

# CONESCAPANHONDURAS2025paper60.pdf

 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

---

## Document Details

### Submission ID

trn:oid:::14348:477764427

### Submission Date

Jul 31, 2025, 11:26 PM CST

### Download Date

Aug 12, 2025, 2:39 PM CST

### File Name

CONESCAPANHONDURAS2025paper60.pdf

### File Size

826.7 KB

6 Pages




3,773 Words

19,842 Characters

# 13% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

## Top Sources

- 12%  Internet sources
- 8%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

## Integrity Flags




### 0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

## Top Sources

- 12%  Internet sources
- 8%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

## Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Publication	Bryan Alexander Peñaherrera Cando. "Botes de basura inteligentes para clasifica...	<1%
2	Internet	dspace.lboro.ac.uk	<1%
3	Internet	www.coursehero.com	<1%
4	Internet	dspace.unach.edu.ec	<1%
5	Publication	Jalil, M. E., M. K.A Rahim, and N. A Samsuri. "Multiband antenna at ISM band usin...	<1%
6	Publication	Fareah Tariq, Qudsia Amjad, Areeba Kamran, Arshad Hassan, Rashid Karim. "A Fle...	<1%
7	Internet	inaoe.repositorioinstitucional.mx	<1%
8	Internet	repository.usta.edu.co	<1%
9	Internet	bibdigital.epn.edu.ec	<1%
10	Internet	exaly.com	<1%
11	Internet	www.ccapitalia.net	<1%

12	Internet	export.arxiv.org	<1%
13	Internet	journals.sagepub.com	<1%
14	Publication	Antonio Carlos Bento, Carlos Vázquez Hurtado, Daniel Couto Gatti, Claudia Marce...	<1%
15	Internet	repositorio.upse.edu.ec	<1%
16	Publication	Ovidiu Bejenaru, Catalin Lazarescu, Silviu Vornicu, Valeriu David. "Specific Absorp...	<1%
17	Internet	docplayer.com.br	<1%
18	Internet	repositorio.unican.es	<1%
19	Internet	repositorio.ugto.mx	<1%
20	Internet	repositorio.unab.cl	<1%
21	Internet	es.scribd.com	<1%
22	Internet	repositorio.uta.edu.ec	<1%
23	Internet	repositorio.utc.edu.ec	<1%
24	Internet	retyca.tecno.unca.edu.ar	<1%
25	Internet	static.dengineering.com	<1%

26	Internet	prezi.com	<1%
27	Internet	repositorio.uss.edu.pe	<1%
28	Internet	repositorio.utn.edu.ec	<1%
29	Internet	repository.unab.edu.co	<1%
30	Internet	www.researchgate.net	<1%
31	Publication	Janneth Rocío Secue. "<![CDATA[Review of Sweep Frequency Response Analysis -S...	<1%
32	Internet	www.fundicot.org	<1%
33	Internet	zagan.unizar.es	<1%

# Diseño y Verificación para un Sistema de Transmisión por WiFi de Electrocardiograma y Frecuencia Cardíaca

24

**Resumen-** Este trabajo presenta el diseño e implementación de una antena textil operativa en la banda de 2.4 GHz, destinada a sistemas de telemetría biométrica. En este estudio, se diseñaron y evaluaron seis prototipos utilizando diferentes sustratos y técnicas de fabricación. Se realizó una comparación de rendimiento entre la antena textil y una antena comercial integrada en un microcontrolador Mini D1 PRO, evaluando factores como coeficiente de reflexión, latencia y eficiencia de transmisión. Los resultados muestran que las antenas textiles son una alternativa viable para aplicaciones biométricas, aunque enfrentan desafíos en la optimización de impedancias y adaptación a frecuencias específicas.

**Palabras clave-** Acople de impedancias, antena parche, electrocardiograma, frecuencia, telemetría.

## I. INTRODUCCIÓN

27

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) señala a Honduras como el 5to país con nivel más alto de tasas de mortalidad por enfermedades cardiovasculares en la región americana, es por eso que es vital implementar estrategias que permitan su prevención y control. [1] Los dispositivos de salud portátiles se están volviendo vitales en el manejo de enfermedades crónicas porque ofrecen monitoreo en tiempo real y atención personalizada. [2] Los llamados "sistemas textiles portátiles" tienen como objetivo mejorar nuestra calidad de vida al mejorar las funcionalidades de la ropa a través de una combinación de textiles y electrónica. Pero un enlace de comunicación inalámbrico entre la prenda y una estación base requiere antenas. La integración óptima de una antena en una prenda se puede lograr haciendo que la propia antena esté hecha de material textil. [3]

