

# Prototipo mecatrónico para la enseñanza y el aprendizaje del movimiento armónico simple

Mechatronics prototype for teaching and learning the simple harmonic motion

Hugo Humberto Bermúdez<sup>2</sup>, Hugo Armando Gallego B<sup>2</sup>., Héctor Fabio Bermúdez<sup>3</sup>

*Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia*

hhbermudez@utp.edu.co

hfabiobm@gmail.com

ugo@utp.edu.co

**Resumen**— Una nueva serie de compuestos pirrólicos fue obtenida a través de una cicloadición 1,3-dipolar entre cetonas  $\alpha,\beta$ -insaturadas y el auxiliar sintético tosilmetilisocianuro, (TOSMIC). Los materiales de partida se prepararon mediante condensación aldólica a partir de los aldehídos y cetonas respectivos. La elucidación estructural de los precursores y moléculas objetivo se realizó con ayuda de técnicas espectroscópicas convencionales como resonancia magnética nuclear (<sup>1</sup>H- y <sup>13</sup>C-RMN) y espectroscopia de infrarrojo (IR). Este documento describe el desarrollo de un prototipo didáctico que sirve de herramienta pedagógica para la enseñanza y el aprendizaje del movimiento armónico simple (MAS) como proyección del movimiento circular uniforme (MCU). Como resultado del proceso de diseño y construcción se obtuvo un prototipo compacto, de bajo costo y fácil de operar, que permite a los estudiantes manipular el fenómeno físico y deducir los conceptos involucrados, y convierte al docente en el orientador del proceso. Así mismo, se presenta el diagrama de flujo y una breve explicación del programa para el microcontrolador utilizado por el prototipo.

**Palabras clave**— Biela, excéntrica, microcontrolador, movimiento armónico simple, reductor de velocidad.

**Abstract**— This paper describes the development of a prototype that serves as didactic pedagogical tool for teaching and learning of simple harmonic motion (MAS) as a projection of uniform circular motion (MCU). As a result of the design and construction was a prototype compact, low cost and easy to operate, which allows students to manipulate the physical phenomena and infer the concepts involved, and makes the teacher in guiding the process. It also shows the flow chart and a brief explanation of the program for the microcontroller used by the prototype.

**Key Word** — Biela, eccentric, microcontroller, simple harmonic motion, speed reducer.

## I. INTRODUCCIÓN

La importancia de usar referentes cotidianos en la didáctica de las Ciencias, en particular en la enseñanza de la física, ha sido una preocupación constante de los profesores que imparten esta asignatura y se han propuesto metodologías y estrategias para motivar a los estudiantes y desarrollar en ellos competencias científicas, destacando siempre el uso de los recursos experimentales. Por otra parte, en lo que se refiere a las formas de experimentación, se debe tener presente que no existe una separación entre la teoría y las prácticas de laboratorio, sino que hay una estrecha relación entre ambas.

Desde este punto de vista, las prácticas de laboratorio mediadas por el uso de prototipos experimentales, permiten al estudiante el manejo de datos y la interpretación de cómo opera determinado principio físico para explicar el fenómeno observado [1]. Es precisamente esta preocupación por acercar la experimentación mediante el diseño de prototipos para la enseñanza de las Ciencias, la principal motivación del presente trabajo, que cuenta con el apoyo del grupo de investigación **DICOPE**, “Diseño y construcción de prototipos para experimentos de demostración adscrito a la maestría en instrumentación física de la facultad de ciencias básicas de la Universidad Tecnológica de Pereira, que surge con la idea de atender a las necesidades de aportar nuevos recursos didácticos en la enseñanza de la física, de acuerdo a los avances en la tecnología en especial de la electrónica, cuyo propósito es desarrollar un trabajo enfocado a crear, diseñar y construir prototipos electrónicos que faciliten la utilización de las ecuaciones fundamentales de la física y con ello demostrar los conceptos y leyes que se estudian en la mayoría de los cursos.

