

Convertor de Tensión a Frecuencia para Transmisión de Información

Francisco S. Moglia ^{a*}, Gonzalo N. Tessari ^b, Diego G. Nuñez ^c, Nicolas Dornelles ^d, Héctor R. Anocibar ^e, Jorge A. Olsson ^f

^{a, b, c, d, y f} *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.*
^{e y f} *Proyecto de Investigación: 16/1120-PI, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.*

e-mails: moglia.f.s@mail.com, gonzalotessari7@gmail.com, ndiego208@gmail.com, nicodornelles@gmail.com, anocibar@gmail.com, jorgealbertoolsson@gmail.com

Resumen

El proyecto fue realizado en el marco de las asignaturas “Electrónica Analógica” y “Mediciones Electrónicas” de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional de Misiones, con el objetivo de analizar y trabajar con una forma alternativa de transmisión de información a los métodos vistos en clase. El método al que se hace alusión consiste en una conversión de tensión a frecuencia mediante un circuito puramente analógico, donde se llevó a cabo el diseño y construcción de una placa de circuito impreso. De esta manera se logró pasar de una señal de entrada entre 0 V y 10 V a una señal pulsante de tensión negativa, cuya frecuencia varía idealmente de manera lineal con la tensión de entrada. Para las pruebas la tensión que se transmitió provino de una etapa de conversión de luz a tensión, por lo que se detalla el circuito utilizado. Se ha comprobado el correcto funcionamiento del circuito completo y se ha obtenido que la variación de la frecuencia con la tensión no es lineal en todo el rango de variación, se concluyó que esta discrepancia entre la teoría y la práctica se la adjudica principalmente a consideraciones realizadas en los cálculos y a la degradación o estrés de componentes, ya que los mismos fueron reutilizados de aplicaciones anteriores.

Palabras Clave – Comparador, Convertor, Fotorresistor, Frecuencia, Integrador, Tensión.

1 Introducción

El proyecto se realiza en el marco de las asignaturas “Electrónica Analógica” y “Mediciones Electrónicas” de la carrera de Ingeniería Electrónica. El mismo surge de investigar un método alternativo de transmisión de información a los tradicionales, como ser: tensión-tensión, tensión-corriente, etc. El método al que se hace alusión consiste en la conversión de tensión a frecuencia de manera puramente analógica, y a su vez también se incorpora una etapa previa de conversión de onda electromagnética en el espectro visible (luz) a tensión.

Este proyecto se desarrolló con la hipótesis de que la transmisión de información mediante la frecuencia es un método muy confiable, dado que la señal transmitida es pulsante, es decir, una señal digital [1] constituida de ceros y unos. Aprovechando así, entre otras ventajas, la inmunidad al ruido de la señal para ser transmitida.

Se tomó la idea general del prototipo a partir de la revisión bibliográfica de los manuales técnicos y hojas de datos de Elettronica Veneta y su modulo experimental MCM7 [2].

*Autor en correspondencia.

2 Proyecto

2.1 Diseño

El sistema desarrollado consistió en dos etapas, una de conversión de luz en tensión y luego una de tensión en frecuencia. En la Fig. 1 puede observarse el diagrama de bloques del sistema.

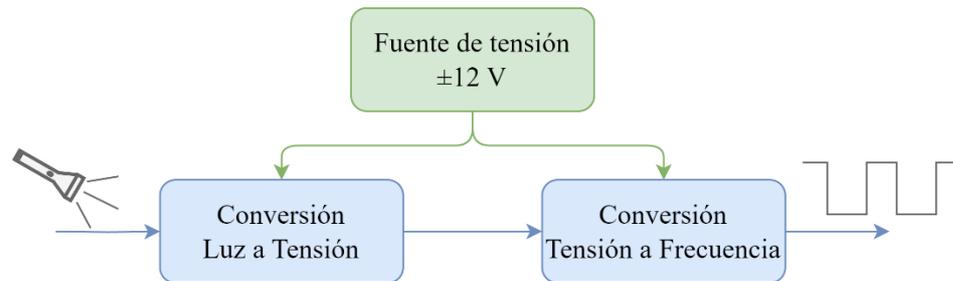


Fig. 1. Diagrama de bloques del prototipo.

