

**MEDICIÓN DE LA FRECUENCIA DE LA TENSIÓN GENERADA EN PCH,
UTILIZANDO ELEMENTOS DE BAJO COSTO**

Víctor H. Kurtz (*); Guillermo A. Fernández (*) y Fernando Botterón (*)(**)

<p>(*) UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES Facultad de Ingeniería - Dpto. de Electrónica Juan Manuel de Rosas 324 OBERA - MISIONES - ARGENTINA TE: 54-3755-422169 (Int. 117) - FAX:54-3755-422170 E-Mails: kurtzyh@fio.unam.edu.ar; inggaff2000@yahoo.com.ar botteron@fio.unam.edu.ar</p>	<p>(**) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas CONICET - ARGENTINA E-Mail: botteron@gmail.com</p>
--	--

RESUMEN

En este trabajo es presentado un circuito para la medición de frecuencia en sistemas aislados de generación, fácilmente utilizable en pequeños aprovechamientos hidroeléctricos. El mismo es una variante a un diseño realizado anteriormente, el cual utilizaba componentes discretos. En este caso es utilizado un microcontrolador de bajo costo, a través del cual es efectuada la medición y visualización de la frecuencia de generación. Dicha visualización es realizada a través de puntos luminosos (LEDs), que indican en forma discreta la frecuencia.

Palabras claves (Key Words): Pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH), medición de frecuencia, bajo costo, microcontrolador.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de generación aislados requieren la medición de la frecuencia de generación con la finalidad de permitir la visualización y verificación del estado de la misma. Por estos motivos se ha estudiado la forma de medir y visualizar la frecuencia de generación, a través de un método económico, de lectura sencilla y bajo mantenimiento, el cual pueda aplicarse a pequeños aprovechamientos hidroeléctricos utilizando tecnología apropiada. Este trabajo propone la implementación de un circuito de bajo costo, construido con componentes asequibles en el mercado local, presentando a la frecuencia de la tensión generada en forma sencilla, simulando a los frecuencímetros electromecánicos tradicionales a lengüeta. La visualización es realizada en forma discreta a través de una serie de diodos LEDs que se iluminan conforme varía la frecuencia de generación, simulando así a las lengüetas del frecuencímetro tradicional mencionado. Este trabajo constituye una alternativa a un circuito propuesto anteriormente, el cual utilizaba componentes discretos tales como los circuitos integrados LM555 y LM3914. Para el mismo se hace uso de un microcontrolador de bajo costo y de amplia difusión en el mercado, permitiendo esto introducir algunas mejoras funcionales respecto del circuito con componentes discretos. El diagrama en bloques del circuito propuesto es mostrado en la Figura 1.

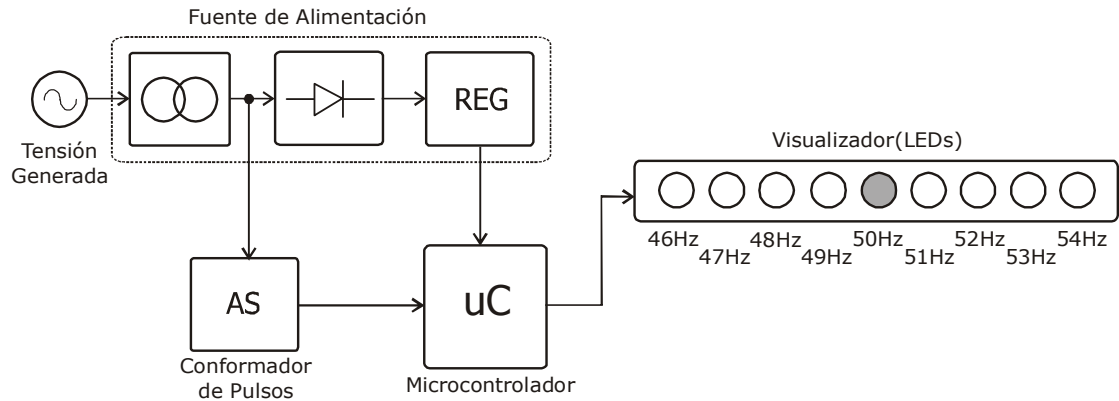


Figura 1. Diagrama en Bloques.