<sup>1</sup> Msc(C) Instrumentación física

Fecha de Recepción: (Letra Times New Roman de 8 puntos)  
Fecha de Aceptación: Dejar en blanco

<sup>2</sup> Decano Facultad Ciencias Básicas

<sup>3</sup> Licenciado en Matemáticas y física

## II. CONTENIDO

### A. OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir un prototipo mecatrónico, utilizando la instrumentación física y empleando elementos que se adquieren fácilmente en el mercado local, que facilite la enseñanza y el aprendizaje del movimiento armónico simple (MAS) mediante la implementación de una práctica en el laboratorio de física I de la Universidad Tecnológica de Pereira y que pueda desarrollarse en otras instituciones de educación superior y de básica secundaria y media académica y técnica.

### B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir el hardware necesario para el funcionamiento del prototipo.
- Realizar el diagrama de flujo y el código del programa para el microcontrolador utilizado por el prototipo.
- Elaborar el manual de usuario del prototipo.
- Implementar una guía de laboratorio para la experimentación del movimiento armónico simple (MAS).

### C. DISEÑO METODOLÓGICO

A la hora de enseñar ciencias y, en particular, física, un elemento a favor de los docentes es que la física y la tecnología dan campo a la experimentación y al trabajo en el laboratorio permitiendo, de esta manera, pasar de la vieja retórica en clase a una metodología de aprender haciendo [2].

El diseño, construcción e implementación de un equipo de laboratorio conlleva una práctica consciente, no mecánica, que involucra todas las operaciones del pensamiento, para aprender y adaptar adecuadamente un método secuencial (sin pretender que sea único o el mejor) [3]. En el caso del presente trabajo, dicho método involucra los siguientes componentes pedagógicos:

- Se identifica el concepto físico y el problema pedagógico a resolver, para el cual se implementa la ayuda didáctica: El movimiento armónico simple (MAS).
- Se tiene en cuenta para qué y para quién es el prototipo; es decir, se determina el objetivo pedagógico de la ayuda y el tipo de usuario con el que se desea trabajar: Diseñar y construir un prototipo mecatrónico, utilizando la instrumentación física y empleando elementos que se adquieren fácilmente en el mercado local, que facilite la enseñanza y el aprendizaje del MAS mediante la

implementación de una práctica en el laboratorio de física I de la Universidad Tecnológica de Pereira y que pueda desarrollarse en otras instituciones de educación superior y de básica secundaria y media académica y técnica.

- Se establecen los conceptos en el tema y las ideas que se quieren transmitir a los estudiantes para integrarlos en la comprensión de los fenómenos físicos inmersos en su actividad cotidiana: El estudio del MAS como proyección del movimiento circular uniforme (MCU).
- Se definen las características técnicas que debe tener el prototipo: Llamativo, impactante, compacto, de bajo costo, seguro a la hora de su manipulación y fácil de operar.

En combinación con los componentes pedagógicos mencionados, la construcción contempla las siguientes etapas:

- Revisión bibliográfica con el fin de conocer los contenidos teóricos y conceptuales necesarios para su construcción.
- Desarrollo del prototipo propiamente dicho, el cual comprende diseño, construcción, prueba y puesta a punto.

Una vez disponible el prototipo se procede a diseñar la metodología necesaria para su utilización en el laboratorio, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Elaboración del manual de usuario para la correcta operación del equipo.
- Implementación de la guía para la experimentación con el MCU y con el MAS.

### D. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE NECESARIO PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO”

Una vez identificado el problema a resolver para el cual se iba a implementar la ayuda didáctica, y teniendo en cuenta para qué y para quién era el prototipo; es decir, determinado el objetivo pedagógico de la ayuda y el tipo de usuario con el que se trabajaría. Establecidos los conceptos en la temática del MAS y las ideas que, sobre el tema, se querían transmitir. Habiendo considerado, además, que el prototipo fuera llamativo e impactante y brindara seguridad a la hora de su manipulación.

