

DETECCIÓN DE BACTERIAS GRAM POSITIVAS Y GRAM NEGATIVAS MEDIANTE IMPEDANCIA ELÉCTRICA

DETECTION OF GRAM POSITIVE AND GRAM-NEGATIVE BACTERIA USING ELECTRICAL IMPEDANCE

Eduardo Alejandro Núñez Vera

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
m2303002@itcelaya.edu.mx

Elizabeth Espitia Romero

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
d2203009@itcelaya.edu.mx

Christian Ariel Cabrera Capetillo

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
d2203012@itcelaya.edu.mx

Micael Gerardo Bravo Sánchez

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
gerardo.bravo@itcelaya.edu.mx

Recepción: 3/octubre/2023

Aceptación: 30/noviembre/2023

Resumen

En este artículo se presenta una alternativa para la detección temprana y certera de bacterias gram positivas y gram negativas. Actualmente, los métodos utilizados (tinción gram, ultrasónicos, ultravioleta, electroquímicos, entre otros) muestran como desventaja el costo y el tiempo de diagnóstico. A pesar de ser métodos novedosos, presentan un difícil acceso para la comunidad médica y personas en general. Se propone la implementación de un transistor BJT (Bipolar Junction Transistor) para la detección de bacterias gram positivas y gram negativas a través de las variaciones de impedancia eléctrica de las muestras usando emuladores biológicos (sustancias que simulan el comportamiento bacteriano). Con el objetivo de que sea un método sencillo de analizar, con componentes de fácil acceso económico para una posterior experimentación. Se muestra el análisis matemático y simulación del funcionamiento del transistor, y la gráfica los rangos de impedancia

eléctrica en los cuales es posible detectar alguna de estas bacterias encontrados en la literatura.

Palabras Clave: Detección, Grampositiva, Gramnegativa, Impedancia y Transistor.

Abstract

This article presents an alternative for the early and accurate detection of gram positive and gram negative bacteria. Currently, the methods used (gram staining, ultrasonic, ultraviolet, electrochemical, among others) show cost and diagnostic time as a disadvantage. Despite being novel methods, they are difficult to access for the medical community and people in general. The implementation of a BJT (Bipolar Junction Transistor) transistor is proposed for the detection of gram positive and gram negative bacteria through the electrical impedance variations of the samples using biological emulators (substances that simulate bacterial behavior). With the aim of making it a simple method to analyze, with components that are easily accessible and affordable for later experimentation. The mathematical analysis and simulation of the operation of the transistor is shown, and the graph shows the electrical impedance ranges in which it is possible to detect some of these bacteria found in the literature.

Keywords: *Detection, Grampositive, Gramnegative, Impedance, Transistor.*

1. Introducción

En el ámbito médico, los diagnósticos de infecciones presentan grandes desafíos, debido a la sintomatología y resultados de exploraciones físicas de cada paciente, ya que muchas veces se presentan de forma muy similar. Esto dificulta la detección certera y oportuna, e intensifica la progresión bacteriana aumentando la gravedad de la persona gran manera [Gnaim et al., 2020].

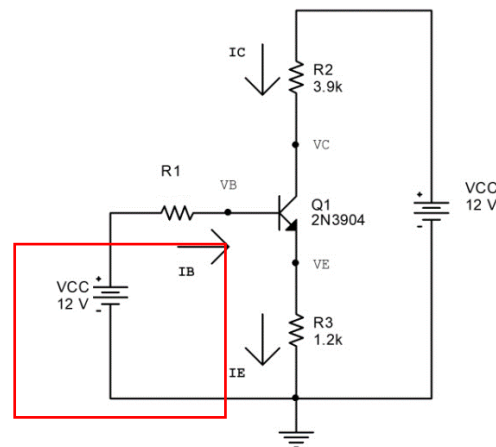
Las bacterias gram positivas y gram negativas presentan demasiados subgrupos de bacterias que pueden llegar a asimilarse sintomáticamente [Sadighbayan et al., 2020]. La gravedad de la condición de los pacientes depende del grupo: gram positiva (bajo impacto en la salud) o gram negativa (alto impacto en la salud). Es

por ello por lo que tener un diagnóstico temprano y acertado permitirá tener una pronta recuperación del paciente [Sadighbayan et al., 2020].

En la actualidad podemos encontrar métodos de detección bastante confiables y certeros, pero muy costosos y tardados (tinción gram, electroquímicos, ultrasónicos, ultravioleta y los biosensores). El método que resulta más sencillo de utilizar por los costos de sus componentes, acceso a los mismos y su implementación, es usando la técnica de impedancias eléctricas. En este artículo, se presenta el principio de funcionamiento de un transistor BJT por su alta precisión y velocidad, que será implementado y desarrollado como método de detección bacteriano [Gong et al., 2019].