CIRCUITO

El corazón del circuito es un microcontrolador de ocho bits de bajo costo. El mismo mide la frecuencia y enciende el LED correspondiente a la misma. A continuación es detallado el funcionamiento de cada uno de los bloques que constituyen el circuito del frecuencímetro, indicado en la Figura 2.

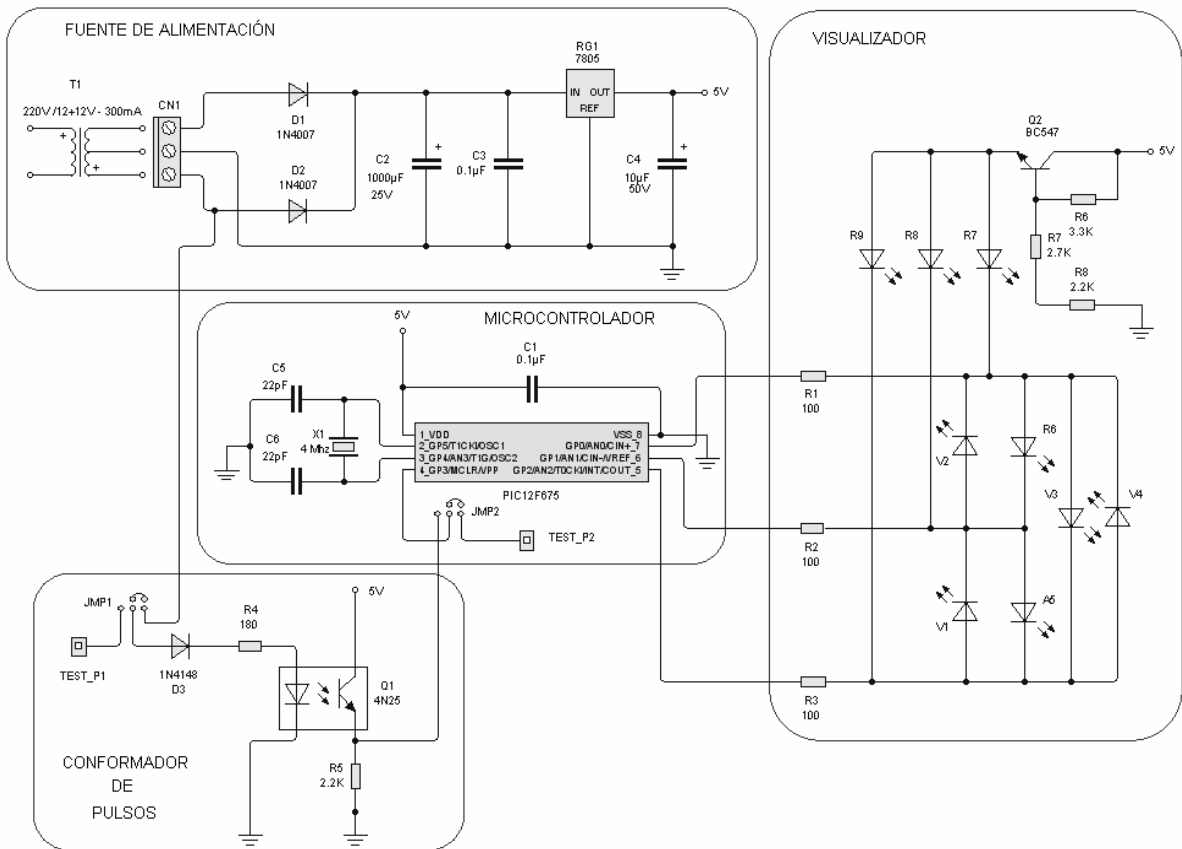


Figura 2. Circuito completo.

Fuente de Alimentación

Esta parte del circuito permite alimentar al microcontrolador y demás componentes desde la tensión del generador. La fuente es energizada a partir de la tensión de fase del generador mediante un transformador con punto medio en su bobinado secundario. El rectificador de onda completa conformado por los diodos D1 y D2 permite obtener una muestra de la tensión generada, con el fin de efectuar la medición de frecuencia. El microcontrolador es alimentado a través de un voltaje regulado de 5 Vcc, provisto por el regulador 7805.

