

Universidad Tecnológica de Pereira
Facultad de Ingenierías
Programa de Ingeniería Física

Tesis presentada para obtener el título de
Ingeniero Físico

Diseño y construcción de un prototipo autónomo para la práctica
experimental de laboratorios de física.

Por

Leonardo Bohórquez Santiago
Leidy Tatiana Hernández Cañas
Sebastián Martínez García



Pereira – Risaralda
2011

**Diseño y construcción de un prototipo autónomo para la práctica
experimental de laboratorios de física**

**Leonardo Bohórquez Santiago
Leidy Tatiana Hernández Cañas
Sebastián Martínez García**

Director de la tesis: Hugo Armando Gallego

**Programa de Ingeniería Física
Universidad Tecnológica de Pereira
2011**

Agradecimientos

Primero que todo damos gracias a dios por brindarnos la vida, la fortaleza y la salud necesaria para culminar esta etapa de nuestra vida, a nuestros padres y hermanos por su apoyo incondicional brindándonos la oportunidad de llegar hasta este punto de nuestras vidas, buscando para nosotros siempre un mejor futuro; a nuestros compañeros por el toque de alegría que irradian cada vez que nos ven, a todos los directores y profesores por su disposición y ayuda incondicional en cada etapa del desarrollo de este proyecto, que de una u otra forma nos proporcionaron grandes aportes con sus opiniones y criticas; agradecimientos a la universidad tecnológica de Pereira por brindarnos los espacios y las herramientas necesaria para el desarrollo de nuestro proyecto ; agradecimientos a ingenieros y mecánicos que nos apoyaron en la construcción de nuestro prototipo; a los compañeros de trabajo por su empeño y esmero en realizar un proyecto basado en los conocimientos adquiridos durando nuestra carrera, por su disponibilidad y responsabilidad gracias a todos por hacer de este proyecto una realidad.

Sebas, Tati, Leo.

FICHA DEL PROYECTO

Título: Diseño y construcción de un prototipo autónomo para el desarrollo experimental de laboratorios de física.

Facultad: Ingenierías

Programa académico: Ingeniería física

Jornada: Diurna

Nombre del Grupo de investigación o Semillero que lo respalda: DICOPEP

Firma del Coordinador del Grupo o Semillero: _____

Nombre del tutor: Hugo Armando Gallego Becerra

Estudiantes participantes en el proyecto:

Nombre	Identificación	Correo electrónico	Firma
Leonardo Bohórquez Santiago	1113782360	leopo1112@hotmail.com	
Leidy Tatiana Hernández Cañas	1088270442	tatis727@hotmail.com	
Sebastián Martínez García	1112765932	smsg8827@hotmail.com	

Índice general

1. Introducción

1.1.	Introducción.....	12
1.2.	Resumen del proyecto.....	13
1.3.	Justificación.....	14

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.1.	Planteamiento del problema.....	16
2.1.1.	Problema principal (alcances y limitaciones).....	16
2.1.2.	Problemas secundarios.....	17
2.1.3.	Delimitación.....	17
2.2.	Objetivo de la investigación.....	17
2.2.1.	Objetivo general.....	17
2.2.2.	Objetivos específicos.....	17

3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

3.1.	Revisión bibliográfica.....	19
3.1.1.	Experimento 1 (Base para la realización del proyecto).....	19
3.1.2.	Experimento 2.....	20
3.1.3.	Experimento 3.....	21
3.2.	Marco teórico.....	22
3.2.1.	Marco teórico conceptual.....	23
3.2.1.1.	Ley de la conservación de la energía.....	23
3.2.1.2.	Choque perfectamente elástico.....	25
3.2.1.3.	Conservación de la cantidad del momentum lineal en los choques elásticos.....	26
3.2.1.4.	Movimiento parabólico.....	26
3.2.1.5.	Caída libre.....	28
3.2.1.6.	Péndulo simple.....	30
3.2.2.	Marco teórico instrumental.....	33

3.2.2.1. Microcontrolador.....	33
3.2.2.2. Motor paso a paso unipolar.....	34
3.2.2.3. Display de cristal líquido (LCD).....	35
3.2.2.4. Teclado matricial 4x3.....	36
3.2.2.5. Electroimán.....	36
3.2.2.6. Sensores.....	37
4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROTOTIPO AUTÓNOMO PARA LA PRÁCTICA EXPERIMENTAL DE LABORATORIOS DE FÍSICA.	
4.1. Descripción general.....	38
4.2. Descripción general del hardware.....	38
4.2.1. Microcontrolador PIC18F452.....	38
4.2.2. Motor paso a paso unipolar.....	39
4.2.3. Sensor de objetos.....	39
4.2.4. Microswitch (sensor final de carrera).....	39
4.2.5. Display LCD.....	39
5. MODELO DE SOLUCIÓN	
5.1. Modelo de solución.....	40
5.2. Diseño mecánico del prototipo.....	40
5.2.1. La base.....	40
5.2.2. Los tubos.....	42
5.2.3. Módulo 1.....	42
5.2.4. Módulo 2.....	42
5.2.5. Módulo motor.....	44
5.3. Diseño electrónico del prototipo.....	45
5.3.1. Material, acondicionamiento y conexiones.....	46
5.3.2. Microcontrolador PIC18F452.....	46

5.3.3.	Motor paso a paso unipolar mitsumi 7.5° por paso.....	48
5.3.4.	Electroimán (bobina de un relé de 12V).....	49
5.3.5.	Teclado matricial 4x3.....	49
5.3.6.	Sensores infrarrojo (IR).....	50
5.3.6.1.	Sensor de objeto CNY70.....	50
5.3.6.2.	Emisor y receptor infrarrojo.....	52
5.3.7.	Display de cristal líquido (LCD).....	53
5.3.8.	Microswitch (sensor final de carrera).....	54
5.4.	Diseño de software.....	55
5.4.1.	Diseño de diagramas de flujo(programación).....	55
5.4.2.	Creación del programa del PIC.....	55
5.4.3.	Simulación del circuito.....	56
5.4.4.	Programación del microcontrolador.....	58
5.5.	Diseño tarjeta de circuito impreso (PCB – Printed Circuit Board).....	62
5.5.1.	Creación de la tarjeta.....	63
5.6.	Resultados y discusiones.....	64
5.6.1	Resultados de la práctica de choques elásticos.....	66
5.6.2	Resultados de la práctica de caída libre.....	71
5.6.3.	Resultados de la práctica de péndulo simple.....	75
5.7.	Conclusiones.....	82
5.8.	Trabajos futuros.....	83
5.9.	Bibliografía.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1.	Prototipo ley de la conservación de la energía y del momentum lineal.....	19
Figura 3.2.	Prototipo caída libre grupo DICOPEL.....	20
Figura 3.3.	Prototipo péndulo simple.....	21
Figura 3.4.	Estados del sistema.....	24
Figura 3.5.	Estado inicial de las partículas y momento del impacto.....	25
Figura 3.6.	Movimiento semiparabólico.....	26
Figura 3.7.	Movimiento parabólico completo.....	27
Figura 3.8.	Diagrama caída libre.....	29
Figura 3.9.	Posición contra tiempo caída libre.....	30
Figura 3.10.	Velocidad contra tiempo caída libre.....	30
Figura 3.11.	Péndulo simple diagrama de cuerpo libre.....	31
Figura 3.12.	Péndulo simple.....	32
Figura 3.13.	Microcontrolador.....	34
Figura 3.14.	Motor paso a paso unipolar.....	35
Figura 3.15.	Display de cristal líquido (LCD).....	35
Figura 3.16.	Teclado matricial 4x3.....	36
Figura 3.17.	Electroimán.....	36
Figura 3.18.	Sensores.....	37
Figura 5.1.	Base prototipo.....	40
Figura 5.2.	Base prototipo mecanizada.....	41
Figura 5.3.	Pieza corrediza riel (Base).....	41
Figura 5.4.	Tubos prototipo.....	42
Figura 5.5.	Caja para cubrir electroimán.....	42

Figura 5.6.	Módulo 1 prototipo.....	43
Figura 5.7.	Módulo 2 prototipo.....	43
Figura 5.8.	Módulo motor.....	44
Figura 5.9.	Prototipo ensamblado.....	45
Figura 5.10.	Microcontrolador PIC18F452.....	47
Figura 5.11.	Características microcontrolador PIC18F452.....	47
Figura 5.12.	Diagrama motor paso a paso unipolar.....	48
Figura 5.13.	Diagrama conexión motor paso a paso unipolar y controlador ULN2003..	48
Figura 5.14.	Conexiones electroimanes.....	49
Figura 5.15.	Teclado matricial 4x3.....	49
Figura 5.16.	Conexiones teclado 4x3.....	50
Figura 5.17.	Sensor de objetos CNY70.....	51
Figura 5.18.	Montaje sensor de objetos CNY70.....	51
Figura 5.19.	Conexión CNY70 PIC18452.....	51
Figura 5.20.	Diagrama espectral.....	52
Figura 5.21.	Montaje emisor y receptor.....	52
Figura 5.22.	Pines LCD.....	53
Figura 5.23.	Descripción pines LCD.....	53
Figura 5.24.	Diagrama microswitch.....	54
Figura 5.25.	Descripción pines microswitch.....	54
Figura 5.26.	Simulación del circuito.....	56
Figura 5.27.	Cambiar familia PIC18F452.....	58
Figura 5.28.	Leer el PIC18F452.....	59
Figura 5.29.	Verificar PIC18F452.....	59

Figura 5.30.	Borrar el PIC18F452.....	59
Figura 5.31.	Verificar si el PIC18F452 está borrado.....	60
Figura 5.32.	Abrir archivo hex1.....	60
Figura 5.33.	Abrir archivo hex2.....	61
Figura 5.34.	Abrir archivo hex3.....	61
Figura 5.35.	Grabar el PIC18F452.....	61
Figura 5.36.	Fuente de 5V a partir de 12V.....	62
Figura 5.37.	Vista estándar PCB.....	62
Figura 5.38.	Vista real PCB.....	63
Figura 5.39.	Prototipo terminado.....	64
Figura 5.40.	Descripción partes del prototipo.....	65
Figura 5.41.	Resultados práctica de choques elásticos.....	66
Figura 5.42.	Desviación estándar y error estándar choques elásticos.....	67
Figura 5.43.	Error aparato choques elásticos.....	68
Figura 5.44.	Tiempos promedios aceptados choques elásticos.....	68
Figura 5.45.	Error relativo choques elásticos	69
Figura 5.46.	Error absoluto choques elásticos	69
Figura 5.47.	Valor aceptado para la gravedad en choques elásticos.....	70
Figura 5.48.	Gráfico altura Vs tiempo para los diferentes ángulos.....	70
Figura 5.49.	Resultados práctica de caída libre.....	71
Figura 5.50.	Desviación estándar y error estándar caída libre.....	73
Figura 5.51.	Error aparato caída libre.....	73
Figura 5.52.	Tiempos promedio aceptados caída libre.....	73
Figura 5.53.	Error relativo caída libre.....	74
Figura 5.54.	Error absoluto caída libre.....	74

Figura 5.55.	Valor aceptado para la gravedad en caída libre.....	74
Figura 5.56.	Gráfica altura Vs tiempo caída libre.....	75
Figura 5.57.	Resultados práctica de caída libre grupo DICOPEL.....	75
Figura 5.58.	Resultados práctica de péndulo simple.....	76
Figura 5.59.	Desviación estándar y error estándar péndulo simple.....	78
Figura 5.60.	Error aparato péndulo simple.....	78
Figura 5.61.	Periodo promedio aceptado péndulo simple.....	79
Figura 5.62.	Error relativo péndulo simple.....	79
Figura 5.63.	Error absoluto péndulo simple.....	79
Figura 5.64.	Valor aceptado para la gravedad en péndulo simple.....	80
Figura 5.65.	Gráfica periodo Vs longitud datos experimentales.....	80
Figura 5.66.	Gráfica periodo Vs longitud datos teóricos.....	81
Figura 5.67.	Resultados práctica de péndulo simple grupo DICOPEL.....	81

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción.

A medida que van transcurriendo los años se puede ver claramente cómo han ido evolucionando las diferentes metodologías de estudio de las ciencias básicas en las diversas instituciones educativas. Dicha evolución se ha dado por las notables falencias en el proceso de aprendizaje, debido a que este proceso debe estar acompañado de varias etapas que permiten al estudiante poder aprender los conceptos básicos relacionados con materias como la física, química y otras, que en último momento se convierten en un verdadero dolor de cabeza para la mayoría de los estudiantes, si se abordan únicamente desde la parte teórica.

Partiendo de la necesidad de intermediar en el proceso de aprendizaje y con la ayuda de un grupo de investigación como lo es DICOPED (Diseño y construcción de prototipos para experimentos de demostración), este proyecto tiene como base la necesidad de poder disponer de ayudas didácticas demostrativas de algunos fenómenos físicos que se pueden mostrar en un laboratorio, para con esto y con la ayuda de personal capacitado, tener como meta involucrar al estudiante en un mundo tan amplio como lo es la física. Es importante resaltar que cuando se habla de una necesidad se hace referencia a una necesidad local que se extiende al orden regional y nacional.

La importancia de proyectos como este se basa en la búsqueda de llenar el vacío que se tiene de recursos didácticos para la enseñanza de la física, haciendo uso de los conocimientos adquiridos, la tecnología y la gran cantidad de información de la que se dispone actualmente, llegando a plantear el diseño y construcción de un prototipo autónomo para experimentos de física, con lo que se busca contribuir al montaje de un laboratorio de física I confiable y de fácil comprensión para los estudiantes, profesores y demás personas interesadas en desarrollar las prácticas, corroborar los conceptos y cálculos plasmados en un papel durante su aprendizaje en el aula.

Cabe notar que gran parte de las instituciones educativas no disponen de dichas herramientas debido al alto costo de los equipos de laboratorios que se pueden encontrar en el mercado, además es importante recalcar que no solo es el costo, sino la incapacidad de dar un buen manejo a dichos equipos, por ello la importancia de diseñar y construir prototipos que permitan de forma clara, sencilla y altamente confiable demostrar importantes leyes físicas como lo es la conservación de la energía y del momentum lineal en los choques elásticos.

La realización de este prototipo está inspirada en un prototipo manual, el cual involucra errores no deseados, en la mayoría de los casos no cuantificables, y además no permite asegurar la repetitividad¹. Por ello para el diseño y construcción del prototipo autónomo para la práctica experimental experimentos de física se busca automatizar la práctica haciendo uso de herramientas tecnológicas como los microcontroladores, motores paso a paso, sensores y otros dispositivos electrónicos que permiten asegurar medidas. Otro punto fundamental es realizar una acertada elección de los materiales a usar en la construcción del prototipo teniendo en cuenta las especificaciones didácticas y las condiciones a las cuales va a estar sometido, para que no se convierta en un equipo desechable, además se debe disponer de un manual del usuario y una guía de usuario, con lo cual se asegura que cualquier persona con un conocimiento básico en la materia pueda hacer un buen uso del mismo.

1.2. Resumen del proyecto.

La construcción del prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física, se realizó con el fin de aportar al continuo desarrollo del grupo DICOPED en la búsqueda del desarrollo de equipos autónomos y confiables para la demostración experimental de las leyes físicas en los laboratorios de física. Esta idea nace de la necesidad de mejorar el contexto en el que se desarrollan las prácticas hoy en día en nuestra universidad y en muchas más instituciones educativas de la región y del país, donde se busca aprovechar el conocimiento y los recursos tecnológicos disponibles para realizar equipos de laboratorio.

El prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física parte de la realización de un montaje mecánico donde se acoplan ciertos dispositivos electrónicos previamente seleccionados, entre estos elementos se encuentra un microcontrolador PIC18F452 que es el núcleo del proyecto, debido a que es un dispositivo programable y por ello es el que rige el comportamiento de los demás componentes utilizados como el display LCD, motor PAP unipolar, Teclado 4x3, sensores entre otros.

Parte fundamental del proyecto está basada en la programación del microcontrolador, esta debe realizarse de una forma clara, haciendo énfasis en lograr una buena interacción entre usuario y la máquina por medio del display LCD y el teclado, primeramente se dan las instrucciones al usuario de los pasos que debe seguir para realizar la práctica, y segundo le permite al usuario seleccionar la opción que desea. El motor PAP tiene la función de ubicar la pieza del dispositivo que va a sostener el péndulo simple en el ángulo que el usuario desee.

Además los sensores entran a jugar un papel fundamental en el desarrollo de la práctica, ya que de su buen acondicionamiento depende el resultado obtenido durante la práctica, debido a que son los encargados de generar las interrupciones al PIC18F452 las cuales permiten medir tiempo entre los eventos.

¹ Es la fidelidad de los valores experimentales de una misma magnitud física medidos bajo idénticas condiciones experimentales. Aquí el concepto idéntico incluye el mismo observador, instrumento de medida, lugar y procedimiento así como la cercanía en el tiempo. El concepto de precisión se define muchas veces como repetitividad. [0]

1.3. Justificación.

En la actualidad los procesos de aprendizaje deben ir evolucionando y mejorando día a día, mas aún si se trata de satisfacer y llenar las expectativas de los estudiantes que están en un plantel educativo, o iniciando su carrera universitaria en la que materias como la física, requieren complementarse con laboratorios que deben contar con equipos y herramientas necesarias para asimilar completamente los temas vistos en un aula de clase y de este modo llenar vacíos y facilitar la comprensión de muchos fenómenos físicos.

Aunque los profesores tienen diferentes métodos para la enseñanza estos no son suficientes, pues a medida que transcurren los años, se ha generado la necesidad de comprobar experimentalmente cada uno de los conceptos físicos, con el fin de relacionar la física con la vida diaria y de esta manera generar el gusto por la materia para que entre en sus vidas y de este modo puedan aportar algo positivo a la sociedad.

Pero, en un país como Colombia la situación es complicada, debido a las condiciones económicas actuales y la falta de alternativas en el campo experimental, se hace necesaria la implementación de equipos o prototipos para la verificación de las leyes físicas; claro está que si se reconoce que la educación representa la base fundamental para el desarrollo del país este es un paso que se está dando, por tal motivo quisimos hacer parte del Grupo de Investigación “**Diseño y Construcción de Prototipos para Experimentos de Demostración**” “**DICOPED**”, donde la creación, el diseño y la construcción de prototipos para el estudio de la Física es la finalidad.

Por lo tanto se pensó en la implementación de un equipo multifuncional para la demostración de leyes físicas, el cual proporciona tanto a los profesores y estudiantes facilidad para manipularlo, pues favorece la realización de varias prácticas en una, además por su bajo costo permite que instituciones y universidades puedan adquirirlo.

Cabe notar que estos prototipos ya están inventados, sólo que los han creado en países donde por su alto costo no se puede acceder a ellos.

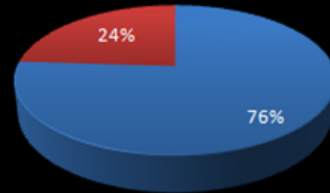
Por último es importante anotar que la utilización de las nuevas tecnologías en la enseñanza está, sin duda, plenamente justificada si se tiene en cuenta que uno de los objetivos básicos de la educación es “la preparación de los jóvenes para ser ciudadanos de una sociedad tecnológicamente avanzada”, por tal motivo se realizó una serie de preguntas a estudiantes que están cursando o han cursado la materia física I y laboratorio de física I, para saber que opinan sobre los equipos de laboratorio que se tienen actualmente en la Universidad Tecnológica de Pereira y que tanto aportan en la comprensión de cada uno de los conceptos físicos.

Los laboratorios de Física I son fundamentales para afianzar los conceptos teóricos vistos en clase, por lo tanto se deben mejorar la calidad de los equipos disponibles en los mismos.	76%
Demás encuestados	24%

Opinión estudiantes de física I de todas las ingenierías

■ Los laboratorios de Física I son fundamentales para afianzar los conceptos teóricos vistos en clase, por lo tanto se deben mejorar la calidad de los equipos disponibles en los mismos.

■ Demás encuestados



CAPÍTULO 2

FORMULACION DEL PROBLEMA

2.1. Planteamiento del problema.

¿Cómo diseñar y construir un prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física?

