

ALTERNATIVA DE BAJO COSTO PARA LA MEDICIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LA FRECUENCIA ELÉCTRICA DE LA TENSIÓN GENERADA EN PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.

G. A. Fernández¹, F. Botterón², V. H. Kurtz³.

Grupo de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Electrónica (GID-IE).

Universidad Nacional de Misiones (UNaM) – Facultad de Ingeniería (FIO).

Juan Manuel de Rosas N° 325 – Oberá – Misiones – Argentina – C.P. 3360 – Tel.: 3755-422169; FAX: 3755-422170

inggaff2000@yahoo.com.ar ; botteron@gmail.com ; kurtzvh@fio.unam.edu.ar

RESUMEN: En este artículo se presenta un sistema simple, confiable y de bajo costo, destinado en principio, a la medición de la frecuencia de la tensión generada en pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH). El circuito propuesto en esta oportunidad, utiliza un microcontrolador económico, a diferencia de otros equipos similares realizados anteriormente utilizando componentes electrónicos discretos. La visualización del valor de la frecuencia se realiza mediante diodos emisores de luz (LEDs), que indican en forma puntual la magnitud medida, emulando a un frecuencímetro electromecánico a lengüetas. El sistema propuesto se ha construido y ensayado en laboratorio, proporcionando resultados aceptables.

Palabras clave: Pequeña central hidroeléctrica (PCH), medición de frecuencia eléctrica, frecuencímetro, microcontrolador.

INTRODUCCIÓN

A los fines de supervisar el estado de la generación y para la adecuada operación de algunos sistemas de control usados en pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) de operación aislada, es necesario medir la tensión y la frecuencia proporcionada por el generador. Por otro lado, la puesta a punto del sistema de control y por ende de la generación, requiere poder visualizar estos valores, rápidamente. Con relación a la medición de frecuencia, es usual en instalaciones electromecánicas, la utilización de un frecuencímetro de lengüetas. Este caso constituye una solución poco económica para las inversiones que son efectuadas en las instalaciones correspondientes a las PCH. Principalmente por este motivo, un frecuencímetro electrónico como el que se propone en este trabajo, presenta una buena opción. A partir de lo mencionado, se ha estudiado la forma de construir un frecuencímetro electrónico que mida y además permita visualizar de forma simple y efectiva, la frecuencia de generación f_G a través de un circuito electrónico económico y de bajo mantenimiento, para que pueda ser aplicado a las PCH con base en las premisas de la tecnología apropiada (Kurtz, 2003). Se propone en este artículo, el análisis, desarrollo e implementación de un circuito electrónico de bajo costo, construido con componentes fácilmente asequibles en el mercado local, el cual permite medir la frecuencia eléctrica, presentando el valor de la misma en forma sencilla, emulando la visualización de los tradicionales frecuencímetros electromecánicos a lengüeta. La visualización es efectuada utilizando diodos LEDs los cuales se iluminan conforme varía la frecuencia medida en un rango que va desde los 46Hz hasta los 54Hz.

Este trabajo constituye la evolución de un circuito desarrollado anteriormente (Terlecki et al., 2006), donde se utilizaron componentes discretos para construcción. A pesar la sencillez del mismo, este presenta dificultades para la calibración en su puesta en operación.

Cabe destacar que el circuito electrónico propuesto en este trabajo, será aplicable siempre que todo el sistema de generación cuente con las protecciones contra descargas atmosféricas adecuadas, principalmente en lo que respecta a la Provincia de Misiones.

El circuito presentado es parte del proyecto de investigación denominado “Diseño de sistemas electrónicos para control de tensión y frecuencia en micro y pico centrales hidroeléctricas”, desarrollado dentro del grupo GID-IE perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones.

A continuación se describen los principios utilizados para efectuar la medición y visualización de la frecuencia eléctrica, con el microcontrolador.

¹ Docente - Investigador, FIO - UNaM.

² Docente - Investigador, FIO - UNaM, CONICET.

³ Docente - Investigador, FIO - UNaM.