Conformador de Pulsos

En esta etapa, la muestra de tensión de fase del generador, tomada en la fuente de alimentación, es adaptada convirtiéndola en una onda cuadrada. La onda cuadrada resultante posee una amplitud aproximada de 5V y una frecuencia igual a la de la tensión de fase del generador. El circuito conformador de pulsos está compuesto por un rectificador de media onda y un optoacoplador (4N25 - optotransistor). El diodo D3 elimina uno de los semiciclos de la muestra senoidal de tensión de fase. Con cada semiciclo obtenido, el LED del optoacoplador 4N25 queda polarizado y su transistor de salida conduce en saturación. De esta forma el voltaje sobre la resistencia R5 es una onda cuadra de tensión con frecuencia igual a la del generador. En la Figura 3 son mostradas las formas de onda obtenidas en la etapa de conformación de pulsos.

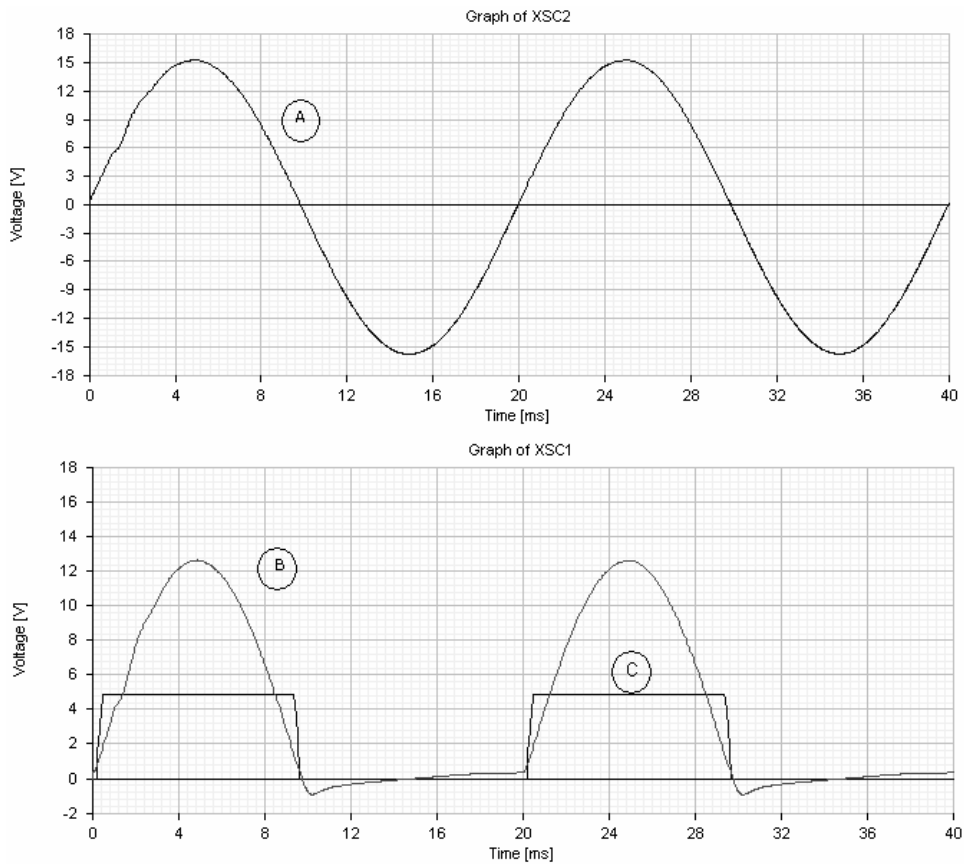


Figura 3. Ondas en el Conformador de Pulsos: (A) Voltaje de muestra. (B) Muestra rectificada. (C) Onda cuadrada de salida.

Microcontrolador

El microcontrolador utilizado es el PIC12F675, este presenta buenas prestaciones a un bajo costo y fácilmente asequible en el mercado local. El mismo es un microcontrolador de ocho bits con un set de instrucciones tipo RISC (Set de Código de Instrucciones Reducido) (Microchip Inc., 2002). Podría utilizarse otro microcontrolador, sólo deberá brindar como mínimo las siguientes prestaciones:

- Alta capacidad de manejo de corriente en los pines de sus puertos. Al menos 15mA en cada uno de sus pines de salida (como mínimo tres pines de salida con estas características).
- Un contador/temporizador de ocho bits (tipo free running), con divisor de frecuencia (prescaler) programable.
- Memoria de programa de 1K como mínimo.
- Funcionamiento con cristal externo de 4 MHz.