Así mismo, después de haber realizado, en combinación con los componentes pedagógicos mencionados anteriormente, la revisión bibliográfica con el fin de conocer los contenidos teóricos y conceptuales necesarios para su construcción, se desarrolló el prototipo propiamente dicho.

El diseño y construcción del prototipo se realizó en dos etapas: En la primera, se obtuvo el sistema mecánico. En la segunda, el

sistema electrónico (circuito de control). El prototipo, en su conjunto, se muestra en la figura 2.4.1.



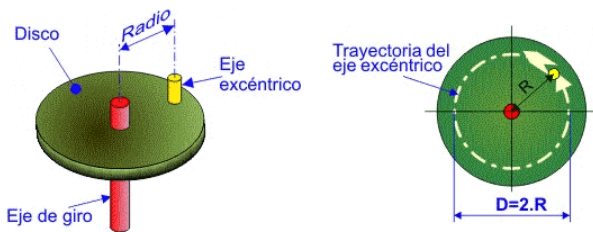
**Figura 2.4.1. Prototipo mecatrónico para la enseñanza y el aprendizaje del MAS.**

1. Sistema mecánico.

Fabricado en aleación de aluminio, está conformado por los siguientes elementos:

- **Excéntricas.** Desde el punto de vista técnico la **excéntrica** es, básicamente, un disco (rueda) dotado de dos ejes: Eje de giro y el excéntrico. Por tanto, se distinguen en ella tres partes claramente diferenciadas:

El **disco**, sobre el que se sitúan los dos ejes.  
 El **eje de giro**, que está situado en el punto central del disco (o rueda) y es el que guía su movimiento giratorio.  
 El **eje excéntrico**, que está situado paralelo al anterior pero a una cierta distancia (Radio) del mismo[4].



**Figura 2.4.1.1. Excéntrica.**

Al girar el disco, el *Eje excéntrico* describe una circunferencia alrededor del *Eje de giro* cuyo radio viene determinado por la distancia entre ambos.

El prototipo utiliza dos excéntricas, del mismo diámetro, unidas por una banda elástica cuyo objetivo es transmitir el movimiento del eje de giro de una de ellas al de la otra. Ambas excéntricas giran solidarias al eje y arrastran a la banda elástica por adherencia entre ellas. La banda elástica, a su vez, arrastra y hace girar la otra excéntrica (excéntrica conducida o de salida), transmitiéndose así el movimiento[5].

En este mecanismo el número de revoluciones (o vueltas) de cada eje viene dado por el tamaño de las excéntricas. Como ambas tienen igual diámetro, **giran a la misma velocidad**.

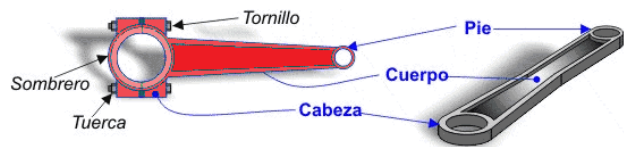
De esta manera, la relación de transmisión (i) está dada por la siguiente expresión:

$$i = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{D_1}{D_2} = 1$$

Donde:

- $\omega_1$  velocidad angular de la excéntrica motriz.
- $\omega_2$  velocidad angular de la excéntrica conducida.
- $D_1$  es el diámetro de la excéntrica motriz.
- $D_2$  es el diámetro de la excéntrica conducida.

- **Biela.** Es un operador muy simple. Se trata de un elemento rígido en forma de barra o lámina más o menos larga y ancha, al que aplicado un movimiento en uno de sus extremos transmite éste, gracias a su consistencia y rigidez (Figura 2.4.1.2). Según esta definición podría decirse que todas las palancas están formadas por bielas[6].