DESCRIPCION DEL MEDIDOR DE FRECUENCIA

El diagrama en bloques de la figura 1 muestra el frecuencímetro propuesto. El mismo hace uso de un microcontrolador de bajo costo y amplia difusión en el mercado, permitiendo así introducir algunas mejoras funcionales respecto del circuito construido con componentes discretos que se ha mencionado en la introducción. Para este caso se ha utilizado el microcontrolador de ocho bits PIC12F675, que puede reemplazarse por otro con las siguientes características mínimas:

- Operación con cristal externo de 4 Mhz.
- Tres líneas de entrada/salida capaces de manejar individualmente una corriente de 0,020A (entrante y saliente).
- Un módulo contador/temporizador (del tipo free-running), con divisor de frecuencia y señal de reloj programables.
- Memoria de programa de 1Kbyte.

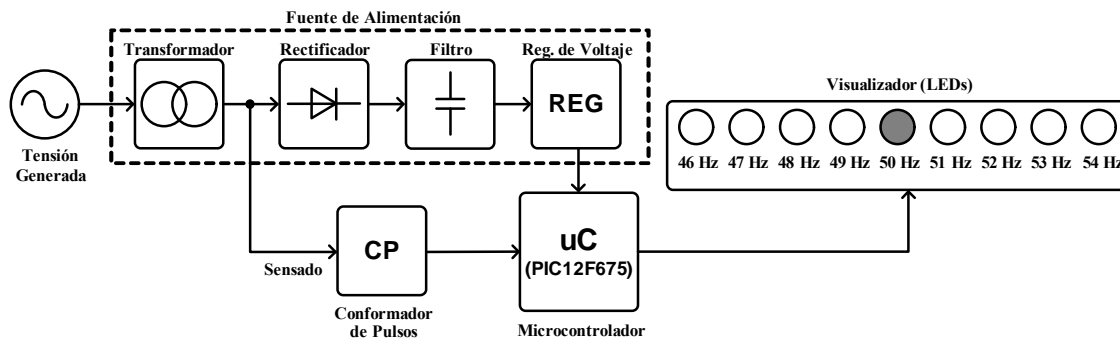


Figura 1: Diagrama en bloques del frecuencímetro electrónico propuesto.

En el diagrama en bloques se observa que la fuente de alimentación, del tipo lineal con voltaje de salida regulado, además de energizar a todo el circuito desde la tensión generada por la PCH, permite el sensado de esta tensión. Esto es a los efectos de medir la frecuencia de generación f_G . Un circuito conformador de pulsos se encarga de adaptar en forma y nivel a la tensión obtenida en el sensado, para que así el microcontrolador pueda procesarla y efectuar la medición de la frecuencia f_G .

Además de realizar la medición, el microcontrolador es el encargado de desplegar el valor de la misma a través del circuito visualizador. Este visualizador consiste en una serie de LEDs que se encienden convenientemente indicando la frecuencia medida. Cabe mencionar que el microcontrolador posee un programa almacenado en su memoria, el cual efectúa la medición y visualización de la frecuencia f_G .

A continuación se explican los principios empleados en la medición y el encendido de los LEDs para la visualización de f_G .

MEDICIÓN DE FRECUENCIA

La frecuencia f_G es obtenida a través de la medición del periodo de una onda cuadrada, conformada a partir de la tensión generada. Como está indicado en la figura 1, la tensión generada es sensada a partir del transformador que energiza a todo el circuito electrónico. En la figura 2 puede apreciarse que la tensión alterna obtenida en el secundario del transformador es convertida en una onda cuadrada con frecuencia igual a la que posee la tensión generada, es decir con frecuencia f_G .