2.1.1. Problema principal (alcances y limitaciones).

En primer lugar se plantea el diseño de un prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física, para ello fue necesario la asesoría de un ingeniero mecánico que nos permitió realizar una buena elección de los materiales a utilizar en el prototipo teniendo en cuenta a las condiciones que va a estar expuesto, debido al uso por parte de los estudiantes dándonos recomendaciones de construir un equipo robusto, resistente, dinámico y sin dejar atrás que se trata de un instrumento para la enseñanza y por consiguiente debe presentarse de una forma agradable a los sentidos. Pero en si el problema principal del diseño consiste en la distribución bien pensada de los espacios, teniendo en cuenta que cuando se habla de un prototipo para la demostración de una ley física como la de la conservación de la energía y el momentum lineal, caída libre y péndulo simple cada centímetro es importante y no tenerlo presente puede echar a perder todo el desarrollo.

En segunda instancia se procede a la elección de los dispositivos electrónicos teniendo en cuenta los requerimientos del proyecto, aquí es importante destacar la buena elección del núcleo fundamental del proyecto que es el microcontrolador PIC18F452, que dispone de una memoria lo suficientemente grande para poder grabar el archivo fuente que rige el comportamiento del mismo, de esta parte surgen dos nuevos problemas que consiste en la elección del software de programación por medio del cual se procede a realizar el código que permita desarrollar la práctica, teniendo en cuenta que el programador es el que le da la vida al PIC; además se hizo necesario adquirir un quemador de PIC por medio del cual se le ingresa el archivo fuente al microcontrolador. Una vez seleccionado el dispositivo programable se procede a realizar el programa para ello se hace necesario recurrir a diferentes fuentes de información (profesores, libros y tutoriales) con el fin de asegurar una buena estructuración del programa y lograr el resultado esperado.

También surge el problema del montaje mecánico del prototipo teniendo en cuenta que no se disponía ni de las herramientas ni del conocimiento para manejar maquinas mecánicas como el torno, la fresadora, prensa y demás herramientas mecánicas necesarias para llevar a cabo la parte mecánica del proyecto, para ello se recurre a un taller mecánico donde se soluciona este problema con la ayuda de su operario.

2.1.2. Problemas secundarios.

El tiempo que se disponía en el taller para trabajar en el montaje, la dificultad para disponer de ciertos elementos electrónicos (componentes, sensores, instrumentos).

2.1.3. Delimitación.

Este proyecto tiene como finalidad diseñar y construir un prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física, esto significa que estamos hablando de un prototipo multifuncional diseñado con la finalidad de unir 3 prácticas necesarias dentro de un laboratorio de física I, permitiendo así ahorrar espacios dentro del aula en que se van a desarrollar las prácticas y además facilita al estudiante familiarizarse con el prototipo.

El equipo que va a ser construido cuenta con un manual de usuario que permitirá al mismo realizar un buen uso y corregir cualquier inconveniente que se pueda presentar a la hora de usarlo, tanto en el aspecto experimental como en el aspecto técnico. En efecto como se está hablando de un equipo que tiene como finalidad disponerse en un laboratorio de física, se debe tener una guía de laboratorio para cada una de las prácticas que se pueden desarrollar en el equipo, lo que significará que se entregará una guía para cada una de las siguientes prácticas: conservación de la energía y el momentum lineal en choques elásticos, caída libre y péndulo simple.

2.2. Objetivos de la investigación.

2.2.1. Objetivo general.

- Diseño y construcción de un prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física.

2.2.2. Objetivos específicos.

- Diseñar de acuerdo a criterios técnicos, de presentación, didácticos y de materiales, un prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física.
- Realizar haciendo uso de un software de programación un programa que permita programar un PIC18F452 para el control del prototipo.
- Conocer el manejo de cada uno de los dispositivos hardware que se van a implementar en el prototipo.
- Realizar el diseño electrónico para el montaje del prototipo.
- Construir el montaje mecánico para el prototipo.
- Realizar el acople mecánico-electrónico del prototipo.
- Diseñar una guía de laboratorio para la práctica de la ley de conservación de la energía y del momentum lineal en choques elásticos.
- Diseñar una guía de laboratorio para la práctica de caída libre.

- Diseñar una guía de laboratorio para la práctica de péndulo simple.
- Aplicar las guías de laboratorio a un grupo de estudiantes de pregrado.
- Analizar el error de medición con el equipo diseñado y los resultados obtenidos en cada una de las prácticas.
- Evaluar los resultados obtenidos al aplicar las guías de laboratorio.
- Elaborar un manual de usuario para el equipo.

CAPÍTULO 3

ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

3.1. Revisión bibliográfica.

Dentro de la información relacionada con la construcción de prototipos para laboratorios destinados a la demostración de leyes físicas, podemos encontrar variedad de referencias, entre ellas podemos destacar algunas que están próximas a lo que se pretende realizar con el prototipo para la práctica experimental de laboratorios de física. A continuación se referencian algunas de ellas:

3.1.1. Experimento 1 (Base para la realización del proyecto).

Prototipo ley de la conservación de la energía y del momentum lineal [1].

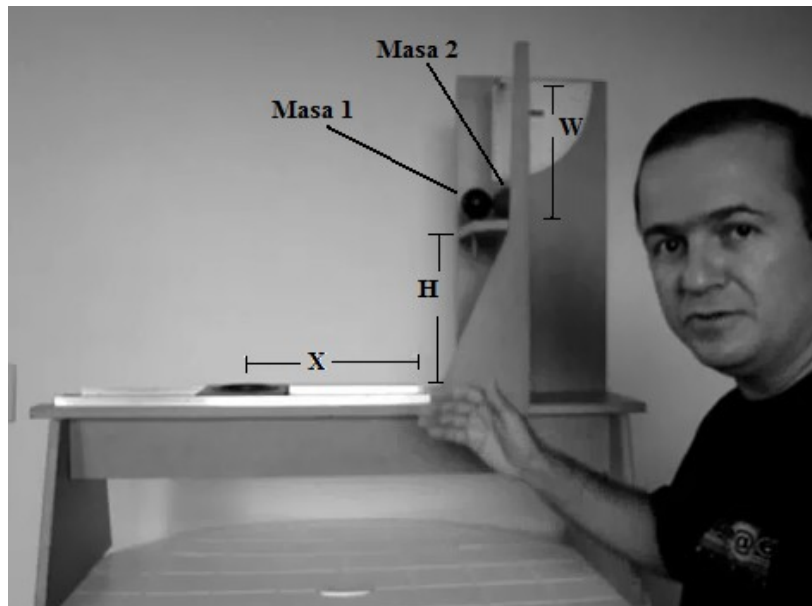


Figura 3.1. Prototipo ley de la conservación de la energía y del momentum lineal [1].

El experimento se compone de una estructura base como la de la *Figura 3.1*. Y consiste en hacer colisionar 2 esferas de igual diámetro y de igual masa, haciendo uso de un péndulo simple, así pues se hace uso de una regleta que permite a la persona ubicar un orificio de caída para la masa que no está asociada con el movimiento pendular.

Para la realización de esta práctica el usuario dispone de una regleta que le permite identificar la altura a la que se encuentra la masa 1, y la longitud del péndulo que forma la masa 2, así mismo el equipo cuenta con un transportador que le permite al usuario dar un ángulo aproximado de desplazamiento al péndulo.

La práctica consiste en dar al péndulo simple un determinado desplazamiento angular, el cual al ser liberado toma cierta velocidad con la que impacta la masa 2, que va a realizar un movimiento semiparabólico y cae en el orificio previamente situado en un punto X el cual se halla relacionando las variables H (altura masa 1), W (longitud péndulo simple) y TETA (desplazamiento angular del péndulo respecto a la vertical) haciendo uso de la mecánica clásica.

Materiales

- Estructura base.
- Péndulo simple.
- Bolas rígidas de igual masa.
- Regla para medir ángulos.

3.1.2. Experimento 2.

Prototipo caída libre grupo DICOPEL [2].

Es un dispositivo que está provisto de una regleta vertical de aproximadamente 85 centímetros de longitud, en el cual se encuentra un carro móvil donde se adhiere un electroimán que permite sostener un balón como se aprecia en la **Figura 3.2**, el cual en el momento de activar un pulsador el campo de este se anula soltando el balón y activando un cronómetro digital. La regleta móvil tiene la ventaja de poder variar la altura del imán.

Posee en la base del prototipo se ubica un sensor de sonido que permite detener la cuenta del cronómetro digital en el momento de caer la partícula.

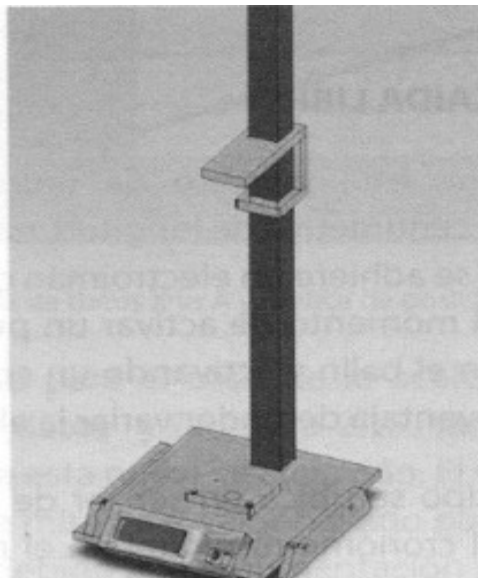


Figura 3.2. Prototipo caída libre grupo DICOPEL [2].

Es de notar que los datos obtenidos con la variación de la altura del dispositivo y el tiempo que demora en caer, nos permiten hacer gráficos de altura en función del tiempo, además de poder utilizar esta información para calcular el valor de la aceleración de la gravedad en nuestro medio.

3.1.3. Experimento 3.

Péndulo simple grupo DICOPED [2].

Es un sistema en el cual se ubica un péndulo que al unísono con una base vertical de 54 centímetros aproximadamente, se le adapta un sensor móvil, con el objetivo de poder variar la longitud del péndulo.

Para el prototipo se ubica una pantalla de cristal líquido LCD la cual nos suministra la información del número de ciclos programados para el péndulo y simultáneamente se puede registrar el tiempo empleado en los ciclos que el usuario programe. En el panel podemos apreciar dos pulsadores, el de la parte superior para determinar el número de ciclos que se van a medir y el de la parte inferior para reiniciar el dispositivo ver *Figura 3.3*.

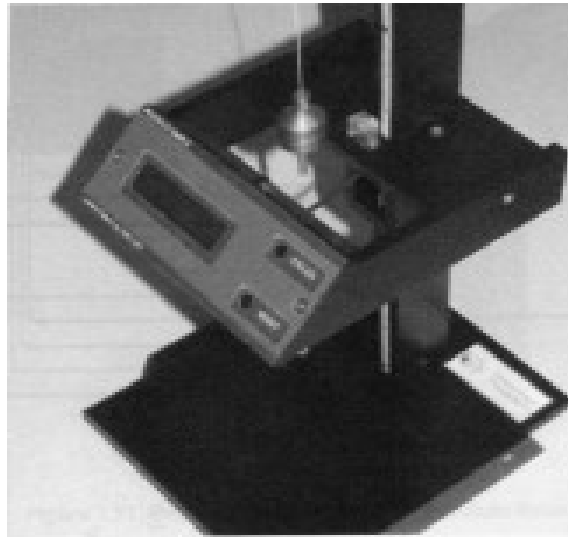


Figura 3.3. Prototipo péndulo simple [2].

La revisión bibliográfica de los prototipos incluidos anteriormente permite tener una idea clara para el desarrollo del prototipo, teniendo en cuenta que el primero hace referencia al experimento realizado de forma manual pero a pesar de esto se obtienen buenos resultados de la práctica, partiendo de esto se pretende automatizar el prototipo haciendo uso de las herramientas electrónicas de las cuales se dispone y que nos permitirán mejorar y lograr cuantificar los resultados obtenidos con la respectiva incertidumbre de medida. Los siguientes 2 montajes son de propiedad del grupo DICOPED y son importantes debido a que contienen varios de los instrumentos que se van a implementar en el prototipo que se va a construir, algunos de esos instrumentos son:

microcontroladores, diferentes tipos de sensores y motores PAP, además es importante tener en cuenta que el uso de ellos ha permitido obtener excelentes resultados en sus respectivas prácticas.

3.2. Marco teórico.

Este proyecto está basado y desarrollado a partir de un prototipo de laboratorio elaborado manualmente, por consiguiente se quiso implementar la tecnología disponible en nuestro entorno buscando automatizar en lo posible dicho equipo, con el fin mejorar las metodologías de aprendizaje de las ciencias básicas como la física en cada una de sus ramas y con ello permitir que los alumnos desarrollen diferentes destrezas y habilidades para comprobar en el laboratorio las leyes físicas, específicamente la ley de conservación de la energía y el momentum lineal en choques elásticos, la caída libre y péndulo simple.

Cuando se habla de automatizar un prototipo se hace referencia al uso de instrumentos tecnológicos que permiten realizar de forma más precisa cierta función que en un principio se hacía manualmente; en el caso del prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física, en la parte de choques elásticos en comparación con el prototipo manual se van a mejorar los siguientes enunciados:

- Ubicación automática del ángulo deseado dando la orden desde un teclado que va directamente asociado con el microcontrolador.
- Medición de tiempo de caída de la bola 1 desde el momento en que empieza su caída describiendo un movimiento semiparabólico, hasta el momento que cae a la base.

En relación con el desarrollo del prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física se van a abordar los siguientes temas de acuerdo a su clasificación:

- Marco teórico conceptual: en el marco teórico conceptual se realizará una descripción que va dirigida a orientar cada uno de los conceptos teóricos necesarios para la realización del prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física, teniendo en cuenta cada uno de los movimientos físicos que se pretende estudiar y demostrar experimentalmente, además de tener en cuenta ciertos factores importantes a la hora de realizar un prototipo para laboratorio como lo es definir el error a la hora de especificar una medida.
- Marco teórico Instrumental: el marco teórico instrumental va dirigido a mencionar algunos de los dispositivos electrónicos que se van a implementar en el prototipo, con el fin de tener claro el funcionamiento básico de los mismos.

3.2.1. Marco teórico conceptual.

3.2.1.1. Ley de la conservación de la energía.

Se puede observar a medida que transcurren los años, que la historia sobre el concepto de energía y la correspondiente ley de conservación, constituye sin duda una de las partes más sorprendentes de la historia de la ciencia.

Se inició en el siglo XVII, con la búsqueda de leyes que reflejarán la indestructibilidad del movimiento del universo, de la cual los científicos mecanicistas de entonces estaban profundamente convencidos. Así surgió paralelamente al concepto de cantidad de movimiento, el concepto de energía cinética y de su conservación en colisiones elásticas. Posteriormente, conforme se identificaban otras formas de energía, el concepto se fue refinando y enriqueciendo, surgió la energía potencial como otra forma de energía mecánica, se reconoció el calor como una manifestación de energía; se investigaron las transformaciones de energía durante procesos químicos y biológicos... y se estableció que la suma total de todas estas formas de energía es constante, de allí la afirmación "la energía, al igual que la materia, no se crea ni se destruye". En el presente siglo se ha encontrado que energía y materia son mutuamente convertibles, por lo que ahora decimos que el total de materia y energía es constante.

Esta ley es una de las leyes fundamentales de la física y su teoría se refiere a:

"la energía no puede ser creada ni destruida. Puede transformarse de una forma a otra, pero la cantidad total de energía siempre permanece constante".

La ley de conservación de la energía afirma que:

- No existe ni puede existir nada capaz de generar energía.
- No existe ni puede existir nada capaz de hacer desaparecer la energía.
- Si se observa que la cantidad de energía varía siempre, será posible atribuir dicha variación a un intercambio de energía con algún otro cuerpo o con el medio circundante. [3]

Este concepto es de gran importancia dentro de nuestro desarrollo conceptual, debido a que es la base de la que se parte para realizar la práctica de colisiones elásticas, teniendo en cuenta que se hace uso directo de la ley de conservación de la energía para encontrar la velocidad final del péndulo en su movimiento al impactar la bola 1, para el desarrollo de la práctica es importante tener en cuenta que:

$$\text{Energía Mecánica Total} = \text{Energía Cinética} + \text{Energía potencial}$$

Partiendo de la anterior ecuación y teniendo en cuenta el siguiente gráfico (ver *Figura 3.4.*) para hacer uso de la definición de Energía mecánica total tenemos que:

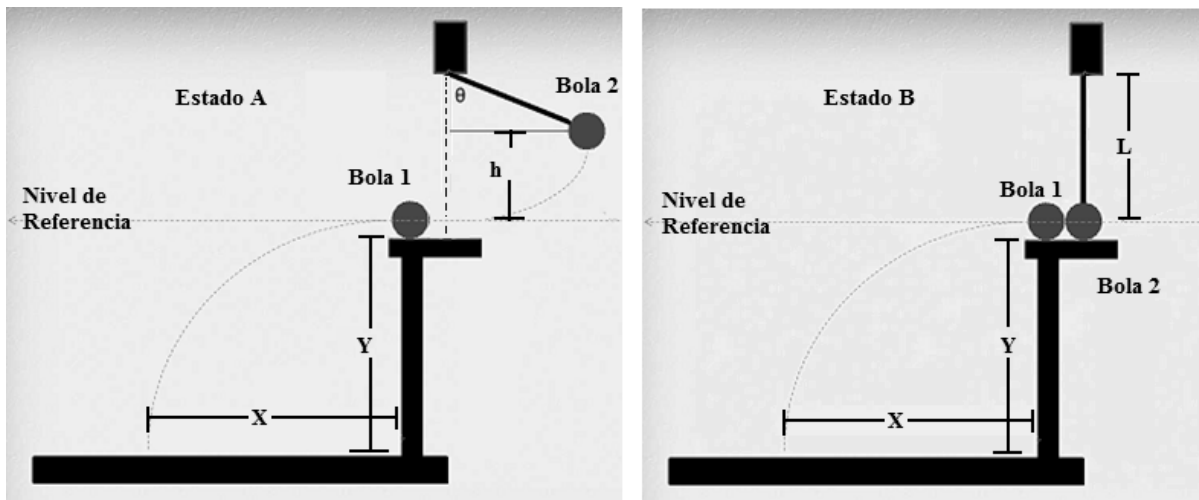


Figura 3.4. Estados del sistema.

$$\text{Energía mecánica total estado A} = \text{Energía mecánica total estado B} \quad (3.1)$$

Esto sería equivalente a decir que:

$$\text{Energía cinética A} + \text{Energía potencial A} = \text{Energía cinética B} + \text{Energía potencial B} \quad (3.2)$$

Realizando el análisis para las energías en cada uno de los estados tenemos que:

En el estado A la energía cinética del péndulo está dada en términos de la masa de la bola 2 y su velocidad, por lo cual debido a que el péndulo se encuentra en reposo sostenido por el electroimán, la energía cinética en dicho estado es cero.

$$\text{Energía Cinética A} = \frac{1}{2} m v_{o2}^2 = \frac{1}{2} m (0)^2 = 0 \quad (3.3)$$

Además tenemos que en el estado A la energía potencial gravitacional para el péndulo simple depende directamente de la masa de la bola 2, de la fuerza de la gravedad que actúa sobre ella y de la altura h a la que se encuentre de la línea de referencia para la energía potencial, por ello en nuestro caso tenemos que la energía potencial del péndulo sería:

$$\text{Energía potencial A} = mgh \quad (3.4)$$

Ahora se procede a realizar el análisis de la energía mecánica total en el estado B, partiendo del estado B ilustrado en la *Figura 3.4.*, en este caso tenemos que el péndulo no se encuentra en reposo sino que tiene una velocidad v_{f2} por lo cual la energía cinética para el péndulo en este punto está dada como:

$$\text{Energía cinética B} = \frac{1}{2} m v_{f2}^2 \quad (3.5)$$

Ahora partiendo del gráfico y teniendo en cuenta la referencia tomada para energía potencial cero tenemos que en el momento de la colisión es decir en el estado B, la energía potencial del péndulo es cero:

$$\text{Energía Potencial B} = mgh = mg(0) = 0 \quad (3.6)$$

Realizando el respectivo reemplazo en la ecuación 1 obtenemos la siguiente expresión:

$$mgh = \frac{1}{2}mv_{f2}^2 \quad (3.7)$$

Simplificando la anterior expresión y despejando la velocidad v_{f2} tenemos que:

$$v_{f2} = \sqrt{2gh} \quad (3.8)$$

Una vez obtenida la velocidad final del péndulo exactamente antes de colisionar con la bola 1, ya que las masas son iguales, al aplicar el principio de conservación de momentum lineal en las colisiones elásticas y asumiendo que la bola 2 entrega toda la energía cinética en la colisión, tenemos que la velocidad inicial de caída para la bola 1 v_{01} es igual a la velocidad final v_{f2} de la bola 2 del péndulo simple en el punto B, por lo tanto:

$$v_{01} = v_{f2} \quad (3.9)$$

3.2.1.2. Choque perfectamente elástico.

En mecánica se hace referencia a un choque perfectamente elástico cuando en él se conserva la energía cinética del sistema formado por las dos masas que chocan entre sí, estas bolas una vez sucedido el impacto deben quedar totalmente separadas es decir chocan y rebotan ver **Figura 3.5**.

