

# PROTOTIPO PARA LA DETECCIÓN INALÁMBRICA DE PULSOS DE CORRIENTE EN RELOJES DE PULSERA

Prototype for the Wireless Detection of Current Pulses in Wristwatches.

González García Juan Jesús<sup>1</sup>, Almanza Espinosa Rodolfo<sup>2</sup>, Camacho Ibarra Ángel David<sup>3</sup>, Figueroa Lara José Ricardo<sup>4</sup>, Castro Sánchez Rogelio<sup>5</sup>.

<sup>1,2,3,4</sup> Licenciatura en ingeniería en comunicaciones y electrónica

<sup>5</sup> Departamento de ingenierías en comunicaciones y electrónica, división de ingenierías Irapuato Salamanca. Universidad de Guanajuato

j.gonzalez.g@ugto.mx<sup>1</sup>

almanza.espinosa@ugto.mx<sup>2</sup>

ag.camachoibarra@ugto.mx<sup>3</sup>

jr.figueroalara@ugto.mx<sup>4</sup>

castro@ugto.mx<sup>5</sup>

## Resumen

En el siguiente trabajo de investigación se diseñará y construirá un prototipo para la detección inalámbrica de pulsos de corriente generados en relojes de pulsera. Los relojes de pulsera o de pared operados con batería utilizan cierta cantidad de corriente al cambiar de posición de su segundero, lo que demanda una pequeña cantidad de corriente de la batería y genera un pulso magnético. Este pulso es detectado por este prototipo utilizando una bobina. En los extremos de la bobina se induce un pulso de voltaje que es posteriormente amplificado. La salida amplificada alimenta la entrada de un multivibrador monoestable para ensanchar el pulso, y su salida es mostrada visual y auditivamente mediante un led y un zumbador.

## Abstract

The following research work will design and build a prototype for wireless detection of current pulses generated in wristwatches. Battery-operated wristwatches or wall clocks use a certain amount of current when their wristwatches change position, requiring a small amount of battery power and generating a magnetic pulse. This pulse is detected by the prototype using a coil. At the coil's end, a voltage pulse is induced and subsequently amplified. The amplified output feeds into a monostable multivibrator to widen the pulse, and its output is visually and audibly displayed through an LED and a buzzer.

**Palabras clave:** Autotransformador, amplificador operacional, multivibrador.

## Introducción

Existe una infinidad de diferentes tipos de fuentes de señales eléctricas [1], las cuales pueden ser analógicas o digitales, con diferentes amplitudes, polaridades y frecuencias, como se observa en la figura 1.

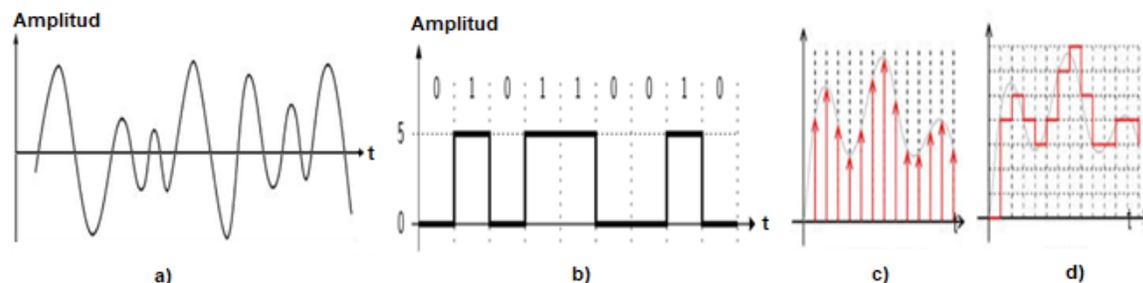


Figura 1. a) Señal analógica alterna. b) Señal digital. c) Señal muestreada. d) Señal discretizada

Las señales mostradas en la figura 1 pueden provenir de una fuente de voltaje o de corriente y, por lo tanto, su modelo eléctrico es una fuente de Thévenin o de Norton [2], lo que determina que su impedancia de salida sea muy baja o alta, respectivamente.