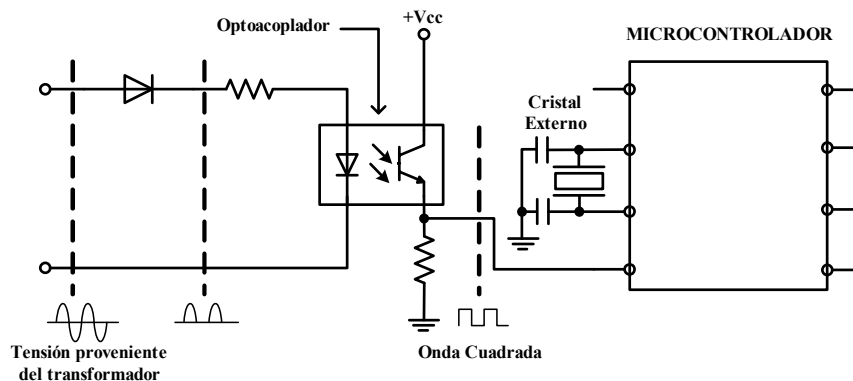


Figura 2: Circuito conformador de pulsos con aislamiento óptico y microcontrolador.

Es importante destacar que para adecuar la tensión sensada en el transformador, el circuito conformador de pulsos posee un optoacoplador que brinda un aislamiento óptico, confiriendo así a este circuito una protección y robustez adicional contra sobretensiones e interferencias que provienen del circuito eléctrico de generación.

El microcontrolador recibe la onda cuadrada y mide el periodo de la misma a través de un módulo contador/temporizador que posee internamente. De esta forma, el programa del microcontrolador determina el valor de la frecuencia de f_G para la visualización. El módulo mencionado consiste en un contador binario ascendente de ocho bits que cuenta los pulsos de una señal de reloj (tren de pulsos) proveniente de una base de tiempo (Angulo Usategui, Angulo Martinez, 2003; Microchip Technology Inc., 2002). En la figura 3 se muestra un diagrama en bloques del módulo.

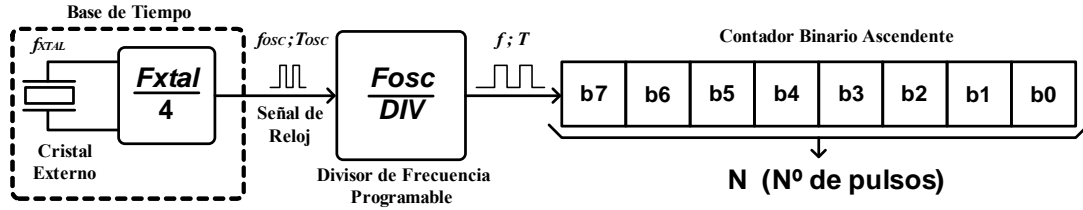


Figura 3: Módulo Contador/Temporizador del microcontrolador.

La base de tiempo que genera la señal de reloj está constituida por un oscilador interno al microcontrolador. La frecuencia del oscilador es fija y su valor depende de la frecuencia del cristal f_{XTAL} externo con que funciona el microcontrolador (Microchip Technology Inc., 2002).

Para determinar el periodo de la onda cuadrada proveniente del sensado de la tensión generada, con el módulo contador/temporizador se cuentan, entre dos flancos ascendentes consecutivos en dicha onda, la cantidad de pulsos existentes en la señal que llega al contador del módulo. La figura 4 indica gráficamente como se efectúa la medición del periodo.

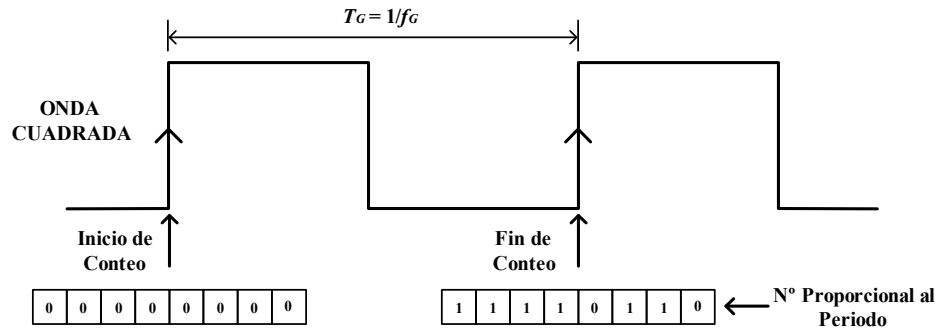


Figura 4: Medición del periodo de la onda cuadrada.