Se ha decidido utilizar una fuente de alimentación externa de modo de facilitar el diseño de la placa de circuito impreso (PCB, del inglés *Printed Circuit Board*), destinando así una bornera donde se conectan los cables de alimentación de la fuente de tensión. Además, se han destinado dos capacitores electrolíticos de $1\mu F$ para filtrar la tensión.

La primera etapa se basó en una rama resistiva con un fotorresistor [3] utilizado como sensor, también llamado resistor dependiente de la luz (LDR, del inglés *light-dependent resistor*) teniendo una respuesta no lineal vista en la Fig. 2.



Fig. 2. Variación de resistencia con la intensidad de luz de LDR.

El objetivo de esta etapa fue obtener en su salida una variación entre $0 V$ y $10 V$ tras variar la intensidad de luz que recibe el sensor. Para ello se diseñó el circuito de la Fig. 3. Los resistores utilizados han sido adoptados de manera que circulen entre $0 A$ y $98,36 \mu A$, ha sido de esta manera para consumir la menor energía de la fuente posible. Por lo mencionado, las potencias de estos resistores han sido adoptadas de $\frac{1}{4} W$.

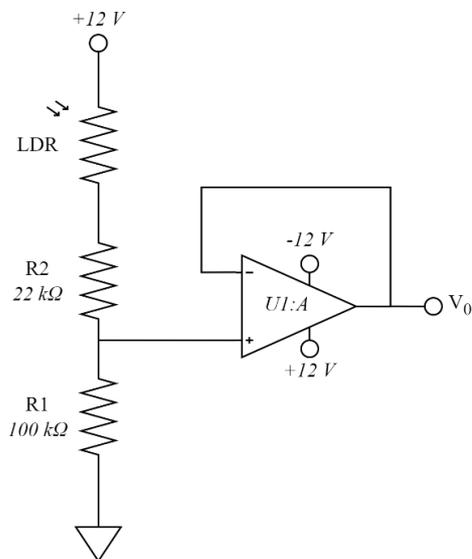


Fig. 3. Circuito de conversión intensidad de luz a tensión.

El amplificador operacional (op-amp, del inglés *operational amplifier*) “U1:A” se encuentra en una configuración de seguidor de tensión, para adaptar la resistencia de salida del circuito.

La segunda etapa es un poco más compleja y puede observarse en la Fig. 4.

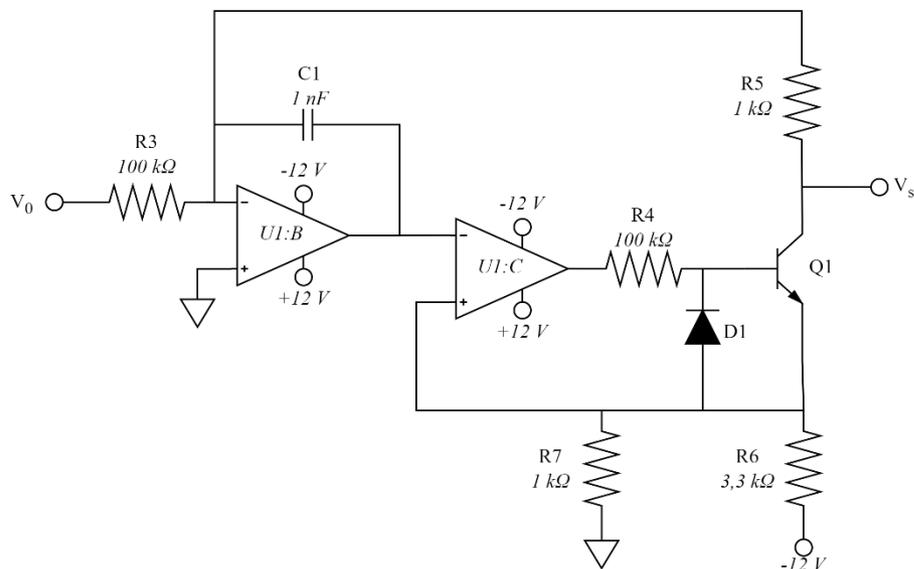


Fig. 4. Circuito de conversión tensión a frecuencia.

