

PARCHES ELÉCTRICOS PARA OPTIMIZACIÓN EN LA CICATRIZACIÓN DE HERIDAS

ELECTRICAL PATCHES FOR WOUND HEALING
OPTIMIZATION

V. Guzmán- Cruz *(1)
A. Luna- Juárez* (2)
F. Montiel- Guzmán (3)
R. Pérez-López (4)
C. Sánchez-Guillén (5)
A. Ramírez-Benítez (6)
J. Alvarado (7).

V. Guzmán- Cruz* & A. Luna- Juárez
2228335103 *

Correos:

gc202336462@alm.buap.mx
lj202338306@alm.buap.mx
mg202348254@alm.buap.mx
pl202350781@alm.buap.mx
sg202377508@alm.buap.mx
rb202351849@alm.buap.mx
joaquin.alvarado@correo.buap.mx

<https://orcid.org/0009-0005-5871-5214>
<https://orcid.org/0009-0006-4396-1276>
<https://orcid.org/0009-0002-9353-5612>
<https://orcid.org/0009-0005-0323-2004>
<https://orcid.org/0009-0005-2241-1075>
<https://orcid.org/0009-0002-9212-8214>
<https://orcid.org/0000-0001-7186-4429>

Folio: A11N106.25/1022

Resumen

Las heridas crónicas representan un desafío creciente para los sistemas de salud y afectan gravemente la calidad de vida de los pacientes, limitando su funcionalidad y generando consecuencias emocionales, sociales y económicas. Estas lesiones, cuya cicatrización es deficiente, pueden derivar en complicaciones como infecciones, gangrena o amputaciones, especialmente en personas con enfermedades como la diabetes. La Wound Healing Society (2025) las clasifica en cuatro tipos principales: úlceras diabéticas, venosas, arteriales y por presión, siendo estas últimas comunes en adultos mayores inmovilizados (Hernández et al., 2023). Si bien existen terapias avanzadas como el uso de células madre o plasma rico en plaquetas, su alto costo limita su acceso. En contraste, la electroestimulación, particularmente con microcorrientes (mA), surge como una alternativa accesible y prometedora para acelerar la cicatrización tanto en heridas crónicas como agudas. En el marco del reto de investigación de la materia de Biofísica de la Licenciatura en Biotecnología, nos planteamos la siguiente pregunta: ¿La aplicación de microcorrientes es efectiva como tratamiento complementario en la cicatrización de heridas crónicas en fase temprana?

Nuestro objetivo es diseñar un protocolo de estimulación eléctrica con corriente alterna monofásica, utilizando parches eléctricos como herramienta principal.

Palabras Clave: Heridas Crónicas; Cicatrización; Electroestimulación; Microcorriente; Tratamiento complementario; Regeneración tisular; Calidad de vida; Sistema de salud.

Abstract

Las Chronic wounds are a growing challenge for healthcare systems and severely impact patients' quality of life, limiting their functionality and causing emotional, social, and economic consequences. These lesions, which heal poorly, can lead to complications such as infections, gangrene, or amputations, especially in people with diseases like diabetes. The Wound Healing Society (2025) classifies them into four main types: diabetic, venous, arterial, and pressure ulcers, with the latter being common in immobilized older adults (Hernández et al., 2023).

While advanced therapies like stem cells or platelet-rich plasma exist, their high cost limits access. In contrast, electrotherapy, particularly with microcurrents (mA), emerges as an accessible and promising alternative to accelerate healing in both chronic and acute wounds.

Our Research Question

Within the framework of a research challenge for a Biophysics course in the Biotechnology program, we posed the following question: Is the application of microcurrents an effective complementary treatment for the early-stage healing of chronic wounds?

Our goal is to design an electrical stimulation protocol using monophasic alternating current, with electrical patches as the main tool.

Keywords: Chronic Wounds; Wound Healing; Electrotherapy; Micro-current; Complementary Treatment; Tissue Regeneration; Quality of Life; Healthcare System.

Estimulación eléctrica en la medicina regenerativa: Avances y desafíos actuales

Las heridas crónicas representan un problema clínico y de salud pública por su difícil curación y alta prevalencia. Su proceso de reparación involucra varias fases (hemostasia, inflamación, proliferación, contracción y remodelación), pero puede verse interrumpido por factores como la diabetes, edad avanzada, insuficiencia vascular o malnutrición (Greaves et al., 2013). (Figura 1).

