

DESARROLLO DE PROTOTIPO DE UN MÓDULO ELECTRÓNICO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE LA PRESENCIA O AUSENCIA DE TRENES SOBRE LAS VÍAS FÉRREAS

Luis H. Berrío^{*†}

**Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), Cir. 1 #70-01, of. 11-259, Medellín, Colombia. Subdirección Investigación y Desarrollo Negocios Energía (EPM), Carrera 58 42-125, Medellín, Colombia.*

Recibido 14 Enero 2013; aceptado 31 Mayo 2013

Disponible en línea: 15 Julio 2013

Resumen: Este artículo describe el diseño y la construcción de un prototipo electrónico para la digitalización, demodulación y decodificación de la señal proveniente del transmisor de un circuito de audiofrecuencia empleado en la detección de la presencia o ausencia de trenes en las vías férreas. El prototipo desarrollado contiene circuitos integrados y microcontroladores de bajo consumo energético, y evita depender de la tecnología que provee un sólo comercializador o que ya es obsoleta. Además, la reparación de cada módulo electrónico del sistema es complicada y costosa. El diseño del prototipo tiene mayores prestaciones para los operarios del sistema ferroviario que los del sistema estándar. Sin embargo, el prototipo trabaja en todas las frecuencias de un sistema estándar de circuito de audio-frecuencia y permite manipular cinco códigos diferentes para la distinguir los circuitos adyacentes en la trayectoria férrea.

Palabras clave: Circuito de audiofrecuencia, Digitalización, Vía férrea, Decodificación, Demodulación.

Abstract: This paper describes the design and construction of an electronic prototype for the digitization, decoding and demodulation of the signal from the transmitter of a railway audio frequency circuit used in the detection of the presence or absence of trains on the railway. The developed prototype contains integrated circuits and low-power microcontrollers, and it avoids dependence on the technology that provides a single trader or the obsolescence. Furthermore, the reparation of each electronic module of the system is complicated and expensive. The designed prototype has more benefits for the operators of the system than the standard system. However, the prototype works on all frequencies of a standard system of audio-frequency circuit and it lets to manipulate five different codes to distinguish circuits in the adjacent paths on the railway.

Keywords: Audio-Frequency Circuit, Digitization, Railway, Decoding, Demodulation.

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de operar un sistema masivo de transporte en el ámbito ferroviario con el menor riesgo, se convierte en un aspecto de alta

prioridad. Para ello, se requiere un sistema que permite identificar la presencia o ausencia de trenes u otros vehículos auxiliares sobre la vía férrea, ya que disminuye la probabilidad de

[†] Autor al que se le dirige la correspondencia:

Tel. (+574) 3806879, fax (+574) 3806879.

E-mail: berrio77@yahoo.com (L. H. Berrío).

colisiones entre dichas unidades de trenes o con otros vehículos ferroviarios. Este sistema actualmente es utilizado en diversos sistemas masivos de transporte del mundo, conocido como el sistema de circuito de vía de audiofrecuencia codificado y alimentado a distancia (FTG), que además permite el manejo y la transmisión de telegramas del sistema alemán de Influencia Lineal en el Tren (LZB), utilizado para el control de velocidad de los trenes ([Fontela, 2007](#)).

Para la operación ferroviaria, el sistema FTG permite el desplazamiento seguro de los trenes en la vía. El FTG determina si un tramo de vía a lo largo de todo los rieles está o no ocupado por una unidad o tren ([DIMETRONIC, 2011](#)). Éste tipo de detección da la ubicación por tramos de dichas unidades a los operadores de estación y de control. La detección se realiza por medio de la modulación y demodulación de señales que viajan por los rieles del sistema de trenes, lo cual ayuda al ahorro de cableado, ya que aprovecha las características de la infraestructura ferroviaria ([Pigem, 2008](#)). Para detectar correctamente la información que se transmite a los rieles, ésta debe ser detectada por una unidad receptora que evalúa la potencia de la señal y una demoduladora que determina si el código recibido corresponde a una vía desocupada y a los datos codificados ([Durán, 2010](#)). Por otra parte, las tramas del LZB se transmiten y se reciben con el mismo sistema FTG para aprovechar la tipología de conexión. Por ello, se requiere una conmutación para ambos tipos de datos que se pueden manejar con el FTG ([GRH, 1998](#)).