El op-amp “U1:B” desempeña la función de integrar la señal de entrada, mientras que el “U1:C” compara la salida del integrador con una tensión de referencia.

El capacitor “C1” se carga con la tensión de entrada “V0” mediante el resistor “R1”, por lo que en el pin inversor del op-amp como comparador se tiene una rampa negativa.

Al comienzo del ciclo la tensión en la entrada inversora del comparador es nula; en cambio en la entrada no inversora, suponiendo que el transistor “Q1” se encuentra bloqueado dado que la salida del comparador está en bajo y despreciando la caída del diodo “D1”, se tiene una tensión “V₁” dada por la Ec. (1).

$$V_1 = -12V \cdot \frac{R7//R4}{R7//R4 + R6} + V_{sat-} \cdot \frac{R7//R6}{R7//R6 + R4} \quad (1)$$

Donde la tensión “V_{sat-}” corresponde a la tensión de saturación negativa del comparador, y además el símbolo // indica la conexión en paralelo de los resistores [4].

Entonces, en la salida del comparador se tiene una rampa descendente de tensión y una vez que dicha tensión es menor a V₁ ocurre la conmutación del estado en la salida del comparador, pasando a un estado alto y por ende el transistor comienza a conducir. Esto permite la descarga del capacitor C1, logrando así un potencial de referencia “V₂” en el pin no inversor dado por la Ec. (2).

$$V_2 = -12V \cdot \frac{R5//R7}{R5//R7 + R6} \quad (2)$$

Mientras la tensión del pin inversor de UI:C no supere a V₂ se descargará el capacitor, una vez que esto no se cumple se conmuta la salida del comparador a un estado bajo. De esta manera el transistor se bloquea y la tensión de referencia vuelve a ser V₁.

Se tiene que la frecuencia “f” de la señal de salida “V_s” está dada por la Ec. (3).

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{T_1 + T_2} \quad (3)$$

Donde “T” es el periodo de la señal de salida, y “T₁” y “T₂” es el tiempo de carga y de descarga del capacitor, respectivamente.

El tiempo de carga del capacitor también puede entenderse como el tiempo necesario para que C1 pase del valor V₂ a V₁, dicho tiempo está dado por la Ec. (4).

$$T_1 = \frac{|V_2 - V_1|}{V_0} \cdot R3 \cdot C1 \quad (4)$$

El tiempo de descarga del capacitor para pasar de V₁ a V₂ se observa en la Ec.

$$T_2 = \frac{|V_2 - V_1|}{|V_2|} \cdot R5 \cdot C1 \quad (5)$$

Resulta entonces la frecuencia según la Ec. (6).

$$f = \frac{V_0}{|V_2 - V_1| \cdot R3 \cdot C1 + V_0 \cdot \frac{|V_2 - V_1|}{|V_2|} \cdot R5 \cdot C1} \quad (6)$$

Hay que resaltar que al reemplazar los valores de los componentes en las ecuaciones anteriores se obtiene un tiempo de descarga despreciable con respecto al tiempo de carga. De esta manera la frecuencia queda expresada en función de la tensión de entrada V_0 .

$$f \cong \frac{V_0}{|V_2 - V_1| \cdot R3 \cdot C1} \quad (7)$$

Para finalizar con la etapa de diseño, se presenta en la Tabla 1 la lista de componentes utilizados.

Tabla 1. Componentes utilizados en el circuito.

Componente	Código/Valor
Amplificador operacional (U1)	LM324
Bornera triple	-
Transistor (Q1)	BC337
Diodo (D1)	1N4007
Capacitores	
C1	1 nF
C2	10 μ F
C3	10 μ F
Resistencias	
R1	100 k Ω
R2	22 k Ω
R3	100 k Ω
R4	100 k Ω
R5	1 k Ω
R6	3,3 k Ω
R7	1 k Ω

Cabe destacar que el LM324 es un circuito integrado que contiene cuatro op-amp, y dado que solamente se requieren tres para este proyecto se cortocircuitaron a tierra las dos entradas del op-amp no utilizado.