7

Las antenas textiles son antenas hechas de materiales derivados de textiles convencionales o industriales. Son aquellas en las que el plano de diseño (conductor) se encuentra montado sobre un material textil con una constante dieléctrica específica. [4] En cuanto al diseño de antenas textiles requiere conocimientos sobre propiedades electromagnéticas como la permitividad y la tangente de pérdida del material textil. Los textiles conductivos, como Zelt, Electron y telas de tafetán de poliéster de cobre puro, se utilizan regularmente como el elemento radiador, mientras que los textiles no conductivos, como la tela Jean, el fieltro y el forro polar, se utilizan como sustratos. [5]

28

Es de vital importancia conocer el material de fabricación del sustrato, algunos de los detalles a considerar en la elección de materiales es su grosor, debe tener bajas pérdidas para mejorar la eficiencia de la antena cuando está cerca del cuerpo humano, flexibilidad, para su fácil adaptación al cuerpo humano, baja constante dieléctrica para una mayor ganancia y eficiencia. Y por último considerar cuanto más elástica sea la tela, más problemas surgirán, porque cuando la fibra conductora se estira, su constante dieléctrica y su grosor cambiarán, lo que hará que cambie la frecuencia de la antena [6]. A partir de la Tabla 1 observamos las propiedades de los materiales más comunes para el diseño de antenas textiles.

TABLA 1 MATERIAL APTO PARA SUSTRATO [7]

Material	$\epsilon_r$	Humedad	Elasticidad	Ancho constante	Resistencia
Fieltro	1.22	No	No	Si	Si
Lana	1.98	Si	No	Si	Si
Seda	4.6	Si	No	No	Si
Delinova 200	1.17	No	Si	Si	Si
Denim	1.6	No	Si	Si	Si
Espuma de Poliestireno	1.02	Si	Si	No	No

Por otro lado, existen otro tipo de materiales no textiles para el desarrollo de antenas flexibles como el cobre adhesivo, las cintas de cobre, tintas, pinturas, aerosoles conductivos y el revestimiento de cobre. [8]

## II. METODOLOGÍA

La metodología adoptada en nuestra investigación incluye un enfoque que combina el desarrollo de hardware y software. Mediante investigación y experimentación determinaremos los materiales necesarios para el diseño y elaboración de una antena textil, con el objetivo de que opere a una frecuencia de 2.4Ghz, misma que corresponde a la frecuencia del Wifi [9], este parámetro es esencial para que el sistema logre la transmisión a un dispositivo móvil, para luego visualizar los datos obtenido del hardware en la aplicación IoT Remote [10] conectada directamente al Arduino Cloud [10].

El microcontrolador MINI D1 PRO [11] transforma la onda de ECG(Electrocardiograma) [12] del sensor AD8232 [13] a un valor en BPM (Beats por minuto) [14]. Este microcontrolador junto al sensor AD8232, y la antena textil, funcionan en conjunto para la medición, recolección y transmisión de datos de los electrodos del sensor AD8232.

De este sistema que cuenta con la antena textil y luego cambiando la antena a una comercial incluida en el MINI D1 PRO, realizaremos pruebas de latencia [15] en el primer piso del Edificio B2 de la UNAH bajo presencia de otras redes Wifi a una distancia de 20m, tomando como muestra 5 datos por cada metro, esto para lograr comparar el rendimiento del sistema con diferentes antenas.

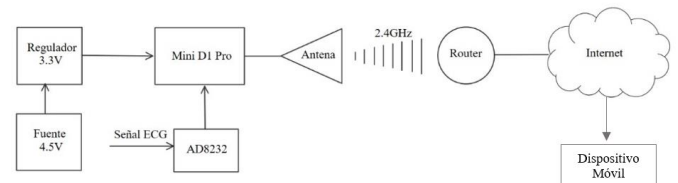


Fig 1. Diagrama de bloques del sistema

### A. Diseño de Antena Textil

El diseño de la antena implica realizar cálculos básicos de longitud y forma para diseñar una antena de 2.4 GHz. Antes de comenzar con los cálculos de las ecuaciones necesarias, debemos mencionar el uso de algunas constantes en nuestras antenas. Definimos  $w_p=45mm$  como constante, esto debido a que la anchura máxima de nuestro elemento radiador, en este caso se utilizará cinta conductiva, es de 50mm [16], con una conductividad eléctrica de  $5.8 \times 10^7$  S/m [8].  $\epsilon$  será la

permitividad del sustrato,  $h$  el espesor del sustrato,  $F_r$  frecuencia de resonancia,  $c$  velocidad de la luz en el espacio libre donde  $c = 3 * 10^8$  [17].

La diversidad de diseños de antenas empleados en nuestra investigación exige la aplicación de diversas formulaciones matemáticas para determinar las dimensiones óptimas tanto de la antena como de las líneas de transmisión asociadas.