En base a lo anterior, es importante la selección del tipo de amplificador [3] (de Voltaje, de Corriente, de Transconductancia o de Transresistencia) para lograr un acoplamiento adecuado entre la fuente de señal y el amplificador. Si la fuente de señal es un equivalente de Thévenin, entonces podemos utilizar un amplificador de voltaje o de transconductancia con alta impedancia de entrada. Por otro lado, si la salida del amplificador requiere una impedancia de salida baja, entonces utilizaremos un amplificador de voltaje [4], ya que tiene una impedancia de salida baja.

La característica de amplitud, frecuencia y ciclo de trabajo de la fuente de señal debe ser identificada para la selección de la ganancia del amplificador y su respuesta en frecuencia. Esto es especialmente importante si la señal tiene un ciclo de trabajo reducido, aunque su frecuencia sea baja. También es necesario considerar que la señal acondicionada y amplificada debe ser exhibida en algún medio, el cual puede ser lumínico, auditivo u otro.

Las personas que se dedican a la reparación de relojes de pulsera también requieren una herramienta para detectar si el circuito electrónico interno del reloj está funcionando correctamente cuando se ha cambiado la batería y el segundero no se mueve debido a una falla mecánica en su sistema de engranajes.

## Marco teórico

En este trabajo, la fuente de señal proviene de un reloj de pulsera o, de manera alternativa, de un reloj de pared, como los mostrados en la figura 2, y son alimentados con una batería de 1.5 VDC.

Cada vez que cambia de posición la manecilla de los segundos de estos relojes, se toma energía de la batería para que el circuito electrónico interno genere un pequeño pulso de corriente de alrededor de 10 microamperios y una repetición de 1 segundo.



Figura 2. Dos tipos diferentes de relojes de pulsera y uno de pared.

El pulso de corriente genera un micro campo magnético que puede ser detectado mediante una bobina individual, un devanado de un transformador, un transformador diferencial o un autotransformador [5]. En la figura 3 se presentan los distintos tipos de arrollamientos con núcleos de ferrita, los cuales ofrecen una respuesta en frecuencia más rápida.



Figura 3. Diferentes tipos de inductores (imagen izquierda y central) para la detección de un pulso mostrado en la imagen del osciloscopio (imagen de la derecha).

Esta corriente genera un pequeño campo magnético pulsado que puede ser detectado mediante una bobina colocada al lado del contenedor de la batería del reloj. Se investigaron las diferentes bobinas que se muestran en la figura 3 para determinar cuál podría ser la más útil para la detección de este pequeño pulso magnético, como se muestra en la imagen del osciloscopio en la figura 3.

Las características de esta señal son las siguientes: a) la forma de onda son pulsos de duración de 10 microsegundos, el período de la señal es de 1 segundo, la amplitud del pico de los pulsos es de 30 mVp (dependiendo de la distancia a la bobina detectora, en el reloj de pulsera es de 15 mV), la señal está combinada con ruido de alta frecuencia con una amplitud de 20 mVpp.

Una bobina con núcleo de aire, como se muestra en la figura 4a, es útil como transductor para detectar un campo magnético. Sin embargo, para este trabajo, se encontró en el mercado nacional otra bobina con derivación, la cual es utilizada en circuitos sintonizados y puede ser útil, ya que, en lugar de atenuar la señal, la eleva de acuerdo con el principio de autotransformación y la relación entre el voltaje en el devanado de entrada y el devanado de salida, y el número de vueltas de ambos devanados [1].

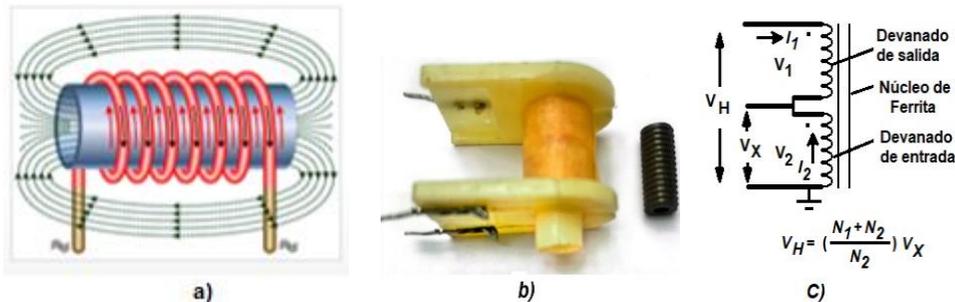


Figura 4. Diferentes tipos de inductores a) Bobina individual. b) Bobina con derivación (autotransformador). c) Modelo del autotransformador

Con las características de la señal de voltaje de salida del autotransformador y con el ruido al menos 3 veces menor que cuando se tiene una sola bobina, se optó por considerar este elemento de circuito como un elemento transductor para detectar el pulso generado por el reloj de pulsera.