Con la operación mencionada anteriormente, en el contador ascendente del módulo se obtiene un número N que es proporcional al periodo de la onda cuadrada e inversamente proporcional a la frecuencia f_G . Esto puede apreciarse a partir de la ecuación 1, obtenida de las figuras 3 y 4.

$$T_G = N \cdot \frac{1}{f} = N \cdot \frac{DIV}{f_{OSC}} = N \cdot \frac{4 \cdot DIV}{f_{XTAL}} \Rightarrow N = \frac{f_{XTAL}}{4 \cdot DIV} \cdot T_G \quad (1)$$

En la ecuación 1, DIV corresponde al valor con que debe configurarse el divisor de frecuencia de la figura 3 para que N pueda expresarse como un número de ocho bits en todo el rango de medición del frecuencímetro (de 46 Hz a 54 Hz).

Considerando el funcionamiento del microcontrolador con un cristal externo de 4 MHz y el divisor de frecuencia programable ajustado con $DIV=128$ (divide la frecuencia de la base de tiempo por 128), la relación entre la frecuencia f_G y el número N obtenido en el contador del módulo, es la indicada en la figura 5. Los números indicados dicha figura son utilizados por el programa del microcontrolador para determinar a que frecuencia f_G corresponde el periodo medido, y así encender el LED necesario para la visualización.

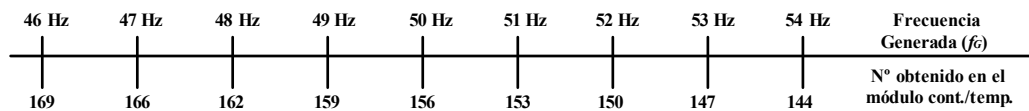


Figura 5: Frecuencia generada versus número obtenido en el módulo contador/temporizador del microcontrolador.

VISUALIZACIÓN DE LA FRECUENCIA MEDIDA

La visualización de la frecuencia medida se efectúa a través de puntos luminosos que al encenderse indican la frecuencia de generación. Estos puntos luminosos, constituidos por una serie de LEDs de 5 mm, simulan ser las lengüetas de un frecuencímetro tradicional de éste tipo. El circuito visualizador de la figura 6 permite la indicación de la frecuencia generada desde 46 Hz hasta 54 Hz, en pasos de 1 Hz.

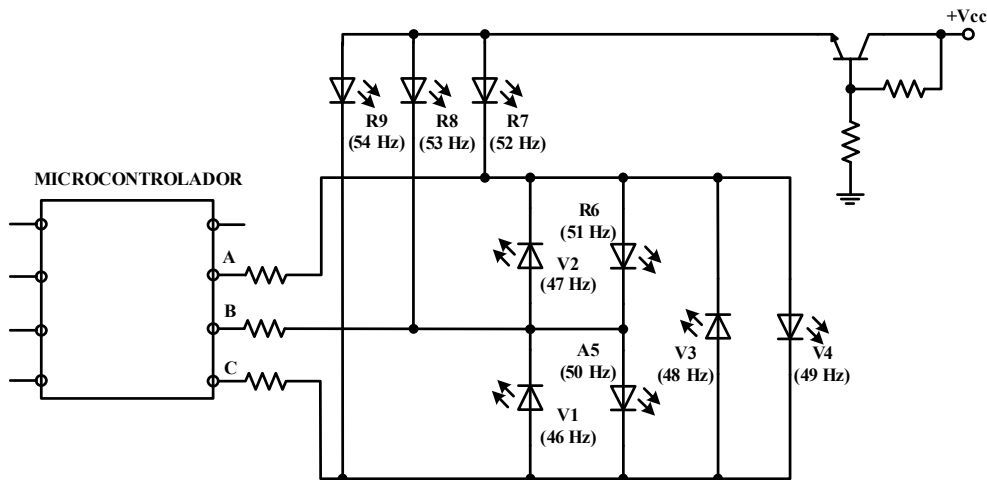


Figura 6: Circuito visualizador, conectado al microcontrolador.