Cuando no hay avances en la cicatrización en un periodo menor a 42 días, se clasifica como herida crónica. Estas lesiones afectan la calidad de vida de los pacientes e imponen una carga económica y social significativa, sobre todo en contextos con recursos sanitarios limitados, como México (Flores et al., 2023).

Ante este panorama, la electroestimulación surge como una alternativa prometedora. Este método se basa en la galvanotaxis, migración celular inducida por campos eléctricos débiles que imitan señales bioeléctricas del cuerpo (Porrás et al., 2018). Estas señales influyen en células clave del proceso de cicatrización, pudiendo reducir infecciones, mejorar la inmunidad celular y acelerar la cicatrización de heridas cutáneas.

Durante la fase inflamatoria, la electroestimulación mejora la oxigenación, la perfusión sanguínea, reduce el edema y potencia el efecto antibacteriano. En la proliferativa, estimula la contracción de la herida, reorganización del colágeno y la síntesis de ADN y proteínas (Senet, 2016). En la remodelación, miofibroblastos migran de manera dirigida, facilitando el cierre efectivo del tejido (Porrás et al., 2018).

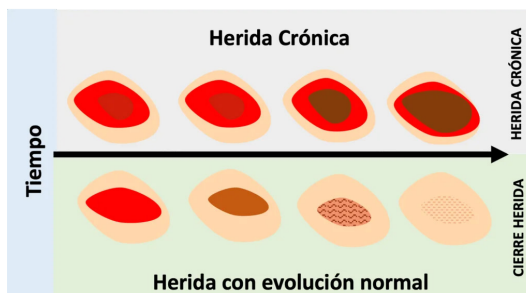


Figura 1. Comparación entre una herida crónica y una herida con evolución normal. La principal diferencia es que la herida crónica no cierra en el tiempo esperado (Bowers & Franco, 2020).

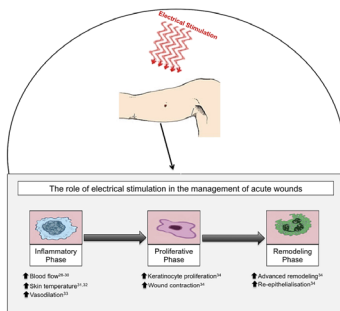


Figura 2. Intervención de la electroestimulación en el proceso de cicatrización (Din & Bayat, 2014)

Cicatrización de heridas: fases y factores

La cicatrización se desarrolla en cuatro fases solapadas (Figura 3). La coagulación detiene la hemorragia mediante coágulos formados por plaquetas que liberan mediadores para atraer células inflamatorias. La inflamación elimina agentes dañinos y prepara el tejido para regenerarse, facilitando la migración de neutrófilos y monocitos. La proliferación reconstruye el tejido degradando la matriz provisional y promoviendo migración celular (Guarín-Corredor et al., n.d.). Finalmente, la maduración restaura la barrera cutánea y refuerza la matriz extracelular, remodelando colágeno tipo III hacia tipo I y formando una cicatriz resistente (Valverde, 2016).

Bases bioeléctricas de la regeneración celular y selección de materiales conductores

El cuerpo humano genera impulsos electroquímicos naturales en órganos como corazón y piel. Al lesionarse, se interrumpen estos potenciales generando "corrientes de lesión" que establecen un campo eléctrico con polo negativo en el centro de la herida y polo positivo en los bordes, detectable a 2-3 mm y con voltajes de 10 a 60 mV (Preetam et al., 2024).

Como muestra la Figura 4, esta corriente es el resultado del transporte de iones de sodio impulsado por las bombas ATPasa Na⁺/K⁺ en la epidermis (McGinnis & Venable, 1986). Esta corriente permanece activa en un ambiente húmedo, lo que favorece la cicatrización. Se estima que la tasa de curación disminuye un 25% en ausencia de esta corriente.

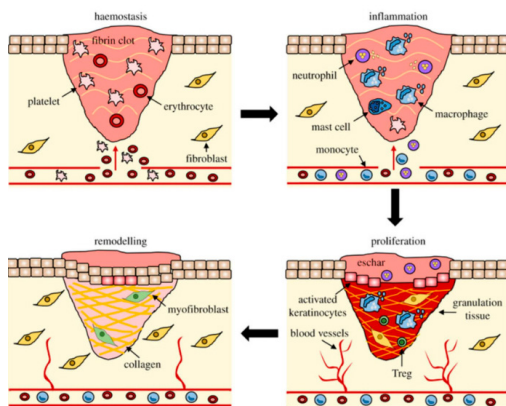


Figura 3. Fases de la cicatrización (Wilkinson & Hardman, 2020).