La etapa demoduladora del FTG es usada al momento de determinar si una vía está o no ocupada, transmitiendo su respuesta a módulos adyacentes, tales como a un segundo receptor. Es común encontrar que este sistema esté constituido por tecnología obsoleta en muchas de las estaciones de enclavamiento de los sistemas de transporte ferroviario que no han hecho *revamping* de sus sistemas, en los cuáles se pueden encontrar compuertas de referencia militar y lógica combinatorial para el procesamiento de señales. A través de los subsistemas de enclavamiento se establecen de forma segura las rutas de los trenes y se garantiza una protección frente a los errores del operador ([Ruano, 2007](#); [Torres et al., 1999](#)). Ésta característica hace que los costos de reparación sean altos, debido a que muchos de estos elementos no son fáciles de encontrar

comercialmente o están ligados a un sólo distribuidor y comercializador.

En la sección 2 se explica el concepto de circuito de vía de audiofrecuencia y el módulo demodulador del sistema de detección de trenes, en la sección 3 se trata el tema de la codificación y se realizan las mediciones en campo del circuito de vía actual, en la siguiente se explica la arquitectura lógica y física del prototipo desarrollado, en la sección 5 se presentan los resultados del prototipo y, finalmente, se presentan las conclusiones e información del autor.

2. CIRCUITO DE VÍA DE AUDIOFRECUENCIA

El FTG permite la detección de trenes en la vía férrea, con el cual se divide el trayecto mediante juntas de separación eléctricas en tramos de vía ([Baquer, 2010](#)). Como medida de seguridad contra interferencias eléctricas producidas por los armónicos en la corriente de retorno de tracción, la tensión eléctrica alimentada en el circuito de vía es modulada en frecuencia portadora, la denominada frecuencia de circuito de vía y que difieren de la del circuito vecino o adyacente ([Ciurlo y Mariscotti, 2010](#)).

La modulación de las frecuencias de circuito de vía con diferentes configuraciones de bits garantiza una asignación inequívoca de los equipos emisores y receptores. El proceso de detección de trenes comprende tres pasos:

- Evaluación de la amplitud.
- Comprobación de la modulación.
- Comprobación de la codificación.

El equipo receptor emite un aviso de vía libre cuando la evaluación en el receptor da como resultado que la amplitud de la tensión de vía es suficientemente grande y supera el umbral, y la comprobación en el demodulador también da como resultado que la información codificada transmitida es la correcta ([Lozano et al., 2010](#)). Si el eje del vehículo ferroviario ocupa el circuito de vía, el shuntado de eje resultante reduce la corriente de audiofrecuencia en la unidad de sintonización del receptor, de tal forma que el receptor ya no reacciona. El aviso de vía ocupada es emitido desactivando los relés de vía.

Esta configuración de FTG también se emplea para transmitir telegramas de LZB. Por esto, el módulo de emisor permite la conmutación de la configuración de bits del FTG a un telegrama del LZB a transmitir. Cuando el módulo de conmutación de telegramas recibe un aviso de vía ocupada, provoca la conmutación y transmite el telegrama del sistema LZB al emisor.

Los equipos emisor, receptor y evaluador de un circuito de vía se operan conjuntamente y están alojados en un portamódulos. Este contiene también la alimentación de corriente que genera las tensiones estabilizadas de +12V, +5V y 0V, que permiten operar los circuitos electrónicos. Se pueden distinguir sistemas de detección de trenes de varios tipos:

- Convencionales de 50 Hz.
- De impulsos.
- De audiofrecuencia sin juntas.

El funcionamiento del primer tipo, aunque es extensible al resto con la variación de los elementos que actúan, consiste en que cada tramo de vía se separa físicamente del contiguo mediante juntas aislantes o juntas inductivas, y depende del tipo de instalación y de si la vía está electrificada o no. Además, se conecta una tensión eléctrica en uno de los lados del trayecto. En el lado contrario, que hace parte de la recepción, se conecta un relé de vía. Si la vía está libre, los rieles actuarán como conductores eléctricos y mantendrán el relé de vía excitado. Cuando un tren entra en un circuito de vía, los ejes cortocircuitan los carriles, y eso provoca que no llegue tensión al relé y se desactive. Esa falta de tensión es la que se utiliza para detectar la presencia de un tren.

Dado que se requiere una instalación de seguridad, estos sistemas están diseñados con parámetros *fail-safe*, es decir, provocan siempre una situación segura, aunque la instalación falle (Montes, 2007). La ocupación de un circuito de vía puede servir también para detectar un funcionamiento erróneo del mismo, como puede ser un fallo de alimentación, un fallo en el relé de vía, un riel roto, o una avería en alguna de las juntas que delimitan el circuito de vía.