Para amplificar los pulsos de la señal del autotransformador, se seleccionó un amplificador de voltaje. Se alimenta con una sola fuente de alimentación y su respuesta a variaciones de la señal de entrada es suficientemente rápida. El circuito integrado seleccionado tiene dos amplificadores en caso de que se requiera un amplificador de dos etapas.

Dado que la señal amplificada requiere que el pulso sea más ancho, se debe considerar utilizar un multivibrador en modo monoestable para que la constante de tiempo sea de al menos 500 milisegundos y su salida pueda ser utilizada para activar un zumbador y un LED.

## Materiales y Método

En la Fig. 5 se muestra el diagrama de bloques para el procesamiento de la señal pulsada de campo magnético que proviene del reloj de pulsera o de pared y es detectada por el transductor conformado por el autotransformador.

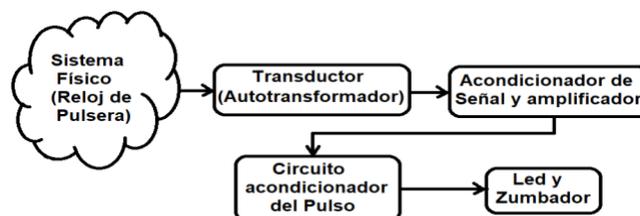


Figura 5. Diagrama a bloques del tratamiento de la señal.

Los pulsos de voltaje que salen del autotransformador son amplificados 450 veces utilizando dos etapas de amplificación. Ambas configuraciones deben ser no inversoras y toman en cuenta lo siguiente:

- La señal de entrada consiste en pulsos de voltaje con un período de 1 segundo.
- La amplitud es de aproximadamente 15 mVp.
- El ruido es de alta frecuencia (>1 KHz) y una amplitud de 20 mVpp.
- Se utilizará un Amplificador Operacional LM358, cuya hoja de datos se encuentra en la referencia [2].
- Se utilizará un LM555 en su configuración monoestable para obtener un pulso más ancho (500 milisegundos). La hoja de datos se encuentra en la referencia [3].
- El indicador lumínico es un mini LED y el indicador audible es un zumbador comercial.

En el circuito de la Fig. 6 se muestra el circuito amplificador de dos etapas, con el voltaje de entrada en CH1 (señal superior amarilla en la imagen del osciloscopio) y el voltaje de salida en CH2 (señal inferior azul en la imagen del osciloscopio). La marca del osciloscopio es Tektronix y su modelo es el TDS2024.

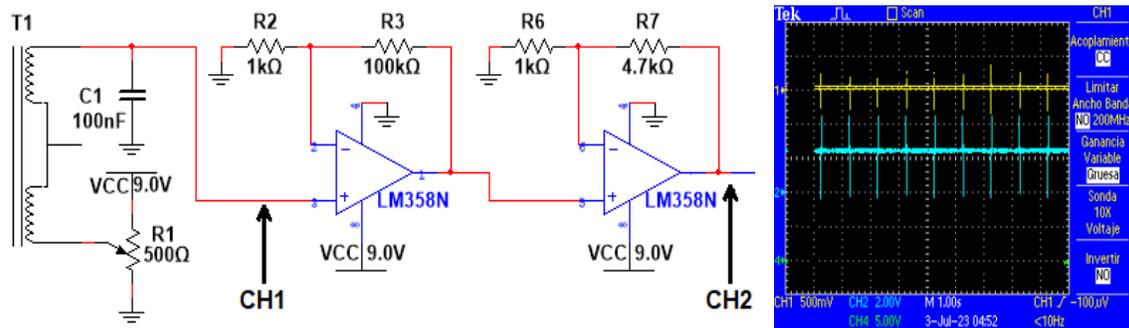


Figura 6. Amplificador de voltaje de dos etapas y formas de onda de entrada y salida.

