



## **UTILIZACIÓN DE SENSORES MICROONDAS EN ANÁLISIS DE SANGRE CON MÉTODOS NO INVASIVOS**

**USE OF MICROWAVE SENSORS IN BLOOD ANALYSIS WITH  
NON-INVASIVE METHODS**



# UTILIZACIÓN DE SENSORES MICROONDAS EN ANÁLISIS DE SANGRE CON MÉTODOS NO INVASIVOS

## USE OF MICROWAVE SENSORS IN BLOOD ANALYSIS WITH NON-INVASIVE METHODS

Cristina Alejandra Orozco Cazco<sup>1</sup>,  
Roberto Alejandro Larrea Luzuriaga<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, cristina.orozco@istcarloscisneros.edu.ec

<sup>2</sup> Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, roberto.larrea@istcarloscisneros.edu.ec

### RESUMEN

Este documento es una investigación bibliográfica acerca del estado del arte con respecto a estudios realizados sobre el campo de las microondas y su utilización para la implementación de sensores, enfocados al área biológica es decir biosensores que puedan detectar ciertos componentes biológicos como químicos, aplicando ciertas propiedades del electromagnetismo, mediante la obtención de datos de permitividad y permeabilidad al aplicar ondas electromagnéticas a una frecuencia y medirlas mediante técnicas de reflexión y/o transmisión, en materiales orgánicos, en este caso en específico en la sangre, de manera que aplicando una técnica no invasiva se pueda realizar análisis concluyentes o diagnósticos de posibles problemas, enfermedades o trastornos que un paciente pudiese tener y que la vía de su detección ordinaria sea a través de análisis clínicos de sangre.

**Palabras clave:** microondas; biosensor; sangre; permitividad; permeabilidad; métodos no-invasivos.

### ABSTRACT

*This document is a bibliographic research about the state of the art regarding studies on the field of microwaves and their use for the implementation of sensors, focused on the biological area, i.e. biosensors that can detect certain biological components such as chemicals, applying certain properties of electromagnetism, by obtaining data on permittivity and permeability by applying electromagnetic waves at a frequency and measuring them through reflection and/or transmission techniques, in organic materials, in this case specifically in blood, so that by applying a non-invasive technique, conclusive analysis or diagnosis of possible problems, diseases or disorders that a patient may have can be performed and that the ordinary way of detection is through clinical blood tests.*

**Keywords:** microwave; biosensor; blood; permittivity; permeability; non-invasive methods.

Recibido: Agosto 2024

Received: August 2024

Aceptado: Diciembre 2024

Accepted: December 2024



## 1. INTRODUCCIÓN

La utilización de sensores de microondas en el análisis de sangre con métodos no invasivos representa un enfoque innovador en el diagnóstico médico, ya que aprovecha las ondas electromagnéticas de alta frecuencia para recabar información vital sobre la salud sin procedimientos invasivos. Esta tecnología destaca por su potencial para mejorar la comodidad y el cumplimiento terapéutico de los pacientes, transformando significativamente las técnicas tradicionales de análisis de sangre que suelen requerir dolorosas extracciones. Mediante el análisis de las interacciones de las microondas con los componentes de la sangre, los investigadores pretenden obtener biomarcadores críticos relacionados con las condiciones de salud, incluidos los niveles de glucosa y lactato, que son esenciales para la gestión de enfermedades crónicas y la medicina deportiva [1][2].

Los principios de funcionamiento de los sensores de microondas implican la emisión, reflexión y detección de ondas electromagnéticas, lo que permite realizar análisis precisos y en tiempo real.

Estos sensores destacan en la detección sin contacto, ya que ofrecen ventajas como una gran precisión, inmunidad ambiental y largos rangos de detección, lo que los hace adecuados para diversas aplicaciones tanto clínicas como domésticas [3][4]. Su capacidad para penetrar materiales facilita aún más la monitorización no invasiva, abordando las limitaciones asociadas a los métodos de diagnóstico convencionales [1][5].