En la disposición estándar, que se muestra en la Fig. 1, se emplean enlaces en forma de S para demarcar los tramos, que constituyen separaciones puramente eléctricas, es decir no mecánicas, y permiten simultáneamente una

compensación de la corriente de tracción entre los dos rieles de rodadura. En un extremo del tramo de vía el emisor alimenta una corriente alterna de audiofrecuencia en los rieles de rodadura, y el receptor en el otro extremo evalúa la tensión que llega. Conforme a la tensión recibida se transmite un aviso de vía libre o de vía ocupada a la lógica de la cabina de señalización. Tanto el emisor como el receptor están dispuestos de manera central en la cabina de señalización a una distancia de 6,5 km, aproximadamente.

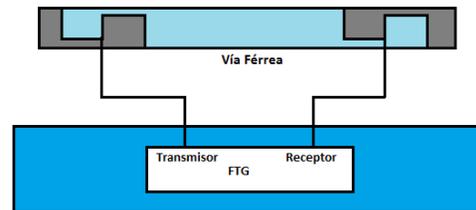


Fig. 1. Esquema de conexión en vía férrea de un FTG.

2.1. Módulo demodulador estándar de circuito de vía de audiofrecuencia

El sistema demodulador es el encargado de comprobar el estado de la modulación y el contenido de información de las oscilaciones de audiofrecuencia recibidas. Este circuito es excitado y recibe las señales de un primer receptor, pero con un circuito de vía ocupado la excitación al demodulador está desactivada. Cuando el circuito de vía está libre, el demodulador compara el contenido de información de la configuración de bits recibida con una configuración de referencia interna. Al coincidir las configuraciones de bits, el demodulador transmite esta información al comparador lógico en el módulo de un segundo receptor. El módulo demodulador posee dos canales.

En el sistema actual, la señal de entrada desde el primer receptor está provista por medio de un disparador tipo *Schmitt*, un *flip-flop* tipo D y un sincronizador de impulsos en un contador binario de varias etapas para evaluar la modulación. En el contador se demodulan los estados de modulación y almacena la configuración de bits resultante en una Memoria Programable de sólo Lectura (PROM del inglés *Programmable Read-Only Memory*). Sin embargo, para comparar la configuración de bits externa con la configuración

de bits interna, hay que sincronizar dos señales de referencia.

La configuración de bits interna es ajustada por *switches* de codificación conectados con las entradas de una PROM. Un multiplexador, excitado con una frecuencia de reloj, realiza una conversión paralela - serie. Las dos configuraciones de bits, tanto externa como interna, son comparadas mediante un elemento Sumador Exclusivo (XOR). Si las configuraciones coinciden, el comparador emite una señal en alto, de lo contrario, se emite una señal en bajo. Los dos canales del demodulador muestran el mismo comportamiento dinámico, pero son de construcción desigual. Las diferencias se citan en lo siguiente:

- Las señales lógicas son inversas.
- Los contadores operan inversamente.
- Las PROMs están programadas inversamente.
- La señal de entrada es procesada y disparada inversamente.
- Los *flip-flops* operan inversamente.

El portamódulos empelado en el sistema FTG se muestra en la [Fig. 2](#).

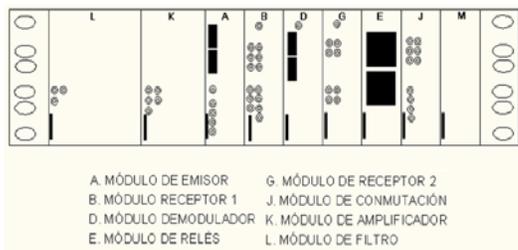


Fig. 2. Portamódulos para un sistema FTG estándar.

3. MEDICIONES EN CAMPO DEL CIRCUITO DE VÍA

Se debe aclarar que el sistema FTG, que se analizó inicialmente, trabaja en la frecuencia de 9,5kHz. La captura se realizó en una vía ferroviaria desocupada, es decir, no hay unidades de tren en la vía. Luego de varias capturas de señal se obtuvo que la mayor frecuencia de la señal analoga en estos puntos de conexión era 9564Hz, es decir, 64Hz por encima de la frecuencia central, por lo que la diferencia entre frecuencias altas y bajas se definió como $\Delta f=64\text{Hz}$. Extendiendo la medición a otras

frecuencias se obtuvo el mismo criterio, más no el mismo valor, donde la frecuencia superior e inferior difieren de la central en una misma cantidad en valor absoluto. En la [Fig. 3](#) se muestra una de las capturas de la señal inicial.

