

Efecto de diferentes tipos de ondas eléctricas en la rapidez de coagulación de la sangre.

Zerecero Núñez Jesús Arnoldo¹, Navarrete Manzo Monserrat Christabeth²

¹Departamento de Ingeniería Electrónica Biomédica, Universidad Autónoma de Guadalajara. Guadalajara, México.

²Departamento de Ingeniería Electrónica Biomédica, Universidad Autónoma de Guadalajara. Guadalajara, México.

Resumen— El propósito principal de esta investigación es exponer de qué manera afectan tres diferentes tipos de señales a bajas y altas frecuencias a la coagulación de la sangre. Primero se presenta el proceso de armado del circuito, el cual, en sus salidas brinda los tres tipos de señales; cuadrada, senoidal y triangular. Después, estas señales fueron introducidas directamente a la sangre por medio de dos cables: voltaje y tierra, por intervalos de tiempo determinados. Tras realizar dos rondas de pruebas se descubrió que las ondas eléctricas sí pueden llegar a tener un efecto relativamente notable en la coagulación sanguínea.

Palabras clave—Sangre, coagulación, frecuencias, generador de señales.

I. INTRODUCCIÓN

Un generador de señales, de funciones o de formas de onda es un dispositivo electrónico capaz de generar patrones de señales periódicas o no periódicas tanto analógicas como digitales. Se emplea normalmente en el diseño, prueba y reparación de dispositivos electrónicos, o como es el caso, en fines investigativos.

[1] La sangre es un tejido vivo formado por líquidos y sólidos. La parte líquida, llamada plasma, contiene agua, sales y proteínas. Esta compone más de la mitad del cuerpo sanguíneo. La parte sólida de la sangre contiene glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas.

Los glóbulos rojos suministran oxígeno desde los pulmones a los tejidos y órganos. Los glóbulos blancos combaten las infecciones y son parte del sistema de defensa del cuerpo. Las plaquetas ayudan a la coagulación de la sangre cuando sufre un corte o una herida.

El proceso de coagulación consiste en la estimulación de un cambio químico en la proteína contenida en la sangre llamada fibrinógeno, la cual se vuelve insoluble y capaz de entrelazarse con otras moléculas iguales, formando macromoléculas en forma de una red tridimensional y convirtiéndose en lo que se denomina fibrina.

Una característica más de la sangre es que ésta, por causa de las sales y los electrolitos o iones que la componen, es capaz de conducir electricidad.

[2] Los proveedores de atención médica miden la conductividad por muchas razones, como tratar a una víctima de accidente cerebrovascular, pero el valor numérico de la lectura varía con varios factores, tales como hematocrito, concentración de glóbulos rojos; concentración de electrolitos, líquidos que conducen la electricidad debido a la presencia de iones disueltos en ellas; y tasa de flujo de sangre.

Hematocrito es la proporción, en volumen, de la sangre que consiste en células de sangre rojas. Su valor varía según

datos demográficos como edad y sexo. Según la Clínica Mayo, el rango normal es de 38.8 a 50 por ciento para los hombres y 34.9 a 44.5 por ciento de las mujeres. Un valor de hematocrito más alto crea una resistencia mayor y por tanto, menor conductividad.

Un líquido con iones suspendidos en él, (plasma) es más conductor que las células de sangre rojas. Por lo tanto, entre más concentración de plasma tenga la sangre, más conductiva será. La concentración de electrolitos en sangre también incrementa su conductividad. La concentración es determinada por la cantidad de iones que se poseen, siendo el sodio el principal electrolito en plasma.

Por otro lado, los eritrocitos o glóbulos rojos tienen baja conductividad. Los eritrocitos son cóncavos en ambos lados para ayudar con la difusión de oxígeno y dióxido de carbono, sus superficies son resistentes a la corriente eléctrica, y su orientación afecta la conductividad de la sangre. A bajas frecuencias de la corriente eléctrica, los eritrocitos se alinean con el flujo, reduciendo su sección transversal y la conductividad de la sangre en la dirección del flujo.

Según un estudio realizado por S. N. Mohapatra, Kate L. Costeloe y D. W. Hill, publicado en medicina intensiva en 1977, un valor tradicional de la resistividad para un hematocrito promedio es de 150 ohmios-centímetros.

Finalmente, las plaquetas son las responsables de adherirse a la zona lesionada para formar un “tapón” liberando sustancias vasoconstrictoras como serotonina, epinefrina y tromboxano A2, siendo posiblemente las mayores responsables de la velocidad total de coagulación.