Según el valor medido de frecuencia, el programa del microcontrolador enciende uno de los nueve LEDs del visualizador. Para esto utiliza solamente tres líneas (A, B y C), todas con capacidad de manejar corrientes de hasta 0,02 A (entrante y saliente) (Lekic N., Mijanovic Z., 2006). Para realizar el encendido individual de cada LED se aprovecha el hecho de que una línea de entrada/salida del microcontrolador, configurada como entrada, estará en estado de alta impedancia (Hi-Z). Por lo tanto configurando las líneas utilizadas como está indicado en la tabla 1, puede lograrse el encendido individual de los LEDs.

FREC.	LED	CONFIGURACIÓN			ESTADO		
		A	B	C	A	B	C
46 Hz	V1	Entrada	Salida	Salida	Hi-Z	0	1
47 Hz	V2	Salida	Salida	Entrada	0	1	Hi-Z
48 Hz	V3	Salida	Entrada	Salida	1	Hi-Z	0
49 Hz	V4	Salida	Entrada	Salida	0	Hi-Z	1
50 Hz	A5	Entrada	Salida	Salida	Hi-Z	1	0
51 Hz	R6	Salida	Salida	Entrada	1	0	Hi-Z
52 Hz	R7	Salida	Entrada	Entrada	0	Hi-Z	Hi-Z
53 Hz	R8	Entrada	Salida	Entrada	Hi-Z	0	Hi-Z
54 Hz	R9	Entrada	Entrada	Salida	Hi-Z	Hi-Z	0

Tabla 1: Configuración de las entradas/salidas del microcontrolador para el encendido de los LEDs del visualizador.

PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR

El diagrama de flujo de la figura 7, indica las tareas realizadas por el programa cargado en la memoria del microcontrolador, el cual es ejecutado cíclicamente midiendo la frecuencia de la tensión generada y encendiendo el LED correspondiente para la visualización de la misma. La frecuencia f_G es obtenida por el programa a través de la medición del periodo de la onda cuadrada proveniente del sensado de la tensión de generación.

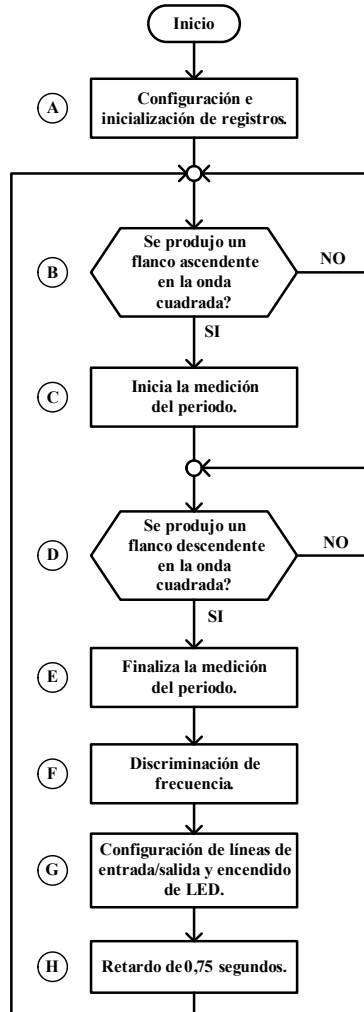


Figura 7: Diagrama de flujo del programa que ejecuta el microcontrolador.

A continuación es explicada la tarea realizada por el microcontrolador en cada bloque del programa indicado en la figura 7:

A – Configuración e inicialización de registros: Es la etapa inicial del programa donde se configuran las líneas de entrada y salida del microcontrolador. Las salidas se cargan con estados lógicos de manera tal que los LEDs se mantengan apagados al inicio. También en esta etapa es configurado el divisor de frecuencia y el origen de la señal de reloj para el módulo contador/temporizador

B – Flanco ascendente en la onda cuadrada: En esta parte, el programa queda a la espera que se produzca un flanco ascendente en la onda cuadrada ingresada al mismo, para de esta forma comenzar el conteo con el módulo contador/temporizador.