Para garantizar una radiación eficiente del parche, se empleó la siguiente expresión para determinar su ancho óptimo: [17]

$$w_p = \frac{c}{2 * F_r * \sqrt{\frac{\epsilon + 1}{2}}} * 1000 \quad (1)$$

Para la permitividad de referencia:  $\epsilon_{reff}$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon + 1}{2} + \frac{\epsilon - 1}{2} * \sqrt{1 + 12 * \frac{h}{w_p}} \quad (2)$$

Longitud de onda ( $\alpha$ ):

$$\alpha = \frac{c}{F_r} * 1000 \quad (3)$$

Procedemos con el cálculo de  $\Delta L$ :

$$\Delta L = h * 0.412 * \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left( \frac{w_p}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left( \frac{w_p}{h} + 0.8 \right)} \quad (4)$$

Para el largo del parche:

$$l_p = \left( \frac{c}{2 * F_r * \sqrt{\epsilon}} \right) * 1000 - 2\Delta L \quad (5)$$

El siguiente paso consiste en el cálculo de parámetros adicionales de la antena, en particular, las dimensiones de las ranuras. Con el fin de llevar a cabo estos cálculos de manera precisa, se requiere determinar  $k_0$  una constante específica que será utilizada en los cálculos subsiguientes: [17]

$$k_0 = \frac{2 * \pi}{\alpha} \quad (6)$$

Conductancia del parche:

$$G = \frac{w_p}{120 * \alpha} \left( 1 - \frac{1}{24} (k_0 * h)^2 \right) \quad (7)$$

Impedancia de entrada del parche:

$$Z_{in} = \frac{1}{2G} \quad (8)$$

Teniendo este dato procedemos a calcular el largo de la ranura

$$si = \frac{l}{\pi} * \text{ArcCos} \left[ \sqrt{\frac{50}{Z_{in}}} \right] \quad (9)$$

Ahora podemos calcular el ancho de las ranuras:

$$sg = \frac{c * F_r * 4.65 * 10^{-18}}{\sqrt{2 * \epsilon_{reff}}} \quad (10)$$

Como estrategia adicional para optimizar la adaptación de impedancias, se utilizarán transformadores de cuarto de onda.

Estos componentes pasivos presentan una característica esencial: su impedancia característica debe coincidir con la impedancia de la carga a la que están conectados. [17] Los transformadores binomiales multisección presentan una característica distintiva: su respuesta en banda de paso es óptima. Esto significa que, para un número determinado de secciones, la respuesta de frecuencia es la más plana posible en torno a la frecuencia de diseño, lo que resulta en un acoplamiento de impedancia más preciso [17]. Las proporciones de la impedancia de los transformadores y la impedancia del parche se observa en la Fig 2.

$Z_L/Z_0$	$N = 2$		$N = 3$			$N = 4$			
	$Z_1/Z_0$	$Z_2/Z_0$	$Z_1/Z_0$	$Z_2/Z_0$	$Z_3/Z_0$	$Z_1/Z_0$	$Z_2/Z_0$	$Z_3/Z_0$	$Z_4/Z_0$
1.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.5	1.1067	1.3554	1.0520	1.2247	1.4259	1.0257	1.1351	1.3215	1.4624
2.0	1.1892	1.6818	1.0907	1.4142	1.8337	1.0444	1.2421	1.6102	1.9150
3.0	1.3161	2.2795	1.1479	1.7321	2.6135	1.0718	1.4105	2.1269	2.7990
4.0	1.4142	2.8285	1.1907	2.0000	3.3594	1.0919	1.5442	2.5903	3.6633
6.0	1.5651	3.8336	1.2544	2.4495	4.7832	1.1215	1.7553	3.4182	5.3500
8.0	1.6818	4.7568	1.3022	2.8284	6.1434	1.1436	1.9232	4.1597	6.9955
10.0	1.7783	5.6233	1.3409	3.1623	7.4577	1.1613	2.0651	4.8424	8.6110

Fig 2 Conversión De Impedancias En Transformadores Binomiales Multiseccionados [17]

Elaboramos las antenas evaluando distintos tipos de diseños esto con el propósito de identificar las variaciones que se presentan al sustituir los sustratos utilizados, o modificar su grosor. Es importante destacar que cada sustrato posee una permitividad dieléctrica diferente, la cual influye directamente en el comportamiento de la antena.

Los prototipos se realizaron con los siguientes sustratos: Prototipos 1,3,4 y 5: Fieltro; Prototipo 2 y 6: Denim.

Al realizar los cálculos para los diferentes prototipos, obtuvimos los siguientes parámetros para nuestras antenas:

TABLA 2 PARÁMETROS ANTENA TEXTIL

Parámetros en mm						
Prototipo	1	2	3	4	5	6
ll	25	26	27	29	29	26
wl	6	4	6	8	19	15
wp	45	45	45	45	45	45
lp	50	48	55	51	50	43
ls	110	100	110	130	129	115
ws	50	100	50	50	50	100
hs	1.4	1	1.4	2	4	4
hc	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
si	12	16	12	17	19	17
sg	2	2	2	2	2	2
lt	-	-	13	15	14	13
wt	-	-	1	6	14	12
lt2	-	-	-	15	14	13
wt2	-	-	-	2	7	5
wt3	-	-	-	-	2	2
lt3	-	-	-	-	14	13

Con los parámetros de las antenas calculados, procedemos a simularlos en el software CST Studio [18]. El cual nos proporciona una amplia vista de cómo se debe realizar los prototipos en físico además de mostrarnos parámetros de las antenas los cuales solo podemos visualizar en simulaciones.