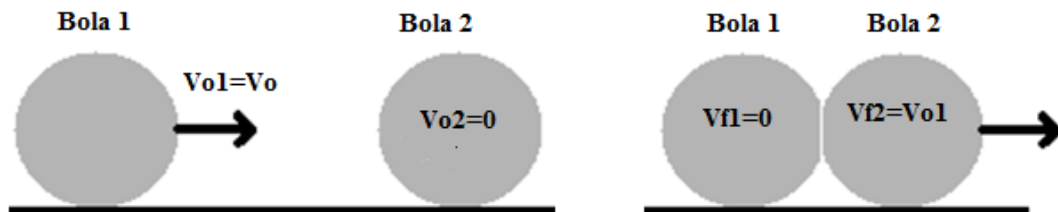


Figura 3.5. Estado inicial de las partículas y momento del impacto.

Para el caso particular en que ambas masas sean iguales, se desplacen según la misma recta y que la masa chocada se encuentre inicialmente en reposo, la energía se transfiere por completo desde la bola 1 a la bola 2, donde la bola 2 pasa del estado de reposo al estado que tenía la bola 1, partiendo de la **Figura 3.5** y suponiendo que la bola 1 y la bola 2 son de igual masa la velocidad inicial de la bola 1 sería igual a v_0 .

En otros casos se dan situaciones intermedias en lo referido a las velocidades de ambas masas, aunque siempre se conserva la energía cinética del sistema. Esto es consecuencia de que el término "elástico" hace referencia a que no se consume energía en deformaciones, calor u otras formas.

Los choques perfectamente elásticos son idealizaciones útiles en ciertas circunstancias, como el estudio del movimiento de las bolas de billar, aunque en ese caso la situación es más compleja dado que la energía cinética tiene una componente por el movimiento de traslación y otra por el movimiento de rotación de la bola.

3.2.1.3. Conservación de la cantidad de momentum lineal en los choques elásticos.

En los choques elásticos no se conserva solamente la energía. También se conserva la cantidad de movimiento. La cantidad de movimiento se conserva en cualquier tipo de choque.

Esto quiere decir que si antes del choque el sistema tiene una cantidad de movimiento de X valor, después del choque también tendrá que haber una cantidad de movimiento de X valor. Es decir, la suma de las cantidades de movimiento antes del choque tiene que ser igual a la suma de las cantidades de movimiento después del choque.[4]

3.2.1.4. Movimiento parabólico.

Se llama movimiento parabólico al movimiento realizado por un objeto en la que su trayectoria describe una parábola, en dicho movimiento es de vital importancia la velocidad y el ángulo con que el objeto es lanzado inicialmente, también es posible demostrar que el movimiento parabólico puede ser analizado como la composición de dos movimientos rectilíneos, un movimiento rectilíneo uniforme horizontal y un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado vertical.

Existen dos tipos de movimiento parabólico:

- El movimiento de media parábola o semiparabólico (lanzamiento horizontal) :

Se puede considerar como la composición de un avance horizontal rectilíneo uniforme y la caída libre (ver *Figura 3.6.*).

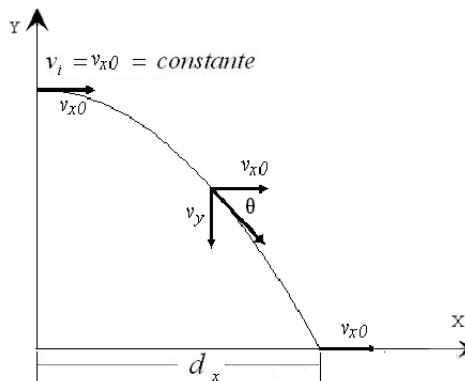


Figura 3.6. Movimiento semiparabólico [5].

- El movimiento parabólico completo ver **Figura 3.7**:
Se puede considerar como la composición de un avance horizontal rectilíneo uniforme y un lanzamiento vertical hacia arriba, que es un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado hacia abajo (MRUA) por la acción de la gravedad.

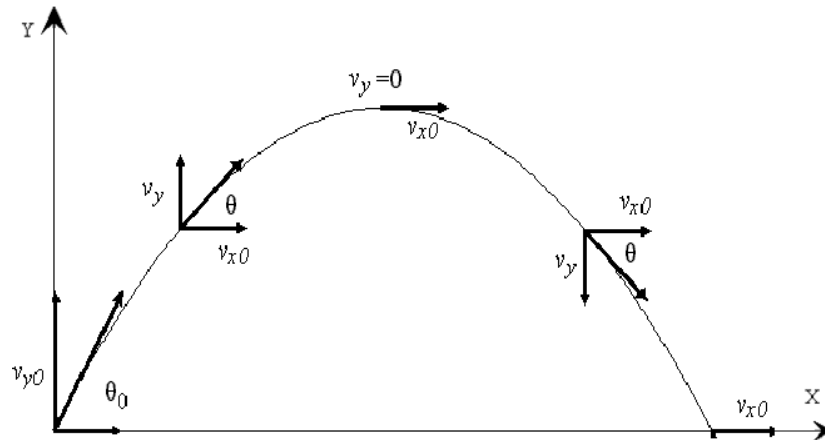


Figura 3.7. Movimiento parabólico completo [5].

En condiciones ideales de resistencia al avance y campo gravitatorio uniforme, lo anterior implica que:

1. Un cuerpo que se deja caer libremente y otro que es lanzado horizontalmente desde la misma altura tardan lo mismo en llegar al suelo.
2. La independencia de la masa en la caída libre y el lanzamiento vertical es igual de válida en los movimientos parabólicos.
3. Un cuerpo lanzado verticalmente hacia arriba y otro parabólicamente completo que alcance la misma altura tarda lo mismo en caer.

Las ecuaciones básicas que permiten realizar el estudio del comportamiento del sistema en el tiempo son las siguientes:

Para el tiempo de caída:

$$t_{caida} = \sqrt{\frac{2y}{g}} \quad (3.10)$$

El alcance horizontal en el movimiento semiparabólico está dado por:

$$d_x = v_{0x} t_{caida} \quad (3.11)$$

3.2.1.5. Caída libre.

El movimiento de caída de objetos es el ejemplo más sencillo y más común de movimiento. Los primeros pioneros de la física tenían una intuición correcta que la caída de objetos era un mensaje directamente desde la naturaleza misma de cómo trabaja el universo [6].

En primer lugar, se va a hablar del concepto de caída libre, pues es un fenómeno que se da en la vida diaria y es de gran importancia debido a que está directamente relacionado con la tendencia de los cuerpos a permanecer sobre la superficie terrestre. Es de notar que en muchas oportunidades se generan ciertos interrogantes alrededor de la caída de un objeto, entre ellos podemos encontrar algunos como: ¿Por qué en algunas ocasiones se piensa que un objeto puede caer más rápido que otro?, ¿Por qué cuando lanzo un objeto no se queda arriba, sino que tiende a dirigirse a la superficie terrestre?, ¿Durante la caída el objeto se acelera?, fue posible dar respuesta a dichos interrogantes gracias al aporte realizado por Galileo hace 400 años, donde explicaba por medio de sus experimentos en planos inclinados y basándose en las mediciones de distancia y tiempo, que el desplazamiento de un objeto que inicialmente está en reposo es proporcional al cuadrado del tiempo en el que el objeto está en movimiento, demostrando de este modo que la aceleración de los objetos que caen en caída libre no cambia y dicha aceleración es equivalente $9.8 \frac{m}{s^2}$ que es el valor aproximado de la gravedad de la tierra a nivel del mar; Cabe notar que el peso, tamaño y forma del objeto no son de interés en la caída libre [3].

Por ende se puede explicar que todo objeto que se mueve solo por la acción de la gravedad es denominado caída libre y su movimiento es descrito por la segunda ley del movimiento de Newton, que estableció en su Ley de Gravitación Universal que los objetos se atraen entre sí de forma directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa[3].

El movimiento de un objeto en caída libre está descrito por la siguiente ecuación:

$$y = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad (3.12)$$

La cual describe el desplazamiento en función del tiempo donde y es la altura en la que el cuerpo se encuentra ubicado antes de ser liberado, a es la aceleración constante debida a la gravedad donde su valor equivale a $g = 9.8 \frac{m}{s^2}$, v_0 es la velocidad inicial del cuerpo y t es el tiempo.

Cabe aclarar que en la ecuación (12) se le asigna el signo positivo a la aceleración porque el cuerpo acelera a medida que cae (hacia abajo), de lo contrario sería negativo (hacia arriba).

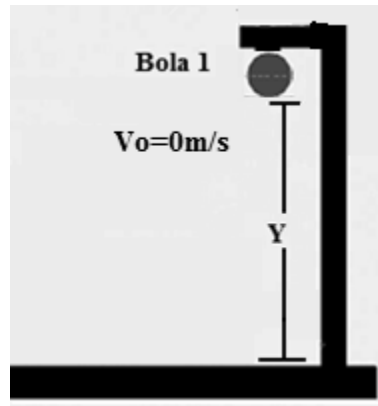


Figura 3.8. Diagrama caída libre [5].

Teniendo en cuenta que el cuerpo parte del reposo (como se ve en la **Figura 3.8.** por lo tanto ya se

tiene el primer parámetro que es $v_0 = 0 \frac{m}{s}$). Además el usuario podrá medir la altura Y, de acuerdo a la información dada anteriormente se procede a reemplazar en la ecuación (12) obteniendo lo siguiente.

Donde la $v_0 = 0 \frac{m}{s}$,

$$y = \frac{g \cdot t^2}{2} \quad (3.13)$$

Se obtiene la siguiente ecuación,

$$\frac{2y}{t^2} = g \quad (3.14)$$

Se reemplaza el dato de la altura y el tiempo arrojado por el equipo durante la práctica y se obtiene el valor experimental de la gravedad.

Profundizando un poco más en el fenómeno de caída libre, se tiene que cuando el objeto es lanzado partiendo del reposo la bola adquiere cierta rapidez conforme cae, la gravedad permite que el objeto se acelere una vez que empiece a descender. Claro está que en la vida diaria se tiene un factor muy importante y se trata de la resistencia del aire pues este afecta considerablemente la aceleración cuando el objeto está cayendo, de acuerdo a esto se puede decir que si el aire no opone resistencia y la gravedad fuese el único factor que afecta la caída de un cuerpo pues se puede decir claramente que el objeto se encuentra en caída libre.

Por otro lado se tienen unas graficas en las que se visualiza el comportamiento de la aceleración; la primera grafica (**Figura 3.9**) de posición – tiempo, la curva indica la existencia de la aceleración, por lo tanto se puede notar que la pendiente es cada vez más negativa, indicando que la velocidad es

cada vez mayor y mas dirigida hacia abajo, esto quiere decir que el movimiento se va haciendo más rápido a medida que transcurre el tiempo [7].

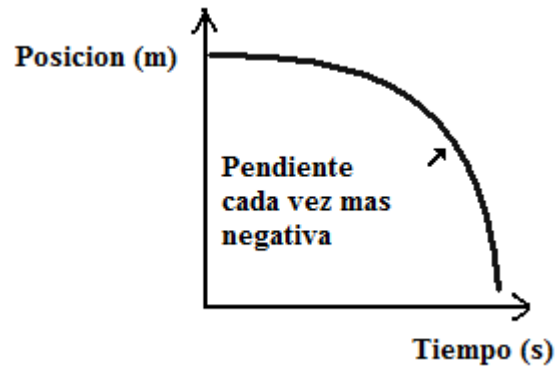


Figura 3.9. Posición contra tiempo caída libre [7].

En la siguiente gráfica (**Figura 3.10**) se observa que su pendiente es cada vez más negativa, pues su forma recta indica que la aceleración es constante, esto quiere decir que la variación de la velocidad en intervalos regulares de tiempo es constante [7].

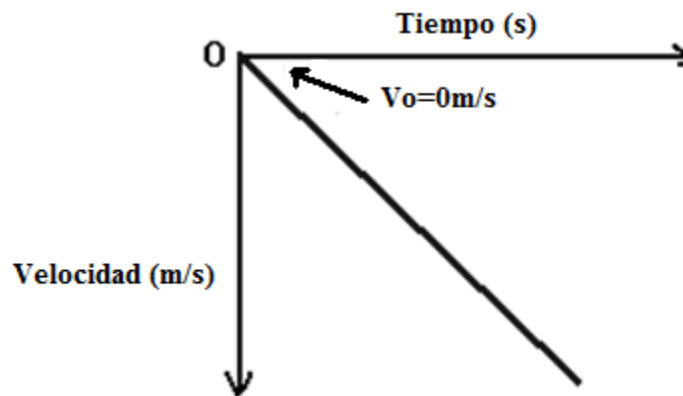


Figura 3.10. Velocidad contra tiempo caída libre [7].

Para finalizar se debe reconocer el valor que tienen los laboratorios, pues son el lugar ideal para que los estudiantes que estén cursando física I, puedan llevar a cabo sus observaciones y prácticas para la verificación de las leyes físicas que rigen el universo, de tal modo entender las aplicaciones para la vida diaria, pues esta facilita métodos racionales y sensatos para entender el mundo que nos rodea, ya que un ser humano que está en la capacidad de comprender lo que está pasando a su alrededor está preparado para sobrevivir y convivir en su entorno [7].

3.2.1.6. Péndulo simple.

El péndulo ha jugado un papel importante en el desarrollo de la ciencia, cultura y sociedad ya que es decisivo en el establecimiento de las leyes de conservación en colisiones elásticas, el valor de la aceleración de la gravedad g , entre otras.

Galileo se interesó en la investigación de péndulos mientras observaba una lámpara colgante en una catedral de Pisa, Italia, mientras él era estudiante universitario. En 1602, comenzó a experimentar con péndulos y descubrió que el período de un péndulo no se ve afectada por la amplitud [9].

El péndulo simple es un cuerpo que consta de una partícula suspendida de una cuerda ligera e inextensible. Cuando se influye o se desplaza a un lado de su posición de equilibrio y se libera, el péndulo oscila en un plano vertical bajo el dominio de la gravedad despreciando la fuerza de rozamiento. El movimiento es periódico y oscilatorio.

Cabe anotar que el periodo es una variable independiente del ángulo inicial, es decir, la cual depende exclusivamente de la longitud del péndulo y de la aceleración de la gravedad [8].

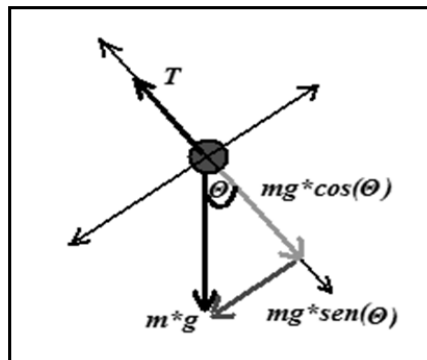


Figura 3.11 Péndulo simple diagrama cuerpo libre.

El sistema de fuerzas que interactúan con la bola está conformado por dos componentes como se observa en la *Figura 3.11*. : la primera componente que se equilibra con la tensión del hilo, así,

$$T = mg \cos \theta \quad (3.15)$$

La segunda, la cual es perpendicular a la anterior por tanto, es la que origina el movimiento oscilante.

$$F = -mg \sin \theta \quad (3.16)$$

Cuando las oscilaciones forman ángulos muy pequeños, se cumple que:

$$\sin \theta \approx \theta \quad (3.17)$$

Por lo tanto basados en la condición anterior se puede llegar a las siguientes expresiones:

$$F = -mg \sin \theta = -mg \theta = -mg \frac{x}{l} \quad (3.18)$$

Con las ecuaciones escritas anteriormente se puede concluir que la fuerza recuperadora, que hace oscilar al péndulo, es función de la elongación x , con lo que se puede afirmar que se trata de un movimiento armónico simple (M.A.S).[9]

Por otro lado se tiene que cuando se va a determinar la aceleración de la gravedad con base en el péndulo simple se debe tener en cuenta los siguientes aspectos.

En la práctica este es parámetro al cual se va a llegar:

$$g = 9.8 \frac{m}{s^2}$$

Utilizando la siguiente ecuación, la cual describe el movimiento armónico simple alrededor de su posición de equilibrio, y su periodo de oscilación en torno de dicha posición.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (3.19)$$

Donde:

l = Longitud del péndulo simple (ver Figura 3.12.).

T = Periodo del péndulo.

Despejando la gravedad se tiene que:

$$\frac{T}{2\pi} = \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$\frac{T^2}{4\pi^2} = \frac{l}{g}$$

Obteniendo el valor de la gravedad,

$$g = \frac{4\pi^2 \cdot l}{T^2} \quad (3.20)$$

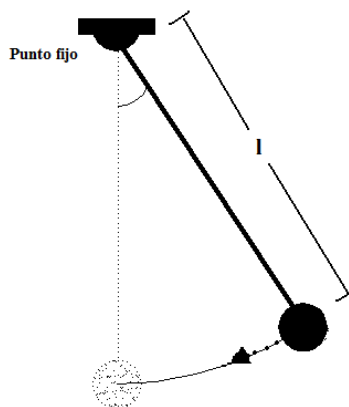


Figura 3.12 péndulo simple.

3.2.2. Marco teórico instrumental.

Dentro del marco teórico conceptual es importante recalcar la importancia de realizar una buena investigación bibliografía de los proyectos que puedan aportar al buen desarrollo instrumental del prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física, teniendo en cuenta que sirven con experiencia para realizar una adecuada elección de los instrumentos a utilizar en la realización del proyecto.

Dentro del marco teórico instrumental se desarrollará una descripción de cada uno de los componentes orientando dicha descripción al desarrollo del prototipo. Es importante recalcar que el orden en que se presentan es independiente de la importancia que tiene cada uno de ellos en el proyecto.

3.2.2.1. Microcontrolador.

¿Qué es un microcontrolador?

Un microcontrolador es un dispositivo electrónico capaz de llevar a cabo procesos lógicos. Estos procesos o acciones son programados en lenguaje C o ensamblador por el usuario, y son introducidos en este a través de un programador [10].

Un poco de historia.

Inicialmente cuando no existían los microprocesadores las personas se ingeniaban en diseñar sus circuitos electrónicos y los resultados estaban expresados en diseños que implicaban muchos componentes electrónicos y cálculos matemáticos. Un circuito lógico básico requería de muchos elementos electrónicos basados en transistores, resistencias, etc.... lo cual desembocaba en circuitos con muchos ajustes y fallos; pero en el año 1971 apareció el primer microprocesador el cual originó un cambio decisivo en las técnicas de diseño de la mayoría de los equipos. Al principio se creía que el manejo de un microprocesador era para aquellas personas con un coeficiente intelectual muy alto; por lo contrario con la aparición de este circuito integrado todo sería mucho más fácil de entender y los diseños electrónicos serían mucho más pequeños y simplificados. Entre los microprocesadores más conocidos tenemos el popular Z-80 y el 8085. Los diseñadores de equipos electrónicos ahora tenían equipos que podían realizar mayor cantidad de tareas en menos tiempo y su tamaño se redujo considerablemente; sin embargo, después de cierto tiempo aparece una nueva tecnología llamada microcontrolador que simplifica aun más el diseño electrónico.