Posteriormente, se realizó una captura de la transmisión de la señal analoga que se encuentra modulada, tal como se muestra en la [Fig. 4](#). La captura coincidió con el valor de la frecuencia central de la modulación que corresponde a 9,5kHz, el mismo del sistema modulador del transmisor.

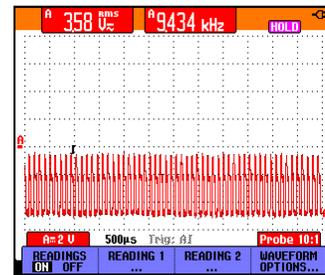


Fig. 3. Valor de frecuencia obtenido por debajo de la frecuencia central en el demodulador.

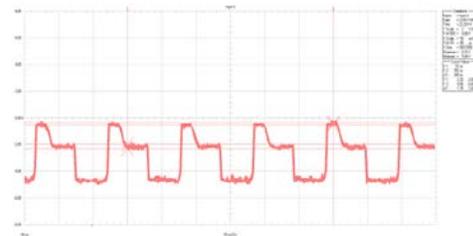


Fig. 4. Frecuencia central del transmisor.

3.1. Codificación de la señal transmitida con el circuito de vía

Para que el sistema FTG funcione correctamente se debe tener en cuenta que tanto la codificación del emisor como la que se indica en el demodulador deben coincidir. Para ello, el sistema actual cuenta con pequeñas tarjetas de interconexión, que hacen una serie de conexiones sobre la tarjeta demoduladora y transmisora para determinar la codificación que se va a emplear ([Madrigal, 2011](#)).

El sistema de detección emplea una duración de bit de 5ms y una velocidad máxima de 200 baudios. El máximo patrón de código de bit

permitirá 8 bits en total durante 5ms. Estos bits son determinados por las frecuencias altas y bajas sobre la frecuencia central. La señal de alta frecuencia determinará la salida en alto (5V) después de la digitalización, mientras que la señal de frecuencia baja determinará una salida a 0V, tal como se representa en la Fig. 5 (SCT, 2002).

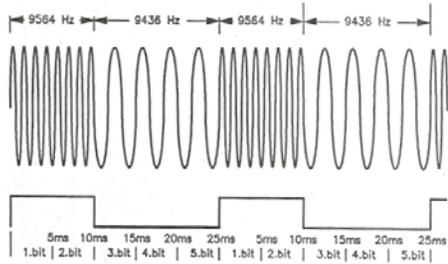


Fig. 5. Codificación a 9,5kHz como frecuencia central.

De la Fig. 6 se puede observar que la señal de entrada del sistema demodulador difiere de una señal senoidal pura, lo que dificulta en mayor medida la demodulación y posterior decodificación de la misma.

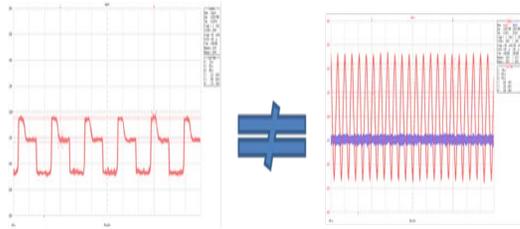


Fig. 6. Señal de entrada del demodulador comparada con una señal senoidal del transmisor.

4. ARQUITECTURA DEL PROTOTIPO

4.1. Diseño y construcción física del prototipo

El diseño propuesto cuenta con un microcontrolador Freescale de Motorola para capturar las señales digitales de salida del circuito integrado XR2211, que es empleado para la demodulación, y para generar trenes de pulsos a las frecuencias bases (Germán, 2008). El prototipo tiene comunicación serial para envío de datos a un computador acerca de la información que se está procesando, indicadores *leds* para

avisos de conmutación y para el control de salidas. Además se diseñó una tarjeta independiente para la digitalización de señales solamente.

En la Fig. 7 se muestra un esquema general de conexiones del prototipo con el entorno y las prestaciones que tiene. El prototipo tiene pulsadores que permiten registrar la frecuencia a utilizar y el código empleado en la transmisión, que se pueden visualizar por medio de una pantalla LCD. Además, se programaron todas las frecuencias y códigos que maneja el FTG actual, para que se desplieguen en el menú principal, con el fin de considerar la escalabilidad del proyecto.

El prototipo tiene un microcontrolador por canal, ya que ambos canales deben tener su lógica independiente, al igual que los demás elementos electrónicos. La memoria EEPROM se lee siempre que se energice el sistema y se escribirá en ella cada vez que exista una modificación por parte del operario respecto a las características de uso del circuito de vía (Motorola, 2008). Por su parte, el XR2211 mandará su señal digitalizada al microcontrolador para su procesamiento.