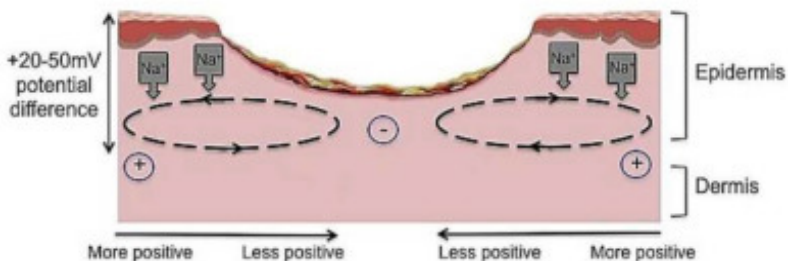


Figura 4. Bombas de ATPasa en la cicatrización (Din & Bayat, 2014)

Es importante considerar las amplitudes de estimulación y sus sensaciones fisiológicas, como se describe en la Tabla 1.

La curación exitosa de las heridas cutáneas se basa en la migración de tres tipos clave de células cutáneas: queratinocitos, fibroblastos y células endoteliales. Tabla 2 muestra algunos parámetros de electroestimulación según el tipo de les-

Tabla 1. Comparativa de amplitudes

Amplitud (mA)	Tipo de estimulación	Sensación
300-400 mA	Estimulación muscular eléctrica	Contracción muscular
150-200 mA	Estimulación nerviosa transepidérmica	Hormigueo o picor
Menor a 100 mA	Subsensorial	No se siente
Por debajo de 60 mA	Estimulación de microcorriente	X

Tabla 2. Electroestimulación aplicada a diferentes tipos de heridas con el fin de comparar los diferentes voltajes aplicados para la cicatrización de heridas.

Tipo de herida	Tipo de corriente / Voltaje aplicado	Tiempo de cicatrización	Referencia
Úlceras diabéticas, arteriales y venosas	Corriente TENS (150-250 mA, duración de fase de 1.0-0.2 mseg, frecuencia de 80 Hz)	Duración de tratamiento: 20-30 minutos (máx. 60 minutos) y se repite 2 veces al día con intervalos de 6 horas.	(Company, s.f)
Heridas isquémicas	Corriente continua de baja intensidad (LIDC) 200-800 microamperios	3 sesiones de 2 horas al día. Duración total: 9.6 semanas.	(Balakatounis, 2008)
Herida cutánea secundaria	Corriente pulsada de alto voltaje (150-500 V)	Frecuencia de pulso de 80 a 120 Hz con polaridad negativa, una duración del pulso de 40 a 100 μ s y un período de tratamiento de 25 minutos por sesión.	(Zamora et al, 2022)
Úlceras crónicas	Rango de dosis de 250-500 μ C/s	5 semanas.	(Kloth, 2013)

Métodos

3. Diseño del electroestimulador y configuración experimental

El circuito prototipo para la estimulación eléctrica (Diagrama 1) en la curación de heridas se compone principalmente de un microcontrolador Arduino UNO, encargado de generar las señales de control digitales y suministrar 5V para la activación del transistor. Un transistor NPN TIP120 actúa como interruptor electrónico para controlar el flujo de

corriente de una fuente externa de 9V hacia los electrodos (parches en contacto con la herida). Un transformador 10:1 eleva el voltaje para simular una señal de corriente alterna de mayor amplitud. La Figura 6 muestra el circuito implementado para la estimulación eléctrica.

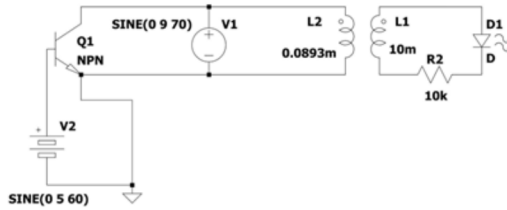


Diagrama 1. Circuito del electroestimador, representa los elementos usados, donde V1 corresponde a la fuente de 9V, V2 corresponde al voltaje de 5V proporcionados por el Arduino, Q1 corresponde al transistor TIP120, L1 y L2 corresponden al transformador, R2 a la resistencia y D1 representan a los electrodos o la salida del voltaje.

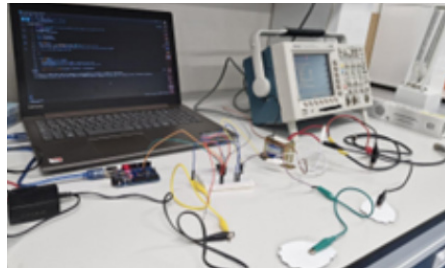


Figura 6. Montaje final del prototipo de electroestimador.