**Figura 2.4.1.2. Biela**

Se pueden combinar varias bielas, pero una de sus mejores aplicaciones es unida a una manivela (o excéntrica) para transformar movimientos giratorios en rectilíneos y viceversa.

- **Mecanismo excéntricas-biela.** Este mecanismo se compone de una biela (ranurada) cuyos extremos, soportados en los ejes excéntricos, describen una circunferencia de radio R. A través de la biela se desliza el soporte que se desplaza, entre la guía, a lo largo de una recta (Figura 2.4.1).

En esta disposición el desplazamiento rectilíneo que efectúa el soporte a través de la biela es el doble del radio de la excéntrica, o lo que es lo mismo del diámetro de la circunferencia que describe ésta al girar.

Se puede hacer la comprobación en el prototipo. Si se mide el radio de la excéntrica, en este caso la longitud desde el centro del eje de giro al centro del eje excéntrico, se comprobará que mide 2,5 cm y que el desplazamiento de la flecha testigo es de 5,0 cm.

Por tanto se cumple que  $2,5 \text{ cm} \times 2 = 5,0 \text{ cm}$

- **Círculo graduado.** Consta de una escala en grados sexagesimales. Esta escala se utiliza para medir los desplazamientos angulares que realiza la excéntrica durante su movimiento circular.

- **Regla graduada.** Consta de una escala en milímetros. Esta escala se utiliza para medir los desplazamientos lineales que realiza el soporte durante su recorrido a través de la biela.

- **Flechas testigo.** Ubicadas en el eje excéntrico y en el soporte, permiten realizar las lecturas sobre el círculo graduado y la regla graduada, respectivamente.

- **Soporte.** Es el elemento que se desliza sobre la guía, a través de la biela. Sobre él descansa una de las flechas testigo.

- **Guía.** Permite el desplazamiento rectilíneo del soporte y de la flecha testigo que descansa sobre él.

- **Motorreductor.** Toda máquina cuyo movimiento sea generado por un motor necesita que la velocidad de dicho motor se adapte a la velocidad necesaria para el buen funcionamiento de la misma. Además de esta adaptación de velocidad, se deben contemplar otros factores como la potencia mecánica a transmitir, la potencia térmica, rendimientos mecánicos (estáticos y dinámicos).

Esta adaptación se realiza generalmente con uno o varios pares de engranajes que adaptan la velocidad y potencia mecánica montados en un cuerpo compacto denominado reductor de velocidad o motorreductor.

Los motorreductores se suelen clasificar de un modo anárquico, solapándose en algunos casos las definiciones de modo intrínseco y en otros casos hay que usar diversas clasificaciones para definirlos. El cuadro 2.4.1 presenta un tipo de clasificación para estos motorreductores.

CLASIFICACIÓN	NOMBRE
Por tipo de engranajes	Sin fin-Corona,

	engranajes y planetarios
Por disposición de los ejes lento y rápido	Paralelos, ortogonales y coaxiales
Por sistema de fijación	Fijos o pendulares

**Cuadro 2.4.1. Clasificación de los motorreductores.**

La fabricación o selección de un reductor de velocidad es algo sumamente complejo en algunas ocasiones dada la gran cantidad de parámetros a tener en cuenta. Los principales se muestran en el cuadro 2.4.2.

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD en el SI
Par motor o torque (T)	potencia que puede transmitir un motor en cada giro	Nm (Newton metro)

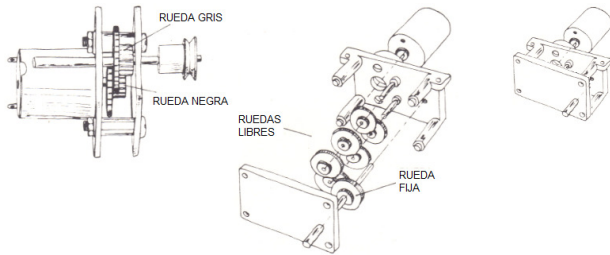
**Cuadro 2.4.2. Características de los reductores de velocidad.**