C – Inicio de la medición de periodo: Se borra el contador del módulo.

D – Flanco descendente en la onda cuadrada: Una vez iniciado el conteo, el programa espera un nuevo flanco ascendente de la onda cuadrada para indicar que ha finalizado un periodo de la misma y así detener la medición del periodo.

E – Finalización de la medición del periodo: Al producirse el flanco ascendente mencionado anteriormente, el conteo efectuado por el módulo contador/temporizador debe detenerse. Esto se logra capturando el valor del contador ascendente en un registro de memoria RAM. El valor obtenido, como se ha visto en párrafos anteriores, es el número N proporcional al periodo de la onda cuadrada e inversamente proporcional a la frecuencia f_G .

F – Discriminación de frecuencia: Esta etapa del programa determina dentro de que intervalo de frecuencia, indicado en la figura 5, se encuentra el valor capturado en la etapa anterior. Para efectuar la discriminación, son realizadas sucesivas restas entre el valor capturado (número N) y los valores indicados en la figura 5.

G – Configuración de líneas de entrada/salida y encendido de LED: Según la frecuencia obtenida en la etapa anterior, las líneas de entrada/salida A, B y C del microcontrolador son configuradas teniendo en cuenta la tabla 1 para encender el LED correspondiente a la frecuencia medida.

H – Retardo de 0,75 seg: Este retardo permite mantener estable la indicación en el visualizador cuando la frecuencia de generación no es estable y fluctúa alrededor de algunos de los puntos indicados en la figura 5.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Para el ensayo del circuito se ha inyectado a su etapa de conformación de pulsos, una onda sinusoidal con frecuencia ajustable. Con un osciloscopio digital, y variando la frecuencia de la señal inyectada, se han efectuado mediciones para las distintas indicaciones del circuito. En la figura 8 pueden apreciarse los resultados obtenidos.

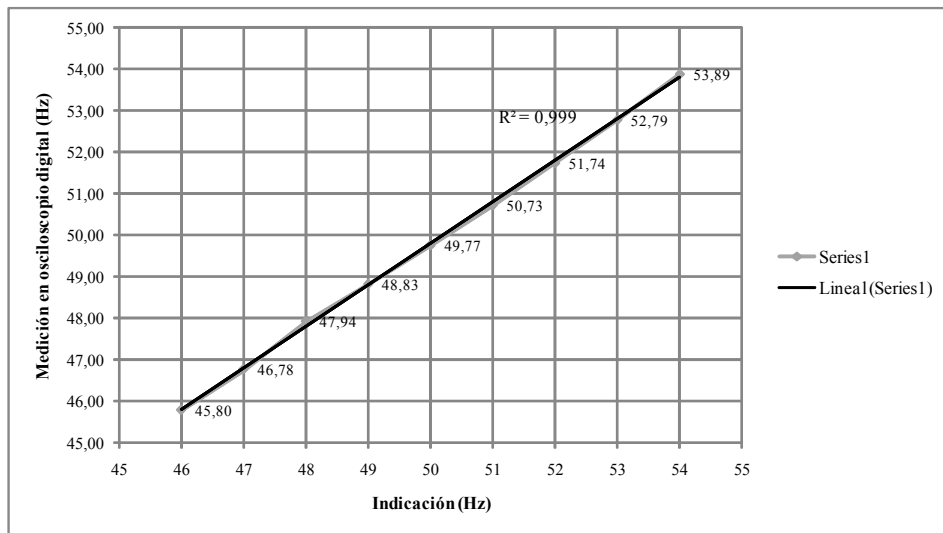
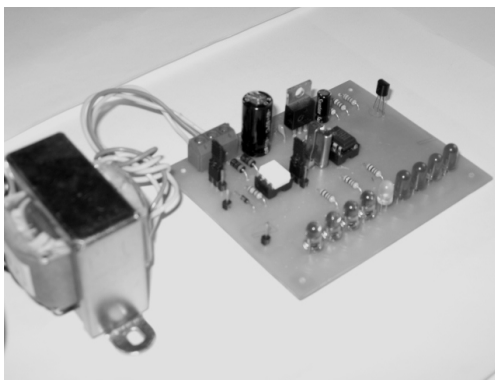
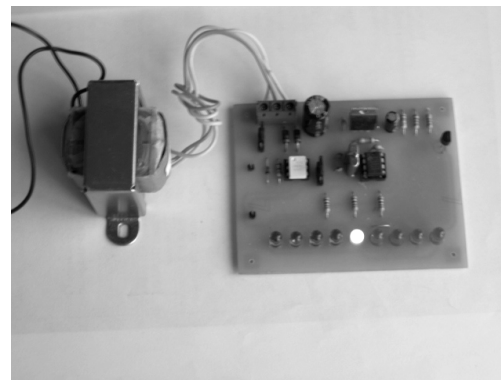