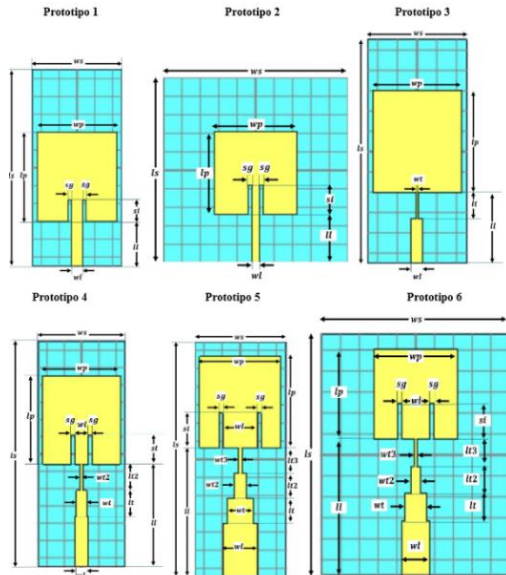


Fig 3. Diseño antenas textiles en CST Studio

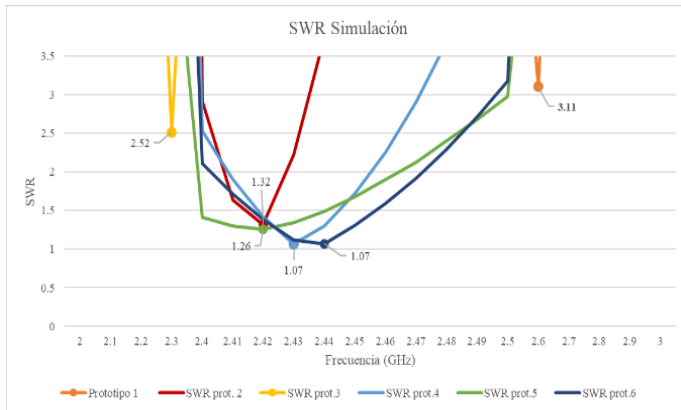


Fig 4 SWR en simulación

TABLA 3 MINIMAS REFLEXIONES EN SIMULACION

	Frecuencia GHz	Reflexión dBs
<b>Prototipo 1</b>	2.4	-5.29
<b>Prototipo 2</b>	2.41	-18.73
<b>Prototipo 3</b>	2.31	-8.22
<b>Prototipo 4</b>	2.43	-30.98
<b>Prototipo 5</b>	2.4	-18.54
<b>Prototipo 6</b>	2.43	-41.76

A partir de la simulación y análisis de los parámetros de dispersión  $S_{11}$  [19] y la relación de ondas estacionarias (SWR) [17] en los diseños, se infiere que las antenas evaluadas presentan un desempeño potencialmente adecuado para aplicaciones de transmisión. No obstante, considerando las limitaciones inherentes al modelo de simulación empleado y su posible imprecisión, se estableció un margen de tolerancia de  $\pm 1$  GHz respecto a la frecuencia de operación óptima.

### B. Integración de hardware y software

Para empezar a integrar todos los componentes conectamos el microcontrolador MINI D1 PRO con el sensor AD8232, siguiendo el esquema como se observa en la Fig 5.

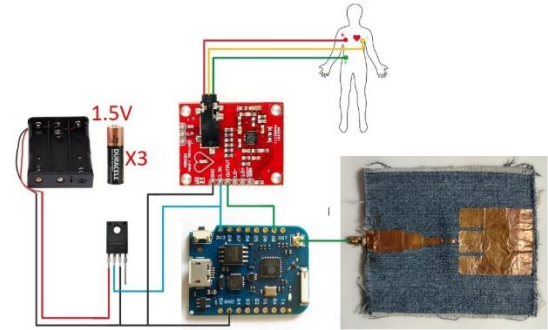


Fig 5. Esquema de conexiones del sistema

Previa a la fase de transmisión en el Arduino Cloud, realizamos un código que nos permitiera visualizar la señal analógica generada por el sensor AD8232, al mismo tiempo, el siguiente código convierte la señal de salida del Sensor AD8232 a valores de BPM.