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD en el SI
Par nominal	Es el par transmisible por el reductor de velocidad con una carga uniforme y continua; está íntimamente relacionado con la velocidad de entrada y la velocidad de salida	Nm (Newton metro)
Par resistente	Representa el par requerido para el correcto funcionamiento de la máquina a la que el reductor de velocidad va a ser acoplado	Nm (Newton metro)
Par de cálculo	Es el producto del par resistente y el factor de servicio requerido por la máquina a la que el reductor de velocidad va a ser acoplado	Nm (Newton metro)
Potencia	es considerada en dos niveles distintos: la potencia eléctrica aplicada y la potencia útil; esta última es el producto de la potencia aplicada al ser multiplicado por cada uno de los rendimientos de cada par de engranajes del reductor de velocidad	Expresada por lo general en kw (kilovatios)

**Continuación Cuadro 2.4.2. Características de los reductores de velocidad.**

El prototipo desarrollado en este proyecto requiere que la rapidez de giro de las excéntricas sea baja y constante, dadas las características de los movimientos a experimentar en la práctica de laboratorio.

Por esta razón, se empleó el reductor de velocidad mostrado en la figura 2.4.3.

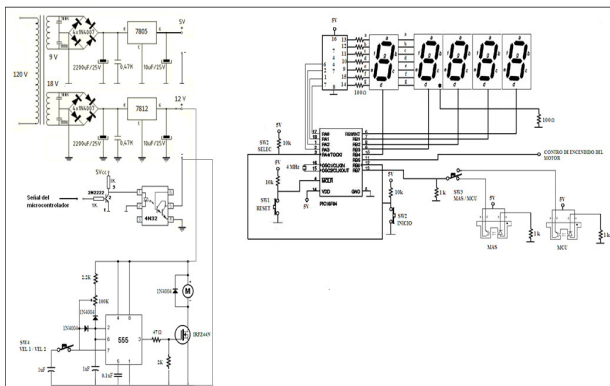


**Figura 2.4.3. Reductor de velocidad o motorreductor.**

Este motorreductor es de engranajes, ya que toda la transmisión mecánica se realiza por pares de engranajes; paralelo, pues el eje lento y el eje rápido son paralelos entre sí; y fijo, porque está sujeto a la base del equipo. Es un modelo didáctico apropiado para la aplicación en el prototipo. Sus ventajas son el mayor rendimiento energético, menor mantenimiento y tamaño reducido.

2. Sistema electrónico.

Es el que controla el sistema mecánico. Está conformado por dos fuentes reguladas de voltaje, una de 5 V y otra de 12 V, cada una a 1 A; dos optoacopladores de encapsulado ranurado, un microcontrolador PIC 16F84 y cinco displays de 7 segmentos. En la figura 2.4.2.1 se muestra el esquema circuital de este sistema.



**Figura 2.4.2.1. Esquema circuital del sistema electrónico.**

Los elementos del sistema electrónico enunciados anteriormente se encuentran distribuidos en dos tarjetas, a excepción de los optoacopladores de encapsulado ranurado

que están ubicados directamente en el sistema mecánico del prototipo. El que se utiliza para la práctica del MCU, frente al disco ranurado y el empleado en la experiencia con el MAS, en el recorrido de la peineta.

En una de las tarjetas se encuentra el circuito de las **fuentes reguladas de voltaje** y en la otra, el circuito que controla la velocidad del motorreductor (**control de velocidad**) y el **circuito para el microcontrolador**.

La manera cómo funcionan estos circuitos, una vez el cable de poder se conecta al suministro de energía a 120 V/60 Hz y el interruptor de encendido-apagado se cambia a la posición encendido, se describe a continuación:

- **Fuentes reguladas de voltaje.** El circuito consta de un transformador con dos devanados secundarios independientes, uno a 9 V y otro a 18 V con los cuales se alimentan dos fuentes **independientes**, una de 5 V y la otra de 12 V las que utilizan, respectivamente, los reguladores 7805 y 7812.

