinar el modelo de comunicación corporal que se va a usar. Se determinó que el modelo galvánico cumple con las características designadas para el proyecto. Dada la orientación del proyecto a la

seguridad, se trabaja a bajas frecuencias ya que los parámetros de la señal no deben variar demasiado.

Luego de comprobar la existencia de comunicación en cada uno de los terminales y que se eligió el modelo de GBCC, se procedió a realizar cada una de las medidas, estas fueron realizadas con la ayuda de un generador de señales y de un osciloscopio. Para de esta manera poder ver el rango de frecuencias, la potencia y el voltaje que se podía disponer y analizar mejor los parámetros de trabajo del modelo galvánico. Las variables usadas para las pruebas se ven en la Tabla I.

Tabla 1: Variables Independientes y Dependientes.

Variables Independientes		Variables Dependientes	
Variable	Parámetro	Variable	Parámetro
Señal Transmitida	Sinusoidal	Señal Recibida	Sinusoidal
Voltaje de Entrada	1 Voltio	Voltaje Recibido	mV
Frecuencias	KHz- MHz	-	-

3.2. Implementación en Módulo Arduino MEGA2560

Para continuar con las pruebas de una manera mucho más real, se realizó la búsqueda de un módulo programable, el cual pueda cumplir con las características de transmisión y recepción de señales. Para dicho fin se escogió el Arduino MEGA2560, entonces se empezó a trabajar en la programación del Arduino, de manera que se hizo un reconocimiento de las funciones de cada uno de sus puertos con los que cuenta el módulo. Después se llevó a cabo la programación de cada uno de los módulos, para que funcionen como transmisor y receptor de manera independiente. Para finalmente demostrar que existe comunicación entre cada uno de los Arduinos al momento de enviar una señal por el puerto serial.

3.3. Diseño de transmisor y receptor con anillo y placa

Luego de elaborar y establecer la comunicación entre cada uno de las tarjetas MEGA2560, se procedió a realizar las compras de un anillo de plástico y de una placa de acrílico de medidas de 2x2 cm, las cuales deben de ser de este tipo de material debido a que cuando se hagan las conexiones entre cada uno de los Arduinos y el envío de señales pues no exista ningún tipo de corto circuito. Entonces se establece la comunicación corporal galvánica con la ayuda del anillo de plástico como transmisor y de receptor de la señal la placa de acrílico que tiene soldados dos placas de cobre que permite establecer la comunicación entre ambos Arduinos. Ya que cada una de las conexiones se hizo como se realizaron las pruebas con el generador y osciloscopio, lo único que se agregó son los Arduinos como módulo de transmisor y de receptor.

Luego de este primer modelo de receptor, se observó que la placa de acrílico tenía problemas con la recepción de la señal, a causa de esto se tuvo que idear la forma en que la señal que es transmitida sea recibida con la mayor

potencia posible, para así asegurarnos que el proceso de autenticación se realice de la mejor manera. Dado ello se tuvo por bien usar el sensor touch, por lo tanto este sensor podrá responder de mejor manera a las señales o variaciones eléctricas producidas por la propagación de la señal, de modo que este puede simular el uso de lector de huella dactilar.

3.4. Diseño del Limitador de Potencia

Es necesario limitar la potencia de la señal dado el propósito de seguridad en el proceso de autenticación, ya que el contacto directo con otro cuerpo humano puede transferir la información personal que tenemos en nuestro cuerpo. Para el limitador de potencia de la señal, se debe impedir el paso de la señal que se iba propagando por el cuerpo humano. Para ello se procedió a usar el método de doble anillo en el cual tenemos nuestro anillo transmisor conectado en sus polos positivo y negativo a nuestro generador de funciones o al módulo programable, de igual manera en el mismo circuito tenemos un anillo de metal (acero inoxidable), siendo este un unipolo y tiene aplicada la polaridad negativa tal como podemos ver en la Figura 5.