Este código lee la señal de salida del sensor AD8232 desde un pin analógico y calcula la frecuencia cardíaca (BPM) detectando picos en la señal que superan un umbral definido. Utiliza (analogRead) para capturar los valores de la señal y, mediante la condición `if (ecgSignal > threshold && (millis() - previousMillis > 600))`, detecta picos que exceden el umbral (threshold) y descarta lecturas consecutivas en un intervalo menor a 600 ms, esto para evitar datos espurios. Al identificar un pico, calcula el tiempo actual (`currentMillis = millis()`), obtiene el intervalo desde el último pico (`currentMillis - previousMillis`), y usa la fórmula [12]

$$\text{Frecuencia cardíaca} = \frac{1000 \times 60}{\text{Intervalo de RR en milisegundos}} \quad (11)$$

Para calcular la frecuencia cardíaca. Finalmente, imprime las lecturas de ECG y BPM en el puerto serial.

El umbral (threshold) utilizado en el código fue definido mediante experimentación con el generador de funciones Feeltech FY3200S [20] proporcionado por la empresa EIPRO, este generador cuenta con una onda que simula un ECG en condiciones normales (60-100 BPM) [14], por lo que para verificar nuestro código y un correcto funcionamiento del umbral, verificamos la onda del generador Feeltech FY3200S usando el osciloscopio Fnrirs-1014D [21] y en el microcontrolador MINI D1 PRO cargamos el código de la Fig 6 para poder calcular el BPM esta vez con valores de entrada del generador de funciones Feeltech FY3200S.

```

1 const int pinECG = A0;
2 int ecgSignal = 0;
3 unsigned long previousMillis = 0;
4 int BPM = 0;
5 int threshold = 600;
6
7 void setup() {
8   Serial.begin(115200);
9 }
10
11 void loop() {
12   ecgSignal = analogRead(pinECG);
13
14   // Detectar picos y calcular BPM
15   if (ecgSignal > threshold && (millis() - previousMillis > 600)) {
16     unsigned long currentMillis = millis();
17     BPM = 60000 / (currentMillis - previousMillis); // Calcular BPM
18     previousMillis = currentMillis;
19   }
20
21   Serial.print("ECG:");
22   Serial.println(ecgSignal);
23   Serial.print("BPM:");
24   Serial.println(BPM);
25
26   delay(20);
27 }

```

Fig 6. Código de Lectura de ECG y conversión a BPM en Arduino IDE



Nuestros valores iniciales son, un voltaje de 3.3v este es el voltaje de operación del MINI D1 PRO, aplicamos un offset de 1.3v, esto debido a que la onda S del ECG alcanza valores negativos si está sin offset, el cuerpo humano no tiene valores negativos, por lo que es importante aplicar este offset para no tener ningún valor negativo.

Para esta prueba, basados en los resultados de la lectura del código, notamos que los picos R-R del ECG superan los 600, por lo que realizamos la prueba con un umbral de 600 de 1024 valores posibles, variando la frecuencia desde 1Hz a 1.67 Hz obtenemos diferentes valores de entre 60-100 BPM [14].

Una vez realizado y verificado el código, lo cargamos a la nube de Arduino cloud para luego visualizar nuestros datos desde un dispositivo móvil en un dashboard dentro de la aplicación IoT Remote. Para esto, ingresamos a la plataforma de Arduino Cloud y configuramos las variables a utilizar, la conexión de la red y el dispositivo a utilizar, en nuestro caso se configuró como un ESP8266 [22] ya que es el chip integrado en el microcontrolador MINI D1 PRO

```
1 Seminario_dec09a.ino  ReadMe.doc  thingPrope
3 int threshold = 600;
4 unsigned long previousMillis = 0;
5
6 void setup() {
7   Serial.begin(9600);
8   delay(1500);
9   initProperties();
10  ArduinoCloud.begin(ArduinoIoTPreferredConnection);
11  setDebugMessageLevel(2);
12  ArduinoCloud.printDebugInfo();
13 }
14 void loop() {
15   ArduinoCloud.update();
16   int bpm=BPM;
17   ecgSignal = analogRead(pinECG);
18   if (ecgSignal > threshold && (millis() - previousMillis > 600) ) {
19     unsigned long currentMillis = millis();
20     BPM = 60000 / (currentMillis - previousMillis);
21     previousMillis = currentMillis;
22   }
23
24   delay(20);
25 }
```

Fig 7. Código para lectura de ECG y cálculo de bpm



Fig 8. Visualización ECG y BPM en el IOT Remote

### C. Prueba de Latencia

Para determinar la latencia de ida y vuelta del sistema de comunicación. Se registran dos variables en Arduino Cloud, una para almacenar un dato de prueba, testData, y la otra para visualizar la latencia, latency. El microcontrolador enviará un dato de prueba (i) con una etiqueta de tiempo, es decir, registrando el momento en el que lo envía en la variable