3.1 Código para controlar Arduino UNO

El código utilizado (figura 7) permite el control del ciclo de trabajo en la línea “int duty = 80;” para poder manejar la frecuencia e intensidad de los pulsos de acuerdo con las PWM, es decir, el control de la cantidad de energía, variando el ancho de los pulsos en la señal.

```

1  const int pwmPin = 3; // Pin de salida PWM (debe ser un pin con
   capacidad PWM)
2
3  void setup() {
4      pinMode(pwmPin, OUTPUT);
5
6      // Establece el ciclo de trabajo en 100%
7      int duty = 80;
8      int pwmValue = map(duty, 0, 100, 0, 255);
9      analogWrite(pwmPin, pwmValue);
10
11     Serial.begin(9600);
12     Serial.print("Ciclo de trabajo inicial: ");
13     Serial.print(duty);
14     Serial.println("%");
15 }
16
17 void loop() {
18     // No se hace nada en el loop, el ciclo de trabajo queda en 100%
19 }
20
21

```

Figura 7. Código para controlar Arduino.

3.2 Forma de onda

El tipo de corriente que se utilizó para la electroestimulación con microcorrientes, fué la corriente monofásica pulsada en intensidades bajas (3-6 mA), la forma de onda en las figuras 8 y 9 corresponden a este tipo de corriente. La elección fue debido a que este tipo de corriente es utilizada con más frecuencia en la estimulación de cicatrización de tejidos. Además, ha presentado un incremento del 14% en el proceso de cierre y curación de la herida comparado con un 8.25% en un grupo de control de acuerdo con Feedar et al. (1991).

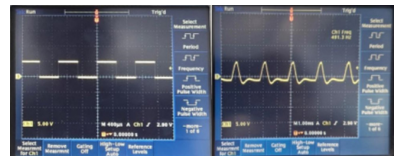


Figura 8 y 9. Forma de onda de las pulsaciones medida en la salida del Arduino (imagen de la izquierda) y forma de onda de las pulsaciones medidas en la salida del transformador con un ciclo de trabajo al 10 % (imagen de la derecha).

3.3 Parámetros eléctricos utilizados

Tabla 3. Propuesta de protocolo.

Tipo de corriente	Microcorrientes
Forma de onda	Monofásica
Intensidad	3-6 mA
Frecuencia	60 Hz
Campo eléctrico	100 mV/mm
Tiempo de sesión	20 minutos
Tiempo de tratamiento	9 días

Resultados

Como parte de los resultados de nuestra investigación sobre la electroestimulación en la cicatrización de heridas, se realizaron dos incisiones lineales utilizando una navaja esterilizada en la región del bíceps de los brazos derecho e izquierdo de una persona de sexo femenino de 21 años, en buen estado de salud. La herida en el brazo derecho, con una longitud de 2.1 mm y una profundidad de 2 mm, fue sometida a tratamiento con electroestimulación, mientras que la herida en el brazo izquierdo, con una longitud de 2 mm y una profundidad de 1 mm, sirvió como grupo control sin intervención (Tabla 4).

Desde el primer día post-incisión, se observaron diferencias significativas en el proceso de hemostasia entre ambas heridas. La herida tratada con electroestimulación exhibió un sangrado más denso y controlado, lo que sugiere una activación más eficiente de los mecanismos de coagulación.

Además, en la herida sometida a microcorrientes, se evidenció una electrotaxis más regulada y una respuesta inflamatoria significativamente más leve, lo que indica una migración celular más efectiva y organizada. Con el paso de los días, la herida tratada mostró una recuperación más limpia, caracterizada por bordes bien definidos y una reducción considerable del enrojecimiento, en contraste con la herida control que presentó un cierre menos eficiente.

Finalmente, al noveno día de seguimiento, ambas heridas habían cerrado por completo; sin embargo, la herida tratada presentó una cicatrización estéticamente superior, lo que sugiere una mejor respuesta inicial en la hemostasia, una electrotaxis más eficiente y una posterior regeneración tisular más ordenada.