En el circuito de la Fig. 7 se muestra el circuito multivibrador en modo monoestable, con el voltaje de entrada en CH2 (señal superior en color azul en la imagen del osciloscopio) y el voltaje de salida en CH1 (señal inferior en color verde en la imagen del osciloscopio).

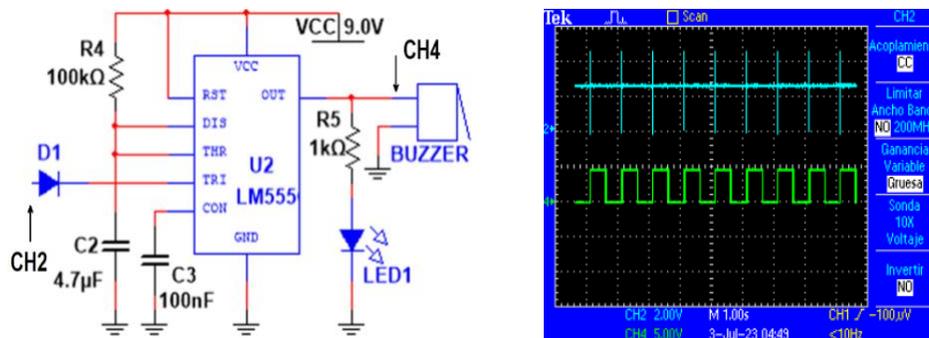


Figura 7. Multivibrador monoestable y formas de onda de entrada y salida.

En la Tabla 1. se muestran las ecuaciones de diseño (1) y (2) para el circuito amplificador de voltaje de dos etapas [5], [6] y las ecuaciones de diseño para la salida del circuito monoestable [5], [7] con duración de 500 mS.

**Tabla 1.** Ecuaciones de Diseño para el Amplificador de dos etapas y para el LM555

Ecuaciones de diseño del Amplificador de dos etapas	Ecuaciones de diseño del Circuito Vibrador Monoestable
$V_o = (A_{V1}) (A_{V2}) = \left[ \left( 1 + \frac{R3}{R2} \right) V1 \right] \left[ \left( 1 + \frac{R7}{R6} \right) V1 \right] \quad (1)$	$t = 1.1 R_4 C_2 \quad (2)$

## Resultados y Discusión

El diagrama del circuito electrónico final se muestra en la figura 8 y las formas de onda obtenidas con tres canales del osciloscopio digital TDS2024 se muestran en la figura 9. En la Figura 9 las señales corresponden a los puntos de prueba CH1 (salida del circuito de detección del reloj de pulsera), CH2 (salida del amplificador de 2 etapas); CH3 (salida del multivibrador) de la figura 8.