La salida del sistema desarrollado serán dos pines físicos (2 canales) indicando la ocupación o vía libre, ya que la comparación la hace el mismo microcontrolador.

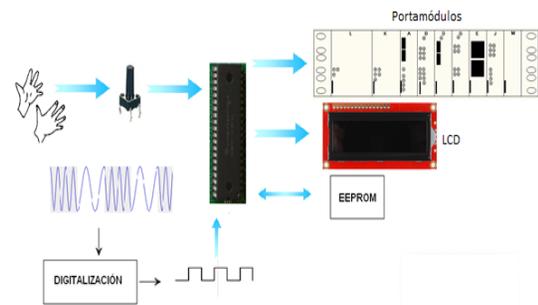


Fig. 7. Diagrama general del diseño del prototipo.

La vista en 3D de la tarjeta diseñada se muestra en la Fig. 8, donde se puede identificar la simetría del prototipo y la ubicación de cada uno de sus elementos electrónicos. La pantalla LCD puede ir dentro del bastidor o por fuera de éste, ya que ambas opciones fueron contempladas en el diseño. Además, se debe precisar que las dimensiones físicas fueron las mismas que tienen las tarjetas actuales del FTG, para garantizar operatividad y mejor acople en la conexión dentro

del portamódulos. En la [Fig. 9](#) se muestra la vista superior del prototipo físico.

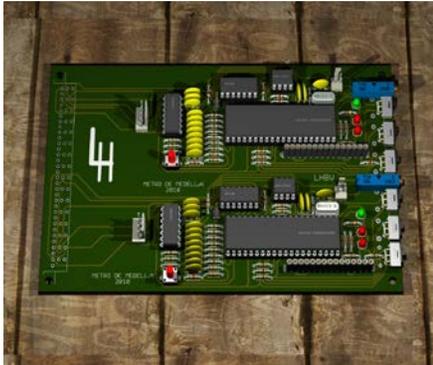


Fig. 8. Diseño en Eagle 3D del Prototipo.

En la vista frontal, que visualiza el operario, se puede observar la ubicación de la pantalla LCD para uno de los canales, tal como se muestra en la [Fig. 10](#). Este LCD se puede extraer de allí y luego ubicarse en la posición adyacente para configurar el segundo canal, o los demás circuitos de la estación de enclavamiento.



Fig. 9. Vista superior del prototipo.

El prototipo elimina el uso de tarjetas de interconexión para determinar la codificación y los reemplaza por el manejo de una matriz interna dentro del microcontrolador. Este prototipo propone, a su vez, un elemento más de seguridad, ya que de acuerdo a la posición de un *trimmer* se logra distinguir la frecuencia de trabajo. Es decir, a un punto específico del *trimmer*, éste oscilará a la frecuencia establecida por el transmisor, ya que de lo contrario, no habrá oscilación de los *leds* de indicación de conmutación del panel frontal.

La tarjeta demoduladora actual del FTG evita tener diferentes tarjetas electrónicas para

configurar la frecuencia de trabajo y no delega esta tarea a otros módulos del circuito de vía.

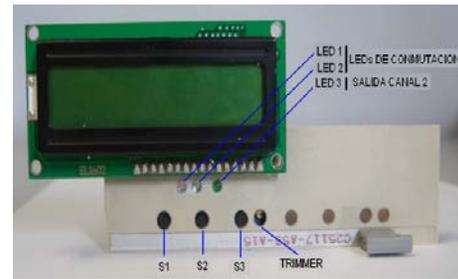


Fig. 10. Panel frontal del prototipo.

4.2. Diagrama de flujo del algoritmo

El diagrama de flujos de la secuencia para la configuración del sistema se observa en la [Fig. 11](#), y menciona las señales de mando que se muestran en la [Fig. 10](#). Con sólo tres pulsadores se puede configurar la tarjeta desarrollada. El flujo a través de los estados es secuencial, y al final del proceso termina de nuevo en el funcionamiento normal del sistema, en la cual se indica la configuración que el operario determinó a través de los pasos anteriores. Al arrancar el sistema, es decir al energizarlo, el sistema lee de una memoria EEPROM la última configuración establecida y empieza a operar con la información contenida en ésta. Si es la primera operación luego de programar el microcontrolador, se asume los valores por defecto e iniciales del sistema, que pueden ser también cambiados por programación, pero pueden ser modificados inmediatamente por los valores deseados.