Un microcontrolador es un solo circuito integrado que contiene todos los elementos electrónicos que se utilizaban para hacer funcionar un sistema basado con un microprocesador; es decir contiene en un solo integrado la Unidad de Proceso, la memoria RAM, memoria ROM, puertos de entrada, salidas y otros periféricos ver *Figura 3.13*.

El microcontrolador es en definitiva un circuito integrado que incluye todos los componentes de un computador. Debido a su reducido tamaño es posible montar el controlador en el propio dispositivo

al que gobierna. En este caso el controlador recibe el nombre de controlador empotrado (embedded controller)[11].

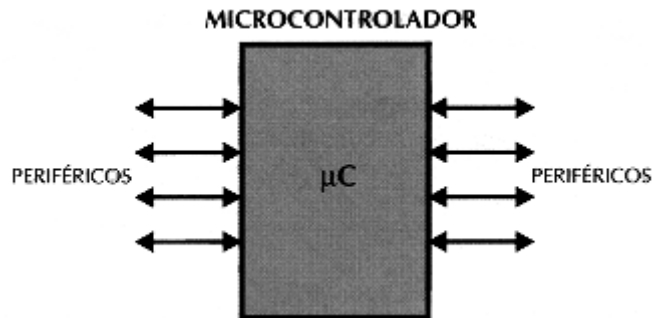


Figura 3.13. Microcontrolador [11].

Los microcontroladores están siendo empleados en multitud de sistemas presentes en nuestra vida diaria, como pueden ser juguetes, horno microondas, frigoríficos, televisores, computadoras, impresoras, módems, el sistema de arranque de nuestro coche, etc. Y otras aplicaciones con las que seguramente no estaremos tan familiarizados como instrumentación electrónica, control de sistemas en una nave espacial, etc. Una aplicación típica podría emplear varios microcontroladores para controlar pequeñas partes del sistema. Estos pequeños controladores podrían comunicarse entre ellos y con un procesador central, probablemente más potente, para compartir la información y coordinar sus acciones, como, de hecho, ocurre ya habitualmente en cualquier PC.

Este dispositivo se puede considerar el núcleo del proyecto debido a que es el instrumento que rige el comportamiento del diseño electrónico, es decir es el cerebro del equipo que se pretende desarrollar, es importante también resaltar que este dispositivo ha sido utilizado en los trabajos realizados previamente por el grupo DICOPED y que las experiencias que se han tenido con dicho dispositivo han llenado las expectativas de poder construir prototipos autónomos y confiables para la realización de prácticas para la demostración experimental de leyes físicas.

3.2.2.2. Motor pasó a paso unipolar.

El motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa que es diseñado para avanzar una serie de grados (pasos) dependiendo de sus entradas de control. El motor paso a paso se comporta de la misma manera que un convertidor digital-analógico y puede ser gobernado por impulsos procedentes de sistemas lógicos. Ver *Figura 3.14*.



Figura 3.14. Motor paso a paso unipolar. [12]

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos.

La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° , es decir, que se necesitarán 50 pasos para lograr dicho recorrido en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° .

Este motor presenta las ventajas de tener alta precisión y repetitividad en cuanto al posicionamiento, proporcionando el ángulo deseado por el controlador [13].

3.2.2.3. Display de cristal liquido LCD.

Una pantalla de cristal líquido o LCD (acrónimo del inglés *Liquid Crystal Display*) es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora. A menudo se utiliza en dispositivos electrónicos de pilas, ya que utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica [14].



Figura 3.15. Display de cristal liquido LCD. [14]

Este dispositivo tiene vital importancia en el desarrollo del prototipo, ya que estamos hablando del componente que va a permitir interactuar visualmente al usuario con el microcontrolador ya que en él se imprimen datos como tiempos, distancias y pasos a seguir para desarrollar una buena práctica el dispositivo tiene la apariencia de la *Figura 3.15*.

3.2.2.4. Teclado matricial 4x3.

El teclado es un dispositivo matricial que permite ingresar determinados datos a un sistema microcontrolado.



Figura 3.16 Teclado matricial 4x3. [15]

Este dispositivo permite al usuario interactuar con el microcontrolador con el fin de dar órdenes generando interrupciones o cambios de estado en los pines del microcontrolador permitiéndole responder con la tarea para la cual fue programado dependiendo de la tecla presionada por el usuario [15] el dispositivo tiene la apariencia de la *Figura 3.16*.

3.2.2.5. Electroimán.

Un electroimán es un tipo de imán en el que el campo magnético se produce mediante el flujo de una corriente eléctrica, desapareciendo en cuanto cesa dicha corriente. Es producido mediante el contacto de dos metales; uno en estado neutro y otro hecho por cables e inducido por electricidad.



Figura 3.17. Electroimán.

Fue inventado por el electricista británico William Sturgeon en 1825. El primer electroimán era un trozo de hierro con forma de herradura envuelto por una bobina enrollada sobre él. Sturgeon demostró su potencia levantando 4 kg con un trozo de hierro de 200 g envuelto en cables por los que hizo circular la corriente de una batería. Sturgeon podía regular su electroimán, lo que supuso el principio del uso de la energía eléctrica en máquinas útiles y controlables, estableciendo los cimientos para las comunicaciones electrónicas a gran escala [16].

Este dispositivo permitirá ubicar la esfera en el ángulo deseado por el usuario sosteniéndola en la posición deseada hasta que se quiera empezar con el movimiento. El dispositivo tiene la apariencia de la *Figura 3.17*.

3.2.2.6. Sensores.

Cuando hablamos de sensores es para referirnos a ciertos dispositivos electrónicos que nos mantienen informados en todo momento de cualquier cambio en el medio en que se encuentran (ver *Figura 3.18.*), es decir antes de que los sensores existieran, la electrónica era comparable a un "ser" ciego, sin oído, sin olfato, sin gusto ni tacto, incapaz de percibir la temperatura, la velocidad, la humedad o cualquier otro estímulo externo. Su capacidad se limitaba a actuar dando respuestas tras ser activado, ignorante de lo que sucedía a su alrededor.

La llegada de los sensores y su progresiva expansión permitió poner en contacto a los aparatos electrónicos con el mundo exterior, dotando de "sentidos" a la tecnología. Con ellos, las máquinas comenzaban a recibir del medio las entradas o inputs de información que, una vez procesada, permite generar la respuesta más adecuada en un momento concreto, ya sea abriendo una puerta, haciendo saltar una alarma, alertando de un movimiento sísmico o poniendo en funcionamiento un aspersor de agua en un invernadero, entre otros muchos ejemplos. Todo ello sin necesidad de ser activadas por la mano del hombre, de una y otra forma ha sido de gran ventaja pues optimiza favorablemente ciertos procesos llevados a cabo en una determinada empresa.

Pero, como era de esperar, la tecnología ha llegado aún más lejos que nuestro sistema sensorial. Los sensores se han convertido en "sentidos ultra perfeccionados" que llegan a lugares a los que nosotros no tenemos acceso, captan imágenes y movimientos con una resolución inimaginable para el ojo humano, y detectan estímulos que nosotros no percibimos, como las ondas electromagnéticas o los ultrasonidos. La información que aportan ha cobrado un valor extraordinario en todos los ámbitos de la actividad humana, desde la alimentación y la medicina hasta la seguridad nuclear o la búsqueda de vida en otros planetas.

Pero, como apuntábamos al principio, los sensores no sólo son una fuente inagotable de información, sino que con ellos la tecnología se "dota" de sentidos. Esto permite desarrollar multitud de aplicaciones de estos dispositivos para la interacción hombre-máquina. [17]

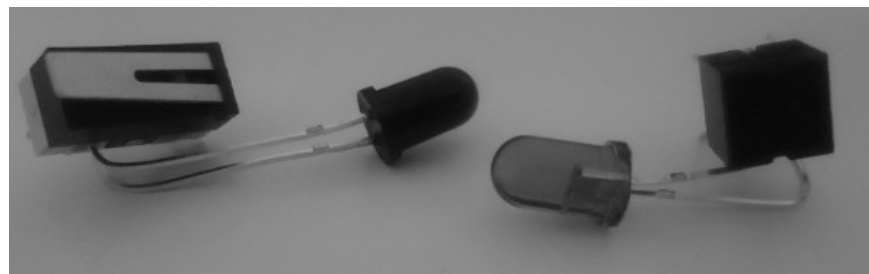


Figura 3.18. Sensores

CAPÍTULO 4

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROTOTIPO AUTÓNOMO PARA LA PRÁCTICA EXPERIMENTAL DE LABORATORIOS DE FÍSICA.

4.1. Descripción general.

Tal y como se ha planteado en los capítulos anteriores, el desarrollo del prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física, busca en primera instancia aportar al desarrollo que se viene presentando por parte del grupo DICOPED al querer construir un conjunto de equipos para la práctica experimental de ciertas leyes físicas, que se presenta como la solución a una necesidad para colaborar en el campo del aprendizaje de la física.

En el desarrollo del prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física, se hace necesario la implementación de los conocimientos adquiridos durante nuestra permanencia en la universidad tecnológica de Pereira, basados en las explicaciones de las leyes físicas que se pretenden demostrar experimentalmente, además se debe tener en cuenta los criterios bajo los cuales se requiere diseñar y construir el prototipo con el cual se pretende dar solución al objetivo de este proyecto.

Además es importante tener en cuenta que a pesar de que se está trabajando en un área que está prácticamente virgen en nuestro país, muchos de estos dispositivos electrónicos ya han sido usados para la elaboración de otros prototipos para laboratorio.

El prototipo autónomo para el desarrollo experimental de laboratorios de física consiste básicamente en un montaje diseñado de tal forma que se puedan trabajar 3 prácticas básicas dentro de un laboratorio de física I, el prototipo consta de varios instrumentos electrónicos que serán nombrados a continuación en la descripción general del hardware. Cada uno de estos instrumentos está dispuesto de tal forma que cumplan la función de permitir al usuario realizar una buena práctica.

4.2. Descripción general del hardware.

A continuación se hará referencia a cada uno de los componentes electrónicos que se van a implementar en el prototipo, y se hará una breve descripción de ellos para dar una idea básica antes de entrar a describir el papel que desempeñará cada uno de ellos dentro del diseño y construcción del equipo.

Los elementos principales que formar el hardware del prototipo son:

4.2.1. Microcontrolador PIC18F452. Es un dispositivo electrónico con la capacidad de ser programado para realizar una tarea específica dentro de un circuito electrónico. Este dispositivo

tiene como propósito ser programado para responder a ciertas tareas predeterminadas por el programador en el código, en este caso su tarea es regir el comportamiento del sistema.

4.2.2. Motor paso a paso unipolar. Estos dispositivos tienen la ventaja sobre otro tipo de motores debido a que son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. De tal forma que es posible usar un controlador que permita ubicar el motor en la posición angular deseada por el usuario.[18]

4.2.3. Sensor de objetos. Las barreras tipo emisor-receptor están compuestas de dos partes, un componente que emite el haz de luz, y otro componente que lo recibe. Se establece un área de detección donde el objeto a detectar es reconocido cuando el mismo interrumpe el haz de luz. Debido a que el modo de operación de esta clase de sensores se basa en la interrupción del haz de luz, la detección no se ve afectada por el color, la textura o el brillo del objeto a detectar. Estos sensores operan de una manera precisa cuando el emisor y el receptor se encuentran alineados. Esto se debe a que la luz emitida siempre tiende a alejarse del centro de la trayectoria [19].

4.2.4. Microswitch (sensor final de carrera). El microswitch es considerado un interruptor momentáneo muy usado en aplicaciones de la industria o en diferentes proyectos debido a sus características de manejo de corrientes altas. Este dispositivo es un encapsulado pequeño que permite debido a su estructura dar fin a un movimiento es decir poner un límite en el momento en que la lamina que tiene en su estructura cierra el circuito [20].

4.2.5. Display LCD. Es un dispositivo electrónico que permite visualizar datos que son capturados a través de la programación a la que es sometido el microcontrolador, es importante su implementación para permitir la interacción usuario maquina.

CAPÍTULO 5

MODELO DE SOLUCIÓN.

5.1. Modelo de solución.

En este capítulo se va a proceder a dar una descripción detallada del prototipo desde su fase de diseño hasta la comprobación de su funcionamiento en el laboratorio. El diseño electrónico del prototipo, desarrollo de la programación, diseño y construcción de la parte mecánica y electrónica forman parte del trabajo que se va a presentar a continuación.

5.2. Diseño mecánico del prototipo.

Se inicia con el planteamiento de un diseño que permitirá tener 3 prácticas en 1, haciendo un uso correcto de los espacios, pensando además en los criterios didácticos a para el desarrollo de equipos de laboratorio, en este caso se tendrá en cuenta la elección de los materiales, ya que por tratarse de un equipo para un laboratorio debe ser un equipo robusto es decir que soporte el uso continuo al que va a ser sometido por parte de sus usuarios sean estudiantes, profesores u otros.

Para ello y por varias experiencias vividas se optó por el acrílico como materia prima principal dentro del diseño, que se refiere a la parte estructural del prototipo, por motivos de peso, resistencia. Además partiendo de diseños de prototipos construidos previamente dentro del grupo DICOPED.

A continuación se realizara la descripción de cada una de las partes estructurales (mecánicas) que componen el prototipo.

5.2.1. La base.

La placa base y soporte del prototipo autónomo para el desarrollo experimental de laboratorios de física es una lámina de acrílico de 10mm de espesor en una forma aproximada a una T (ver **Figura 5.1.**), sus dimensiones fueron fijadas partiendo de un montaje previo realizado en cartón paja con lo cual se pretendía optimizar los espacios en lo que se refería a la ubicación de cada una de las partes adicionales a la base. Además se optó por recurrir a esta forma debido a que permite reducir costos dentro del diseño y además le da una forma atractiva para el usuario.

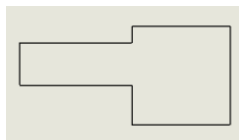


Figura 5.1. Base prototipo. [21]

Una vez construida la base como se observa la **Figura 5.2.** se procede a la realización de los mecanizados que permiten realizar el acople de cada una de las partes necesarias para el montaje del prototipo. Cuando se habla de mecanizados se hace referencia a ciertos procesos para encajar los tubos, ubicar el teclado, el LCD, sensores y la realización del riel sobre el cual se va a desplazar la pieza corrediza (ver **Figura 5.3.**) en el cual va a caer la bola1. Obteniendo lo siguiente:

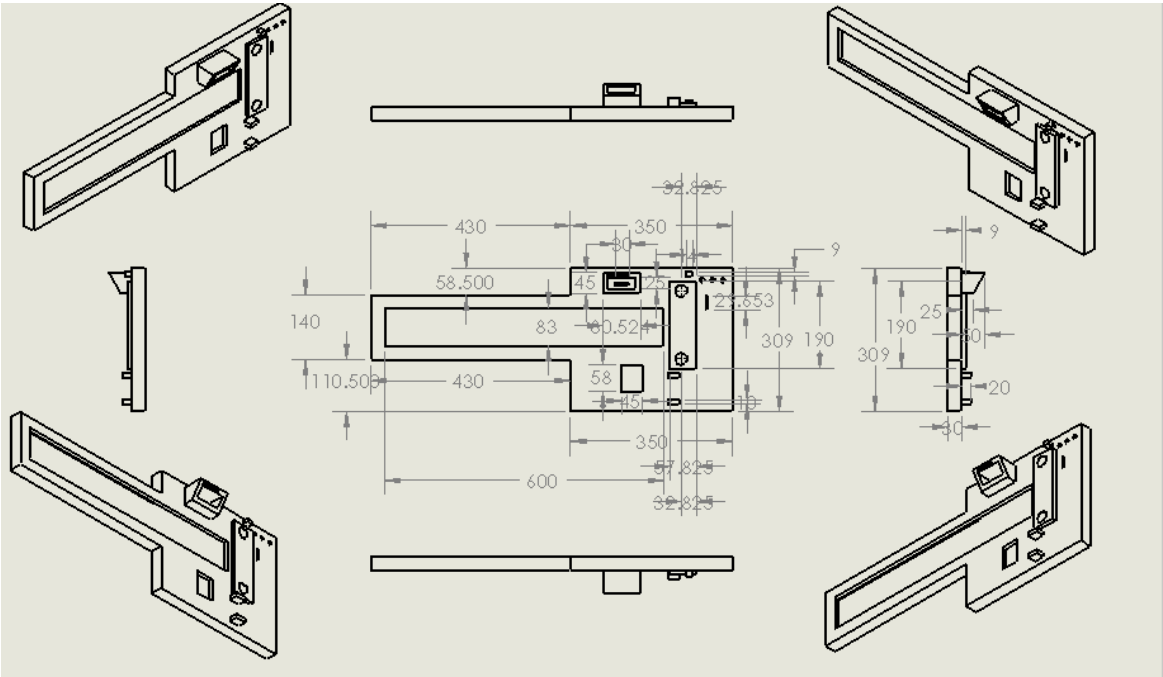


Figura 5.2. Base prototipo mecanizada. [21]

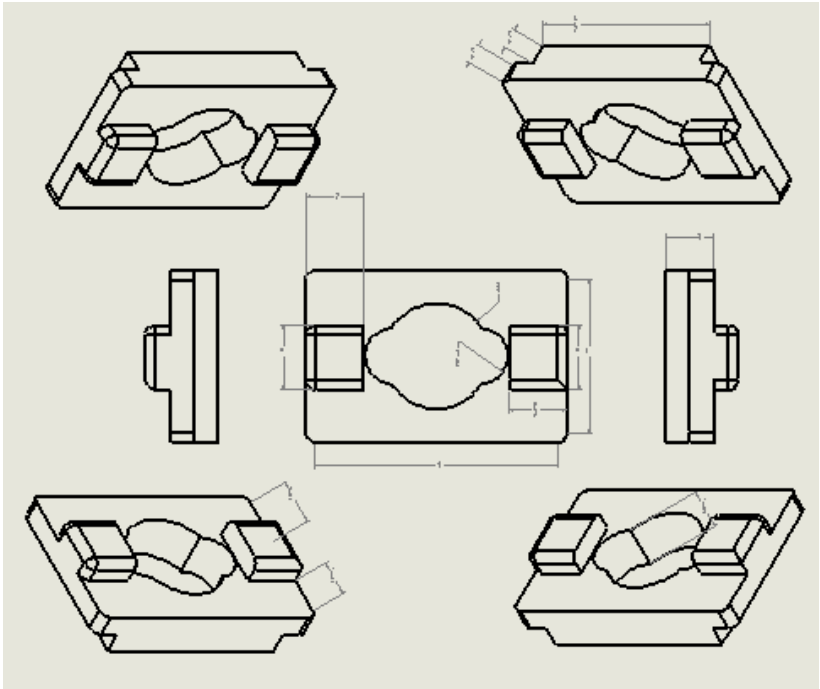


Figura 5.3. Pieza corrediza riel (Base). [21]

5.2.2. Los tubos.

Los tubos usados son tubos de aluminio liso de 1 pulgada de diámetro (ver **Figura 5.4**), este diámetro fue escogido con el fin de darle a el prototipo una buena apariencia para que fueran proporcionales a el tamaño de la base, es decir por motivos de estética, estos tubos se deben ubicar en los orificios de la base que se muestran en la **Figura 5.2** de tal forma que queden perpendiculares a la base, pero paralelos entre ellos. Su longitud es de 70cm y fue determinada de acuerdo a datos teóricos de las prácticas que se van a desarrollar, teniendo en cuenta la longitud máxima a la que puede caer la bola 1 sin salirse de la base, su función consiste en permitir a el usuario cambiar la altura del módulo 1 y el módulo 2 de los cuales se hablará más adelante.