Los sensores de microondas funcionan utilizando ondas electromagnéticas de alta frecuencia para detectar la presencia, el movimiento o la distancia de los objetos. Su funcionamiento se basa en varios principios fundamentales, como la emisión, la reflexión, la detección y el procesamiento de señales.

### Emisión y propagación

Un sensor de microondas emite ondas electromagnéticas de alta frecuencia, normalmente dentro del espectro de microondas (300 MHz a 300 GHz), utilizando un oscilador y una antena.

Una vez generadas, estas ondas se propagan a través de diversos medios como aire, líquidos o sólidos a la velocidad de la luz [1][2].

### Reflexión y detección

Cuando las ondas emitidas se encuentran con un objeto, una parte de la onda se refleja hacia el sensor. Las características de la onda reflejada, como su frecuencia

e intensidad, dependen del tamaño, la forma, el material y la distancia del objeto al sensor [1]. El receptor del sensor capta esta onda reflejada y la convierte en una señal eléctrica para su posterior procesamiento [2].

### Procesamiento de la señal

La señal recibida es procesada por los circuitos electrónicos del sensor, que realizan cálculos para extraer la información deseada. Esto puede implicar filtrado, amplificación y diversas técnicas de procesamiento digital de la señal para determinar las características del objeto, como la distancia y la velocidad [1][3]. A menudo se emplea el principio del efecto Doppler, que permite al sensor detectar cambios de frecuencia debidos al movimiento relativo entre la fuente y el objeto.

El presente estudio analiza los principios y técnicas empleadas para la construcción de sensores biológicos de varios trabajos de investigación de los cuales se ha podido tener acceso, y que tienen como finalidad medir y comparar parámetros, de modo que puedan emitir un resultado. Se describen los principios de funcionamiento, es decir en qué parámetros se basan dichos estudios, y cuál es la comparativa o detonante del sensor, para determinar el resultado esperado.

Cada sensor implementado es ajustado para determinar, un solo parámetro, es decir existe un estudio previo con respecto a la respuesta que este debe experimentar en diferentes escenarios o en sustancias a medir.

Respecto a las técnicas, se describe el procedimiento general a seguir, en base a los cuales se ha obtenido los resultados de las diferentes investigaciones analizadas.

## 2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque documental, caracterizado por un análisis bibliográfico, incluyendo artículos científicos, tesis, reportes técnicos y normas relacionadas con la implementación de biosensores para el análisis de sangre mediante técnicas no invasivas. Este enfoque permitió recopilar y sistematizar información relevante sobre las técnicas empleadas en la detección y monitoreo de variaciones en parámetros sanguíneos en función de las constantes dieléctricas.

Para el análisis, se seleccionó un conjunto representativo de casos de estudios que reportan el uso de señales de radiofrecuencia y el procesamiento de la onda reflejada como herramienta principal en la caracterización de modelos que permitan detectar variaciones en las propiedades dieléctricas de la sangre. Se establecieron



criterios de selección basados en la calidad metodológica, relevancia y novedad de las técnicas descritas, así como en la disponibilidad de datos comparables.

Posteriormente, se llevó a cabo un estudio comparativo que permitió identificar las estrategias utilizadas en la implementación de los biosensores. Dicho análisis incluyó aspectos como:

- a. Diseño del biosensor: materiales, configuración estructural y principios de funcionamiento.
- b. Frecuencia de operación: rangos de radiofrecuencia empleados y sus justificaciones.
- c. Métodos de procesamiento de datos: algoritmos y técnicas aplicadas para interpretar la onda reflejada.
- d. Precisión y sensibilidad: desempeño reportado en la detección de parámetros sanguíneos.
- e. Aplicaciones potenciales: ámbitos clínicos o de investigación abordados en los trabajos revisados.

Los datos obtenidos se sistematizaron en una matriz de comparación, la cual facilita la identificación de patrones comunes y diferencias significativas entre los enfoques metodológicos. Este análisis permitió determinar las técnicas más prometedoras para el desarrollo de soluciones innovadoras en el área de la biomédica, así como proponer líneas de investigación futura para optimizar el desempeño de los biosensores en estudios no invasivos de sangre.