Por medio de ésta investigación se quisieron poner a prueba las diferentes maneras en las que puede reaccionar la sangre al aplicarle una corriente; lo cual, nos lleva a plantear la siguiente hipótesis: *¿Aplicar señales con diferentes ondas, frecuencias y amplitudes a la sangre puede detonar algún cambio en su proceso de coagulación?*

En este documento se presenta el proceso de ésta investigación acompañado de los resultados obtenidos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para esta investigación, se utilizaron los siguientes materiales:

A. Componentes Electrónicos para el Armado del Circuito

- Generador de señales ICL8038 (Figura 1).
- 3 resistencias de 10KΩ.
- 1 resistencia de 82KΩ.
- 1 capacitor de 0.22 uF.

- 1 capacitor de 0.001 uF.

B. Armado del Circuito

Se encontró que las resistencias que otorgan la amplitud ideal son las de 10KΩ para el voltaje (RA, RB y RL), así que esas fueron las que se utilizaron. La amplitud ideal es aquella en donde la integridad o forma de cada tipo de onda no se ve afectada, ya que al utilizar amplitudes muy altas o bajas, el ICL8038 puede dar una onda un tanto distorsionada.

El capacitor C es una variable que se ajusta según la frecuencia que se desea para las ondas. Se encontró que con un capacitor de 0.22 uF, la frecuencia de salida es de aproximadamente 9kHz, y con un capacitor de 0.001uF, la frecuencia es de aproximadamente 9Hz. Se decidió que estos valores de frecuencia eran adecuados para representar una frecuencia relativamente baja contra una relativamente alta, como puntos de referencia a comparar en este experimento.

Según la referencia [3], los voltajes pico a pico de salida deben ser aproximadamente de:

- $(0.4) \cdot (12 \text{ (voltaje de la fuente)})$ para la onda cuadrada.
- $(0.3) \cdot (12)$ para la onda triangular.
- $(0.2) \cdot (12)$ para la onda senoidal.

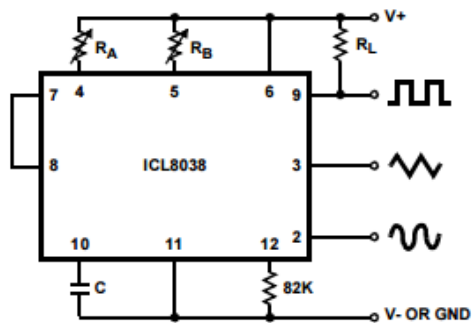


Fig. 1: Diagrama de conexión para el ICL 8038 [2].

Cabe destacar que el ICL8038 proporciona los 3 tipos de ondas simultáneamente, por lo que se puede experimentar con las 3 señales al mismo tiempo.

C. Toma de Muestras

Las muestras de sangre fueron tomadas de uno de los autores de esta investigación. Previo a esto, se realizaron estudios sanguíneos de laboratorio para conocer las condiciones de la sangre del individuo. Parte de los resultados de dichos estudios se anexan en la tabla 1, además de algunos datos de relevancia sobre el mismo individuo.

Los resultados muestran que las condiciones de la sangre anterior a las pruebas son relativamente normales, esto nos dio el punto de partida para comenzar el muestreo pues cualquier alteración se vería reflejada fácilmente.

TABLA 1
RESULTADOS DE ESTUDIOS DE SANGRE

Sexo: Femenino.
Edad: 19 años.
Estatura: 1.53 m.
Peso: 45.4 kg.
[4] I.M.C.: 19.4

Examen	Resultado	Valores de Referencia
Leucocitos	6,700	5 a 10 x 10 ³
Eritrocitos	4,870,000	4 a 5 millones
Hemoglobina	15	12 a 16 g/dl
Linfocitos	44	25 a 35%
Hematocrito	45	37 a 46 %
Plaquetas	193,000	150 a 450 mil/ml

D. Instrumentación necesaria

- Fuente de voltaje de 12V.
- Microscopio.
- Jeringas y tubos para muestreo de sangre.
- Portaobjetos.
- Pipeta o algún instrumento de medición precisa de líquidos.

E. Pasos a seguir para la realización del experimento

1. Preparar el área de trabajo del circuito, alimentándolo con voltaje y tierra desde la fuente de voltaje.
2. Colocar las salidas de cada tipo de onda eléctrica en un portaobjetos diferente, colocando cables de voltaje y tierra en cada uno, como se observa en la figura 2.
 - Cuidar que los cables de voltaje y tierra no se toquen, dejando un pequeño espacio entre ellos, en donde se colocará la muestra de sangre.
 - Asegurar los cables en el portaobjetos utilizando cinta adhesiva.
 - Se debe dejar un portaobjetos sin conectar al circuito, ya que esta muestra será el control.
3. Tomar la primera ronda de muestras sanguíneas del paciente.
 - Cabe destacar que las muestras fueron tomadas en un ambiente controlado en las instalaciones del laboratorio de química de la Universidad Autónoma de Guadalajara, a una temperatura de 28°C, de la mano de

la Q.F.B. María Guadalupe Astorga Molina, experta en el tema. Mismo que asesoró a los autores durante todo el proceso.