sendTime. Luego esperará 3 segundos para recibir confirmación de parte del Cloud de que la variable testData ha sido actualizada y así ejecutar la función ontestDataChange (). Dicha función se ejecuta siempre que el valor de la variable testData es actualizado en Arduino Cloud. Y a través de ella, se efectúa el cálculo de la latencia y preparará el siguiente dato de prueba. El objetivo de esta prueba es medir la latencia del sistema con la antena comercial que incluye el microcontrolador MINI D1 PRO y compararlo con el Prototipo 6 de antena textil.

```
1 #include "thingProperties.h"
2 int i=0;
3 int sendTime=0;
4
5 void setup() {
6   Serial.begin(9600);
7   delay(1500);
8   initProperties();
9   ArduinoCloud.begin(ArduinoIoTPreferredConnection);
10  setDebugMessageLevel(2);
11  ArduinoCloud.printDebugInfo();
12 }
13 void loop() {
14   //Se define el dato de prueba
15   testData=i;
16   //Inicia el conteo de tiempo de envío
17   sendTime=millis();
18   //Se envía el dato
19   ArduinoCloud.update();
20   //Se ejecuta la función que responde a cambios en la variable de prueba en el Cloud
21   ontestDataChange();
22   //Se deja un tiempo suficiente para que la función anterior se pueda ejecutar dentro del mismo ciclo
23   delay(3000);
24 }
25
26 void ontestDataChange(){
27   //Se calcula la latencia como la diferencia entre el tiempo en el que se confirma la llegada del dato y el tiempo en el que fue
28   //enviado
29   latency=millis()-sendTime;
30   //Se define el siguiente dato de prueba
31   i++;
32   //Se resetea el dato de prueba para mantenerlo en un rango pequeño
33   if(i>100){
34     i=0;
35   }
36 }
```

Fig 9. Código para la medición de Latencia

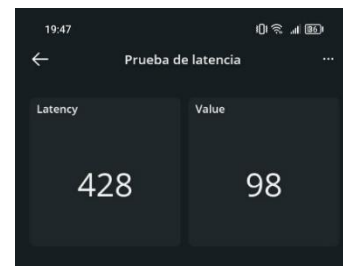


Fig 10. Dashboard para la medición de Latencia

## III. RESULTADOS

### A. Antenas

Presentamos los prototipos de las antenas textiles, realizadas, recordando que el Prototipo 1,3 y 4 se realizaron en una sola capa de fieltro, Prototipo 2 se realizó en una sola capa de tela Jean, Prototipo 5 en dos capas de fieltro y el Prototipo 6 se realizó en cuatro capas de tela Jean.

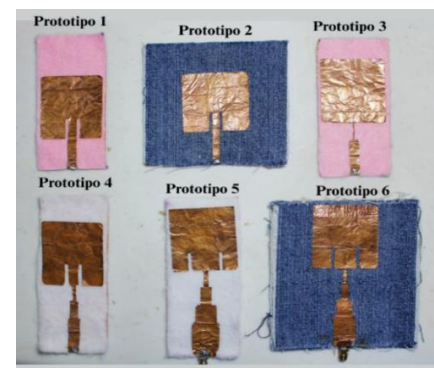


Fig 11. Prototipos Antenas Textiles

### 1) Verificación del SWR y Parámetros S11

La caracterización experimental de los parámetros de dispersión S11 y del coeficiente de onda estacionaria (SWR) se llevó a cabo mediante el uso del analizador vectorial de redes NanoVNA-F V2 [23], un instrumento portátil es ampliamente empleado en estudios preliminares de dispositivos de RF. Este equipo permitió realizar una evaluación precisa del comportamiento de las antenas textiles en un entorno controlado, específicamente en el rango de frecuencia de 2 GHz a 3 GHz.

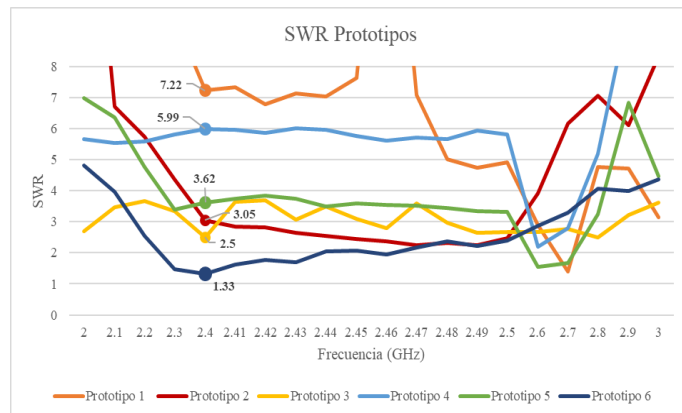


Fig 12. Gráfica SWR Antenas textiles de 2GHz-3GHz

TABLA 4 MINIMAS REFLEXIONES EN PROTOTIPOS REALES

	Frecuencia GHz	Reflexión dBs
Prototipo 1	2.7	-27.29
Prototipo 2	2.48	-8.03
Prototipo 3	2.4	-6.73
Prototipo 4	2.4	-3.9
Prototipo 5	2.4	-4.84
Prototipo 6	2.4	-28.76

Como podemos ver en la Fig 12 los valores de SWR varían a lo largo de la banda 2GHz-3GHz, pero nuestra frecuencia de operación y en la que nos centraremos será la de 2.4GHz. Para que exista una transmisión de datos óptima, y que no exista riesgo de dañar el transmisor es requerido un  $SWR < 2.5$  [23], y al observar la frecuencia que trabajaremos, notamos que solo uno de los 6 prototipo cumple con este requisito, siendo este el Prototipo 6, el cual tiene un  $SWR = 1.33$ , estando en un punto óptimo de reflexiones para poder hacer la transmisión de datos.