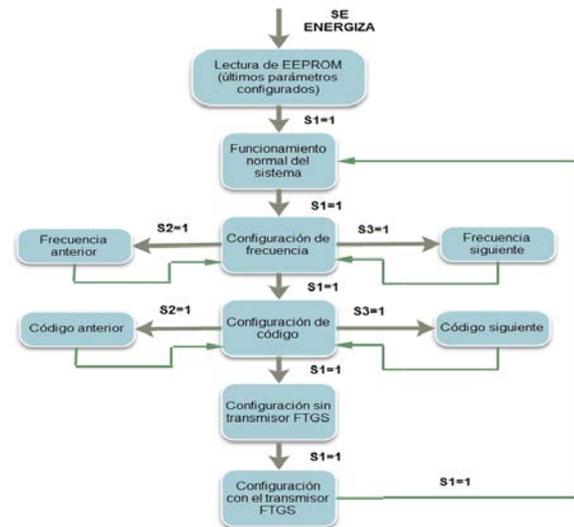


Fig. 11. Diagrama de flujos de la programación.

5. RESULTADOS DEL PROTOTIPO

5.1. Resultados a diferentes códigos y frecuencias

Al hacer uso de diversos circuitos de vía se realizó la medición de la respuesta en frecuencia de la etapa de digitalización de la señal. Para una frecuencia de 10,5 kHz y con código 1, el circuito responde con un tren de pulsos de 51,86 Hz (Fig. 12). Para una frecuencia de 10,5 kHz y con código 2, el circuito responde con un tren de pulsos de 29,65 Hz (Fig. 13). Para una frecuencia de 9,5 kHz y con código 1, el circuito responde con un tren de pulsos de 52 Hz (Fig. 14). Para una frecuencia de 10,5 kHz y con código 3, el circuito responde con un tren de pulsos de 25,95 Hz (Fig. 15).

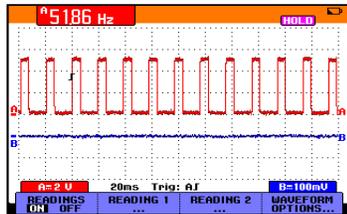


Fig. 12. Frecuencia 10,5kHz. Código 1.

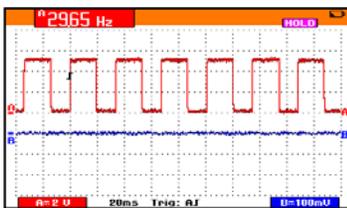


Fig. 13. Frecuencia 10,5kHz, Código 2.

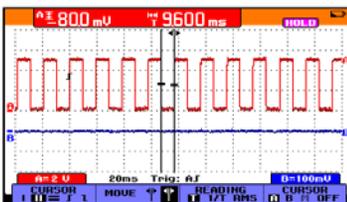


Fig. 14. Frecuencia 9,5kHz. Código 1.

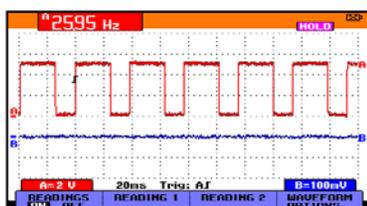


Fig. 15. Frecuencia 10,5kHz. Código 3.

Las frecuencias del FTG con las que se desarrollaron las pruebas tienen un rango de frecuencias de operación de [9,5-15,5] kHz, en las cuáles se encontraron los patrones a cinco códigos, además son frecuencias típicas para este tipo de sistemas (D'Addio *et al.*, 1999). Para diferentes frecuencias el circuito reacciona con la misma señal de trenes de pulsos a igual frecuencia, pero la calibración es a un distinto valor del *trimmer*, garantizando que se distingan frecuencias entre sí inequívocamente. Es decir, si a una frecuencia la salida del microcontrolador coloca a oscilar los dos *leds* indicadores del panel frontal y luego se cambia de circuito de vía a otra frecuencia, sólo uno de los dos estará oscilando, mientras que el otro estará apagado durante ese tiempo. Por lo tanto, sólo acondicionando el valor del *trimmer* se logra que nuevamente se tenga la oscilación en las dos salidas.

5.2. Conservación de la configuración por caídas de tensión

Para prevenir caídas de tensión en un ambiente tan hostil como las zonas de enclavamiento de los sistemas de transporte con trenes, es necesario diseñar un circuito que garantice que al momento de restablecerse el suministro de energía, el prototipo siga funcionando bajo las últimas configuraciones de frecuencia y codificación, con el fin de que vuelva a leer todas las últimas variables de trabajo.