Por otro lado, todos los resistores corresponden a la serie E12 y las potencias nominales de estos son todas de $\frac{1}{4}$ W.

2.2 Simulación

Antes de pasar al montaje del circuito se verificó su funcionamiento mediante simulación. Dicho proceso fue realizado utilizando el *software* Pspice [5].

Fijamos el valor del sensor en un punto conocido para lograr un valor fijo de V_0 , de este modo se pudo observar la señal pulsante en la salida del circuito. A modo de ilustración se presenta en las Fig. 5 y Fig. 6 la salida de tensión V_s para una entrada de 5 V y 8 V, respectivamente. Se observa claramente que el periodo, y por consiguiente la frecuencia, se ve modificado al variar la entrada.

Todos los componentes utilizados son de tecnología de agujeros pasantes (THT, del inglés *Through-Hole Technology*). En la Fig. 8 se observa las vistas 3D del PCB.

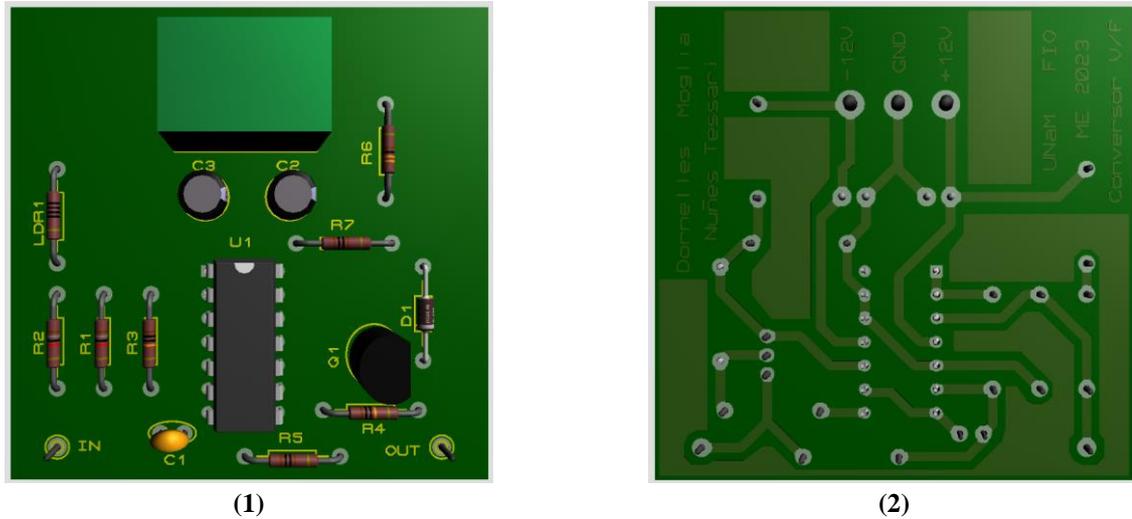


Fig. 8. Modelo 3D diseñado en Proteus. (1) vista superior. (2) vista inferior.

La construcción del PCB fue realizada mediante un método casero, el cual consiste en un proceso de planchado y quemado en ácido férrico sobre una plaqueta virgen, para obtener la base del circuito donde se soldaron los componentes.

En las siguientes imágenes se puede ver el circuito montado.



Fig. 9. PCB con todos los componentes soldados. (1) vista superior. (2) vista inferior.

Se tuvo algunos problemas a la hora de soldar algunos terminales de los componentes debido al pequeño espesor de las pistas de cobre y a la utilización de un estaño de mala calidad.

2.4 Ensayos

Para verificar que el circuito funcione de manera adecuada se procedió a energizar el circuito con la fuente ATTEN TPR3005T-3C, para posteriormente medir la salida con el osciloscopio RIGOL DS1102E mientras se permitía al sensor LDR que captara distintas intensidades de luz. De esta manera se realizó un barrido entre $0,16\text{ V}$ y $9,6\text{ V}$ logrando observar las formas de ondas esperadas, tanto en la salida del integrador como en la salida “ V_0 ” del circuito.