4. Utilizando los tubos, transportar las muestras hasta el área de trabajo donde se encuentra el circuito.
 - Se debe de activar el cronómetro desde el momento en que la sangre abandona el cuerpo del paciente, ya que su proceso de coagulación comienza desde ese punto.
5. Utilizando la pipeta, rápidamente colocar 0.25 ml de sangre en cada portaobjetos, y encender el circuito.
6. Exponer las muestras a las ondas eléctricas durante 6 minutos, y posteriormente apagar el circuito.
7. Observar cada muestra con el microscopio y registrar las diferencias que se encuentren entre cada una.
8. Repetir todo el proceso, pero utilizando el otro capacitor en el circuito, para experimentar con una frecuencia distinta.

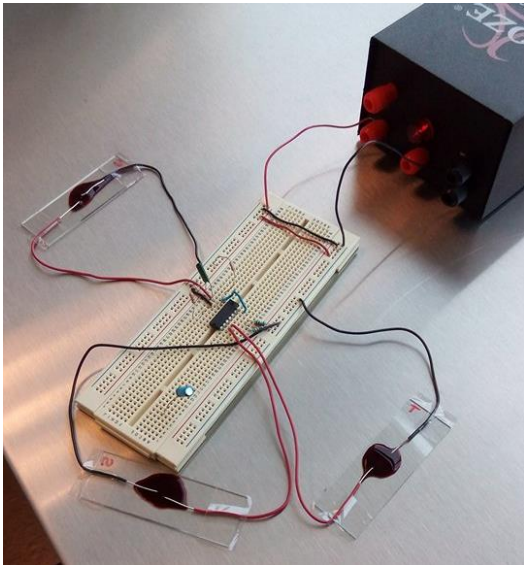


Fig. 2: Acomodo adecuado del área de trabajo, tras haber colocado las muestras.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 2 muestra los resultados obtenidos tras dos rondas de experimentación. La primera ronda se realizó con ondas a 9kHz de frecuencia y la segunda ronda con ondas a 9Hz de frecuencia.

En las figuras 3 y 4 se observan las muestras todas las pruebas lado a lado, después de haber transcurrido 10 minutos tras su extracción, y 4 minutos tras su exposición a las ondas eléctricas. Las muestras de control ya estaban cerca de su coagulación total para entonces, las muestras de 9Hz ya se habían coagulado, mientras que las de 9kHz no.

TABLA 2
RESULTADOS OBTENIDOS DE AMBAS PRUEBAS

Tipo de onda	Frecuencia	Voltaje pico a pico	Tiempo aproximado de coagulación total	Posición en la que se coaguló (Del 1ro al 4to)	Observaciones
<i>Control 1</i>	-	-	10 minutos, 25 segundos	1ro	Coagulo uniforme, homogéneo y centrado.
Cuadrada	9kHz	5.2v	12 minutos, 30 segundos	2do	Hemólisis a cierto nivel (destrucción de eritrocitos) en el punto de contacto con el cable de voltaje y fraccionamiento de plasma en el punto de contacto con el cable de tierra.
Senoidal	9kHz	2.7v	15 minutos	4to	Coagulo muy concentrado, notable retardo en el tiempo de coagulación total.
Triangular	9kHz	3.2v	13 minutos, 45 segundos	3ro	Casi sin cambios, muy parecida al control, a excepción de que el coagulo estaba algo disperso, no centrado.
<i>Control 2</i>	-	-	11 minutos, 10 segundos	4to	Coagulo uniforme y estable durante todo el proceso.
Cuadrada	9Hz	4.9v	7 minutos, 45 segundos	1ro	Coagulación ligeramente más rápida que el control.
Senoidal	9Hz	2.6v	8 minutos, 15 segundos	2do	Coagulación ligeramente más rápida que el control.
Triangular	9Hz	2.6v	10 minutos, 5 segundos	3ro	Coagulación muy parecida al control.



Fig. 3: (De izquierda a derecha) Muestra de señal triangular, cuadrada, senoidal y muestra de control en las pruebas de 9kHz, transcurridos 10 minutos desde que la sangre fue extraída.