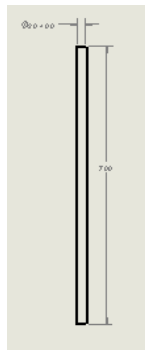


Figura 5.4. Tubos prototipo. [21]

5.2.3. Módulo 1.

Este módulo se construyó de forma independiente lo que le permite al usuario variar su altura respecto a la base. Tiene como función servir de base para la bola 1 que va a salir en movimiento semiparabólico una vez sea impactada por el péndulo simple (bola 2), también en este módulo 1 se encuentra el montaje del electroimán que va a permitir el desarrollo del experimento de caída libre que se encuentra encerrado en una caja (ver **Figura 5.5**), además, en él encontramos 2 sensores (un CNY 70 y un par emisor-receptor IR). También cuenta con una perilla aseguradora para fijarlo a la altura deseada por el usuario. A continuación se muestra el esquema del módulo 1 con sus dimensiones (ver **Figura 5.6**).

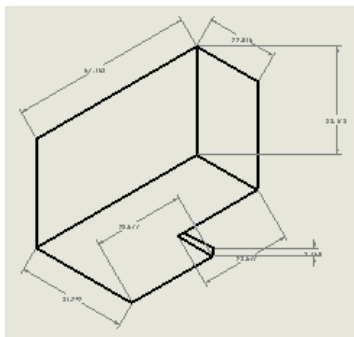


Figura 5.5. Caja para cubrir electroimán caída libre. [21]

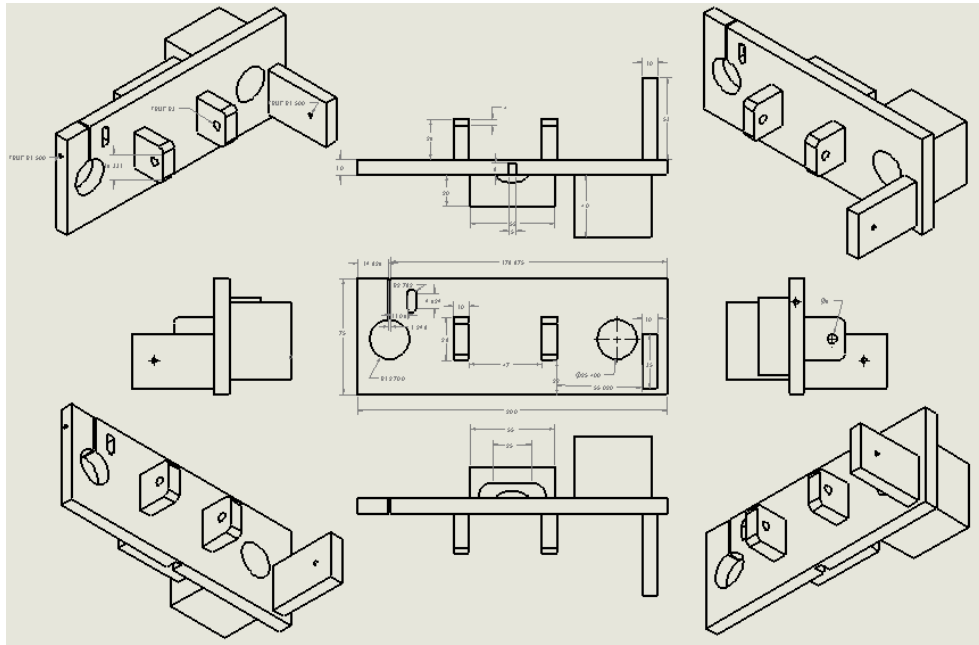


Figura 5.6. Módulo 1 prototipo. [21]

5.2.4. Módulo 2.

Este módulo (ver *Figura 5.7*) se construyó de forma independiente lo que le permite al usuario variar su altura respecto a la base, tiene como función servir de soporte a la estructura del motor paso a paso, también en este módulo 2 se encuentra el montaje del punto de oscilación del péndulo que debe estar coordinado con el eje de giro del motor. A continuación se muestra el esquema del módulo con sus dimensiones.

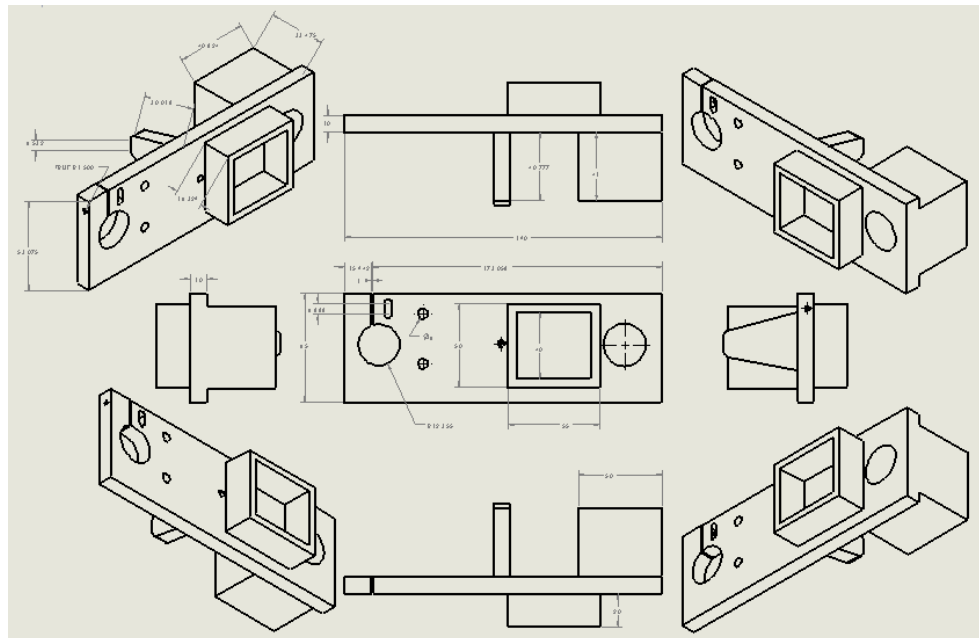


Figura 5.7. Módulo 2 prototipo. [21]

5.2.5. Módulo motor.

Dentro de este módulo (ver **Figura 5.8.**) encontramos el motor paso a paso que es el que permite la ubicación angular para el péndulo simple, consta de un piñón de 120 dientes debido a que el motor tiene una variación de 7.5° por paso y fue necesario aplicar una relación que permitiera un movimiento de 1° por paso, esta relación se encontró de la siguiente forma:

El piñón del motor tiene 16 dientes y entrega 7.5° por paso, por lo tanto debemos encontrar un piñón que entregue 1° por paso, para esto se multiplica el número de dientes del motor por el valor en grados que entrega, así:

$$\#dientes\ piñón = 16 \times 7.5 = 120$$

Además a esta estructura va ligada una platina de aluminio de longitud variable a la cual va sujeto el electroimán que va a sostener el péndulo simple. A continuación se muestra el esquema del módulo con sus dimensiones.

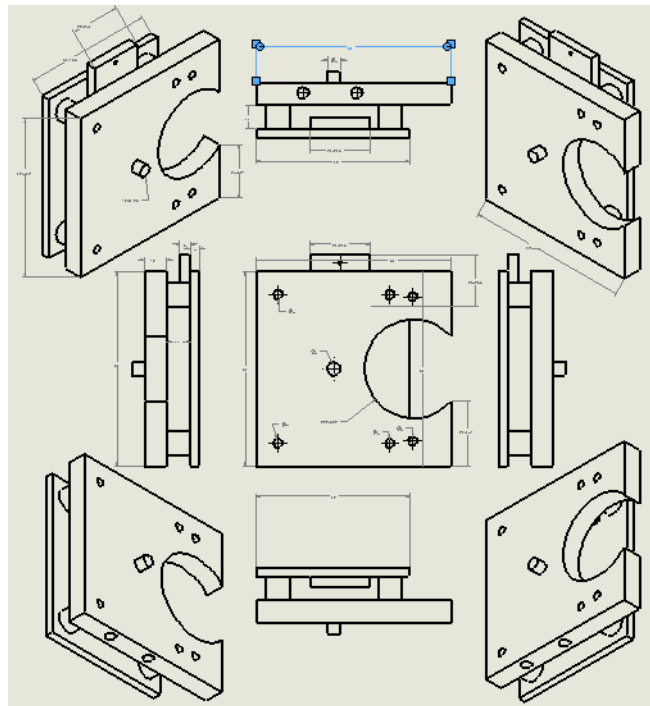


Figura 5.8. Modulo motor. [21]

Una vez mostradas cada una de las partes del prototipo, al realizar el ensamble de ellas se obtiene el resultado mostrado en la **Figura 5.9**.

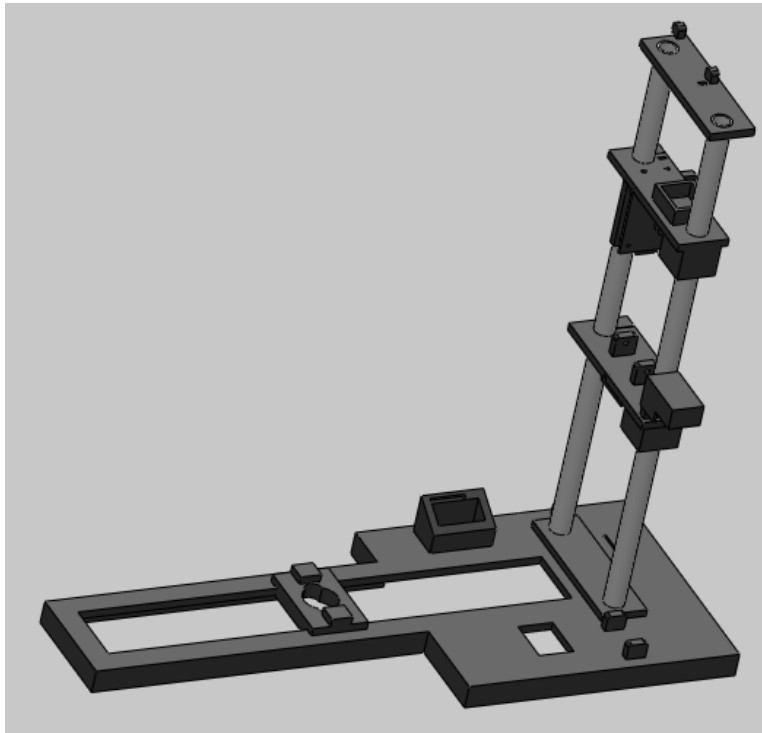


Figura 5.9. Prototipo ensamblado. [21]

5.3. Diseño electrónico del prototipo.

El diseño electrónico del prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física, tiene como núcleo un microcontrolador PIC18F452 que es el encargado de regir el comportamiento de cada uno de los dispositivos electrónicos presentes en el prototipo. Teniendo en cuenta que el PIC es un dispositivo programable se utilizó el programa PCWHD Compiler versión 4.104 para realizar el código fuente para asignar las tareas a cada uno de los pines del microcontrolador, además se hace uso del software de simulación de circuitos electrónicos Proteus de Labcenter Electronics versión 7.7 para simular el funcionamiento de la parte electrónica del prototipo previo al montaje real.

En esta sección se encuentra una descripción de cada uno de los elementos implementados en el desarrollo del prototipo.

5.3.1. Materiales, acondicionamiento y conexiones.

Los elementos fundamentales del proyecto son:

- Dispositivo programable, Microcontrolador PIC18F452
- Motor paso a paso unipolar Mitsumi 7.5° por paso.
- Electroimanes (bobina de un relé de 12V).
- Teclado Matricial 4x3.
- Sensores ópticos (CNY70, emisor-receptor IR).
- Display de cristal líquido (LCD).
- Microswitch (sensor final de carrera).
- ULN2003 (controlador motor unipolar).
- Botón reset.
- Cables telefónicos.
- Resistencias (9-10k Ω , 3-220 Ω , 1-33k Ω).
- Potenciómetro 10k Ω .
- Diodos (2-4n004).
- Cristal 4MHz
- Capacitores (2-22pF y 9-0.1uF).
- Placa de cobre virgen de 15cmx15cm.
- Conectores.
- Estaño.

5.3.2. Microcontrolador PIC18F452.

Inicialmente se escogió el PIC18F452 (ver *Figura 5.10*) porque posee unas características de memoria que permiten almacenar el programa que rige el comportamiento del prototipo para que cada uno de los componentes como lo son el sensor, el motor, el electroimán, teclado etc.

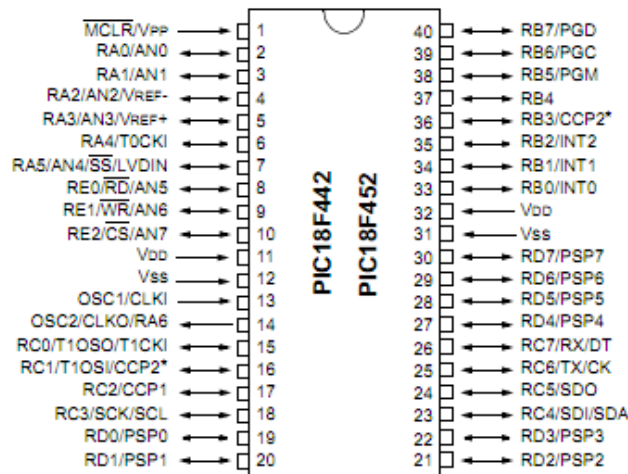


Figura 5.10. Microcontrolador PIC18F452. [22]

El microcontrolador PIC18F452 de microchip pertenece a una familia de microcontroladores de 16 bit con 8 bits (bus de datos). Es muy completo pues cuenta con una Arquitectura Risc avanzada Harvard y otro tipo de características que se pueden encontrar en la hoja de datos del dispositivo, fue seleccionado ya que es un dispositivo altamente eficiente en el uso de la memoria de datos y programa y por lo tanto en la velocidad al ejecutarse. Algunas de sus características son:

MICROCONTROLADORES PIC18F2455, PIC18F2550, PIC18F4455 y PIC18F452

CARACTERISTICAS	PIC18F2455	PIC18F2450	PIC18F4455	PIC18F452
Frecuencia de Operación	Hasta 48MHz	Hasta 48MHz	Hasta 48MHz	Hasta 48MHz
Memoria de Programa (bytes)	24.576	32.768	24.576	32.768
Memoria RAM de Datos (bytes)	2.048	2.048	2.048	2.048
Memoria EEPROM Datos (bytes)	256	256	256	256
Interrupciones	19	19	20	20
Líneas de E/S	24	24	35	35
Temporizadores	4	4	4	4
Módulos de Comparación/Captura/PWM (CCP)	2	2	1	1
Módulos de Comparación/Captura/PWM mejorado (ECCP)	0	0	1	1
Canales de Comunicación Serie	MSSP,EUSART	MSSP,EUSART	MSSP,EUSART	MSSP,EUSART
Canal USB	1	1	1	1
Puerto Paralelo de Transmisión de Datos (SPP)	0	0	1	1
Canales de Conversión A/D de 10 bits	10 Canales	10 Canales	13 Canales	13 Canales
Comparadores analógicos	2	2	2	2
Juego de instrucciones	75 (83 ext.)	75 (83 ext.)	75 (83 ext.)	75 (83 ext.)
Encapsulados	PDIP 28 pines SOIC 28 pines	PDIP 28 pines SOIC 28 pines	PDIP 40 pines QFN 40 pines TQFP 40 pines	PDIP 40 pines QFN 40 pines TQFP 40 pines

Figura 5.11. Características Microcontrolador PIC18F452.[22]

Es importante destacar de sus características ver **Figura 5.11** que cuenta con 13 canales de conversión ADC de 10 bits lo que permitirá obtener unos resultados más exactos comparados con otros PIC que manejan conversión de 8 bits, además es un encapsulado de 40 pines lo que permite gran campo de acción a la hora de las conexiones y dispositivos a manejar.

Además esta prediseñado para responder a 20 interrupciones, lo cual permitirá tener control sobre ciertos acontecimientos importantes que en el momento de programar el PIC son de gran ayuda.

5.3.3. Motor paso a paso unipolar Mitsumi 7.5° por paso.

Como se había comentado previamente el uso de motores paso a paso es de gran utilidad a la hora de posicionar objetos que requieren determinada posición angular.

Los motores paso a paso se pueden ver como motores eléctricos sin escobillas. Es típico que todos los bobinados del motor sean parte del estator, y el rotor puede ser un imán permanente o, en el caso de los motores de reluctancia variable.

La conmutación se debe manejar de manera externa con un controlador electrónico y, típicamente, los motores y sus controladores se diseñan de manera que el motor se pueda mantener en una posición fija y también para que se lo pueda hacer girar en un sentido y en el otro.

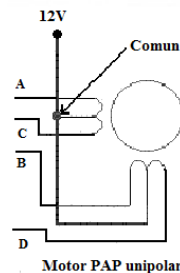


Figura 5.12. Diagrama motor paso a paso unipolar. [23]

Estos motores suelen tener 5 o 6 cables de salida, dependiendo de su conexión interna ver **Figura 5.12**. Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar que los motores paso a paso bipolares. En la **Figura 5.13**. Se puede apreciar un ejemplo de conexión para controlar un motor paso a paso unipolar mediante el uso de un ULN2003, el cual es un arreglo de 8 transistores tipo Darlington capaces de manejar cargas de hasta 500mA. Las entradas de activación (Activa A, B, C y D) pueden ser directamente activadas por un microcontrolador.

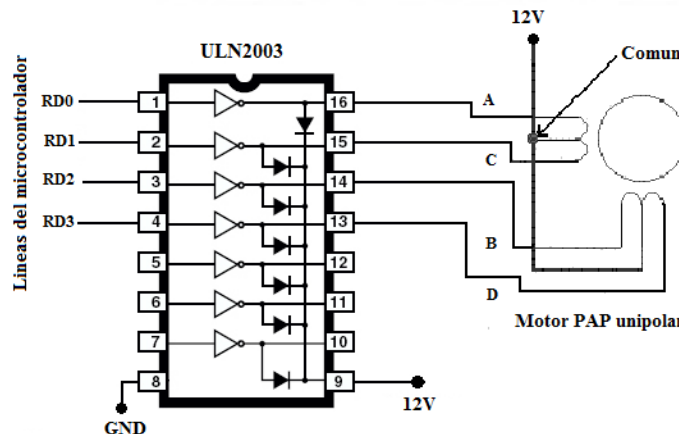


Figura 5.13. Diagrama conexión motor paso a paso unipolar y controlador ULN2003. [23]

5.3.4. Electroimán (Bobina de un relé de 12V).

Ya se había hablado del electroimán en el marco teórico instrumental, su función dentro del prototipo es responder a una orden del microcontrolador en este caso su funcionamiento está limitado a sostener y soltar una esfera cuando se de la orden por parte del usuario, que genera un cambio de estado en un pin del PIC que permite inducir o detener una corriente atreves de la bobina que genera el campo magnético que atrae la esfera.

Una vez se produce la interrupción en el PIC la señal va a un controlador ULN2003 (ver **Figura 5.14.**) que permite controlar los electroimanes. A continuación se muestra el diagrama de conexión desde la salida del PIC hasta lograr el objetivo de controlar las bobinas.