### Casos de Estudio:

#### A. Sensor de Frecuencia Microonda para la medición no invasiva de glucosa en la sangre.[1]

El principio de funcionamiento de esta investigación, corresponde a la medición de niveles de glucosa en la sangre en pacientes, que usualmente requieren de una pequeña muestra de sangre, método invasivo, para la detección o control de pacientes con diabetes.

La concentración normal de glucosa en la sangre es de 70 – 110 mg/dL, obteniéndose picos de hasta 180mg/dL después de haber comido, dicha concentración se normaliza en el transcurso de dos o tres horas, si toma más de tres horas, se diagnostica diabetes.

El sensor microondas propuesto en la investigación se basa en los cambios de la permitividad debido a las fluctuaciones de la glucosa. La sangre es un compuesto complejo de células, proteínas, hormonas, glucosa y otras partículas en agua. Su permitividad es dependiente de la frecuencia, influenciada por cada uno de sus componentes. Un sensor microonda que tenga una

respuesta característica multifrecuencia puede potencialmente aislar la respuesta de un parámetro en específico en un ambiente en el cual varios parámetros podrían cambiar.

El sensor construido en la investigación se basa en una línea de transmisión microstrip que termina en una espiral, siendo la salida del sensor una representación de magnitud logarítmica de la función de transferencia, que varía de acuerdo a los cambios en la permitividad en el espacio por encima de la espiral. Para medir el barrido de frecuencias de la respuesta del sensor han utilizado un analizador de redes vectoriales.

El experimento consistió en medir la salida del sensor en un individuo, en el cual se colocó el sensor en la parte inferior de su mano, y obtener muestras referenciales, inmediatamente después el individuo bebería una sustancia azucarada, y se seguirían obteniendo muestra por alrededor de una hora. Los cambios de permitividad fueron observados en el desfase de amplitud y frecuencia de las respuestas máximas y mínimas del sensor.

Las variaciones obtenidas de las muestras en el experimento se encuentran en el rango de frecuencias de 10Hz a 2GHz.

Con la repetición del experimento en varios individuos en un tiempo mayor, además de asegurar el contacto, se lo cambió la posición del sensor en el dedo pulgar tal como si fuera un medidor de glucosa comercial, esto para asegurar el contacto a los prolongados tiempos de exposición, con los resultados obtenidos se ajustaron parámetros para la predicción de cada individuo, en un programa computacional.

Los resultados preliminares de este experimento, muestran la factibilidad de crear un método no invasivo para la detección de niveles de glucosa en la sangre.

#### B. Análisis de reflexión microonda sobre vasos capilares de sangre [2]

La investigación se fundamenta bajo el principio de que, sobre imágenes de resonancia magnética de los vasos capilares de la sangre, que es obtenida por la reflexión de microondas sobre el tejido expuesto, se mejora la imagen de resonancia magnética si se resalta la distribución de agua libre junto al agua en el tejido humano, por lo que haciendo uso de esta distribución se puede obtener la permitividad compleja.

Las imágenes de resonancia magnética basadas en el modelo de reflexión de microondas son muy útiles para diagnosticar condiciones humanas como la cantidad de glucosa en la sangre.



El modelo del tejido humano en la región de las microondas es preparado por las imágenes de resonancia magnética, la permitividad compleja puede ser aplicada a este modelo calibrando los datos de la imagen en escala de grises, donde los datos también reflejan la permitividad compleja de la concentración de la glucosa. La relativa constante dieléctrica cambia el 2% y las pérdidas del dieléctrico cambian -1.2% por cada 1% de cambio de concentración de glucosa.

En el experimento se construye un parche que sirve como aplicador para realizar las medidas, funcionando este como una antena alimentado por una guía de onda, con determinadas medidas de diseño. El aplicador se lo coloca en la punta del dedo, entre la guía de onda y el dedo.

La simulación que se desarrolla en el experimento utiliza el método TLM para obtener los coeficientes de reflexión.

Los resultados se observan en los cambios de los coeficientes de reflexión en la frecuencia de resonancia medida, como un cambio de nivel de glucosa en tiempo real.