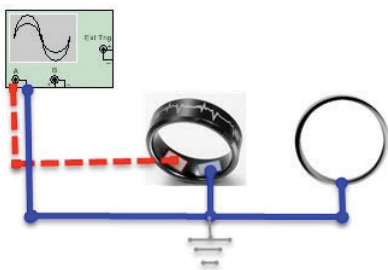


Figura 5: Circuito de limitador de Potencia.

Después de ello se realizó las pruebas del funcionamiento del modelo, en el cual se envió la señal a través del transmisor logrando que nuestro segundo anillo frenara la propagación de la señal. Dado ello se realizó las pruebas de propagación del campo eléctrico en la misma mano y la opuesta a esta, todo este procedimiento se llevó a cabo con la ayuda del osciloscopio para saber que porción de señal este podía captar tal como se aprecia en la Figura 6, ya que sólo se puede apreciar ruido y no la señal de 100 kHz a 3 voltios pico a pico que se transmite a través del cuerpo.



Figura 6: Prueba de limitador de potencia.

4 Experimentos y Resultados

4.1. Obtención de datos de comportamiento del canal

En las múltiples pruebas hechas en el laboratorio, al emplear nuestro cuerpo como canal de comunicación, se va viendo como es el comportamiento de nuestro cuerpo ante el envío de señales. Asimismo, se va observando cual sería el mejor rango de frecuencias y de potencias, bajo el cual nuestro cuerpo responde de una manera mucho más óptima cuando se da el envío de una señal.

- Tipo de señal: Sinusoidal.
- Rango de frecuencias: Variable (10kHz - 10MHz).
- Voltaje de Entrada: 1 voltio pico-pico.

Los datos fueron analizados con la ayuda del Matlab ya que las medidas tenían que ser lo más exactas posible, entonces como se puede ver la Figura 7, las respuestas de las muestras de los varones en algunos de los rangos son menos abruptas siendo gráficas exponenciales, y se observa que el mejor rango donde se puede trabajar es desde 10KHz hasta 100KHz, ya que el voltaje recibido es mayor comparado con los otros rangos de frecuencias. Entonces podemos deducir que es un buen rango de trabajo y como se investigó el modelo de comunicación corporal galvánico funciona mejor cuando trabaja a frecuencias menores de 1MHz, y estas frecuencias no alterarán la composición del cuerpo.

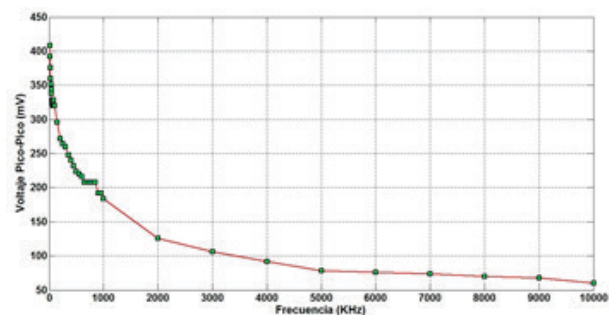


Figura 7: Muestras de rango de frecuencias en varón.

De igual manera se realizaron las mismas medidas en el mismo rango de frecuencias en una dama, ya que así podremos comparar los resultados. En la Figura 8, se observa como las caídas son muy parecidas a las del varón, pero en el caso de la dama la caída de los voltajes recibidos es mucho más abrupta, esto no quiere decir que los resultados son más óptimos en el sexo masculino, según las pruebas realizadas.

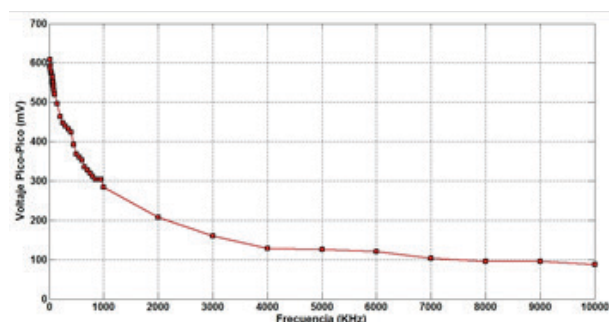


Figura 8: Muestras de rango de frecuencias en una dama.