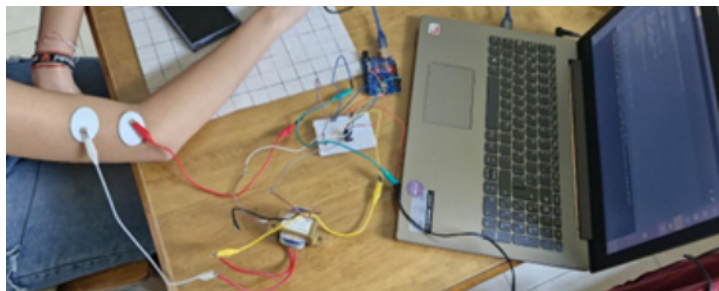


Figura 11. Aplicación de electroestimulación al sujeto de prueba.

Tabla 4. Resultados de electroestimulación con microcorrientes, se aplicaron 2.2 V en un periodo de 20 min por día, por nueve días

Día	Con tratamiento	Sin tratamiento
1		
3		
9		

Conclusión

Estos hallazgos preliminares respaldan la hipótesis de que la electroestimulación mejora la cicatrización al favorecer la perfusión, migración celular y modulación inflamatoria. No obstante, deben considerarse factores individuales, y emplearse como parte de un abordaje integral.

Agradecimientos

A los docentes, asesores y familiares por el apoyo brindado a lo largo de la realización de este proyecto.

Electrical stimulation in regenerative medicine: Current advances and challenges

Las Chronic wounds are a clinical and public health problem due to their difficult healing and high prevalence. Their repair process involves several phases (hemostasis, inflammation, proliferation, contraction, and remodeling), but can be interrupted by factors such as diabetes, advanced age, vascular insufficiency, or malnutrition (Greaves et al., 2013) (Figure 1).

When there is no progress in wound healing within a period of fewer than 42 days, it is classified as a chronic wound. These lesions affect patients' quality of life and impose a significant economic and social burden, especially in healthcare contexts with limited resources, such as Mexico (Flores et al., 2023).

In light of this situation, electrostimulation is emerging as a promising alternative. This method is based on galvanotaxis, a process where weak electric fields, which mimic the body's own bioelectric signals, induce cell migration (Porrás et al., 2018). These signals influence key cells in the healing process, which can help to reduce infections, improve cellular immunity, and accelerate the healing of skin wounds.

During the inflammatory phase, electrostimulation improves oxygenation and blood flow, reduces swelling, and enhances the antibacterial effect. In the proliferative phase, it stimulates wound contraction, collagen reorganization, and the synthesis of DNA and proteins (Senet, 2016). Finally, in the remodeling phase, myofibroblasts migrate in a directed manner, facilitating effective tissue closure (Porrás et al., 2018).

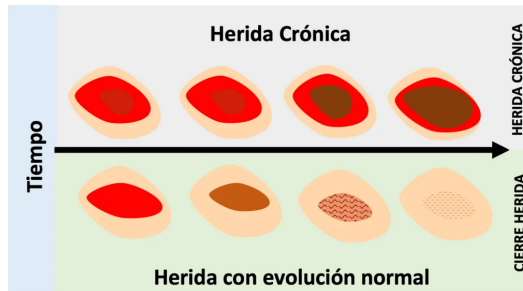


Figure 1. A comparison between a chronic wound and a normally healing wound. The main difference is that a chronic wound fails to close within the expected timeframe (Bowers & Franco, 2020).

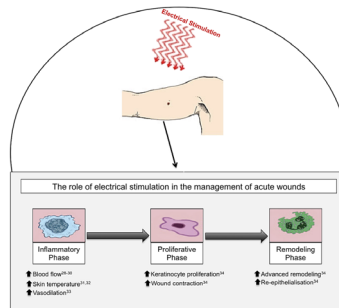


Figure 2. How electrostimulation intervenes in the wound healing process (Din & Bayat, 2014).

Wound healing develops in four overlapping phases (Figure 3). Coagulation stops bleeding through clots formed by platelets, which release mediators to attract inflammatory cells. Inflammation removes harmful agents and prepares the tissue for regeneration by facilitating the migration of neutrophils and monocytes. Proliferation rebuilds the tissue by degrading the provisional matrix and promoting cell migration (Guarín-Corredor et al., n.d.). Finally, maturation restores the skin barrier and reinforces the extracellular matrix, remodeling type III collagen into type I and forming a resilient scar (Valverde, 2016).

Bioelectrical Basis of Cellular Regeneration and Selection of Conductive Materials

The human body generates natural electrochemical impulses in organs such as the heart and skin. When an injury occurs, these potentials are interrupted, creating "injury currents." These currents establish an electric field with a negative pole at the center of the wound and a positive pole at the edges, which is detectable up to 2-3 mm away and has voltages ranging from 10 to 60 mV (Preetam et al., 2024).