El microcontrolador está configurado con un pin de entrada (GP3), utilizado para recibir la onda cuadrada que proviene de la etapa de conformación de pulsos, y tres pines configurados como salidas (GP2, GP1, GP0) para encender los LEDs indicadores de la frecuencia de generación (visualizador). Si bien el microcontrolador PIC12F675 cuenta con un oscilador interno ajustable de 4 MHz (del tipo Resistencia-Capacitor), este no es utilizado para evitar variaciones en la medición con los cambios de temperatura ambiente. Por tal motivo el microcontrolador es configurado para funcionar con un oscilador externo conformado por el cristal X1 de 4 MHz ($F_{osc} = 4 \text{ MHz}$), brindando esto mayor estabilidad en la frecuencia de oscilación. La medición de frecuencia es realizada a través de la medida del periodo de la onda cuadrada que entrega la etapa de conformación de pulsos. Para esto es utilizado el contador/temporizador TMR0 que posee el microcontrolador. A continuación es explicado el funcionamiento del TMR0 y el procedimiento de medición.

Funcionamiento del TMR0: Este módulo contador/temporizador de 8 bit tipo free-running (Microchip Inc., 2002), es un contador ascendente que puede recibir la señal de reloj a través de un divisor de frecuencia (prescaler) programable. La señal de reloj puede seleccionarse como externa o interna, en el primer caso el TMR0 cuenta los pulsos que ingresan al microcontrolador a través del pin GP2, mientras que en el segundo caso el TMR0 se incrementa con el reloj interno del microcontrolador, cuya frecuencia es la cuarta parte de la frecuencia del oscilador con que funciona el mismo ($F_{osc}/4$). Este temporizador posee la opción de interrumpir al microcontrolador cuando se produce su desborde, pero para esta aplicación no se utiliza (Angulo Usategui J.M., 2003).

Técnica de medición de frecuencia: Para esta medición es utilizado el módulo contador/temporizador TMR0. Este módulo es configurado para recibir la señal de reloj interna, con el divisor de frecuencia en una relación 1:128, es decir cada 128 pulsos del reloj interno (con frecuencia $F_{osc}/4$) se produce un pulso a la salida del divisor de frecuencia, el cual incrementa al contador/temporizador TMR0. La medición de la frecuencia es efectuada midiéndose el periodo de la onda cuadrada, que deriva de la muestra de tensión y es inyectada al microcontrolador por el pin GP3. El periodo de la onda cuadrada es obtenido contando la cantidad de pulsos que ingresan al TMR0. El conteo de los pulsos es realizado entre dos flancos ascendentes sucesivos de la onda cuadrada. En el comienzo del conteo el TMR0 es borrado para inicializarlo (ya que es un contador del tipo free-running), mientras que en el

**XIII ENCUENTRO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE SOBRE PEQUEÑOS
APROVECHAMIENTOS HIDROENERGETICOS ELPAH – CAJAMARCA – PERU – 2009**

final es leído obteniéndose un número binario (cantidad de pulsos) que es proporcional al periodo T de la onda cuadrada e inversamente proporcional a la frecuencia de generación F_G . Este número de pulsos, para las distintas frecuencias dentro del rango de medición, puede apreciarse en la Figura 4.

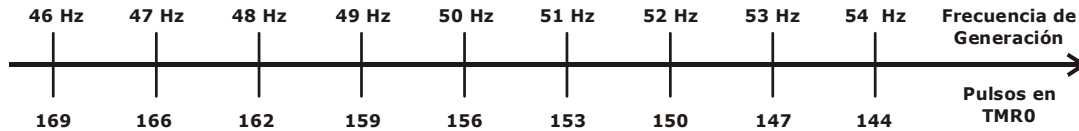


Figura 4. Equivalencia de pulsos en TMR0 en el rango de medición.