En la Fig. 10 se observan dos de las mediciones capturadas de la tensión de entrada y salida del circuito.

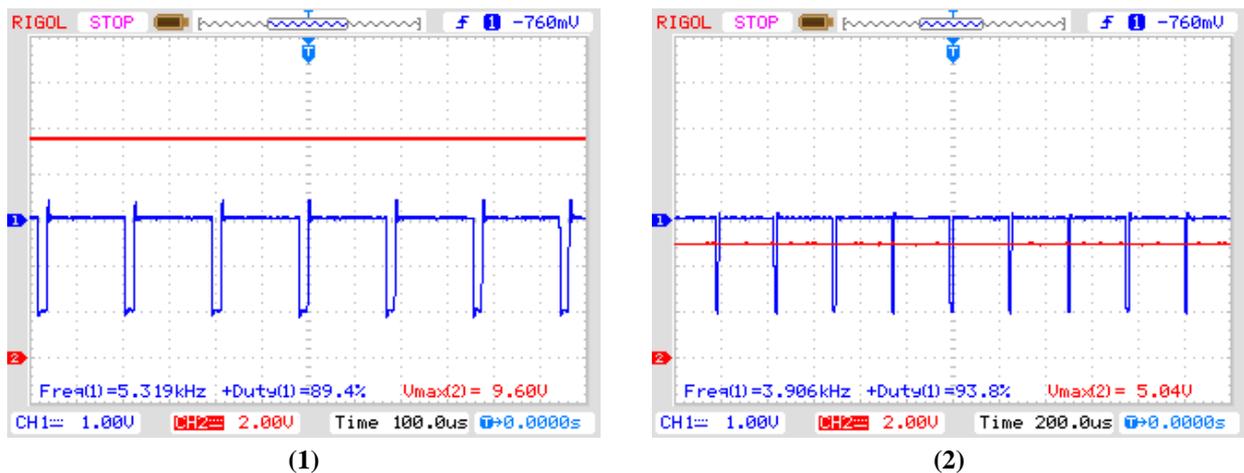


Fig. 10. Mediciones con osciloscopio. (1) Tensión de entrada de 9,6 V. (2) Tensión de entrada de 5,04 V. CH1: Salida de tensión. CH2: Entrada de tensión.

Mediante los ajustes del osciloscopio se ha realizado las mediciones de frecuencia y ciclo útil de la señal de pulsante del canal 1, y también la amplitud de la señal continua del canal 2. Es apreciable en las figuras anteriores la variación de la frecuencia, pasando de $5,319\text{ kHz}$ con $9,6\text{ V}$ de entrada a $3,906\text{ kHz}$ cuando la entrada es de $5,04\text{ V}$.

En la Fig. 11 se presenta la curva obtenida, la cual relaciona la frecuencia de la señal pulsante de salida y la tensión de entrada V_0 .

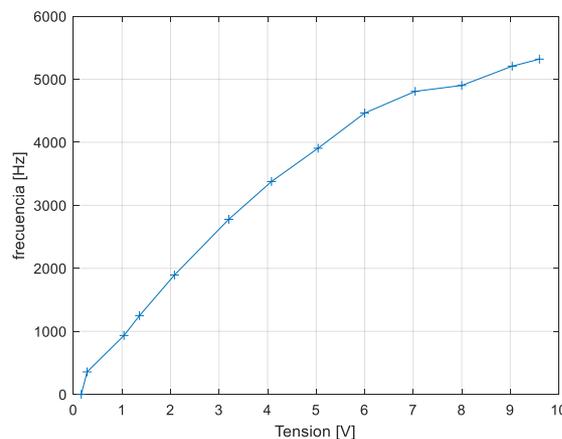


Fig. 11. Variación de la señal pulsante de salida en función de la tensión de entrada V_0 .