Para este propósito se utiliza una memoria EEPROM, ya que por medio del microcontrolador se puede escribir y leer sobre ella, además por ser de bajo costo. No se realizó sobre la memoria Flash del microcontrolador para evitar manejar tiempos de lecturas y escrituras tan precisos, además este diseño propuesto permite modificaciones posteriores al código de manera más fácil por parte de terceros, y se descentraliza esta función.

El prototipo permite identificar el momento en que se tiene la frecuencia y el código adecuado, pero para corregir algunas pequeñas interrupciones en la salida hacia el segundo receptor, se utiliza un tiempo de retardo en la identificación de las señales. Este retardo es de 20000 ciclos de reloj, que corresponden a 8ms y no interfiere con el funcionamiento del sistema, sólo hace más estable la señal de salida. Con las características anteriores, se tiene un retardo de $(20000_{\text{ciclos_de_reloj}} * 1/2457600) = 8,1\text{ms}$ y se

asume además que la máxima velocidad de un tren en línea comercial es de 80 km/h, lo que permite una rápida respuesta de los subsistemas de protección ([ENYSE, 2012](#)). Si se tiene en cuenta este pequeño retraso, la distancia que recorrería la unidad de tren antes de que el circuito dé la orden de ocupación es de 0.18m, aproximadamente. Sin embargo, existen otros factores como el tiempo de respuesta de los sistemas de frenado y la inercia del sistema para determinar el recorrido final de un tren que detecte un obstáculo en la vía y requiera frenar inmediatamente.

5.1. Distancias de circuito de vía logradas

Un circuito de vía con frecuencias desde 9,5kHz hasta 16,5 kHz son usadas para tramos de vía entre [25-200] m. Sin embargo, se calculó la distancia que se puede obtener con el prototipo desarrollado a lo largo de toda una línea férrea, que cuenta con la posibilidad de trabajar con cinco frecuencias y cinco códigos diferentes, sin repetir alguna combinación de frecuencia/código a lo largo del trayecto. Considerando las anteriores características, se tiene que son 5 códigos/frecuencia, por lo que distancia de vía férrea es $[5*5*25 \text{ m}, 5*5*200 \text{ m}] = [625 \text{ m}, 5000 \text{ m}] = [0,625 \text{ km}, 5 \text{ km}]$. En la [Fig. 16](#) se muestra un tramo de vía sin cambiavías empleando este sistema desarrollado.

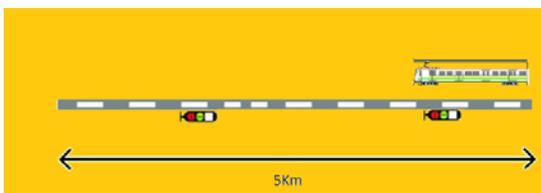


Fig. 16. Tramo de vía sin cambiavías.

La distancia calculada es para un tramo de vía sin el uso de cambia vías, el cual físicamente une dos rieles diferentes y la señal se puede propagar por el mismo medio físico por las dos líneas. Por ello, la longitud del tramo de vía alcanzado si se usa un cambiavía central será la mitad del cálculo anterior. Estos circuitos de vía se pueden repetir después de la distancia calculada, ya que a esa longitud de vía la señal decae lo suficiente. Incluso, la señal no alcanza a llegar al nuevo receptor del siguiente circuito de vía, por lo que

se puede continuar repitiendo el proceso a lo largo de la línea férrea.

6. CONCLUSIONES

Los rieles abiertos constituyen un obstáculo para la operación ferroviaria. Para prevenir las situaciones de peligro que se pueden originar es necesario detectar lo más rápidamente posible cualquier rotura del riel. Con el prototipo desarrollado y por medio del resto de módulos de un circuito en audiofrecuencia se puede detectar cualquier rotura de riel a lo largo de toda la vía, siempre que se represente una interrupción de la conducción eléctrica. Cuando se produce la rotura de uno de los rieles, se reduce enormemente el flujo de corriente de audiofrecuencia desde el transmisor hacia el receptor.

El prototipo desarrollado permite demodular la señal que proviene de un transmisor de un sistema FTG, además de decodificar la señal. De hecho, su operación es más amigable por parte de los operarios, tiene almacenamiento de configuración frente a fallas de energía y evita el cambio manual de códigos, ya que éstos se programan directamente desde un menú principal, que se muestra en una pantalla LCD sobre el panel frontal de un bastidor.

El nuevo diseño utiliza un menor número de elementos electrónicos que reducen la potencia en la operación de la tarjeta de demodulación y decodificación de un sistema estándar FTG, lo que multiplicado por la cantidad de circuitos de este tipo que se utilizan en la operación de todo el sistema de transporte, tanto en línea comercial de trenes como en las líneas de pruebas, significará una reducción en costos por consumo de energía.