#### *C. Sistema Microonda para medir la perfusión de sangre de un tejido [3]*

La investigación se fundamenta en la perfusión de sangre de un tejido, base para el transporte de oxígeno, nutrientes y componentes farmacéuticos.

Entre las aplicaciones clínicas relevantes para la medición de la perfusión son el diagnóstico de enfermedades, administración dirigida de fármacos, tratamiento de cáncer hipertermia, perfusión de la piel después de la cirugía plástica, y el manejo de las enfermedades vasculares periféricas.

El sistema que se propone se basa en un método de medición de perfusión térmica usando técnicas de microondas. En este método, la temperatura del tejido se eleva por calentamiento por microondas (900 MHz) a no más de un grado Celsius, y después de la interrupción de la señal de calentamiento por microondas, el decaimiento de temperatura se mide usando detección radiométrica de microondas (1-2 GHz), siendo este el indicativo de la velocidad de perfusión de la sangre.

#### *D. Detección rápida de virus en la sangre utilizando una antena Microstrip biosensor [4]*

La investigación se fundamenta en el diseño de un biosensor capaz de detectar virus altamente contagiosos, haciendo uso de técnicas altamente desarrolladas como es el caso de las cavidades resonantes.

Para la medición de la impedancia biológica de manera no invasiva, se requiere de una antena para acoplar electromagnéticamente la energía entre el dispositivo de monitoreo y el medio del tejido. El monitoreo de la impedancia biológica se lo realiza por la medición de la impedancia de entrada o del coeficiente de reflexión de la antena, siendo los cambios sensibles de esas medidas, lo que permite distinguir entre sangre normal y sangre infectada.

La antena requerida puede ser diseñada para operar en bandas de frecuencia de 2.4 y 5.2GHz, fabricando una antena microstrip con una superficie chapada en oro. La antena diseñada en la investigación se especifican sus dimensiones para el caso de uso de cada banda.

#### *E. Medidor no invasivo de glucosa en la sangre a través de un resonador microondas [5]*

En esta investigación el objetivo es muy similar a casos anteriores para diseñar un sensor microonda que permita medir el nivel de glucosa en la sangre mediante un método no invasivo.

El diseño implementado para el sensor consta de una línea de transmisión Microstrip en forma de espiral circular resonante, con dimensiones específicas. Se obtiene resultados parecidos a investigaciones anteriormente descritas para la medición de glucosa en la sangre, con la diferencia que, en esta investigación para ajustar los parámetros del experimento, primero se simula con un tejido de varias capas, de modo que estos resultados pudieran ser utilizados en la función utilizada para la detección basada en la ecuación de Debye.

Los resultados de esta investigación prueban nuevamente la determinación de niveles de glucosa por medio de la variación de la constante dieléctrica, en la sangre.

### 3. RESULTADOS

De lo expuesto se puede observar que hay múltiples investigaciones en el desarrollo de sensores microondas, que emplean técnicas de medición basadas en las propiedades de permitividad y permeabilidad de los materiales, basados en estos parámetros se pueda diagnosticar o predecir un evento en específico debido a la variación de estas propiedades a una frecuencia o rango de frecuencias utilizado, tal como se observa en la figura 1. La utilización de estas técnicas establece un método no invasivo ya que no requiere estar en contacto directo con la muestra ni tampoco cambia las propiedades intrínsecas del material o sustancia expuesta, reflexión y transmisión de ondas.