Dado que cada cuerpo se comporta de manera diferente frente a la conductividad, se realiza mayor cantidad de pruebas. Debido a que la composición de cada una de las capas del organismo influye en la transmisión de la información. Para obtener resultados se usó dos terminales de acero inoxidable conectados al generador de funciones y en el receptor una placa con el terminal de acero inoxidable conectado a un osciloscopio como se ve en la Figura 9.

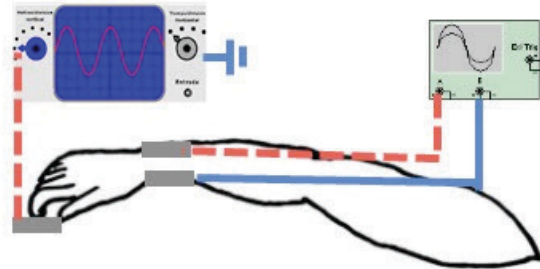


Figura 9: Circuito esquemático de pruebas.

Como podemos apreciar en la Figura 10 se hizo un estudio a personas del género masculino de edades entre 18 a 22 años, una vez obtenido el muestreo de cada uno de los varones se realizó un promedio de todos estos valores que está representada por la línea azul, la cual nos ayuda a determinar un modelo general. Cuando se transmite 1 voltio pico a pico se recibe 700 mV como máximo y como mínimo 560 mV, obteniendo una pérdida de potencia del 30% comparado con lo que se transmite, lo que permite el correcto funcionamiento de nuestro modelo de autenticación.

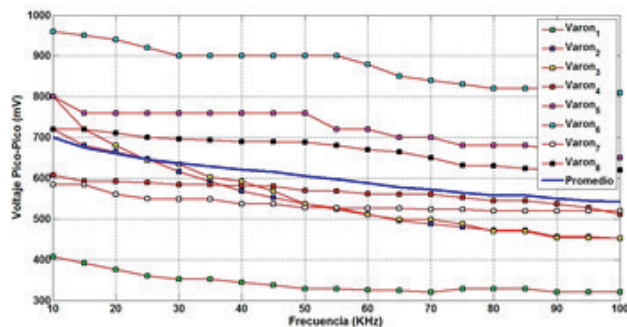


Figura 10: Muestras de varones en el rango de 10 KHz - 100KHz.

De igual manera, como se puede apreciar en la Figura 11 se realizó el muestreo en personas del género femenino en el mismo rango de 18 a 22 años, para ver el comportamiento de ellas frente al modelo galvánico.

Con el muestreo de las damas terminado, se procedió a determinar el promedio de las muestras para poder obtener un modelo general, en el cual de 1 voltio pico a pico que se transmite, se recibe 700 mV como mínimo, pero pierde potencia más rápido llegando a un mínimo de 450 mV. Por cual se tiene una diferencia de 100 mV en sus valores mínimos comparado con los varones, ya que los valores máximos son iguales en ambos casos.

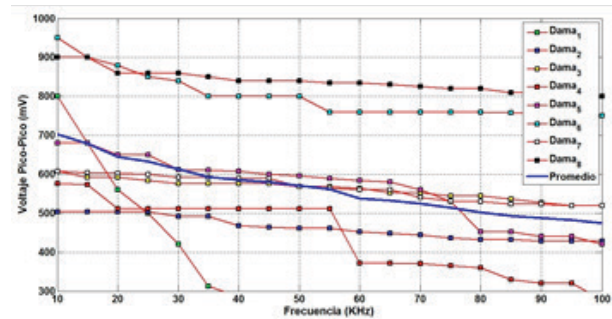


Figura 11: Muestras de damas en el rango de 10 KHz - 100KHz.