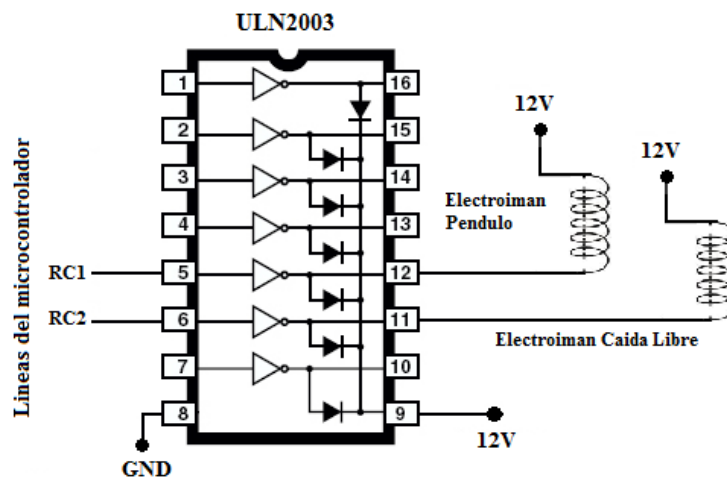


Figura 5.14. Conexiones electroimanes. [23]

5.3.5. Teclado matricial 4x3.

Este dispositivo ya ha sido nombrado en el marco teórico instrumental, se basa en un arreglo matricial y consta de 7 pines de conexión, 4 de ellos pertenecen a las filas y 3 a las columnas. Como se muestra en la **Figura 5.15.**

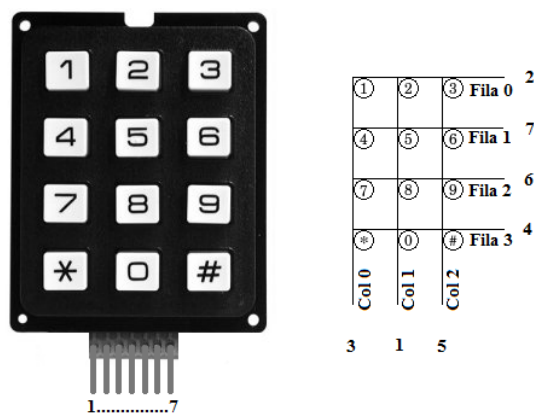


Figura 5.15. Teclado matricial 4x3. [24]

Su función es generar un cambio en los estados del pin del microcontrolador al que están conectados, haciendo uso de la interrupción PULL-UP que dispone el microcontrolador, lo que le permite verificar en que pin se produjo la interrupción y así determinar que tecla es la que el usuario esta pulsando ver **Figura 5.16**.

Teclado Matricial 4x3			
	Pin 3	Pin 1	Pin 5
Pin 2	1	2	3
Pin 7	4	5	6
Pin 6	7	8	9
Pin 4	*	0	#

Conexion Teclado	
rbo	Ninguna
rb1	Pin 1
rb2	Pin 5
rb3	Pin 3
rb4	Pin 2
rb5	Pin 7
rb6	Pin 6
rb7	Pin 4

Figura 5.16. Conexiones teclado 4x3.

Es de gran utilidad en el proyecto ya que por medio de este, el usuario envía las ordenes al microcontrolador para realizar la actividad que el desea, como por ejemplo elegir que práctica a realizar, a que ángulo desea que se ubique el motor, en que momento iniciar el movimiento entre otras.

5.3.6. Sensores infrarrojo (IR).

Este tipo de sensores como se mencionó anteriormente están diseñados especialmente para la detección, clasificación y posicionado de objetos; la detección de formas, colores y diferencias de superficie, incluso bajo condiciones ambientales extremas. Estos sensores tienen variedad de apariencias: led, circuitos integrados, empaquetados, pero todos ellos se caracterizan por disponer de 1 o 2 led, estos pueden tener la apariencia de un LED normal pero la diferencia radica en que la luz emitida por él no es visible para el ojo humano, únicamente puede ser percibida por otros dispositivos electrónicos. Dentro del prototipo se encuentran implementados 2 tipos de sensores infrarrojos:

- Sensor de Objetos CNY70.
- Configuración emisor y receptor infrarrojo.

A continuación se va a tratar cada uno de estos sensores y su disposición dentro del dispositivo.

5.3.6.1. Sensor de objetos CNY70.

El CNY70 (ver **Figura 5.17**) es un circuito empaquetado que se compone principalmente de un emisor y un receptor de luz apuntando en la misma dirección, se caracteriza por tener un rango de

detección de objetos a una distancia de 3 milímetros y su funcionamiento se basa en la capacidad de reflexión del objeto, y la detección del rayo reflejado por el receptor.



Figura 5.17. Sensor de objetos CNY70.

Este sensor cuenta con 4 pines de conexión, dos de ellos corresponden al ánodo y cátodo del emisor y los otros 2 al colector y al emisor del receptor, existen 2 posibilidades de montaje para este sensor las cuales se pueden observar en la **Figura 5.18**.

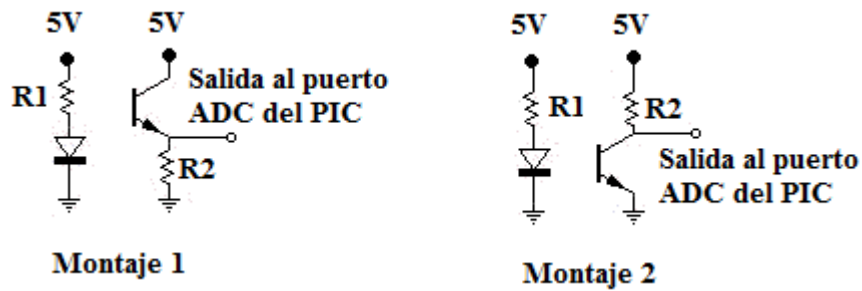


Figura 5.18. Montaje sensor de objetos CNY70. [25]

En el montaje 1 se leerá del emisor un '1' cuando se refleje luz y un '0' cuando no se refleje. Para el montaje 2 los valores se leen del colector, y son los contrarios al montaje 1 ver **Figura 5.18**. El montaje 2 es el que va a ser utilizado en el prototipo con valor de R1 igual a 220 ohm y R2 de 33k ohm **Figura 5.19**.

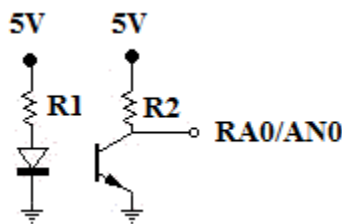


Figura 5.19. Conexión CNY70 al PIC18F452. [25]

Es importante recalcar que este sensor será usado para determinar si la bola 1 que va sobre el módulo 1, y permitirá tener control sobre si la bola fue impactada o no, si no ha sido impactada el

voltaje leído por la entrada ADC del micro controlador será menor a 1V, pero si la bola fue impactada el voltaje en la entrada ADC será mayor a 4V en ese momento el microcontrolador empezara a cronometrar el tiempo de caída de la bola 1 que inicio el movimiento semiparabolico con la velocidad inicial proporcionada por la bola 2 del péndulo simple.

5.3.6.2. Emisor y receptor infrarrojo.

El emisor y receptor infrarrojo se basa en acondicionamiento de un IRLED alineado con un fototransistor, consiste en emisor de rayos infrarrojos que son una radiación electromagnética situada en el espectro electromagnético, en el intervalo que va desde la luz visible a las microondas, y que se caracterizan por ser portadores de calor radiante. Lo que permite su funcionamiento es que la base del fototransistor es reemplazada por un cristal fotosensible que cuando recibe luz, produce una corriente y desbloquea el transistor (ver *Figura 5.20.*).

Es importante destacar que la luz del diodo emisor IR por estar en ese rango del espectro no es visible al ojo humano pero se puede detectar con instrumentos electrónicos como cámaras.

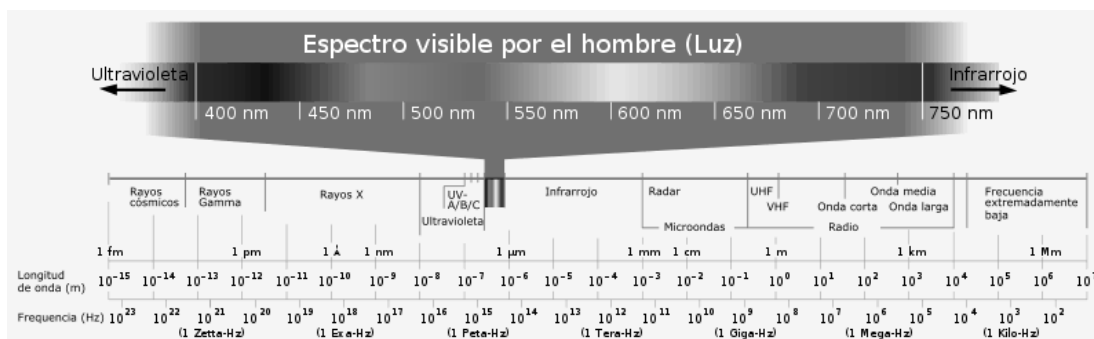


Figura 5.20. Diagrama espectral. [26]

El montaje del emisor y receptor infrarrojo es muy sencillo y se muestra a continuación:

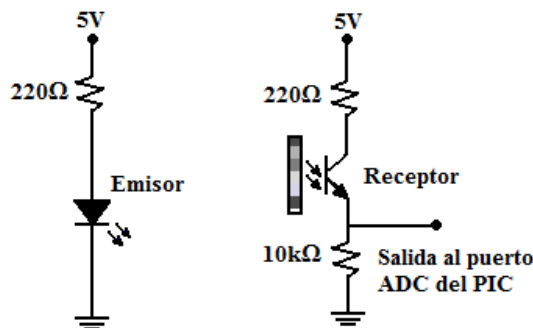


Figura 5.21. Montaje emisor y receptor IR. [27]

Es importante recalcar que el emisor y receptor IR (*Figura 5.21.*) deben estar alineados para su correcto funcionamiento, en el caso del prototipo se van a implementar 3 pares.

El primer par tiene la tarea de generar una interrupción en el PIC para determinar el tiempo de la caída de la bola 1 en el movimiento de caída libre, esta interrupción o cambio de voltaje se produce

en el momento en que la bola 1 interrumpe la interacción entre emisor y receptor, que estarán ubicados en la base del prototipo.

El segundo par tiene como tarea una función similar pero para la práctica de péndulo simple, en este caso la interrupción se genera en el momento en que la bola 2 del péndulo interfiere en la interacción entre emisor y receptor, y estará ubicado en el módulo 1 del prototipo.

El tercero estará acoplado al riel y censará el momento en que la bola 1 termina el movimiento semiparabólico en el movimiento de choques elásticos.

5.3.7. Display de cristal líquido (LCD).

Como se había mencionado anteriormente el display de cristal líquido (LCD) (ver *Figura 5.22*) es un dispositivo electrónico que sirve como interfaz entre usuario y máquina, es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora.

Existen diferentes tipos de LCD, su diferencia se basa en el número de líneas, el número de caracteres por líneas, y en el número de pines que dispone. En este caso se hará uso de un LCD de 2 líneas y 16 caracteres por línea, además cuenta con 16 pines de conexión.

El diagrama de conexión del LCD está dado en la *Figura 5.23* a continuación:

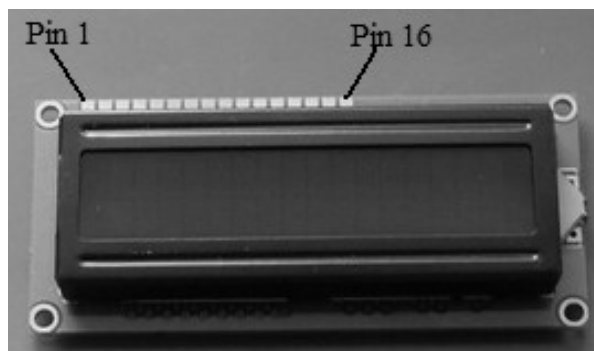


Figura 5.22. Pines LCD. [28]

Pin N°	Símbolo	Detalles
1	GND	Tierra
2	Vcc	Alimentación 5V
3	Vo	Ajuste contraste
4	RS	Control/Dato
5	RW	Leer/Escribir
6	E	Habilitar
7 a 14	Datos	Líneas de datos
15	Vcc	Alimentación luz trasera
16	GND	Tierra luz trasera

Figura 5.23. Descripción pines LCD.

El pin 1 corresponde a tierra, el pin 2 es la alimentación positiva, el pin 3 de maneja un voltaje dependiendo del contraste deseado por el usuario, los pines 4, 5 y 6 son los pines con los cuales se controla el dispositivo en el caso del montaje electrónico del prototipo estos pines corresponden al pin RC5 (RS), RC6 (RW) y RC7 (E) respectivamente. Además del pin7 al pin 14 son las entradas de los datos que definen que carácter se desea imprimir en el LCD en este caso el LDC va a ser controlado únicamente con cuatro entradas de datos que son: D4, D5, D6 y D7 y cada uno de estos pines van conectados a RD4, RD5, RD6 y RD7 en su respectivo orden, por ultimo los pines 15 y 16 permiten el control de la luz trasera, es importante resaltar que no todos los dispositivos disponen de luz de fondo.

5.3.8. Microswitch (sensor final de carrera).

Como se había definido el microswitch es considerado un interruptor momentáneo, en el caso de su uso en el prototipo autónomo para el desarrollo experimental de laboratorios de física, está ubicado de tal forma que en el momento de encenderse el equipo el motor ubique el electroimán en una posición angular de 0° respecto a la vertical. Esto permitirá encontrar el cero y así el usuario podrá proceder a realizar la práctica deseada.

La conexión del microswitch es muy sencilla ya que a pesar de ser considerado un sensor funciona como un interruptor, que se cierra en el momento en que una fuerza actúa sobre una palanca y al presionarla esta cierra el circuito.

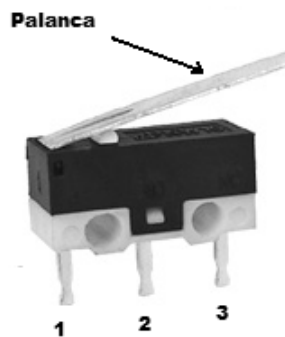


Figura 5.24. Diagrama microswitch. [29]

En la *Figura 5.24.* se muestra el microswitch implementado en la construcción del prototipo, se encuentra ubicado en el módulo motor, su conexión se define así:

PIN	Conexión
1	Tierra
2	Salida al ADC del PIC
3	Vcc-5V

Figura 5.25. Descripción pines Microswitch.

Con la conexión especificada anteriormente (**Figura 5.25.**) se obtiene una salida de 0V al ADC del PIC cuando el circuito está abierto, y de 5V cuando se cierra por la presión de la lámina que soporta el electroimán.

5.4. Diseño del software.

5.4.1. Diseño diagramas de flujo (Programación).

En ANEXO se mostrará en diagramas de flujo el procedimiento correspondiente a la programación realizada para controlar cada uno de los elementos del prototipo. Se debe tener en cuenta que el programa realizado cuenta con varias funciones que permiten controlar posición del motor paso a paso, manejo del menú por parte del usuario, ubicación inicial del motor, entre otros. Los diagramas de flujo se obtuvieron en conjunto con la creación del archivo fuente y la simulación de circuito, esto se debe a que fueron necesarias varias pruebas de simulación hasta obtener el resultado deseado.

Es importante resaltar que cada uno de estos diagramas por separado se juntan dentro del el archivo fuente para obtener el funcionamiento deseado del equipo.

5.4.2. Creación de la programación del PIC.

La programación del PIC se basa en la creación de un archivo fuente en código C, en el cual se definen cada una de las operaciones que debe realizar el PIC durante el tiempo que se encuentre encendido. Una vez se cuenta con dicho archivo fuente se procede a compilar el código haciendo uso del compilador básico CCS versión 4.014, al ser compilado se genera un archivo de extensión “.hex”, este es el archivo que se usa a la hora de quemar el microcontrolador.

Para el desarrollo del archivo fuente fue necesario dominar las reglas, instrucciones y librerías básicas de este lenguaje de programación, para ello utilizaron los conceptos aprendidos durante la carrera, además se hizo uso del archivo “Ayuda” del programa, documentos disponibles en la página web del fabricante, manuales y tutoriales encontrados en línea, así como páginas de foros con ejemplos sencillos.

Además se desarrolló el programa mediante la creación de módulos o librerías destinadas a una función específica, y de esa manera obtener una estructura sencilla, organizada y fácil de interpretar.

Los módulos de los que se compone el programa son los siguientes:

- Programa Principal (Main).
- Posicionamiento motor en cero grados (MotorCero).
- Control del motor (Motor).
- Digital ángulo que se desea (TecladoAngulo).
- Para mostrar el menú y ver que opción se quiere trabajar (TecladoSeleccion).

- Control de las decisiones que quiere el usuario sea continuar, salir o presionar inicio (TecladoContinuar).
- Permite digitar la altura, longitud del péndulo y numero de ciclos que se quiere para la práctica de péndulo simple (TecladoAlturaLongitud).

Esta es la etapa del proyecto donde se especifican las características del dispositivo, tipo de microcontrolador, frecuencia de operación, puertos utilizados como entrada, puertos utilizados como salida, puertos para control de LCD, puertos para indicador numérico, lógica utilizada (lógica positiva o lógica negativa), interrupciones, es por esto que se necesitó llevar a cabo la simulación del circuito, en donde eléctrica y físicamente se definen estas opciones.

5.4.3. Simulación del circuito.

En esta simulación se puede observar cada una de las conexiones correspondientes para el sistema electrónico (ver **Figura 5.26.**), para ello se hizo uso del software de simulación ISIS – Proteus 7 Profesional versión 7.7. Dicha simulación es de gran utilidad ya que permite al programador solucionar errores o mejorar el proceso, además le da una aproximación al funcionamiento físico del circuito.

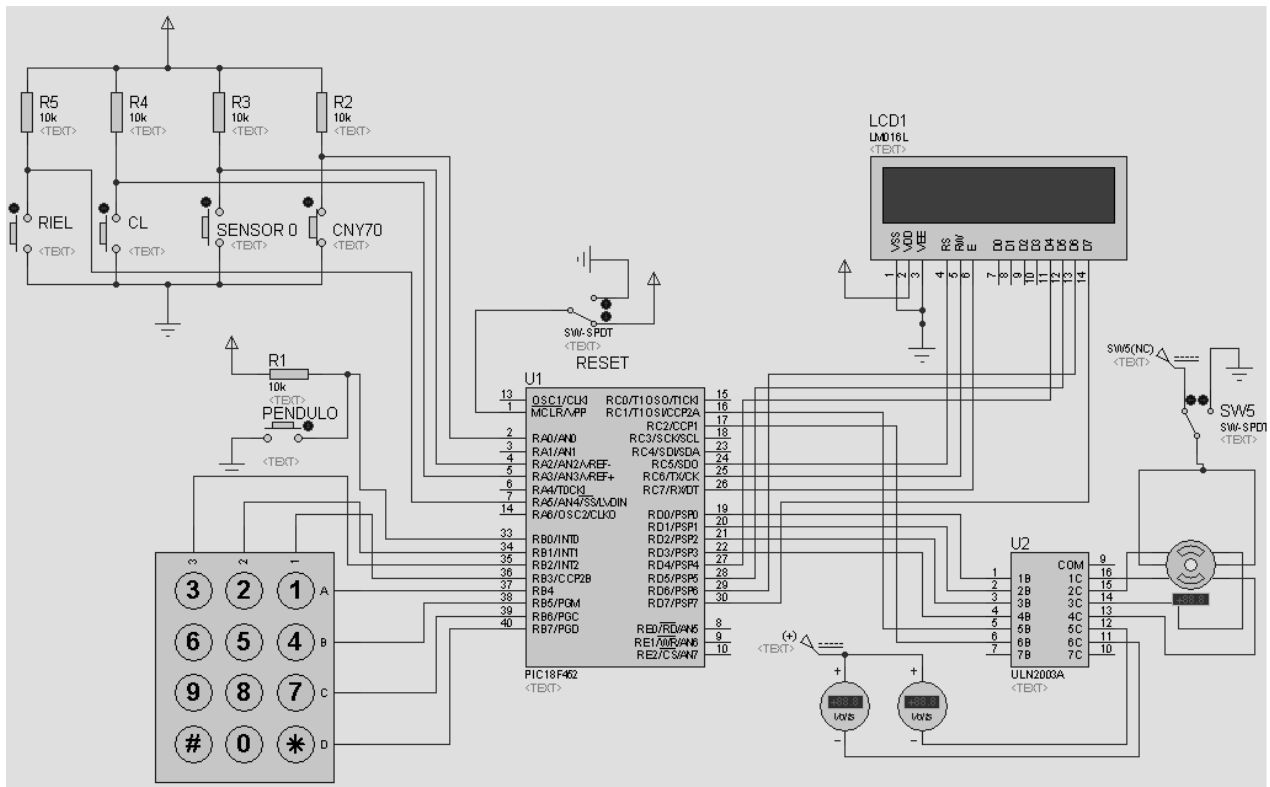


Figura 5.26. Simulación del circuito.