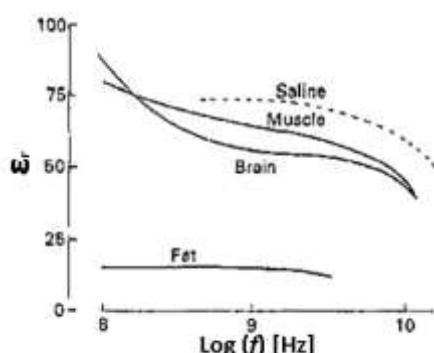


Fig.1.- Permitividad relativa en función de la frecuencia expuesta de tejido humano [6]

El empleo de sensores microondas en materiales biológicos, crea gran expectativa por sus características de funcionamiento, un método simple y limpio, que no requiere de reactivos, no obstante, el modelo de comparación y reacción de diferentes compuestos orgánicos a frecuencias microondas debe ser bien estudiado de modo que los algoritmos computacionales que procesen la información obtenida del sensor puedan ser lo suficientemente fiables, que los métodos tradicionales. [7]

La utilización de biosensores microondas en materiales orgánicos como la sangre, despiertan gran interés por su composición y reacción ante las microondas, de manera que se pueda distinguir cambios en su composición, al punto de aislar dichos componentes y estimar una proporción de ellos ante una medida de referencia, pudiendo emitir criterios basados en dichas mediciones.

Existe una fuerte concentración de investigación en métodos para estimar el nivel de glucosa en la sangre, todos convergen en la vía de aplicación de los sensores microondas, pero divergen en cómo obtener una medición fiable, la elaboración de algoritmos computacionales en base a muestras permite ajustar parámetros de observación y precisión de los sensores de modo que se mejore su estimación.

Existen prototipos y patentes de detectores de niveles de glucosa en la sangre por medio de sensores microondas, sin embargo, sus prestaciones no son 100% fiables.

Un aspecto importante en la implementación de sensores microonda, es el diseño del mismo, correspondiente al acoplamiento entre el emisor de microondas y la muestra.

La mayoría de sensores microonda investigados, utilizados para la detección de niveles de glucosa en la sangre, se basan en líneas de transmisión Microstrip, con diferentes terminaciones, espiral simple, doble, anillo

resonador, para irradiar las ondas sobre la muestra, y obtener las medidas en base a reflexión y/o transmisión.

La sensibilidad del sensor es determinada, en base a parámetros de su diseño, como medidas y elementos adecuados para su construcción y calibración de modo que se obtengan experimentalmente variaciones de las ondas recibidas, dependiendo del medio o material de exposición, por la variación de la permitividad y/o permeabilidad en dichos elementos.

Otro método relevante para la detección de glucosa en la sangre, mediante métodos no invasivos, utiliza las técnicas de imágenes de resonancia magnética de vasos capilares de la sangre obtenidas por métodos microonda, en las cuales para mejorar su resolución se representa la distribución de agua libre junto al agua del tejido, esta distribución permite obtener la permitividad compleja. Basando su principio en la concentración de glucosa en el agua del tejido, que también puede ser aislada y estimada. Variación de escala de grises de la imagen de resonancia magnética.

El método que basa su principio de funcionamiento en imágenes de resonancia magnética por microondas, establece que la concentración de glucosa en la sangre puede ser estimada por la variación de los coeficientes de reflexión aplicados sobre la muestra, en este caso el tejido o la punta del dedo del individuo.

Para la construcción del aplicador en el método basado en la variación de los coeficientes de reflexión, se diseña una antena de radiación con una cavidad rectangular de guía de onda en el un lado y al otro un punto de radiación circular. Dicho aplicador va entre la guía de onda y la muestra. De este modo se emitiría las ondas y se obtendrían las ondas reflejadas de la muestra. Este método resulta interesante por la comparativa y los resultados obtenidos en base a dicha experimentación, que estima porcentajes de variación de la permitividad en relación a porcentajes de concentración de glucosa.

Otros sensores investigados se fundamentan en la medición del flujo sanguíneo de la sangre a través de métodos no invasivos utilizando las microondas, esto resulta novedoso ya que los métodos tradicionales (como el medidor de flujo de laser Doppler entre otros) resultan tener costos elevados y no son portables.

El método de medición de flujo sanguíneo se fundamenta en la medición de la temperatura del flujo a través de técnicas de microondas. La elevación de la temperatura en el tejido de aproximadamente un 1º Celsius al aplicar una frecuencia microonda, y eliminando dicha aplicación para el decaimiento de la temperatura en el tejido, de modo que se detecte dicha disminución utilizando un

radiómetro microonda, esto indicaría la cantidad de flujo de sangre.