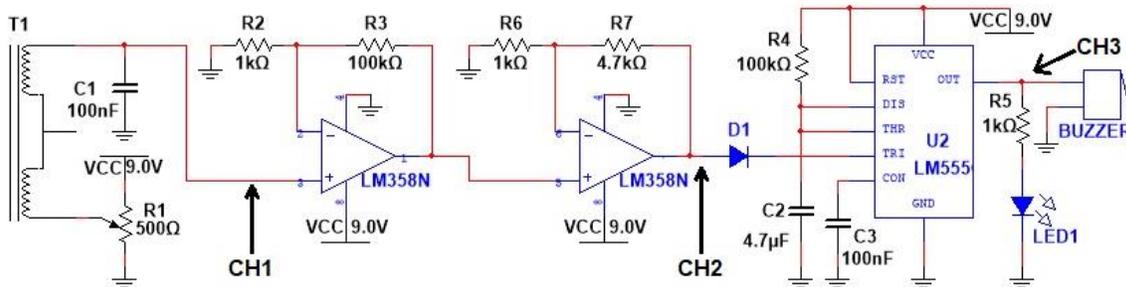


Figura 8. Diagrama general del circuito detector de pulsos de Reloj de Pulsera

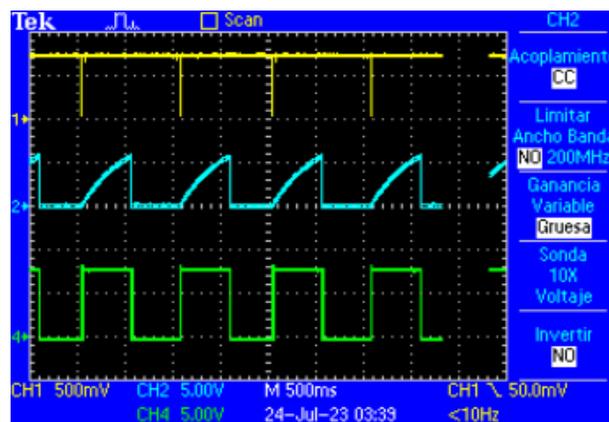


Figura 9. Formas de onda en circuitos de prueba del diagrama general.

En la figura 10 se muestra el circuito construido y soldado en una placa perforada y la superficie de la caja donde se coloca el reloj de pulsera o de pared.

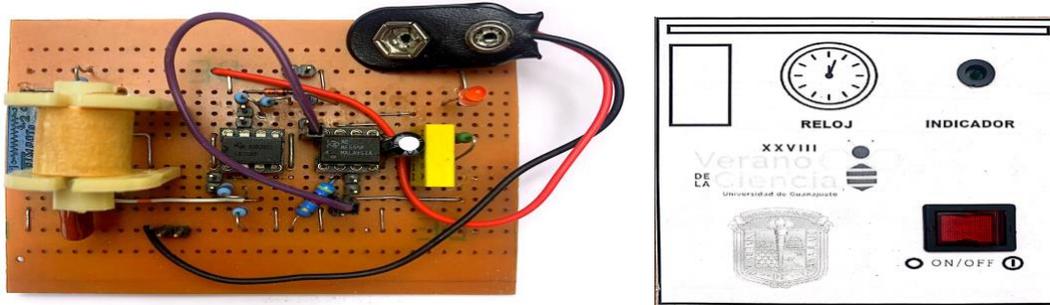


Figura 10. a) Circuito en placa perforada. b) Caja contenedora del circuito.

## Conclusiones

- Se seleccionó y diseñó un circuito para detectar pequeños pulsos generados en un circuito electrónico de un reloj de pulsera o de un reloj de pared.
- Estos pulsos fueron acondicionados con un transductor y amplificados mediante un amplificador de dos etapas con ganancia fija.
- Finalmente, la señal amplificada fue tratada con un multivibrador monoestable para que los pulsos a la salida del amplificador sean lo suficientemente anchos. Esto permite que una señal lumínica, a través de un LED, pueda ser encendida y apagada de acuerdo con el cambio de posición del segundero del reloj.
- Adicionalmente, se adaptó un zumbador para incluir una señal auditiva con este cambio de posición del segundero.

## Agradecimientos

Los autores, Juan Jesús González García, Rodolfo Almanza Espinoza, Ángel David Camacho Ibarra y José Ricardo Figueroa Lara agradecen a la Dirección de Apoyo a la Investigación y al Posgrado de la universidad de Guanajuato y tanto a la División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca como al Laboratorio de Electrónica por su apoyo con su infraestructura material y técnica brindada. En segunda instancia se agradece al Dr. Rogelio Castro Sánchez por su apoyo técnico para el desarrollo de este trabajo de investigación.

## Referencias

- [1] Lathi, B. P. (2004), *Linear Systems and Signals*, (2nd ed.), Oxford University Press.
- [2] Hayt, W. H. (2007). *Análisis de Circuitos en Ingeniería*. McGraw-Hill.
- [3] Millman, J., Halkias, C. & Jit, S. (2007), *Electronic Devices and Circuits*. Tokio. 2nd Ed., McGraw-Hill Kogakusha
- [4] Franco, S. (2004). *Design with operational amplifiers and analog integrated circuit*. Mc-Graw Hill International Editions, 3<sup>a</sup> edition.
- [5] Kosow, I. L. (2009). *Máquinas Eléctricas y transformadores*, Ed. Reverte.
- [6] <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm555.pdf>
- [7] <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/lm358-d.pdf>