Las características principales de conexión son las siguientes:

- Puerto A: En este puerto se manejan las entradas análogas de los sensores para hacer uso de la conversión ADC que posibilita el microcontrolador.
RA0/AN0: Sensor CNY70.
RA2/AN2: Microswitch.
RA3/AN3: Sensor emisor-receptor IR caída libre.
RA5/AN4: Sensor emisor-receptor IR semiparabólico.
- Puerto B: En este puerto se hace uso de los PULLUP que dispone el microcontrolador para el manejo del teclado matricial, además se habilita la interrupción externa que va asociada al pin RB0.
RB0: Sensor emisor-receptor IR péndulo simple (interrupción externa alto a bajo)
RB1: Pin 1 teclado matricial.
RB2: Pin 5 teclado matricial.
RB3: Pin 3 teclado matricial.
RB4: Pin 2 teclado matricial.
RB5: Pin 7 teclado matricial.
RB6: Pin 6 teclado matricial.
RB7: Pin 4 teclado matricial.
- Puerto C: Al puerto C del PIC van asociadas varias tareas relacionadas con el control de los electroimanes y el control del LCD. Asignadas de la siguiente forma:
RC1: Tierra electroimán péndulo va al pin 5 del ULN2003.
RC2: Tierra electroimán caída libre va al pin 6 del ULN2003.
RC5: Conectado al pin RS del LCD.
RC6: Conectado al RW del LCD.
RC7: Conectado al E del LCD.
- Puerto D: El puerto de tiene como tarea enviar las ordenes al controlador ULN2003 conectado al motor paso a paso, además 4 pines se destinan a el envío de datos al LCD asignadas de la siguiente forma:
RD0: Va conectado al pin 1 del ULN2003.
RD1: Va conectado al pin 2 del ULN2003.
RD2: Va conectado al pin 3 del ULN2003.
RD3: Va conectado al pin 4 del ULN2003.
RD4: Conectado a D4 del LCD.
RD5: Conectado a D5 del LCD.
RD6: Conectado a D6 del LCD.
RD7: Conectado a D7 del LCD.
- Puerto E: No tiene asignada ninguna tarea.

5.4.4. Programación del microcontrolador.

Para realizar el montaje real del circuito simulado, es necesario quemar el microcontrolador, para esto se hizo uso del Programador PIC USB NetUx, este dispositivo dispone de una interfaz gráfica fácil de usar.

Los pasos a seguir para programar el PIC fueron los siguientes:

1. Seleccionar el tipo de familia a la cual pertenece el PIC en este caso sería la familia PIC18F.



Figura 5.27. Cambiar familia a PIC18F.

2. Leer el dispositivo (ver *Figura 5.28.*).



Figura 5.28. Leer el PIC18F452.

3. Verificar el dispositivo (ver *Figura 5.29.*).



Figura 5.29. Verificar el PIC18F452.

4. Borrar la memoria del microcontrolador (ver *Figura 5.30.*).



Figura 5.30. Borrar el PIC18F452.

5. Verificar que la memoria del microcontrolador este vacía (ver *Figura 5.31.*)



Figura 5.31. Verificar si el PIC18F452 está borrado.

6. Cargar el archivo “.hex” siguiendo los pasos mostrados en *Figura 5.32.* , *Figura 5.33.*, *Figura 5.34.*



Figura 5.32. Abrir archivo hex 1.

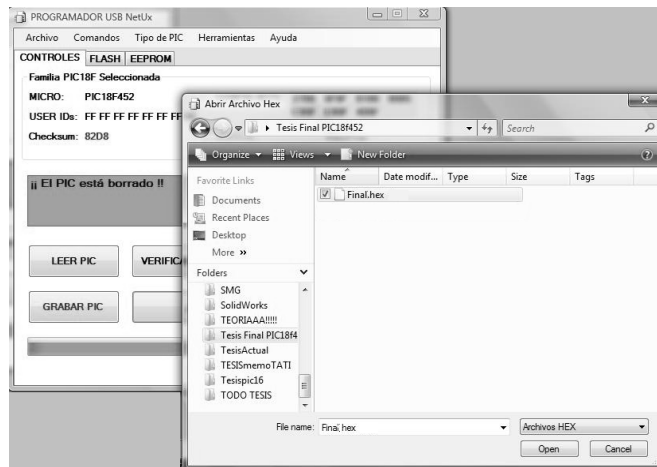


Figura 5.33. Abrir archivo hex2.



Figura 5.34. Abrir archivo hex3.

7. Grabar PIC (ver *Figura 5.35.*).

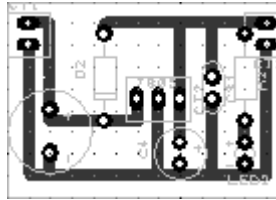


Figura 5.35. Grabar el PIC18F452.

5.5. Diseño tarjeta de circuito impreso (PCB – Printed Circuit Board).

Para el diseño de la tarjeta de circuito impreso se hizo uso del programa realPCB Version 2.0 PCB Layout. Realizando cada una de las conexiones correspondientes y obteniendo como resultado el siguiente diagrama (ver *Figura 5.36.*, *Figura 5.37.*, *Figura 5.38.*).

Vista estándar fuente 5V



Vista Real fuente 5V

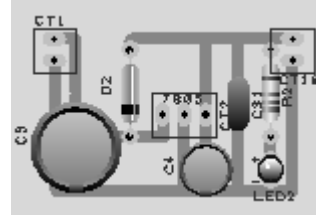


Figura 5.36. Fuente de 5V a partir de 12V.

Vista estándar tarjeta principal.

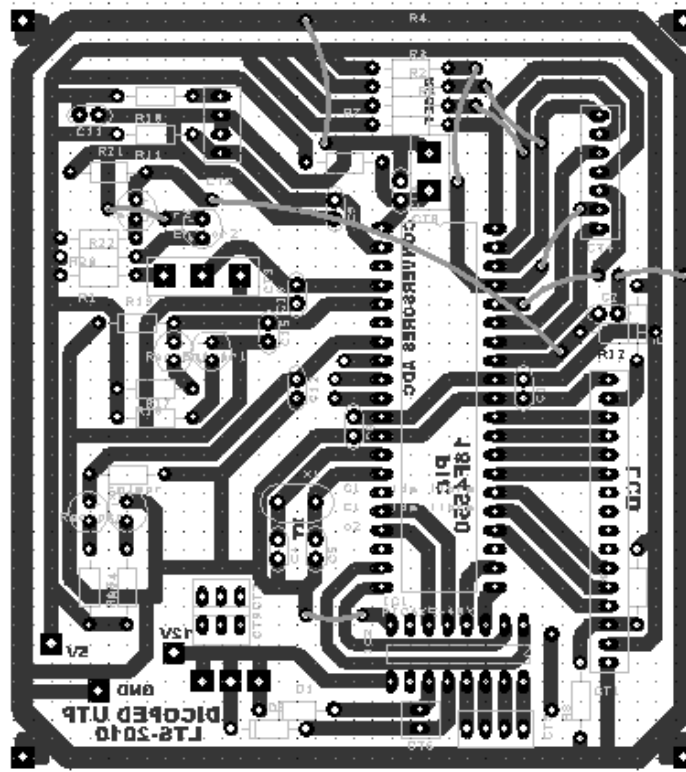


Figura 5.37. Vista estándar PCB.

Vista Real tarjeta principal.

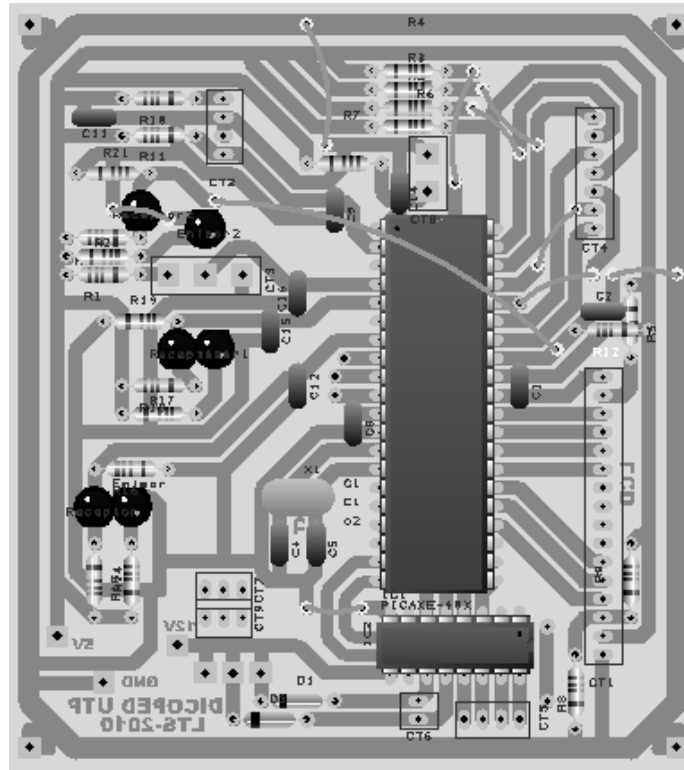


Figura 5.38. Vista real PCB.

5.5.1. Creación de la tarjeta.

La creación de la tarjeta se realizó siguiendo los siguientes pasos:

1. Se imprime el diagrama en vista estándar en papel propalcote con impresora laser.
2. Se plancha el impreso sobre la tarjeta virgen colocando la parte de cobre frente a la parte impresa del papel, utilizando una plancha casera.
3. A continuación se sumerge en agua para quitar el papel restante dejando únicamente las pistas y se procede a sumergirla en la solución de percloruro de hierro y agua esperando aproximadamente 10 minutos.
4. Se limpia la tarjeta y se procede a lijar para quitar la tinta que esta sobre las pistas.
5. Se le aplica una capa de estaño para evitar que se oxide impregnando primero la placa con pomada para soldadura.
6. Se perforan los orificios.
7. Se procede a soldar cada uno de los componentes en su respectiva posición.

5.6. Resultados y discusiones.

A continuación se entrará en discusión acerca de los resultados obtenidos con el prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física, es importante resaltar que se trató de un proceso largo, debido a las dificultades que se presentaron en el desarrollo y acondicionamiento de cada uno de los dispositivos electrónicos y mecánicos presentes en el diseño (ver *Figura 5.39.*).



Figura 5.39. Prototipo Terminado.

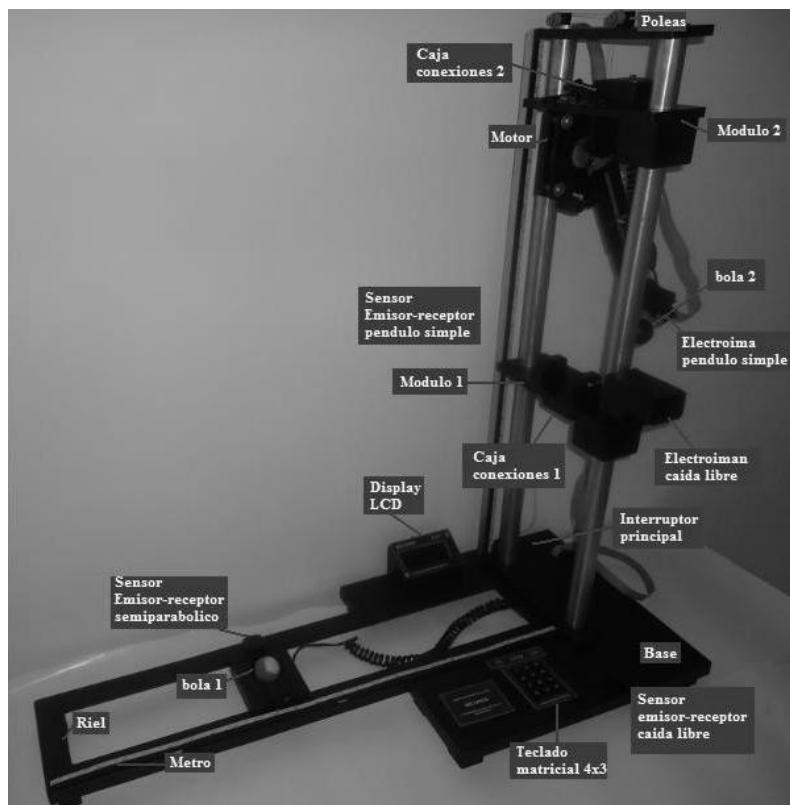


Figura 5.40. Descripción partes del prototipo.

Cabe anotar que el prototipo fue desarrollado para realizar 3 prácticas básicas dentro de un laboratorio de física I, los cuales son:

- Choques elásticos (Conservación de la energía).
- Caída libre.
- Péndulo simple.

Cada una de estas prácticas puede ser desarrollada de forma independiente pero no simultánea, es decir, solo se admite realizar una práctica al tiempo, además se debe tener en cuenta las instrucciones básicas de manejo mencionadas en el **manual de usuario** que va adjunto a este trabajo final.

También es importante anotar que las prácticas fueron realizadas de forma clara, teniendo en cuenta que se trata de un equipo destinado a estudiantes de diferentes niveles académicos (colegios, universidades y otros institutos), y además dichas prácticas fueron realizadas para comprobar la confiabilidad de los resultados obtenidos, teniendo como meta principal la creación de un equipo que permitiera la experimentación de choques elásticos dentro del laboratorio de física I, buscando llegar a resultados experimentales aproximados a los valores teóricos. Por ende haciendo uso de los recursos disponibles y optimizando el diseño, se buscó desarrollar prácticas ya trabajadas por el grupo DICOPED, teniendo como propósito mejorar los resultados obtenidos por medio de los equipos existentes.

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos para cada práctica una vez el equipo fue optimizado, asimismo, se realizará una comparación de los resultados del equipo y los de las prácticas ya existentes.

5.6.1. Resultados de la práctica de choques elásticos.

Como resultado final para la práctica de choques elásticos, se realizó un montaje que permitió el control angular de un péndulo simple haciendo uso de un motor PAP y un electroimán que le permite al usuario asignar un ángulo para el inicio del movimiento (ver **Figura 5.40.**), además se cuenta con un par de sensores (CNY70 ubicado en el módulo 1 y un par emisor-receptor IR situado en la pieza corrediza) que permiten realizar la medición del tiempo una vez la bola 1 es impactada por la bola 2, este tiempo es de gran importancia ya que con su medición se busca demostrar que un cuerpo que cae verticalmente en movimiento de caída libre, tarda el mismo tiempo en caer que un cuerpo que es lanzado horizontalmente con una velocidad inicial diferente a cero. La ubicación de estos sensores se muestra en la **Figura 5.40.** Además el prototipo cuenta con una pieza corrediza (ver **Figura 5.3.**) que se puede desplazar para la caída de la bola 1, y se cuenta con un teclado y un display LCD que permiten al usuario interactuar con el microcontrolador.

A continuación se muestran los datos obtenidos durante el desarrollo de la práctica de choques elásticos.

Practica choques elasticos				t (s)								tprom(s)	g(m/s^2)
Ángulo	Altura(m)	Distancia(m)	Longitud(m)										
20	0,200	0,108	24	0,177	0,175	0,177	0,177	0,177	0,177	0,175	0,176	12,851	
40	0,200	0,212	24	0,189	0,189	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,190	11,114	
60	0,200	0,310	24	0,197	0,196	0,197	0,197	0,197	0,197	0,196	0,197	10,337	
20	0,250	0,120	24	0,204	0,200	0,200	0,200	0,201	0,200	0,199	0,201	12,429	
40	0,250	0,237	24	0,215	0,215	0,215	0,214	0,215	0,215	0,215	0,215	10,831	
60	0,250	0,346	24	0,223	0,223	0,223	0,222	0,223	0,223	0,223	0,223	10,067	
20	0,300	0,132	24	0,223	0,222	0,222	0,224	0,223	0,223	0,222	0,223	12,096	
40	0,300	0,260	24	0,241	0,235	0,235	0,238	0,235	0,237	0,235	0,237	10,721	
60	0,300	0,379	24	0,241	0,245	0,250	0,256	0,248	0,244	0,242	0,247	9,869	
20	0,350	0,142	24	0,242	0,239	0,244	0,243	0,242	0,242	0,242	0,242	11,953	
40	0,350	0,280	24	0,259	0,257	0,256	0,254	0,257	0,255	0,255	0,256	10,669	
60	0,350	0,410	24	0,264	0,260	0,261	0,266	0,261	0,265	0,261	0,263	10,153	

Figura 5.41. Resultados práctica de choques elásticos.

Se puede observar que los datos obtenidos (ver **Figura 5.41.**) son repetitivos lo cual da cierta confianza en la medida ya que se asegura una repetitividad en las mediciones. Asimismo, una vez se muestren los resultados obtenidos en el desarrollo de la práctica de caída libre, se podrá hacer una comparación importante entre el tiempo de caída de ambas prácticas.

Además se puede notar que el valor experimental de la gravedad obtenido es muy cercano a el valor de la gravedad estándar $9,80665 \text{ m/s}^2$ cuando se trabaja la práctica con un ángulo mayor a 40° como se observa en la columna asociada a los valores de la gravedad en la **Figura 5.41.**, es importante resaltar que el valor experimental para la gravedad es calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$g = \frac{2y}{t_{caida}^2} \quad (5.1)$$

Donde y es la altura de la bola 1, en el caso del prototipo se trata de la altura del módulo 1 la cual es medida por el usuario, t_{caida} es el tiempo que demora la bola 1 en caer a la pieza corregida después de ser impactada por la bola 2 y abandonar el módulo 1, este tiempo es entregado por el equipo y g es el valor de la gravedad al cual se pretende llegar de forma experimental.

Partiendo de lo anterior, al realizar los reemplazos en la ecuación 5.1, se obtienen los valores de la gravedad registrados en la última columna de la **Figura 5.41.**, para encontrar el error de la medición se procede a realizar el siguiente análisis con el fin de asegurar la medida, es decir, corroborar que el error obtenido al realizar las mediciones no afecte en gran medida el valor experimental calculado para la gravedad.

Para encontrar el error de la gravedad como primera medida se deben encontrar los errores (error estándar, error del aparato, error relativo, error absoluto) en cada una de las variables medidas, que en este caso serán el tiempo y la altura, se debe tener en cuenta que la resolución del cronómetro esta dado por la configuración del timer0 del PIC, que en este caso es de 0.001s para el tiempo y de 0.001m en el caso de la altura y .

Para determinar el error aportado por la medición del tiempo se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

1. Determinar el error estándar teniendo en cuenta que se define de la siguiente forma:

$$\text{Error estándar: } \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

Donde σ es la desviación estándar, y N es el número de datos (en este caso se tomaron 7 mediciones para cada caso). Partiendo de los datos de la **Figuras 5.41.** se obtuvieron los resultados mostrados en la **Figura 5.42.**

Calculo desviación estandar		t (s)							Desviacion estandar	Error estandar
Ángulo	Altura(m)									
20	0,200	0,177	0,175	0,177	0,177	0,177	0,177	0,175	0,001	0,0003
40	0,200	0,189	0,189	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,000	0,0002
60	0,200	0,197	0,196	0,197	0,197	0,197	0,197	0,196	0,000	0,0002
20	0,250	0,204	0,200	0,200	0,200	0,201	0,200	0,199	0,001	0,0006
40	0,250	0,215	0,215	0,215	0,214	0,215	0,215	0,215	0,000	0,0001
60	0,250	0,223	0,223	0,223	0,222	0,223	0,223	0,223	0,000	0,0001
20	0,300	0,223	0,222	0,222	0,224	0,223	0,223	0,222	0,001	0,0003
40	0,300	0,241	0,235	0,235	0,238	0,235	0,237	0,235	0,002	0,0008
60	0,300	0,241	0,245	0,250	0,256	0,248	0,244	0,242	0,005	0,0018
20	0,350	0,242	0,239	0,244	0,243	0,242	0,242	0,242	0,001	0,0005
40	0,350	0,259	0,257	0,256	0,254	0,257	0,255	0,255	0,002	0,0006
60	0,350	0,264	0,260	0,261	0,266	0,261	0,265	0,261	0,002	0,0008

Figura 5.42. Desviación estándar y error estándar choques elásticos.

2. Ahora encontramos el error del aparato teniendo en cuenta que se define como el cociente entre la resolución del aparato de medida que es 0.001s, y la raíz del número de medidas que es igual a 7.

$$\text{Error aparato: } \frac{0.001}{\sqrt{N}}$$

Donde N es el número de medidas para cada caso, realizando dicha operación para cada una de las mediciones se obtiene como resultado la siguiente tabla (ver **Figura 5.43.**).