Efectuado el proceso de conteo, el firmware del microcontrolador determina dentro de que rango de frecuencias se encuentra el número de pulsos obtenido por el TMR0. A partir de la Figura 4, si el número de pulsos contado está entre dos valores correspondientes a frecuencias consecutivas, el firmware del microcontrolador lo refiere a la menor de dichas frecuencias. Por ejemplo si el número de pulsos contado es 164 (entre 47 Hz y 48 Hz), entonces el firmware lo hace referir a una frecuencia de 47 Hz.

Visualizador

La visualización de la frecuencia medida es efectuada en forma discreta a través de puntos luminosos conformados por LEDs de 5 mm. Estos puntos luminosos simulan ser las lengüetas de un frecuencímetro tradicional de éste tipo. El circuito del visualizador mostrado en la Figura 5, permite la indicación de la frecuencia generada desde 46 Hz hasta 54 Hz, en pasos de 1 Hz. Para encender los nueve LEDs del visualizador son utilizados solamente tres pines de salida del microcontrolador (GP0, GP1 y GP2), todos con capacidad para manejar corrientes de hasta 20 mA (Lekic, N., 2006).

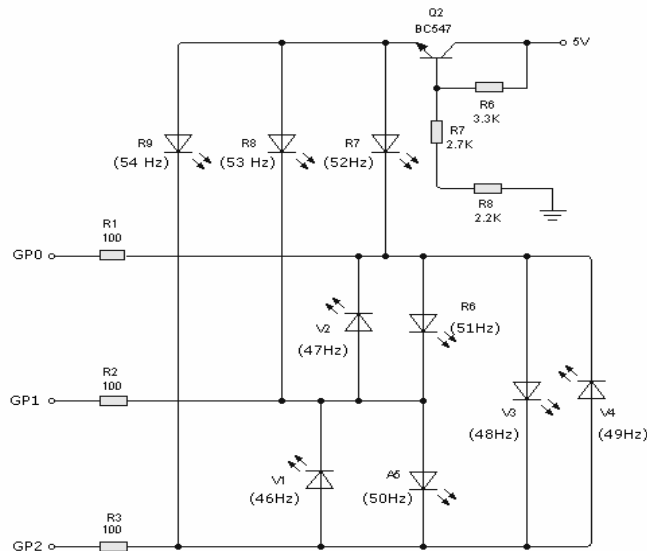


Figura 5. Circuito del visualizador.

**XIII ENCUENTRO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE SOBRE PEQUEÑOS
APROVECHAMIENTOS HIDROENERGETICOS ELPAH – CAJAMARCA – PERU – 2009**

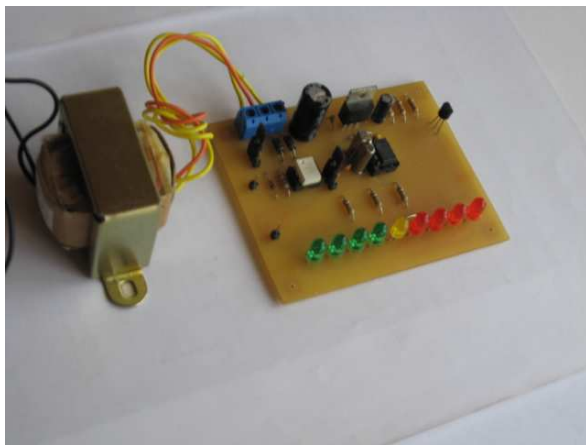
Para realizar el encendido individual de cada LED, es aprovechado el hecho de que un pin del microcontrolador configurado como entrada, este se encuentra en estado de alta impedancia (Hi-Z). Por lo tanto, configurando los pines utilizados como es indicado en la Tabla 1, puede lograrse el encendido individual de los LEDs.

FREC	LED	COLOR	CONFIGURACIÓN			ESTADO		
			GP0	GP1	GP2	GP0	GP1	GP2
46 Hz	V1	VERDE	Entrada	Salida	Salida	Hi-Z	0	1
47 Hz	V2	VERDE	Salida	Salida	Entrada	0	1	Hi-Z
48 Hz	V3	VERDE	Salida	Entrada	Salida	1	Hi-Z	0
49 Hz	V4	VERDE	Salida	Entrada	Salida	0	Hi-Z	1
50 Hz	A5	AMARILLO	Entrada	Salida	Salida	Hi-Z	1	0
51 Hz	R6	ROJO	Salida	Salida	Entrada	1	0	Hi-Z
52 Hz	R7	ROJO	Salida	Entrada	Entrada	0	Hi-Z	Hi-Z
53 Hz	R8	ROJO	Entrada	Salida	Entrada	Hi-Z	0	Hi-Z
54 Hz	R9	ROJO	Entrada	Entrada	Salida	Hi-Z	Hi-Z	0