### 2) Prueba de Espectro

Para la realización de esta prueba se emplearon un analizador de espectros F60105 [24] y un modulador Max 2870 [25], ambos proporcionados por la empresa EIPRO. Se programó el modulador Max 2870 para generar una señal sinusoidal a 2400 MHz. A su vez, el analizador de espectros fue configurado para operar en el rango de 2.3 a 2.5 GHz. se configuró el analizador para medir la potencia radiada, considerando que su referencia de cero dBm corresponde a -65 dBm. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Antena comercial: -44dBs
- Antena Textil: -36dBs

La prueba evidenció que la antena textil supera significativamente a la antena comercial en potencia radiada, con una diferencia de 7 dB, equivalente a casi duplicar su eficiencia. A pesar de posibles variaciones por ruido electromagnético, esta diferencia es estadísticamente significativa, destacando la antena textil como una opción más adecuada para aplicaciones que demandan mayor alcance y eficiencia en la transmisión de señales.

### 3) Prueba de Latencia

A distancias cortas, ambas antenas muestran un comportamiento similar, con una latencia inicial en el rango de los 402-403 ms. Sin embargo, al aumentar la distancia al router, se observa una clara desventaja en el diseño textil, que presenta un incremento levemente mayor en la latencia en comparación con la antena comercial.

Distancia (m)	Antena Comercial (ms)	Antena Textil (ms)
0	403.2	402.4
1	407.2	406.8
2	412.4	412.6
3	415.8	417.6
4	419.6	424.2
5	423.2	430.4
6	426.6	434.8
7	430.6	440.8
8	436.4	446.4
9	443.2	454.2
10	449.6	462
11	455.8	472.4
12	461.2	484.8
13	468.6	491.2
14	474.2	507.6
15	483.4	515.2
16	492.8	522.8
17	502.2	535.6
18	513.8	544.6
19	522.4	557.8
20	534.8	576.4

Fig 13 Resultados de Medición de Latencia

En la Fig 13, se presentan los valores de latencia promedio y desviación estándar para la latencia de ambas antenas a distancias dentro de un rango de 20m desde el router. Estos valores reflejan el rendimiento general de las antenas comercial y textil, proporcionando una visión del comportamiento promedio y la variabilidad de las latencias a lo largo de las distintas mediciones.

TABLA 5 PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR

Latencia promedio (ms)		Desviación estándar (ms)	
Antena Comercial	Antena Textil	Antena Comercial	Antena Textil
456	473	40	53

A partir de estos datos, se observa que el sistema presenta una latencia promedio 3.8% mayor cuando se utiliza la antena textil

## IV. CONCLUSIONES

El prototipo 6, elaborado en tela jean de 4 capas y cinta conductiva, cuenta con un diseño que incluye un transformador binomial de cuarto de onda con 3 secciones, presentó un  $SWR = 1.33$ , un valor de impedancia de  $47.5\Omega + 13.8j$  y un coeficiente de reflexión de -29.36dB, por lo tanto, el diseño y su implementación en la etapa de transmisión del sistema de telemetría, han resultado exitosos, comprobando así la hipótesis principal.

A partir del diseño y experimentación con diferentes sustratos, logramos determinar que el prototipo 6 elaborado a 4 capas de tela Jean con diseño en cinta conductiva, nos proporciona mejores resultados, entonces podemos decir que rechazamos nuestra hipótesis secundaria, ya que la tela jean tiene mayor constante dieléctrica, y que por el diseño de la antena, el grosor del sustrato juega un rol importante en la antena.

La latencia promedio observada con la antena textil fue mayor a la observada con la antena comercial. No obstante, no existen diferencias significativas entre las latencias de una antena respecto a otra, respaldado por la prueba de hipótesis. La diferencia observada podría ser atribuida al azar, y no a una diferencia real y significativa en el desempeño de las antenas, comprobando así la tercera hipótesis.

## V. AGRADECIMIENTOS

Damos las gracias a la empresa EIPRO, por su ayuda al proporcionar las herramientas necesarias para realizar algunas de las pruebas realizadas. De igual forma a la ingeniera Cinthia Irias por su asesoramiento en la utilización de las mismas. Y por último al Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica y Telecomunicaciones GI-2018-03, INDELECTRO del cual algunos miembros hicieron una revisión del documento presentado.