2. Métodos

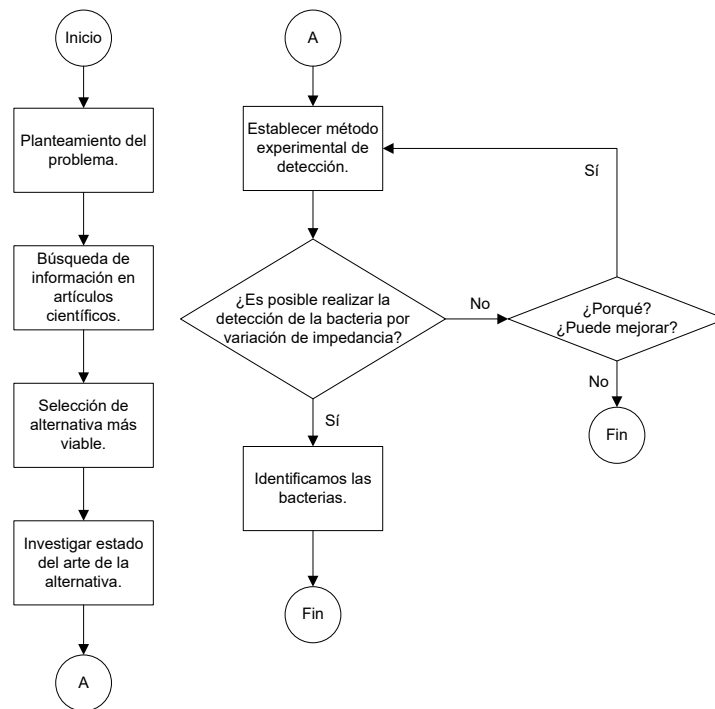
Un transistor es un dispositivo semiconductor que puede ser usado como amplificador o como interruptor [Thakur et al., 2018]. Para este proyecto se propuso utilizar el dispositivo BJT-2N1711 con la configuración como interruptor donde el parámetro h_{fe} , nos indica la relación entre la corriente de salida (I_C , corriente colector-emisor) y la corriente de entrada (I_B , corriente base-emisor) en un BJT como se muestra en la figura 1 [Gong et al., 2019]. Es una medida de cuántas veces se amplifica la señal de corriente entre el colector y el emisor en comparación con la corriente aplicada a la base [Sadighbayan et al., 2020].



Fuente: elaboración propia.

Figura 1 Circuito BJT.

En la figura 2, se muestra la metodología que se ha llevado a cabo desde el planteamiento del problema, los métodos de detección, el método elegido, hasta la etapa actual: adquisición de emuladores biológicos (sustancias que simulan el comportamiento de una bacteria). Para la posterioridad se pretende comenzar pruebas experimentales una vez adquiridos los emuladores. Se adquirirá un emulador de bacteria llamado: *Lipopolisacáridos de E. Coli*. Los *lipopolisacáridos de E. Coli*, son elementos que sólo se encuentran en las bacterias llamadas *E. Coli* gram negativas.

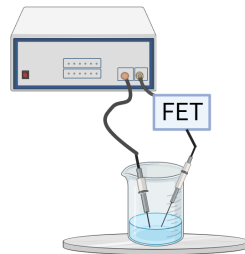


Fuente: elaboración propia.

Figura 2 Metodología de trabajo.

La figura 3, muestra un esquema que representa el diagrama eléctrico de la figura 1, el cual, trabajará de la siguiente manera: primero se hará la toma de una muestra del emulador de *E. Coli*, dentro del analito (compuesto químico amplificador de señal) en un recipiente, luego, serán introducidos los electrodos dentro de la muestra con el propósito de medir la variación de la impedancia (resistencia que afecta al flujo de la corriente) del emulador que contiene los *Lipopolisacáridos de E.*

Coli, después, las señales podrán ser detectadas por los electrodos y serán analizadas y graficadas.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3 Diagrama de detección de variación de impedancia en emulador de bacteria.

Un punto clave de este proyecto es la simplicidad respecto a otros que existen. Se busca seguir una metodología similar a otras publicaciones, sólo para detectar la bacteria, con una diferencia, el tipo de emulador de la bacteria (*Lipopolisacáridos de E. Coli*). Una vez este punto se haya logrado y se hayan obtenido las gráficas de los resultados, la metodología siguiente será el desarrollo de un prototipo de detección, más accesible posible, menos costoso y más sencillo de manipular, para que pueda ser operado únicamente con los conocimientos médicos indispensables para realizar el diagnóstico médico.

3. Resultados

Análisis matemático

De acuerdo con el circuito de la figura 1 podemos interactuar con los componentes para encontrar una resistencia capaz de simular la impedancia requerida para usar en la simulación. Partiendo de esto, se puede realizar un análisis de mallas de acuerdo a la ley de voltajes de Kirchhoff para encontrar el valor de la resistencia R_3 . De este análisis, se obtienen las ecuaciones 1 y 2:

$$V_{CC} - V_E - V_{R1} - V_{R3} = 0 \quad (1)$$

$$V_{R2} + V_C + V_{R3} - V_{CC} = 0 \quad (2)$$

Donde:

V_{CC} : Voltaje de la fuente, V_E : Voltaje en el emisor el cual es 0.7V

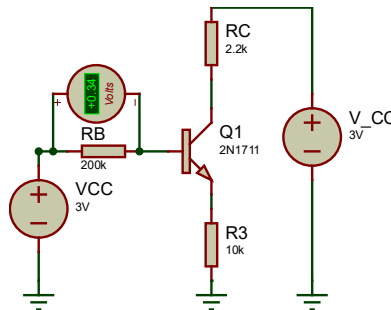
V_C : Voltaje en el colector, V_{R1} , V_{R2} , V_{R3} : Voltaje en la resistencia respectiva.