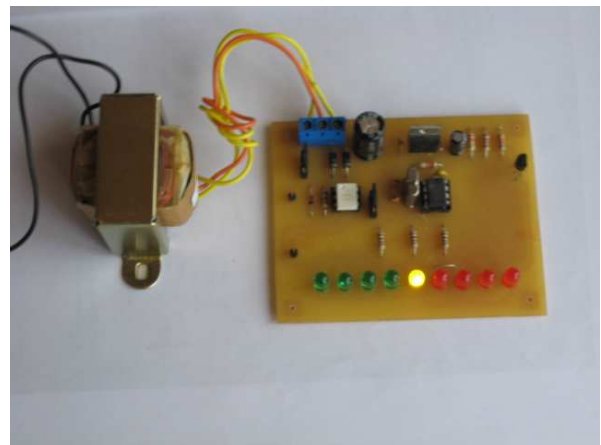
Tabla 1. Configuración para encendido de los LEDs.

Los LEDs V1, V2, V3, V4, A5 y R6 son alimentados directamente desde los pines del microcontrolador con una corriente aproximada de 15 mA, mientras que los demás poseen una fuente auxiliar de corriente constituida por el transistor Q2 y las resistencias de polarización R6, R7 y R8.

La Figura 6 muestra fotos del prototipo implementado en el laboratorio.



(A)



(B)

Figura 6. (A) Foto del prototipo. (B) Foto del prototipo indicando 50 Hz.

FIRMWARE

El firmware cargado en el microcontrolador puede representarse por el diagrama de flujo que aparece en la Figura 7, del cual podemos explicar los siguientes bloques:

A - Configuración e inicialización de registros: Es la etapa inicial del firmware donde son configurados los pines de entrada y salida del microcontrolador. Las salidas son cargadas con

**XIII ENCUENTRO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE SOBRE PEQUEÑOS
APROVECHAMIENTOS HIDROENERGETICOS ELPAH – CAJAMARCA – PERU – 2009**

estados lógicos de manera tal que los LEDs se mantengan apagados al inicio. También en esta etapa son configurados el prescaler y la señal de reloj a utilizar con el TMR0. Como el microcontrolador utilizado posee un módulo comparador de voltaje, en esta etapa el mismo es desactivado.

B - Flanco ascendente en GP3: En esta parte, el firmware queda a la espera de un flanco ascendente en la onda cuadrada que ingresa por GP3, para de esta forma comenzar el conteo con el TMR0.

C - Inicio del conteo: Como el TMR0 es un contador del tipo free-running, es decir siempre está contando, para iniciar el proceso de conteo de pulsos se lo debe borrar inicialmente.

D - Flanco ascendente en GP3: Una vez iniciado el conteo de pulsos, el firmware espera un nuevo flanco ascendente de la onda cuadrada para indicar que ha finalizado un periodo de la misma y por ende detener el conteo.

E - Final del conteo: Al producirse en GP3 el flanco ascendente mencionado, debe detenerse el conteo. Como el TMR0 no se detiene, por ser del tipo free-running, debe capturarse el valor del mismo en un registro de memoria RAM (registro TEMPORAL).

F - Discriminación de frecuencia: Esta etapa del firmware determina en que intervalo de frecuencia de la Figura 4 está el valor obtenido del conteo de pulsos (número inversamente proporcional a la frecuencia de generación). Para esto se recurre a sucesivas restas, entre los valores indicados en dicha figura y el valor del conteo. Las restas son realizadas comenzando por el número correspondiente a la frecuencia más alta de la Figura 4.

G - Encendido del LED correspondiente: Según la frecuencia obtenida en la etapa anterior, para encender el LED correspondiente, los pines GP0, GP1 y GP2 del microcontrolador son configurados teniendo en cuenta la Tabla 1.