En otras investigaciones relacionadas se presentan biosensores para la detección de virus altamente contagiosos. Esta detección utiliza técnicas microondas altamente estudiadas y desarrolladas como las cavidades resonantes, en la cual basa su funcionamiento, utiliza también el diseño de una antena para el acoplamiento de la muestra y la cavidad.

El biosensor de detección de virus en la sangre puede determinar si una muestra de sangre o no porta el virus, utilizando las propiedades dieléctricas de la sangre y su variabilidad al estar contaminadas por un virus. La sensibilidad del detector depende de la frecuencia de operación, que en la investigación la establece para las bandas libres 2.4 y 5.2GHz.

Los sensores microondas en la actualidad son un gran mercado y su grado de aplicabilidad cada vez asocia más otras ramas como la medicina, donde se aprovecha las propiedades de los materiales y su fluctuación a un campo electromagnético aplicado a una frecuencia determinada, de manera que se pueda medir un parámetro específico asociado a un evento determinado.

#### **4. DISCUSIÓN (O ANÁLISIS DE RESULTADOS)**

Los cinco artículos analizados presentan innovaciones en el diseño y aplicación de biosensores basados en microondas para mediciones no invasivas de parámetros sanguíneos. Cada trabajo destaca configuraciones estructurales únicas y frecuencias de operación seleccionadas para maximizar la interacción de las microondas con tejidos biológicos. Se observa una diversidad en materiales, desde resonadores hasta antenas microstrip, con diferencias significativas en los métodos de procesamiento de señales, incluyendo algoritmos de análisis espectral y técnicas de calibración.

En términos de precisión y sensibilidad, los dispositivos muestran variaciones dependiendo de la técnica de acoplamiento y la tecnología empleada. Finalmente, las aplicaciones propuestas abarcan desde el monitoreo de glucosa hasta la detección de virus en sangre, resaltando la versatilidad clínica y de investigación de estos dispositivos, tal como se detalla en la Tabla 1.

#### **5. CONCLUSIÓN**

El análisis comparativo realizado sobre los biosensores basados en microondas para aplicaciones biomédicas ha permitido identificar fortalezas y limitaciones clave en sus diseños, frecuencias de operación, métodos de procesamiento de datos, precisión y sensibilidad, así

como sus aplicaciones potenciales. En términos generales, los resultados muestran que los biosensores diseñados para medir glucosa en sangre, como los propuestos por Jean et al. [6] y Kumar & Singh [10], destacan por su precisión y capacidad no invasiva, mientras que los dispositivos orientados a la detección de virus, como el de Elsheikh et al. [9], presentan alta sensibilidad y especificidad para análisis clínicos. Por otro lado, los diseños que exploran la perfusión tisular o la reflexión en capilares sanguíneos (Nikawa [7] y Tofighi et al. [8]) son relevantes para investigaciones básicas, pero requieren mejoras en su sensibilidad y métodos de calibración para aplicaciones más prácticas.

La frecuencia de operación seleccionada en cada diseño, mayoritariamente dentro de las bandas ISM (2.4 GHz y 5 GHz), proporciona un balance adecuado entre penetración y resolución, lo cual es crucial para optimizar las interacciones con los tejidos biológicos. Sin embargo, aún existen desafíos en la estandarización de los métodos de procesamiento de señales, lo que impacta directamente en la reproducibilidad de los resultados.

Como trabajo futuro, se plantea la posibilidad de desarrollar un biosensor no invasivo capaz de determinar el tipo de sangre mediante la interacción de microondas con características específicas de los eritrocitos. Este avance representaría un aporte significativo en la práctica clínica, al facilitar diagnósticos rápidos y seguros en entornos de emergencia y bancos de sangre.