Observando ambas gráficas en sus modelos promedios, se ve que el modelo del varón ofrece menor pérdida de potencia por ello se procedió a realizar más pruebas en ellos para ver el alcance máximo de la comunicación corporal por acoplamiento galvánico.

Continuando con las pruebas se muestreo a 5 varones de edades entre 18 a 22 años. En este caso se colocó los electrodos transmisores en la mano derecha y el receptor en la mano izquierda. Se realizó para medir la potencia que se puede propagar en otra parte del cuerpo. De manera que siguiendo con los parámetros de la comunicación galvánica se debe ir perdiendo potencia a mayor distancia y frecuencia tal y como vemos en la Figura 12. En la cual también se obtuvo un promedio de las muestras para obtener un modelo general que nos muestra que cantidad de potencia se llega a propagar a la mano izquierda, vemos que se va atenuando ya que su parámetro máximo es 650 mV y el mínimo 370 mV, teniendo una pérdida de potencia del 50%, y aún con ello existe comunicación corporal galvánica.

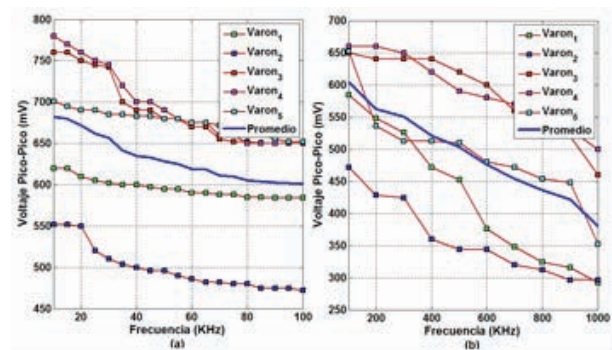


Figura 12: Muestras de rango de potencias en la mano izquierda - varones

Debido a que la potencia se propaga en todo el cuerpo humano se optó por usar un limitador de potencia el cual evite el paso de potencia a otras partes del cuerpo humano, dado ello se usó el método doble de anillo explicado en la sección 3. Para las pruebas de colocó los electrodos de acero inoxidable en el anillo, este se coloca en el dedo índice de la mano derecha, cerca del anillo limitador conectado a tierra como se aprecia en la Figura 13.

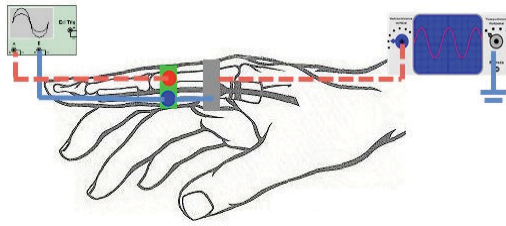


Figura 13: Circuito esquemático del anillo transmisor y el limitador de potencia.

La salida de potencia de limitador de potencia, y los valores recibidos fueron mínimos desde los 30 mV hasta los 22.8 mV se aprecian en la Figura 14 de esta manera comprobamos que nuestro limitador de potencia funciona y también que evitaremos el hurto de la información transmitida dado que el proceso de reconocimiento a través del código de usuario no funcionará con la potencia necesaria para que se envíe el código personal.

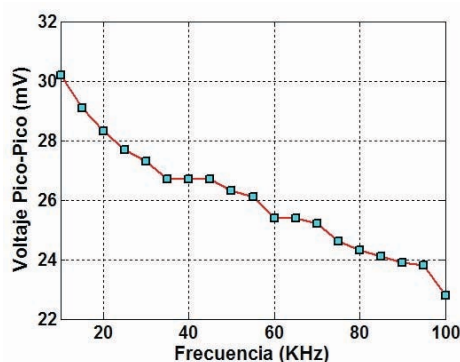


Figura 14: Muestras de limitador de potencia en el dedo índice de la mano derecha

4.2. Comunicación entre los arduinos MEGA2560

Una vez adquirido el Arduino MEGA2560, se instaló el programa Arduino para así poder trabajar. Para llevar a cabo la comunicación corporal galvánica y se empezó a realizar pruebas, de manera que se colocó un anillo de plástico como transmisor y en el lado del receptor se colocó una placa de acrílico, el transmisor y receptor conectados cada uno a tierra, y al momento de realizar el toque en la placa de acrílico con el dedo índice de la mano derecha se debe de entablar la comunicación.