La fuente de 5 V alimenta el circuito electrónico del microcontrolador y los displays. La fuente de 12 V, por su parte, alimenta el motorreductor y el circuito que controla su velocidad. Esta fuente tiene, además, un circuito de control implementado con un transistor npn (2N2222) y un optoacoplador (4N32) en configuración Darlington. Dicho sistema de control recibe la señal del microcontrolador para energizar o desenergizar el motorreductor encargado de dar movimiento al prototipo.

- **Control de velocidad.** El circuito que controla la velocidad del motorreductor utiliza un circuito integrado LM555 en configuración de astable con su frecuencia ajustable mediante un potenciómetro de 10KΩ. Éste envía una señal pulsante (tren de pulsos) al transistor Mosfet (IRFZ44N) encargado de controlar el voltaje de alimentación del motorreductor y, de esta manera, su velocidad. El circuito consta de dos velocidades las cuales se seleccionan por medio del interruptor  $V_{mín} - V_{máx}$  ubicado en el panel frontal, con el cual se modifica la frecuencia del LM555 variando la resistencia de la constante RC de este circuito integrado.

- **Circuito del microcontrolador.** Este circuito está implementado con un PIC 16F84 en su configuración general: alimentación, reloj y reset, un decodificador de siete segmentos y cinco displays, encargados de mostrar los tiempos medidos. El programa, en lenguaje ensamblador, del PIC se describe en el numeral 2.5.

- **Entradas.** El microcontrolador recibe varias señales de entrada: la que viene de los optoacopladores de cápsula ranurada

ubicados en el sistema mecánico del prototipo, la señal de inicio-lectura y la señal de reset, estas dos últimas, provenientes de los pulsadores ubicados en el panel frontal.

▪ **Procesos.** Cuando el microcontrolador recibe la señal de inicio y el optoacoplador de cápsula ranurada se activa, éste envía la orden para habilitar la fuente de 12 V y energizar el motorreductor. Al estar en movimiento el prototipo, el optoacoplador seleccionado envía los pulsos al microcontrolador. El programa está diseñado para contar el tiempo de los 4 intervalos en los que se dividió el recorrido por medio de la peineta o el disco ranurado. Al terminar de dar una vuelta completa el disco-polea (excéntrica) o hacer un recorrido de ida y vuelta el soporte a través de la biela, el programa envía la señal para inhabilitar la fuente de 12 V y desenergizar el motor. Así mismo, envía los datos a los displays del panel frontal, los cuales se pueden visualizar oprimiendo el pulsador inicio-lectura ubicado en el mismo panel.

En los primeros 4 displays (los que se encuentran ubicados más a la derecha) se pueden observar los tiempos obtenidos para cada uno de los intervalos, los cuales se indican en el quinto display; es decir, se muestra el número del dato y el dato en cada caso.

Cuando se pulsa reset, en el panel frontal, el sistema queda listo para un nuevo proceso.

#### E. REALIZACIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO Y EL CÓDIGO DEL PROGRAMA PARA EL MICROCONTROLADOR UTILIZADO POR EL PROTOTIPO.

El PIC 16F84 que utiliza el prototipo es el encargado de:

- Controlar el encendido y apagado del motorreductor.
- Detectar y procesar la señal de los optoacopladores.
- Habilitar los displays para visualizar los datos.

Teniendo en cuenta estas funciones y todas las variables que afectan al sistema, se desarrolló el diagrama de flujo mostrado en la figura 2.5.1.