#### **6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] Flex PCB, "Microwave Sensor: What It Is, Types, & The Working Principle," [Online]. Available: <https://flexpcb.org/microwave-sensor-what-it-is-types-the-working-principle/>.
- [2] Electronic Manufacturing Service, "Microwave Sensor: What It Is, Types, & The Working Principle," [Online]. Available: <https://electronicmanufacturingservice.org/microwave-sensor-what-it-is-types-the-working-principle/>.
- [3] Techie Science, "How Does a Microwave Sensor Work?," [Online]. Available: <https://techiescience.com/how-does-a-microwave-sensor-work/>.
- [4] Tosunlux, "The Complete Guide to Microwave Sensor," [Online]. Available: <https://www.tosunlux.eu/blog/the-complete-guide-to-microwave-sensor>.
- [5] A. R. Gómez et al., "Effect of microwave sensors on biosignal quality in physiological monitoring: A systematic



review," *PubMed*, [Online]. Available:  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34768449/>.

[6] Buford Randall Jean, Eric C. Green, and Melanie J. McClung, "A Microwave Frequency Sensor for Non-Invasive Blood-Glucose Measurement," IEEE Sensors Applications Symposium Atlanta, GA, February 12-14, 2008

[7] Yoshio Nikawa, "Analysis of Microwave Reflection from Capillary Blood Vessel," Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference 2010, 2010 IEICE

[8] Mohammad-Reza Tofighi and Charlie Tran Huynh, "A Microwave System for Blood Perfusion Measurements of Tissue; a Preliminary Stud," Pennsylvania State University, Harrisburg, Middletown, PA, 17057, USA

[9] Dalia M. Elsheikh, Hala A. Elsadek, Esmat A. Abdallah, Saad Atteya , and Waleed N. ELmazny , "Rapid Detection of Blood Entero-Viruses Using Microstrip Antenna Bio-Sensor," Proceedings of the 43rd European Microwave Conference.

[10] Shiv Kumar, Jaspal Singh, "Non Invasive Blood Glucose Measurement through Microwave Resonator," International Journal of Science and Research (IJSR), India Online May 2013 ISSN: 2319-7064

[11] R. Pethig, "Dielectric properties of body tissues," Clinical Physics and Physiological Measurement, vol. 8, pp. 5-12, 1987

[12] S. Gabriel, R.W. Lau and C. Gabriel, "The dielectric properties of biological tissues: III. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues," Phys.Med.Biol., vol. 41, pp. 2271-2293, 1996.



## ANEXO

Tabla 1. Análisis comparativo de los casos de estudio de métodos no invasivos para el análisis de sangre

Parámetro	A [6]	B [7]	C [8]	D [9]	E [10]
<b>Diseño del Biosensor</b>	Resonador de microondas integrado, materiales dieléctricos. 2.45 GHz, elegida por alta sensibilidad y baja interferencia.	Microondas reflejadas desde capilares sanguíneos.	Sistema basado en microondas para perfusión tisular.	Antena microstrip con propiedades biosensitivas.	Resonador coaxial de alta precisión.
<b>Frecuencia de Operación</b>		Rango de 1-10 GHz, optimizado para análisis de tejidos.	Banda ISM de 2.4 GHz, seleccionada por disponibilidad y seguridad.	5-6 GHz, optimizada para alta resolución en tejidos.	2.45 GHz, seleccionada por balance entre sensibilidad y penetración.
<b>Métodos de Procesamiento de Datos</b>	Análisis espectral y algoritmos de filtrado.	Evaluación de coeficientes de reflexión mediante simulaciones.	Análisis de correlación entre perfusión y señal reflejada.	Procesamiento espectral y extracción de frecuencias específicas.	Métodos de calibración para variaciones individuales.
<b>Precisión y Sensibilidad</b>	Alta precisión para glucosa ( $\pm 10$ mg/dL).	Sensibilidad media debido a dispersión en capilares.	Sensibilidad moderada para variaciones de perfusión.	Alta precisión en detección de virus (90%).	Precisión media-alta en glucosa ( $\pm 15$ mg/dL).
<b>Aplicaciones Potenciales</b>	Monitoreo no invasivo de glucosa.	Estudios de circulación sanguínea y capilares.	Diagnóstico de perfusión tisular.	Detección rápida de virus en muestras clínicas.	Monitoreo rutinario de glucosa en sangre.