Los resultados encontrados fueron muy significativos en cuanto a funcionalidad y velocidad de respuesta. Este proyecto incentiva la realización de nuevos módulos del FTG, ya que la independencia tecnológica es uno de los fines que toda empresa pretende alcanzar con cada uno de sus desarrollos tecnológicos. Para ello, el estudio a profundidad de cada uno de los sistemas y desarrollos actuales de las empresas, permite mejoras, además de que surgen nuevas ideas de diseños que pueden garantizar la sustitución de los elementos que se emplean en la ejecución de dichos procesos.

Con las diferentes configuraciones que permite el prototipo se obtienen resultados muy estables, aunque se deja abierta la posibilidad de escalar el prototipo a mayores prestaciones. Además, se pueden utilizar escopómetros de mejor precisión para determinar el valor de frecuencia a la salida del digitalizador y hacer mucho más estable la respuesta del circuito.

AGRADECIMIENTO

Se agradece la participación directa o indirecta en el proyecto de Heliodoro Murillo y Carlos Madrigal.

REFERENCIAS

- Baquer, L. (2010). *Ferrocarril: Sistemas de control en la alta velocidad*. Escuela Universitaria Ingeniería Técnica industrial, Zaragoza, España.
- Ciurlo, S. y A. Mariscotti (2010). Track compensation with audiofrequency track circuits. *IEEE Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion (ESARS)*, pp.1-6.
- D'Addio, G. et al. (1999). Integrated modelling of audiofrequency track circuits. *IEEE International Conference and Exhibition on Electromagnetic Compatibility - EMC York 99*, pp. 101-106.
- DIMETRONIC (2011). *Circuito de Vía Sin Juntas*. Invensys Rail Dimetronic, España.
- Durán, J. (2010). *Funcionalidad del Sistema Europeo de Gestión de Tráfico Ferroviario e Implantación en Línea de Alta Velocidad Madrid-Valladolid*. Universidad Carlos III de Madrid – Escuela Politécnica Superior, España.
- ENYSE (2012). *Sistemas de protección de Pasos a Nivel tipo SBA/SBE*. Enclavamientos y Señalización Ferroviaria ENYSE, España.
- Fontela, J. (2007). *Sistemas de ATP. XXI Congreso Panamericano de Ferrocarriles - innovaciones Tecnológicas/Sistemas de Señalamiento*. Buenos Aires, Argentina.
- Germán, L (2008). *Revisión de los Microcontroladores Freescale*. Universidad de Antioquia, Medellín.
- GRH (1998). *Curso MIS 801 - Nivel I*. Unidad de Capacitación Departamento de Electrónica - Gerencia Recursos Humanos. Bello, Colombia.
- Lozano, M. et al. (2010). Planificación de las secciones de vía en base al modelado eléctrico de un circuito de vía. *I Congreso Internacional de Tecnología Ferroviaria, ICTF*. Zaragoza, España.
- Madrigal, J. (2011). *Diseño de las instalaciones de Señalización, control de tráfico centralizado, protección y seguridad y sistemas auxiliares de detección del tren para un tramo de línea de alta velocidad*. Universidad pontificia Comillas - Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI). Madrid, España.
- Montes, F. (2007). Los sistemas de señalización en el ferrocarril: su evolución. *Anales de mecánica y electricidad*, pp. 30-39.
- Motorola (2008). *Manual MC68HC908GP32*. DataSheet Freescale Semiconductor. Denver, Colorado.
- Pigem, R. (2008). *50 años de alta velocidad en Japón*. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Infraestructura del Transport i del Territori, España.
- Ruano, A. (2007). *High Speed lines in front of conventional lines - Adaptation of conventional lines to High Speed*. Universitat Politècnica de Catalunya, España.
- SCT (2002). *Manual de Mantenimiento. Señalización y Control de Trenes - Core 63000*. X63000-SIE-MM-001. Medellín, Colombia.
- Torres, A. et al. (1999). Instalaciones Ferroviarias para Alta Velocidad. *Revista de Obras Públicas*, **3386**: 89-95.

SOBRE EL AUTOR

Luis Berrío

Ingeniero Electrónico de la Universidad de Antioquia y Especialista en Ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana. Actualmente es estudiante de Maestría de la Universidad Pontificia Bolivariana y Profesional de la Subdirección de Investigación y Desarrollo Negocios Energía de Empresas Públicas de Medellín (EPM). Sus intereses investigativos giran en torno a las áreas de Automatización, Smart Grids, Energías Renovables y las Telecomunicaciones.