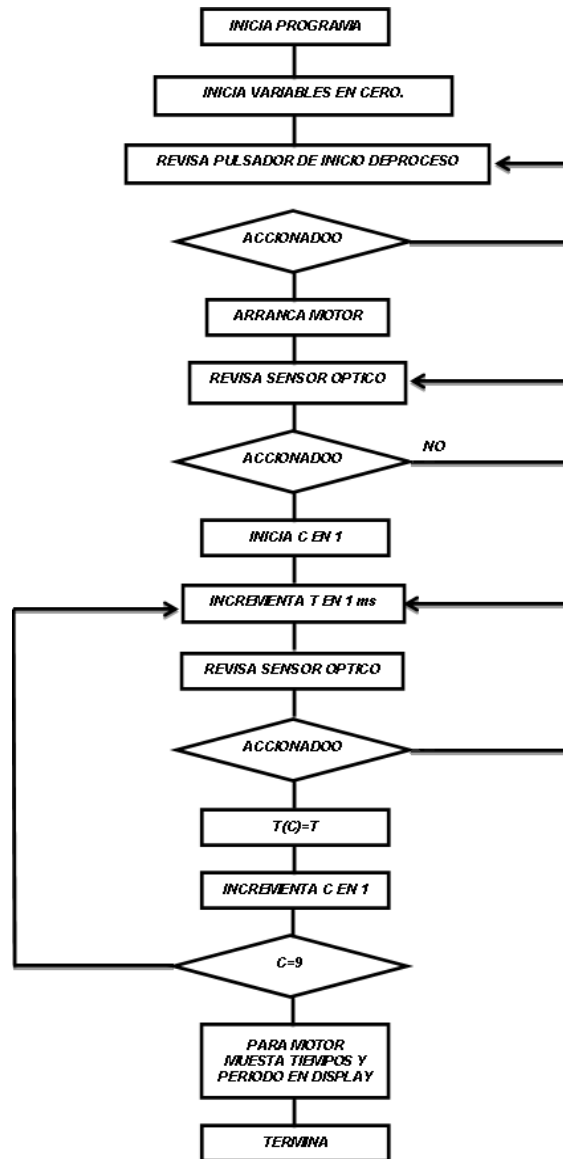


Figura 2.5.1. Diagrama de flujo desarrollado para el proyecto con el PIC.

Con base en este diagrama de flujo se procedió a programar el PIC, para lo cual se realizaron cuatro pasos:

- **Edición.** Se escribió el programa en lenguaje ensamblador, utilizando el MPLAB y el juego de 35 instrucciones que maneja el PIC.
- **Compilación.** Se tradujo el programa al lenguaje de máquina con ayuda del MPASAM y el EPICWIN, software.
- **Quemado del PIC.** Se grabó el programa en el PIC, mediante una tarjeta electrónica y el EPICWIN.
- **Pruebas (Emulaciones).** Se verificó el funcionamiento del programa. Se comprobó que el PIC se comportara como se



programó. En varias ocasiones se encontraron errores por lo cual fue necesario volver a edición. Para realizar esta actividad se hizo uso de un Protoboard, donde se alambrió el circuito preliminar.

Como resultado del proceso anterior se generó un programa, en lenguaje ensamblador. Dicho programa consta de una rutina principal y cinco subrutinas.

En la rutina principal se encuentran las instrucciones con las cuales se estructura el proceso a realizar, se declaran e inicializan variables, se programan los puertos del microcontrolador como entradas y salidas, de acuerdo a la función requerida en el proceso y se llaman las respectivas subrutinas que son las encargadas de realizar labores específicas y se repiten en diferentes partes del programa.

El programa comienza revisando el puerto encargado de recibir la señal de inicio (Puerto B bit 6), proveniente del pulsador inicio-lectura ubicado en el panel frontal del prototipo. Mientras no reciba la orden, el programa no da inicio y se queda revisando el puerto y mostrando 0.000 en los displays.

Cuando se da inicio, el programa llama la subrutina **FASE**. En esta subrutina, el PIC revisa el puerto asignado a los optoacopladores con cápsula ranurada (Puerto B bit 7), encargado de enviarle los pulsos que indican los intervalos para contar el tiempo entre pulso y pulso mediante la subrutina **CUENTA**, haciendo incrementos de 100 ms cada vez, y almacenarlos en su respectiva variable para luego ser visualizados en los displays, llamando las subrutinas **MUESTRA** y **DISPLAY**, respectivamente, cuando se oprime el pulsador inicio-lectura.