## VI. REFERENCIAS

- [1] OPS, «La Carga de Enfermedades Cardiovasculares, OPS,» Organización Panamericana de la Salud, 2000-2019. [En línea]. Available: <https://www.paho.org/es/enlace/carga-enfermedades-cardiovasculares>.
- [2] F. A. A. , H. A. A. , S. F. , M. A. A. , K. A. Z. Eman A Jafleh, «The Role of Wearable Devices in Chronic Disease Monitoring and Patient Care: A Comprehensive Review,» *Cureus*.
- [3] C. Hertleer, A. Tronquo, H. Rogier, L. Vallozzi y L. V. Langenhove, «Aperture-Coupled Patch Antenna for Integration Into Wearable Textile Systems,» *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 6, pp. 392 - 395, 27 Agosto 2007.
- [4] A. V. Martínez, *Diseño de Antenas Directivas de Tecnología Textil de tipo Fabry-Perot*, 2014.
- [5] N. H. M. Rais, P. J. Soh, F. Malek, S. Ahmad, N. Hashim y P. Hall, «A Review of Wearable Antenna,» de *2009 Loughborough Antennas & Propagation Conference*, 2009.
- [6] S. A. R. P. S. a. M. K. K.N. Paracha, «“Wearable antennas: A review of materials, structures, and innovative features for autonomous communication and sensing,”,» *IEEE Access*, p. pp. 56694–56712, 2019.
- [7] R. G. P. P. a. R. S. Caroline Loss, «A Review of Methods for the Electromagnetic Characterization of Textile Materials for the Development of Wearable Antennas.,» 2020.
- [8] A. N. S. I. ANSI, «Standard Practice for Determining Electrical Conductivity Using the Electromagnetic (Eddy-Current) Method,» 2008. [En línea]. Available: <https://web.archive.org/web/20080518071038/http://webstore.ansi.org/RecordDetail.aspx?sku=ASTM+E1004-02>.
- [9] J. Salazar, «Redes Inalámbricas,» [En línea]. Available: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01\\_R\\_E\\_S.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_E_S.pdf).
- [10] A. Kurniawan, *Beginning Arduino Nano 33 IoT: Step-by-Step Internet of Things Projects*, Apress, 2020.
- [11] A. A. R. Aya, J. A. F. Luna y J. A. C. García, «Sistema de control y telemetría dedos mediante una aplicación móvil en Android basado en IoT para el monitoreo de datos,» *ESPACIOS*, vol. 39, n° 22, p. 30, 03 Marzo 2018.
- [12] D. E. Becker, «Fundamentals of Electrocardiography Interpretation,» pp. 53-64, 2006.
- [13] «ESPRESSIF,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.espressif.com/en/products/modules/esp8266>.
- [14] D. U. B. V., «Assessment Of Cardiac Autonomic Derangement In Smokers By Countingresting Heart Rate And Counting Heart Rate After Inducing Stress,» *Journal of Cardiovascular Disease Research*, vol. 15, n° 10, pp. 849-853, 2014.
- [15] L. Floridi, «Digital Time: Latency, Real-time, and the Onlife Experience of Everyday Time,» *Philosophy & Technology*, vol. 34, p. 407–412 , 2021.
- [16] «C&D Tecnologia,» [En línea]. Available: [https://cdtecnologia.net/herramientas/2724-875-cinta-conductiva-0002724.html#/614-tamano-5mm\\_20m](https://cdtecnologia.net/herramientas/2724-875-cinta-conductiva-0002724.html#/614-tamano-5mm_20m). [Último acceso: 2024].
- [17] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, vol. Cuarta Edición, WILEY.
- [18] Simulia, 2024. [En línea]. Available: <https://www.3ds.com/products/simulia/cst-studio-suite?form=MG0AV3>.
- [19] K. N. O. Nuñez, «Diseño, Modelado y Caracterización de Arreglo de Antenas Microstrip para Aplicaciones del Internet de las Cosas,» Puebla, 2019.
- [20] FEELTECH, «FY3200S Series User's Manual V4.0,» Enero 2018. [En línea]. Available: <https://bulcomp-eng.com/datasheet/FeelTech%20FY3200S-24M%20-%20User%20Manual.pdf>.
- [21] G. Spanner, «elektor Mag,» 09 Enero 2024. [En línea]. Available: <https://www.elektormagazine.com/review/fnirsi-1014d-digital-storage-oscilloscope-review>.
- [22] E. Systems, «ESP8266EX Datasheet,» 2023. [En línea]. Available: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf).
- [23] C. Co, *Nano VNA-F V2, Portable Vector Network Analyzer User Guide*.
- [24] A. Systems. [En línea]. Available: <https://www.aareff.com/es/swr-de-la-antena/?form=MG0AV3>. [Último acceso: 2024].
- [25] «EMR Shielding Solutions,» [En línea]. Available: <https://www.emrss.com/products/spectran-hf-60100-v4-handheld-spectrum-analyzer-aaronia>.
- [26] M. Integrated, «Max 2870,» [En línea]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/MAX2870.pdf>.