As shown in Figure 4, this current is the result of sodium ion transport driven by Na^+/K^+ ATPase pumps in the epidermis (McGinnis & Venable, 1986). This current remains active in a moist environment, which promotes healing. It is estimated that the healing rate decreases by 25% in the absence of this current.

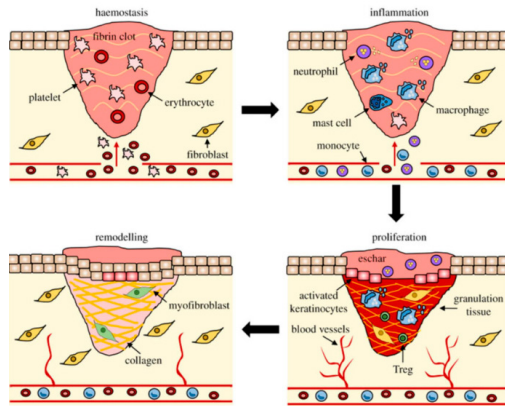


Figure 3. Phases of wound healing (Wilkinson & Hardman, 2020).

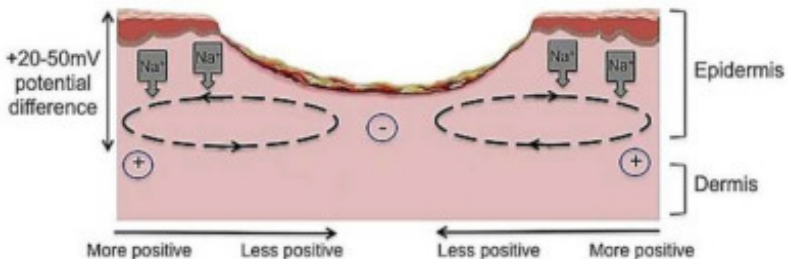


Figure 4. ATPase pumps in wound healing (Din & Bayat, 2014).

It's important to consider the stimulation amplitudes and their physiological sensations, as described in Table 1.

Successful skin wound healing relies on the migration of three key types of skin cells: keratinocytes, fibroblasts, and endothelial cells. Table 2 shows some electrostimulation parameters based on the type of lesion.

Table 1. Comparison of Amplitudes

Amplitude (mA)	Type of stimulation	Sensation
300-400 mA	Electrical muscle stimulation	Muscle contraction
150-200 mA	Transepidermal nerve stimulation	Tingling or itching
Less than 100 mA	Subsensory	Not felt
Under 60 mA	Microcurrent stimulation	X

Electrostimulation applied to different types of wounds in order to compare the different voltages applied for wound healing.

Wound Type	Type of Current/Voltage Applied	Healing Time	Referencia
Diabetic, Arterial, and Venous Ulcers	TENS current (150-250 mA, phase duration of 1.0-0.2 msec, frequency of 80 Hz)	Treatment duration: 20-30 minutes (max. 60 minutes), repeated twice daily at 6-hour intervals	(Company, s.f)
Ischemic Wounds	Low-Intensity Direct Current (LIDC) 200-800 microamps	3 sessions of 2 hours per day. Total duration: 9.6 weeks	(Balakatounis, 2008)
Secondary Cutaneous Wound	High-Voltage Pulsed Current (150-500 V).	Pulse frequency of 80 to 120 Hz with negative polarity, a pulse duration of 40 to 100 μ s, and a treatment period of 25 minutes per session	(Zamora et al, 2022)
Chronic ulcers	Dose range 250-500 μ C/s	5 weeks	(Kloth, 2013)

Methods

3. Design of the Electro-stimulator and Experimental Setup

The prototype circuit for electrical stimulation in wound healing (Diagram 1) is mainly composed of an Arduino UNO microcontroller, which is responsible for generating the digital control signals and supplying 5V to activate the transistor. A TIP120 NPN transistor acts as an electronic switch to control the current flow from an external 9V source to the electrodes

(patches in contact with the wound). A 10:1 transformer raises the voltage to simulate a higher-amplitude alternating current signal. Figure 6 shows the implemented circuit for the electrical stimulation.

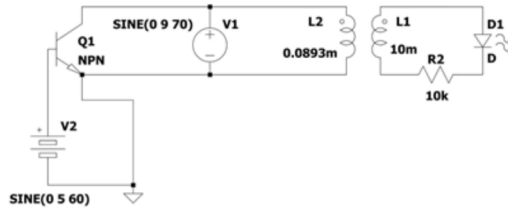


Diagram 1. Electrostimulator circuit. This diagram shows the components used, where V1 is the 9V power source, V2 is the 5V supplied by the Arduino, Q1 is the TIP120 transistor, L1 and L2 are the transformer, R2 is the resistor, and D1 represents the electrodes or the voltage output.