4.3. Pruebas de Receptor con Sensor Touch

Dado que se integró al bloque receptor un sensor touch, el cual nos permite simular el detector de huella dactilar. Se tenía que programar dicho sensor para que pudiese reconocer el ingreso de una señal y este active el funcionamiento del Arduino MEGA2560. Una vez conseguido que ambos módulos se reconozcan se mostrará en el monitor serial el funcionamiento del bloque. Pues se realiza las conexiones con el Arduino y nuestro monitor serial es capaz de reconocer el ingreso o no de una persona cuando se aplica un voltaje en el sensor, es decir que si se recibe una señal por el sensor nos dará como mensaje "Autenticando a usuario" y si no hay respuesta o no se reconoce la señal por parte del Arduino nos dirá "Esperando reconocimiento de persona".

5 Conclusiones y Trabajos Futuros

- El modelo de comunicación corporal galvánico, nos brinda una forma segura y confiable de conectar dispositivo, usando nuestro cuerpo como canal de comunicación. Esto nos permite ser capaz de detectar la identidad de cada persona y autenticarla.
- En las pruebas se puede analizar como los mejores rangos de frecuencias nos brindan una mejor comunicación entre el transmisor y el receptor, logrando obtener el más óptimo desarrollo al momento de poder llevar esta aplicación al uso cotidiano de las personas.
- La propagación electromagnética es despreciable debido que para que haya propagación se debe de trabajar a altas frecuencias. Debido a que nuestra orientación es a la seguridad y si existe esta propagación aumenta el riesgo del robo del código de autenticación.
- La medida tomada en el proceso de comunicación corporal galvánica nos permite poder escoger con cual frecuencia se puede trabajar en este modelo y en que frecuencias ocurre menor interferencia y pérdida de potencia de la señal.
- Cuando se usa el anillo transmisor podemos ver como este es susceptible a los cambios corporales y atmosféricos, generando que existan cambios en la señal propagada.
- Con todas las muestras obtenidas y los cambios de la señal observado, nos podemos dar cuenta que el cuerpo humano es sensible a los cambios que puedan ocurrir por fuerzas externas.
- El limitador de potencia evita que se propague potencia por todo el cuerpo, dado que a mayores frecuencias se amplía el campo eléctrico y también el magnético lo que va ir ocasionando que la señal pueda ser usada por otros usuarios.

Referencias bibliográficas

- [1]. N. S. Mazloun, "Body-coupled communications," Master Thesis, December 2008.
- [2]. K. S. H. L. Joonsung Bae, Hyunwoo Cho and H.-J. Yoo, "The signal transmission mechanism on the surface of human body for body channel communication," Transactions on microwave theory and techniques, vol. 60, no. 3, pp. 582 593, March 2012.
- [3]. V. B. Livshits and M. S. Lam, "Finding security vulnerabilities in java applications with static analysis," March 2005, computer Science Department Stanford University.
- [4]. T. T. K. S. K. S. H. H. Keisuke Hachisuka, Azusa Nakata and K. Itao, "Development of wearable intra-body communication devi," Sensors and Actuators, vol. 105, pp. 109 – 115, June 2003.
- [5]. A. S. C. Alliance, Privacy and Secure identification Systems: The Role of Smart Cards as a Privacy - Enabling Technology. A Smart Card Alliance, February 2003.