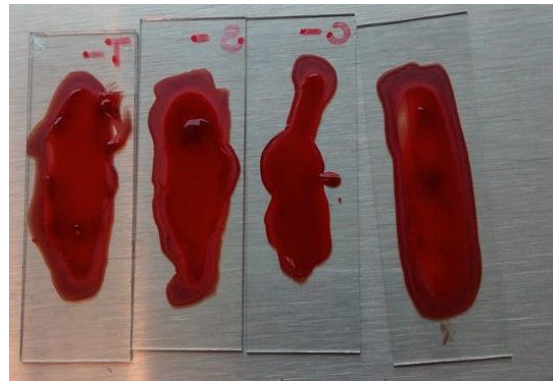


Fig. 4: (De izquierda a derecha) Muestra de señal triangular, senoidal, cuadrada y muestra de control en las pruebas de 9Hz, transcurridos 10 minutos desde que la sangre fue extraída.

IV. CONCLUSIÓN

Como ya es conocido, el proceso de coagulación comienza en respuesta a una lesión en un vaso sanguíneo. [5] En el proceso de coagulación se producen una serie de reacciones en cadena en las que participan varios tipos celulares y proteínas solubles de la sangre con el objetivo de formar un coágulo para evitar la pérdida excesiva de sangre. Un coágulo consiste en una red de proteínas insolubles, como la fibrina con plaquetas o un conjunto células atrapadas, que bloquean la salida de sangre por la herida hasta que se repare el tejido lesionado.

Los fármacos anticoagulantes que se han empleado tradicionalmente tienen sus limitaciones, tales como la aplicación de heparina por vía intravenosa. Esta es un anticoagulante que tiene muchos efectos secundarios, tales como los mencionados en [6]. Por medio de ésta investigación se conoció un nuevo método con el cuál se puede alterar la velocidad con la que a sangre se coagula, pues, tras las diferentes pruebas realizadas, se descubrió que *la velocidad en el proceso de coagulación sanguínea es inversamente proporcional a la frecuencia de la señal inducida*.

A lo largo de los tres tipos de ondas, el resultado fue similar, hubo un retardo a altas frecuencias y una aceleración a bajas frecuencias. Esto parece ser independiente al tipo de onda, **la frecuencia resultó ser el factor más importante**.

El acelerar la coagulación de la sangre nos permite reducir el sangrado de alguna herida con mayor rapidez, en procedimientos quirúrgicos por ejemplo, algo similar al principio de operación de un equipo de electrocirugía. El disminuir el tiempo en que se coagula la sangre mediante la aplicación de ondas eléctricas puede ser una alternativa para los anticoagulantes utilizados en muestras de laboratorio, o para la prevención y el tratamiento de enfermedades tales como la trombosis venosa.

Futuramente se espera expandir este proyecto y realizar un estudio más a fondo con muchas más pruebas e investigaciones, ya que por falta de tiempo y recursos fue posible realizar solo dos pruebas con un único paciente. Realizando más experimentos, se espera poder dar a conocer otras cualidades de dicho método, además de validar su efectividad, de tal manera que en algún tiempo pueda ser aplicado como una alternativa en procesos clínicos para pacientes con distintos trastornos hemodinámicos.

También se espera idear un método preciso para poder aplicar estos conocimientos por medio de un nuevo procedimiento, o mejorando uno ya existente, aunque se piensa que es primordial realizar más pruebas de efectividad antes de pensar en el método

de aplicación a un individuo de forma directa y no únicamente en pruebas de extracción sanguínea.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la QFB. Maria Guadalupe Astorga Molina, por su gran apoyo a lo largo de todas las pruebas en el laboratorio de biología, además de agradecer al Ing. Electrónico Biomédico Erick Eduardo Guzmán Quezada por su supervisión y asesoramiento a lo largo de todo este proyecto. Por último, se agradece a la Universidad Autónoma de Guadalajara por permitir el uso de sus instalaciones, materiales e instrumentos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Fundación Nemours. (2015). Sangre. 20 de abril del 2016, de U.S. National Library of Medicine Sitio web: <https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/blood.html>.
- [2] Francisco Hernández Cabrera, Carlos Alberto Guerrero Salazar. (Diciembre 2005). Determinación de las propiedades eléctricas en tejido sanguíneo. Ingenierías. VIII, 7-11.
- [3] "Precision Waveform Generator/Voltage Controlled Oscillator Datasheet." Intersil (2001). Sitio web: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/intersil/fn2864.pdf>
- [4] "IMC." SEEDO, 9 de septiembre de 2017. Sitio web: www.seedo.es/index.php/pacientes/calculo-imc.
- [5] FIBAO (Fundación para la Investigación Biosanitaria). (2008). Coagulación. 20 de abril de 2016. Sitio web: <http://medmol.es/temas/75/>
- [6] "Heparina Inyectable." MedlinePlus Medicinas. 19 de julio de 2017. Sitio web: <https://medlineplus.gov/spanish/druginfo/meds/a682826-es.html>.