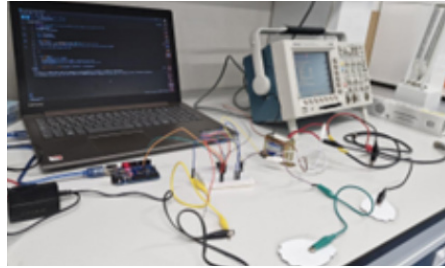


Figure 6. Final assembly of the electrostimulator prototype.

3.1 Code to control Arduino UNO

The code used (Figure 7) allows for control of the duty cycle via the line `int duty = 80;`. This enables the frequency and intensity of the pulses to be managed using Pulse Width Modulation (PWM), which controls the amount of energy by varying the pulse width of the signal.

```

1  const int pwmPin = 3; // Pin de salida PWM (debe ser un pin con
   capacidad PWM)
2
3  void setup() {
4    pinMode(pwmPin, OUTPUT);
5
6    // Establece el ciclo de trabajo en 100%
7    int duty = 80;
8    int pwmValue = map(duty, 0, 100, 0, 255);
9    analogWrite(pwmPin, pwmValue);
10
11   Serial.begin(9600);
12   Serial.print("Ciclo de trabajo inicial: ");
13   Serial.print(duty);
14   Serial.println("%");
15 }
16
17 void loop() {
18   // No se hace nada en el loop, el ciclo de trabajo queda en 100%
19 }
20
21

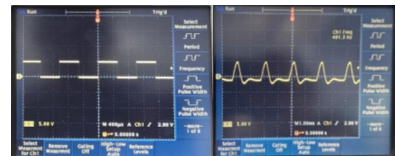
```

Figure 7. Code for controlling the Arduino.

3.2 Waveform

The type of current used for microcurrent electrostimulation was pulsed monophasic current at low intensities (3-6 mA). The waveforms in Figures 8 and 9 correspond to this type of current.

This specific current was chosen because it is the most frequently used type for stimulating tissue healing. Furthermore, according to Feedar et al. (1991), it has been shown to increase wound closure and healing by 14%, compared to 8.25% in a control group.



Figures 8 and 9. The waveform of the pulses measured at the Arduino's output (left image) and the waveform of the pulses measured at the transformer's output with a 10% duty cycle (right image).

3.3 Electrical parameters used

Table 3. Proposed Protocol.

Type of current	Microcurrents
Waveform	Monophasic
Intensity	3-6 mA
Frequency	60 Hz
electric field	100 mV/mm
Session time	20 minutes
Treatment time	9 days

Results

As part of our research results on electrostimulation in wound healing, two linear incisions were made using a sterile scalpel on the bicep region of the right and left arms of a 21-year-old female in good health. The wound on the right arm, measuring 2.1 mm in length and 2 mm in depth, was treated with electrostimulation, while the wound on the left arm, with a length of 2 mm and a depth of 1 mm, served as the control group without intervention (Table 4).

From the first day post-incision, significant differences were observed in the hemostasis process between both wounds. The electrostimulation-treated wound exhibited denser and more controlled bleeding, suggesting a more efficient activation of coagulation mechanisms.

Furthermore, the microcurrent-treated wound displayed more regulated electrotaxis and a significantly milder inflammatory response, indicating a more effective and organized cellular migration. As the days progressed, the treated wound showed a cleaner recovery, characterized by well-defined edges and a considerable reduction in redness, in contrast to the control wound, which exhibited a less efficient closure.

By the ninth day of follow-up, both wounds had completely closed. However, the treated wound showed aesthetically superior healing, which suggests a better initial response in hemostasis, a more efficient electrotaxis, and a more organized subsequent tissue regeneration.

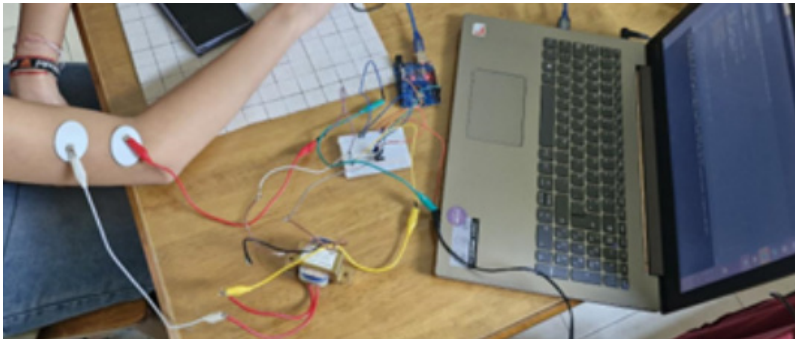








Figure 11. Application of electrostimulation to the test subject.