El error por el rebote de los pulsadores es corregido mediante la subrutina **RETARDO** que genera un retardo de 1 ms para tal fin.

#### F. ELABORACIÓN DEL MANUAL DE USUARIO DEL PROTOTIPO

Después de tener disponible el prototipo (tanto su hardware como su software), se procedió a diseñar la metodología necesaria para su utilización en el laboratorio, teniendo en cuenta la elaboración del manual de usuario y la guía para la experimentación con el MCU y con el MAS.

El manual de usuario constituye el tratamiento didáctico del equipo. Se trata del material escrito, soporte didáctico de los diferentes elementos que lo conforman.

#### G. IMPLEMENTACIÓN DE LA GUÍA DE LABORATORIO PARA LA EXPERIMENTACIÓN DEL MOVIMIENTO ARMÓNICO SIMPLE

El tratamiento didáctico dado a los aprendizajes a desarrollar está enfocado desde un punto de vista activo y experimental, en la opinión de que lo manipulable tanto física como intelectualmente contribuye a la formación de un aprendizaje significativo. En este sentido, se implementó una guía que orienta dos prácticas en el laboratorio: la primera, dirigida a la experimentación del movimiento circular uniforme (MCU) y la segunda, al estudio del movimiento armónico simple como proyección del MCU.

### III. CONCLUSIONES

Como resultado del proceso de diseño y fabricación se obtuvo un prototipo de bajo costo, fácil de operar, basado en el concepto teórico de movimiento armónico simple.

Con este prototipo también es posible introducir conceptos propios de la informática, mediante la construcción del diagrama de flujo y la programación del microcontrolador que utiliza.

La implementación de las dos prácticas de laboratorio que permiten la interacción del estudiante con los fenómenos físicos, a través de un prototipo didáctico, como el desarrollado en este trabajo, estimula su creatividad, curiosidad y motivación hacia los conceptos científicos involucrados y sus respectivas aplicaciones.

Además, la utilización del prototipo aquí presentado, es guiado por un manual de usuario que presenta una secuencia clara y sencilla de instrucciones, es muy enriquecedora, pues induce al estudiante a practicar el método científico, y permite definir variables, manipularlas, medirlas, tabular sus valores, graficarlas e interpretarlas.

### REFERENCIAS

- [1] Pérez L., Eliexer y otro. Diseño de prototipos experimentales orientados al aprendizaje de la óptica. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de Ciencias, 2009, pp. 452-465. [Online]. Available: [http://www.apac-eureka.org/revista/Volumen6/Numero\\_6\\_3/Perez\\_Falcon\\_2009.pdf](http://www.apac-eureka.org/revista/Volumen6/Numero_6_3/Perez_Falcon_2009.pdf)
- [2] Duarte Julio E. y otros. Desarrollo de un prototipo didáctico como alternativa pedagógica para la enseñanza del concepto de inducción electromagnética. TEA No. 21. Primer semestre

- de 2007. pp. 77-83. [Online]. Available: <http://www.pedagogica.edu.co/revistas/ojs/index.php/TE/article/viewFile/364/339>
- [3] Holguin T., Carlos A. Diseño y construcción de equipo sencillo para la enseñanza de la física. Revista Científica. Volumen Extra. Año 2011. pp. 144-149. [Online]. Available: <http://www.revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revista/article/download/.../832>
- [4] Mecanismo. 2005 Cejarosu. [Online]. Available: [http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/oper\\_excentrica.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/oper_excentrica.htm)
- [5] Sistemas de transmisión de poleas con correa. [Online]. Available: <http://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2009/04/03-poleas-con-correa.pdf>