De la ecuación 1 es posible despejar V_{R1} y escribirla en términos de corriente, tal como se muestra en la ecuación 3.

$$V_{R1} = i_1 R_1 = 2.3 - 10,000(i_b - i_e) \quad (3)$$

Simulación

La simulación se llevó a cabo bajo el uso de un software de simulación de circuitos eléctricos, donde se utiliza el transistor 2N1711 y como referencia el circuito de la figura 1. Cuando se ejecutó la simulación se obtuvieron los resultados que se muestran en la figura 4.



Fuente: elaboración propia.

Figura 4 Esquemático de simulación del transistor como interruptor.

4. Discusión

En la tabla 1, se muestra una comparación entre los resultados de los valores obtenidos matemáticamente y en la simulación. En donde se puede ver únicamente el voltaje en la resistencia deseada, ya que esta resistencia simula el comportamiento del analito. En la figura 5, se muestra una gráfica en la cual nos confirma que sí es un método de detección bacteriano confiable y así conocer los rangos de impedancia eléctrica en base a la frecuencia suministrada. Logrando así, entender el funcionamiento del transistor BJT como método de detección.

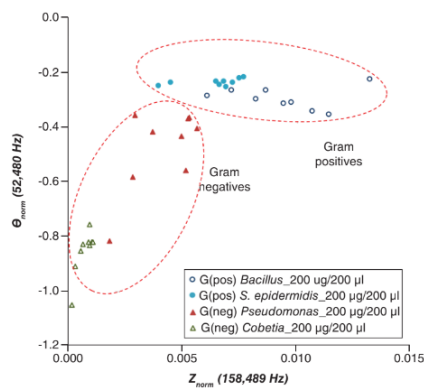
En la figura 5, es posible visualizar los resultados de la literatura en respuesta a varias frecuencias. En donde se pueden diferenciar dos grupos de bacterias: Gram positiva y gram negativa. A su vez, cada grupo muestra subgrupos de bacterias: Bacillus, S. epidermidis, Pseudomonas y Cobetia. Gram negativas trabajadas a una

concentración de $1 \mu\text{g}/\mu\text{l}$ [Gnaim et al., 2020]. El objetivo en la posterioridad es llegar a plasmar en una gráfica las detecciones de los emuladores adquiridos.

Tabla 1 Comparación entre resultados.

Método	Resultado
Matemático	0.324 v
Simulación	0.340 v

Fuente: elaboración propia.



Fuente: obtenido de [Gniam et al., 2020]

Figura 5 Rango de impedancias de bacterias.

5. Conclusiones

Los métodos de detección de bacterias gram positivas y gram negativas, evolucionan constantemente. Debido a las necesidades de detección ante una alerta sanitaria a nivel mundial en 2019. En el manejo de componentes electrónicos es posible usar un transistor BJT para detectar la variación de impedancia de campo eléctrico en conjunto de otros componentes con el fin de realizar la detección bacteriana. Esto, gracias a que puede aplicarse el BJT con una configuración como interruptor. Es de suma importancia conocer los rangos de impedancias de estas bacterias al ser sometidas en su membrana externa ante los cambios dentro de un campo eléctrico y de esta forma definir de qué grupo de bacteria se trata. Ya que se tienen componentes electrónicos de fácil acceso económico, de fácil adquisición, implementación, análisis, simulación e implementación para comenzar con la experimentación. Cabe mencionar, que el punto en el cual se encuentra el proyecto,

es la etapa de adquisición del emulador de bacteria (*Lipopolisacárido de E. Coli*). En posteriores etapas, se comenzará con la experimentación, usando los emuladores adquiridos, para su detección, análisis y Graficación de resultados.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Phong Nguyen, Yury Shamis. (2015). Scientific Reports. 18 GHz electromagnetic field induces permeability of Grampositive cocci. <http://doi.org/10.1038/srep10980>.
- [2] Deniz Sadighbayan, Mohammad Hasanzadeh. (2020). Biosensing based on field-effect transistors (FET), Trends in Analytical Chemistry, <https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.116067>.
- [3] Hua Gong, Fang Chen, Zhenlong Huang, (2019), Biomembrane-Modified Field Effect Transistors for Sensitive and Quantitative Detection of Biological Toxins and Pathogens, ACS Nano, DOI: 10.1021/acsnano.9b00911.
- [4] Bhawana Thakur, Guihua Zhou, (2018), Rapid Detection of Single E. coli Bacteria Using a Graphene-based Field-Effect Transistor Device, Biosensors and Bioelectronic, <https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.03.014>
- [5] Rima Gnaim, Alexander G. (2020). BioTechniques. Detection and differentiation of bacteria by electrical bioimpedance spectroscopy. DOI: 10.2144/btn-2019-0080.