Table 4. Results of microcurrent electrostimulation, with 2.2 V applied for 20 minutes daily over nine days.

Day	With treatment	Without treatment
1		
3		
9		

Conclusion

These preliminary findings support the hypothesis that electrostimulation improves healing by promoting perfusion, cell migration, and inflammatory modulation. However, individual factors must be considered, and it should be used as part of a comprehensive approach.

Acknowledgments

To the faculty, advisors, and family for their support throughout the completion of this project.

Referencias

- Balakatounis, K. C., & Angoules, A. G. (2008). Low-intensity Electrical Stimulation in Wound Healing: Review of the Efficacy of Externally Applied Currents Resembling the Current of Injury. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2396465/>
- Company José, C., González, M., & Claramunt, J. C. (s.f). Electroterapia en la curación de heridas. <https://www.enfervalencia.org/ei/anteriores/articulos/rev54/artic09.htm3>
- Feedar JA, Kloth LC, Gentzkow GD. Cicatrización de úlceras dérmicas crónicas mejorada con estimulación eléctrica pulsada monofásica. *Phys Ther.* septiembre de 1991; 71(9):639-49. doi: 10.1093/ptj/71.9.639. PMID: 1881954.
- Flores, M.V., Flores, J., & Domínguez, Ma. V. (2023). Heridas crónicas: retos y tratamientos. *Revista Digital Universitaria*, 24(5). <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2023.24.5.4>
- Greaves, N. S., Iqbal, S. A., Baguneid, M., & Bayat, A. (2013). The role of skin substitutes in the management of chronic cutaneous wounds. *Wound Repair and Regeneration*, 30, 194-210. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23437811/>
- Guarín, C., Quiroga, P., & Landínez, N. S. (n.d.). Proceso de Cicatrización de heridas de piel, campos endógenos y su relación con las heridas crónicas. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-00112013000400014&script=sci_arttext
- Hernández, E., Muñoz, C., Cote Estrada, L., Corona, C., Mendoza, E., Ramos, I., López Leal, J., Arroyo, F., Barrera, M., & Ramos Terrazas, V. (2023). Horizontes del Conocimiento. *Aesculap Seguridad del Paciente*. <https://www.aesculap-seguridaddelpaciente.org.mx/docs/revista/2023/Abril.pdf>
- Kloth, L. C. (2013). Electrical stimulation technologies for wound healing. *Advances in Wound Care*, 3(2), 81-90. <https://doi.org/10.1089/wound.2013.0459>

- McGinnis, M. E., & Venable, J. W., Jr (1986). Voltage gradients in new limb stumps. *Progress in clinical and biological research*, 210, 231–238. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3960912/>
- Porras, E., Rubio, E., Ortiz, E., Moreno, K. & Chairez, I. (2018). Sistema de galvanotaxis para migración celular en medio de cultivo semisólido: Evaluación por métodos de procesamiento de imágenes (Parte 2). *Sociedad Mexicana de ingeniería biomédica*, pp 158-161. [Dx.doi.org/10.24254/CNIB.18.23](https://doi.org/10.24254/CNIB.18.23)
- Preetam, S., Ghosh, A., Mishra, R., Pandey, A., Roy, D. S., Rustagi, S., & Malik, S. (2024). Electrical stimulation: a novel therapeutic strategy to heal biological wounds. <https://doi.org/10.1039/d4ra04258a>
- Quiroga, P. A., Guarín, C., Forero, M., & Landínez, N. S. (s. f.). Propuesta de un protocolo de electroestimulación para el tratamiento de úlceras por presión grado II y III. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-00112013000400013
- Senet, P. (2016). *Fisiología de la cicatrización cutánea*. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1761-2896\(08\)70356-X](https://doi.org/10.1016/S1761-2896(08)70356-X)
- Valverde, A. R. (2016). Cicatrizacion. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7070359>
- Wilkinson, H. N., & Hardman, M. J. (2020). Wound healing: cellular mechanisms and pathological outcomes. *Open Biology*, 10(9). <https://doi.org/10.1098/rsob.200223>
- Wound Healing Society. (2025). *The Wound Healing Society*. <https://woundheal.org/>