Surge de inmediato al observar la curva la cuestión de la no linealidad dada para tensiones mayores a 6 V. Esto puede adjudicarse a la simplificación realizada en la Ec. (7) y también a la degradación o estrés de componentes, ya que los mismos fueron reciclados de usos anteriores.

Por otro lado, en la Fig. 12 se observan dos de las capturas tomadas con el osciloscopio de la señal de salida del integrador.

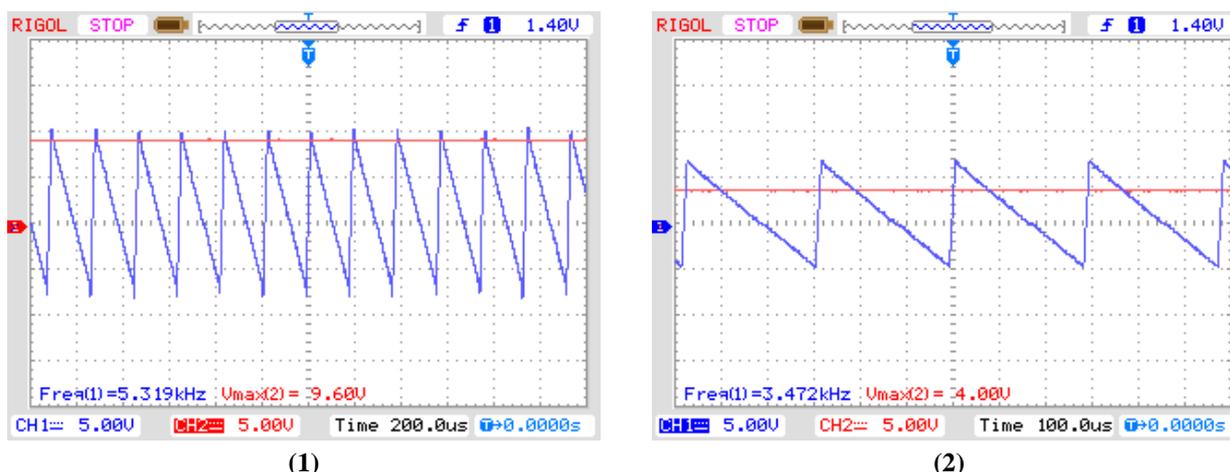


Fig. 12. Mediciones con osciloscopio. (1) Entrada de 9,6 V. (2) Entrada de 4 V.
CH1: Tensión de salida del integrador. CH2: Tensión de entrada.

De estas figuras puede observarse que a medida que V_0 aumenta también lo hace tiempo de carga del capacitor, y por lo tanto deja de cumplirse la Ec. (7). Lo que concuerda con la no linealidad observada en la Fig. 11.

3 Conclusiones

Los resultados de los ensayos de laboratorios experimentales y simulaciones indican que el funcionamiento del prototipo construido y diseñado es correcto, su respuesta no es lineal y el origen de esta alinealidad se les atribuye principalmente a consideraciones realizadas en los cálculos y a la degradación o estrés de componentes, ya que los mismos fueron reutilizados de otras aplicaciones. Por lo que se trazan las bases para futuras investigaciones para hallar una configuración que presente una mayor linealidad entre la frecuencia y tensión.

Bibliografía

- [1] John G. Proakis y Dimitris G. Manolakis, Tratamiento Digital de Señales 4 Ed., Madrid: Pearson Prentice Hall, 2007.
- [2] E. Veneta, «Amplificadores Operacionales MCM7/EV,» [En línea]. Available: <https://www.electronicaaveneta.com/es/prodotto/mcm7-ev-amplificadores-operacionales/>. [Último acceso: 01 08 2023].
- [3] colaboradores de Wikipedia, «Fotorresistor,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Fotorresistor&oldid=147895111>. [Último acceso: 01 08 2023].

- [4] colaboradores de Wikipedia, «Circuito en paralelo,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Circuito_en_paralelo&oldid=150750851. [Último acceso: 02 08 2023].
- [5] OrCAD, «PSpice,» [En línea]. Available: <https://www.orcad.com/pspice>.
- [6] Proteus, «Proteus,» [En línea]. Available: <https://www.labcenter.com>.