Figura 8: Valor medido por osciloscopio digital versus valor indicado por el circuito propuesto.



(a)



(b)

Figura 9: (a) Foto del frecuencímetro armado. (b) Foto del frecuencímetro indicando 50 Hz.

Como puede apreciarse en la figura 8, el error cometido en la indicación de la frecuencia es pequeño, lo cual muestra la viabilidad del circuito como instrumento para la medición de frecuencia en las PCH.

El circuito propuesto en este trabajo es sencillo, económico y utiliza una cantidad reducida de componentes, los cuales pueden conseguirse fácilmente en el mercado local.

La disposición de los LEDs que integran el visualizador del circuito, minimiza la cantidad de componentes utilizados y facilita el diseño del circuito impreso que soporta los elementos utilizados en la construcción del mismo.

La utilización de LEDs para la indicación de la medición permite que el frecuencímetro propuesto pueda instalarse en un lugar poco iluminado de la sala de máquinas de la PCH.

Como dificultad para la implementación del circuito puede mencionarse que es necesario el conocimiento de la programación de microcontroladores (en lenguaje ensamblador o de alto nivel), en algunos casos esto puede dificultar el desarrollo del mismo.

Debido a la tecnología utilizada, el circuito no requiere prácticamente de mantenimiento, como así también la puesta a punto para la operación es sencilla.

El esquema utilizado para la medición, puede utilizarse para implementar el control de la frecuencia de la tensión generada en PCH. También puede servir para dotar a la PCH de una señal de alarma por alta y baja frecuencia.

REFERENCIAS

- Angulo Usategui J.M., Angulo Martínez I. (2003). Microcontroladores PIC, Diseño práctico de aplicaciones, 3ª edición, pp. 95-98. McGrawHill, España.
- Kurtz, V. H. (2003). Telemando para pequeñas centrales hidroeléctricas. X Encuentro Latinoamericano Sobre Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos, ELPAH 2003, Perú.
- Lekic N., Mijanovic Z. (2006). Three microcontroller ports drive 12 LEDs, revista digital Electronics Design, Strategy News (EDN)
<http://www.edn.com/article/CA6399101.html?spacedesc=designideas&industryid=44217?text=microcontroller>
- Microchip Technology Inc. (2002). PIC12F629/675 data sheet (DS41190A), pp. 25-27.
- Terlecki V.A., Kurtz V.H., Botteron F. (2006). Medición de frecuencia de la tensión generada en una pico central hidroeléctrica, con elementos de bajo costo. XXI Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, CRICTE2006, Brasil.

ABSTRACT: This paper presents a simple, reliable and low cost system, destined to measure the electric frequency in small hydroelectric centrals (SHC). The circuit proposed use a low cost microcontroller. The visualizing of the frequency is performed with LEDs, showing in a discrete form the measure, as if was a traditional vibrating reed frequency meter. The proposed system has been built and rehearsed in laboratory, providing acceptable results.

Keywords: Small hydroelectric centrals (SHC), measuring of electric frequency, frequency meter, microcontroller.