H - Retardo de 0,75 segundos: Este retardo por software permite mantener estable la indicación en el visualizador, cuando la frecuencia de generación fluctúa alrededor de algunos de los puntos indicados en la figura 4.

Como podemos ver en el diagrama de flujo, la medición es cíclica produciéndose en intervalos de tiempo igual a la suma entre el periodo de la frecuencia de generación y el retardo de 0,75 segundos.

El programa para el microcontrolador se ha escrito en lenguaje ensamblador utilizando como entorno de desarrollo el MPLAB, herramienta que provee la empresa MICROCHIP, fabricante del microcontrolador utilizado.

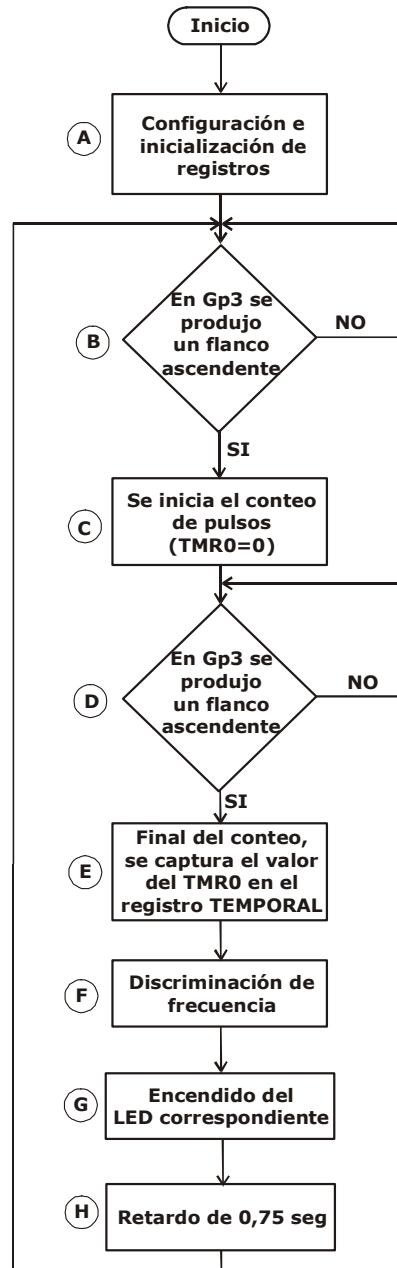


Figura 7. Diagrama de flujo del firmware del microcontrolador.

CONCLUSIONES

- El circuito obtenido es sencillo y económico, todos los componentes pueden conseguirse en el mercado local.
- Reducida cantidad de componentes electrónicos.
- Para su construcción requiere del conocimiento de la programación de microcontroladores. Esto en algunos casos puede dificultar la misma.
- No requiere puntos de calibración o ajuste, por lo tanto su puesta en marcha es muy sencilla.
- Debido a la tecnología microcontrolada del circuito, en este caso el mismo prácticamente no requiere de mantenimiento.

**XIII ENCUENTRO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE SOBRE PEQUEÑOS
APROVECHAMIENTOS HIDROENERGETICOS ELPAH – CAJAMARCA – PERU – 2009**

- En ensayos de laboratorio se ha presentado una pequeña dificultad en la visualización, por lo que se requiere realizar modificaciones en el firmware presentado. Es por esto que queda abierto el proyecto para continuar hasta llegar a un firmware óptimo.

SÍMBOLOS UTILIZADOS

F_{osc}	=	Frecuencia del circuito oscilador del microcontrolador.
F_G	=	Frecuencia de la tensión generada.
LED	=	Diodo emisor de luz.
RAM	=	Memoria de acceso aleatorio.
TMR0	=	Temporizador/contador interno del microcontrolador.
Vcc	=	Voltaje de corriente continua.

REFERENCIAS

- MICROCHIP TECHNOLOGY Inc. *PIC12F629/675 Data Sheet 8 Pin FLASH based 8 bits CMOS micrcontrollers*. 2002.
- ANGULO USATEGUI, J.M.; ANGULO MARTÍNEZ, I. *Microcontroladores PIC – Diseño práctico de aplicaciones*. España: McGrawHill. 2003.
- LEKIC, N.; MIJANOVIC, Z. *Three microcontroller ports drive 12 LEDs*. Revista digital Electronics Design News. 2006.