Error aparato	1E-04
---------------	-------

Figura 5.43. Error aparato choques elásticos.

3. De la comparación de los numerales 1 y 2 debe tomarse el mayor error para cada caso sea el error estándar o el error del aparato. Una vez realizada esa selección se obtiene el valor aceptado para cada tiempo promedio, como se ilustra en la **Figura 5.44.**

Tiempos promedio aceptados		
Ángulo	Altura(m)	t _{prom} ±Δt(s)
20	0,200	0,176±3E-4
40	0,200	0,190±2E-4
60	0,200	0,197±2E-4
20	0,250	0,201±6E-4
40	0,250	0,215±1E-4
60	0,250	0,223±1E-4
20	0,300	0,223±3E-4
40	0,300	0,237±8E-4
60	0,300	0,247±18E-4
20	0,350	0,242±5E-4
40	0,350	0,256±6E-4
60	0,350	0,263±8E-4

Figura 5.44. Tiempos promedios aceptados choques elásticos.

4. Ahora se realiza el cálculo del error relativo de Δg, definido de la siguiente forma:

$$E_R(g) = \frac{\Delta L}{L} + 2 \frac{\Delta t_{prom}}{t_{prom}}$$

Donde ΔL es la resolución del metro utilizado que es de 0.001m, L es la altura del la bola 1, Δt_{prom} es el error determinado para cada tiempo promedio, y t_{prom} es el tiempo promedio de caída calculado para cada altura. Haciendo los reemplazos correspondientes para cada una de las alturas, se obtienen los siguientes resultados (ver **Figura 5.45.**).

Calculo error relativo		
Ángulo	Altura(m)	Error relativo
20	0,200	0,009
40	0,200	0,007
60	0,200	0,007
20	0,250	0,010
40	0,250	0,005
60	0,250	0,005
20	0,300	0,006
40	0,300	0,010
60	0,300	0,018
20	0,350	0,007
40	0,350	0,007
60	0,350	0,009

Figura 5.45. Error relativo choques elásticos.

5. Una vez calculado el error relativo, se procede a calcular el error absoluto para el valor experimental de la gravedad, obtenido a partir de cada una de las mediciones realizadas en la práctica. Se debe tener en cuenta que el error absoluto esta dado como:

$$\Delta g = gE_R(g)$$

Donde g es la gravedad obtenida en la **Figura 5.41.**. Aplicando la ecuación anterior para cada una de los valores experimentales de la gravedad tenemos que (ver **Figura 5.46.**):

Calculo error absoluto		
Ángulo	Altura(m)	Error absoluto
20	0,200	0,114
40	0,200	0,076
60	0,200	0,070
20	0,250	0,120
40	0,250	0,057
60	0,250	0,052
20	0,300	0,069
40	0,300	0,109
60	0,300	0,179
20	0,350	0,087
40	0,350	0,079
60	0,350	0,093

Figura 5.46. Error absoluto choques elásticos.

6. Finalmente la medida experimental de la gravedad estada dada como:

$$g \pm \Delta g$$

De lo anterior se tiene que los valores experimentales de la gravedad, obtenidos en la práctica de choques elásticos son (ver **Figura 5.47.**):

g±Δg(m/s ²)		
Ángulo	Altura(m)	g±Δg(m/s ²)
20	0,200	12,851±0,114
40	0,200	11,114±0,076
60	0,200	10,337±0,070
20	0,250	12,429±0,120
40	0,250	10,831±0,057
60	0,250	10,067±0,052
20	0,300	12,096±0,069
40	0,300	10,721±0,109
60	0,300	9,869±0,179
20	0,350	11,953±0,087
40	0,350	10,669±0,079
60	0,350	10,153±0,093

Figura 5.47. Valor aceptado para la gravedad en choques elásticos.

Podemos observar que los errores obtenidos para la gravedad, nos indican que es un valor confiable, teniendo en cuenta que a pesar de que la gravedad obtenida para ángulos menores de 40° el valor no es muy aproximado al de la gravedad estándar, a pesar el error absoluto calculado errores no supera la unidad, lo que indica que se obtuvo un valor experimental con un margen de error muy pequeño.

Una vez determinado el error asociado a él calculo experimental de la gravedad, se procede a realizar el tratamiento a los datos que se tienen, con el fin de determinar si son confiables o no, esto se estableció efectuando una regresión lineal a los datos, obteniendo como resultado que la dispersión de los datos es aproximadamente uno lo cual significa que los datos son muy confiables, además de la grafica también se puede observar un comportamiento esperado teniendo en cuenta que la altura y el tiempo de caída son dos magnitudes directamente proporcionales lo cual se puede apreciar claramente ya que a mayor altura el tiempo de caída de la bola 1 es cada vez mayor.

Practica choques elasticos				
Ángulo	Altura(m)	tprom(s)	ΔAltura(m)	Δt(s)
20	0,200	0,176	0,001	0,0003
20	0,250	0,201	0,001	0,0002
20	0,300	0,223	0,001	0,0002
20	0,350	0,242	0,001	0,0006
40	0,200	0,190	0,001	0,0001
40	0,250	0,215	0,001	0,0001
40	0,300	0,237	0,001	0,0003
40	0,350	0,256	0,001	0,0008
60	0,200	0,197	0,001	0,0018
60	0,250	0,223	0,001	0,0005
60	0,300	0,247	0,001	0,0006
60	0,350	0,263	0,001	0,0008

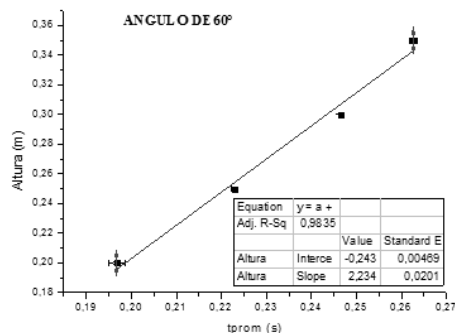
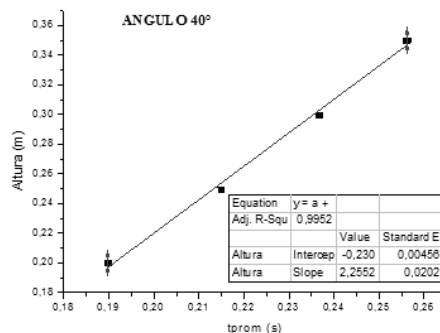
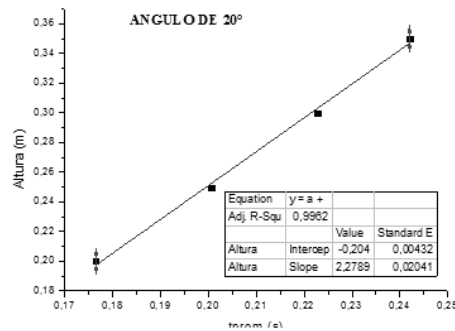


Figura 5.48. Grafico altura Vs tiempo para los diferentes ángulos.

Asimismo una vez comprobado que los resultados son confiables, se procede a realizar la comparación correspondiente entre los valores obtenidos en la práctica de choques elásticos y la práctica de caída libre haciendo uso del prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física. Como se puede observar el valor obtenido durante ambas practicas se asemeja una vez el ángulo del péndulo simple en el movimiento de choques elásticos es mayor a 40° , para los desplazamientos angulares menores a este valor los resultados no corresponden como se esperaba teóricamente. Los datos obtenidos en la práctica de caída libre se pueden ver en la **Figura 5.49.**

Se puede observar que en los resultados obtenidos en la práctica de choques elásticos, el porcentaje de error de la gravedad obtenida experimentalmente respecto al valor teórico de la gravedad estándar oscila entre 0% y 5% para los ángulos mayores a 40° , lo cual nos permite decir que se obtuvo un valor aceptable en comparación con los resultado obtenidos para la practica de caída libre, ya que en esta práctica se presentan más fuentes de error para la medición de cada una de las variables involucradas (tiempo, ángulo, altura), es decir, se mantienen en un margen de error más pequeño que se encuentra entre 0% y 1% alrededor del valor estándar de la gravedad.

5.6.2. Resultados de la práctica de caída libre.

Como resultado final para la práctica de caída libre, se acondicionó parte del prototipo con un electroimán situado en el módulo 1 y un par emisor-receptor IR situado sobre la base(ver **Figura 5.40.**) y alineado con el nivel 0 asignado al prototipo. La práctica consiste en suspender la bola 1 una vez el electroimán este energizado y cronometrar el tiempo de caída cuando el usuario elija la opción inicio, hasta que la bola 1 interfiera entre el par emisor-receptor IR. El prototipo está construido de tal forma que el usuario tenga acceso al valor del tiempo de caída una vez es mostrado en el display LCD. Además en el **manual de usuario** se muestran los pasos para el desarrollo de la práctica.

A continuación se muestran los datos obtenidos durante el desarrollo de la práctica de caída libre.

Calculo del valor de la gravedad a traves del prototipo de caida libre						
Datos: Precisión en la longitud=0,001m, en medida de t=0,001s						
	L1= 0.1(m)	L2=0.2(m)	L3=0.3(m)	L6 =0.35 (m)	L4=0.4(m)	L5=0.5(m)
t(s)=	0,143	0,201	0,246	0,269	0,286	0,321
	0,143	0,201	0,247	0,268	0,292	0,318
	0,143	0,201	0,247	0,269	0,286	0,324
	0,143	0,201	0,249	0,268	0,286	0,321
	0,143	0,201	0,246	0,269	0,286	0,318
	0,143	0,201	0,247	0,269	0,283	0,321
	0,143	0,201	0,249	0,269	0,287	0,317
	0,141	0,201	0,247	0,269	0,286	0,317
	0,143	0,201	0,247	0,268	0,286	0,324
	0,143	0,201	0,247	0,269	0,285	0,319
	0,143	0,203	0,251	0,268	0,285	0,318
	0,143	0,201	0,251	0,267	0,283	0,325
	tprom(s)=	0,143	0,201	0,248	0,269	0,286
g(m/s ²)=	9,803	9,884	9,769	9,710	9,786	9,750

Figura 5.49. Resultados práctica de caída libre.

Se puede observar que al igual que en la práctica desarrollada en el numeral anterior, los resultados obtenidos demuestran la repetitividad de las medidas que brinda el prototipo construido, además se puede notar que el valor experimental de la gravedad obtenido es muy cercano a el valor de la gravedad estándar $9,80665 \text{ m/s}^2$, además es importante resaltar que el valor experimental es calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$g = \frac{2y}{t_{caida}^2} \quad (5.2)$$

Donde y es la altura de la bola 1, en el caso del prototipo se trata de la altura del módulo 1, la cual es medida por el usuario, t_{caida} es el tiempo entregado por el equipo una vez la bola 1 toca la superficie y g es el valor de la gravedad al cual se pretende llegar de forma experimental.

Partiendo de lo anterior, al realizar los reemplazos en la ecuación 5.2, se obtienen los valores de la gravedad registrados en la parte inferior de la **Figura 5.49.**, para encontrar el error de la medición se procede a realizar el siguiente análisis con el fin de asegurar la medida, es decir, corroborar que el error obtenido al realizar las mediciones no afecte en gran medida el valor experimental calculado para la gravedad.

Para encontrar el error de la gravedad como primera medida se deben encontrar los errores (error estándar, error del aparato, error relativo, error absoluto) en cada una de las variables medidas, que en este caso serán el tiempo y la altura, se debe tener en cuenta que la resolución del cronómetro esta dado por la configuración del timer0 del PIC, que en este caso es de 0.001s para el tiempo y de 0.001m en el caso de la altura y .

Para determinar el error aportado por la medición del tiempo se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

1. Determinar el error estándar teniendo en cuenta que se define de la siguiente forma:

$$\text{Error estándar: } \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

Donde σ es la desviación estándar, y N es el número de datos (en este caso se tomaron 12 mediciones para cada altura). Partiendo de los datos de la **Figuras 5.49.** se obtuvieron los resultados mostrados en la **Figura 5.50.**

Calculo desviaciones estandar						
t(s)	L1= 0.1(m)	L2=0.2(m)	L3=0.3(m)	L6 =0.35 (m)	L4=0.4(m)	L5=0.5(m)
t 1	0,143	0,201	0,246	0,269	0,286	0,321
t 2	0,143	0,201	0,247	0,268	0,292	0,318
t 3	0,143	0,201	0,247	0,269	0,286	0,324
t 4	0,143	0,201	0,249	0,268	0,286	0,321
t 5	0,143	0,201	0,246	0,269	0,286	0,318
t 6	0,143	0,201	0,247	0,269	0,283	0,321
t 7	0,143	0,201	0,249	0,269	0,287	0,317
t 8	0,141	0,201	0,247	0,269	0,286	0,317
t 9	0,143	0,201	0,247	0,268	0,286	0,324
t 10	0,143	0,201	0,247	0,269	0,285	0,319
t11	0,143	0,203	0,251	0,268	0,285	0,318
t12	0,143	0,201	0,251	0,267	0,283	0,325
Desviacion estandar	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,003
Error estandar	2E-04	2E-04	5E-04	2E-04	7E-04	9E-04

Figura 5.50. Desviación estándar y error estándar caída libre.

2. Ahora encontramos el error del aparato teniendo en cuenta que se define como el cociente entre la resolución del aparato de medida que es 0.001s, y la raíz del número de medidas que es igual a 12.

$$\text{Error aparato: } \frac{0.001}{\sqrt{N}}$$

Donde N es el número de medidas para cada caso, realizando dicha operación para cada una de las mediciones se obtiene como resultado la siguiente tabla (ver **Figura 5.1.**).

Error aparato	8E-05
----------------------	-------

Figura 5.51. Error aparato caída libre.

3. De la comparación de los numerales 1 y 2 debe tomarse el mayor error para cada caso sea el error estándar o el error del aparato. Una vez realizada esa selección se obtiene el valor aceptado para cada tiempo promedio, como se ilustra en la **Figura 5.52.**

Tiempos promedio aceptados						
	L1= 0.1(m)	L2=0.2(m)	L3=0.3(m)	L6 =0.35 (m)	L4=0.4(m)	L5=0.5(m)
tprom(s)	0,143±2E-4	0,201±2E-4	0,248±5E-4	0,269±2E-4	0,286±7E-4	0,320±9E-4

Figura 5.52. Tiempos promedio aceptados caída libre.

4. Ahora se realiza el cálculo del error relativo de Δg , definido de la siguiente forma:

$$E_R(g) = \frac{\Delta L}{L} + 2 \frac{\Delta t_{prom}}{t_{prom}}$$

Donde ΔL es la resolución del metro utilizado que es de 0.01m, L es la altura de la bola 1, Δt_{prom} es el error determinado para cada tiempo promedio, y t_{prom} es el tiempo promedio de caída calculado para cada altura. Haciendo los reemplazos correspondientes para cada una de las alturas, se obtienen los siguientes resultados (ver **Figura 5.53.**).

	L1= 0.1(m)	L2=0.2(m)	L3=0.3(m)	L6 =0.35 (m)	L4=0.4(m)	L5=0.5(m)
Error relativo	0,012	0,007	0,008	0,004	0,007	0,007

Figura 5.53. Error relativo caída libre.

5. Una vez calculado el error relativo, se procede a calcular el error absoluto para el valor experimental de la gravedad, obtenido a partir de cada una de las mediciones realizadas en la práctica. Se debe tener en cuenta que el error absoluto esta dado como:

$$\Delta g = gE_R(g)$$

Donde g es la gravedad obtenida en la **Figura5.49.** Aplicando la ecuación anterior para cada una de los valores experimentales de la gravedad tenemos que (ver **Figura 5.54.**):

	L1= 0.1(m)	L2=0.2(m)	L3=0.3(m)	L6 =0.35 (m)	L4=0.4(m)	L5=0.5(m)
Error absoluto	0,122	0,067	0,074	0,043	0,072	0,072

Figura 5.54. Error absoluto caída libre.

6. Finalmente la medida experimental de la gravedad estada dada como:

$$g \pm \Delta g$$

De lo anterior se tiene que los valores experimentales de la gravedad obtenida de la práctica de caída libre son (ver **Figura5.55.**):

	L1= 0.1(m)	L2=0.2(m)	L3=0.3(m)	L6 =0.35 (m)	L4=0.4(m)	L5=0.5(m)
$g \pm \Delta g(m/s^2)$	9,803±0,122	9,884±0,067	9,769±0,074	9,710±0,043	9,786±0,072	9,750±0,072

Figura 5.55. Valor aceptado para la gravedad en caída libre.

Podemos observar que los errores obtenidos para la gravedad, nos indican que es un valor confiable, teniendo en cuenta el rango dentro del que se encuentra la medida, y que dichos errores no superan la unidad, lo que indica que se obtuvo un valor experimental con un margen de error muy pequeño.

Una vez determinado el error asociado a él calculo experimental de la gravedad, se procede a realizar el tratamiento a los datos que se tienen, con el fin de determinar si son confiables o no, esto se estableció efectuando una regresión lineal a los datos, obteniendo como resultado que la dispersión de los datos es aproximadamente uno lo cual significa que los datos son muy confiables, además de la grafica también se puede observar un comportamiento esperado teniendo en cuenta que la altura y el tiempo de caída son dos magnitudes directamente proporcionales lo cual se puede apreciar claramente ya que a mayor altura el tiempo de caída de la bola 1 es cada vez mayor.

Calculo de la gravedad grafico L vs t			
t(s)	L(m)	$\Delta L(m)$	$\Delta t(s)$
0,143	0,100	0,001	0,0002
0,201	0,200	0,001	0,0002
0,248	0,300	0,001	0,0002
0,269	0,350	0,001	0,0002
0,286	0,400	0,001	0,0002
0,320	0,500	0,001	0,0002

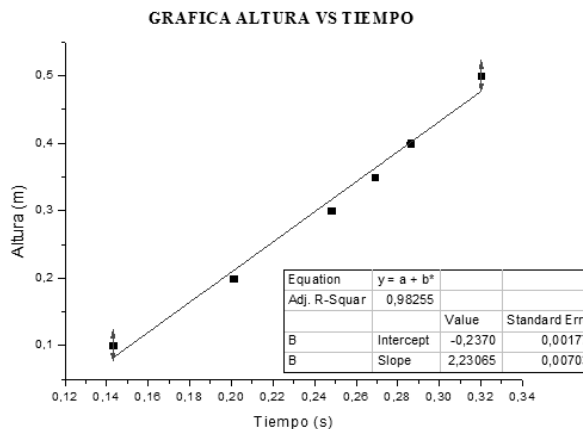


Figura 5.56. Grafica altura Vs tiempo caída libre.

Asimismo una vez comprobado que los resultados son confiables, se procede a realizar la comparación correspondiente entre los valores obtenidos con el prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física y el prototipo de caída libre del grupo DICOPED. Tomando en cuenta el valor de la gravedad obtenido experimentalmente con cada uno de los equipos (ver **Figura 5.49.** y **Figura 5.57.**).

Calculo del valor de la gravedad a través del prototipo de caída libre (DICOPED)						
Datos: Precisión en la longitud=0,001m, en medida de t=0,001s						
t(s)=	L1= 0.1(m)	L2=0.2(m)	L3=0.3(m)	L4 =0.4 (m)	L5=0.5(m)	L6=0.6(m)
	0,141	0,201	0,246	0,285	0,319	0,350
	0,143	0,201	0,247	0,285	0,319	0,349
	0,141	0,202	0,246	0,285	0,319	0,349
	0,141	0,201	0,247	0,285	0,319	0,350
	0,141	0,200	0,246	0,285	0,319	0,349
	0,142	0,201	0,246	0,285	0,319	0,349
	0,141	0,201	0,247	0,285	0,319	0,349
	0,141	0,201	0,248	0,285	0,319	0,349
	0,141	0,201	0,247	0,285	0,319	0,349
tprom(s)=	0,141	0,201	0,247	0,285	0,319	0,349
g(m/s ²)=	10,02	9,901	9,859	9,849	9,827	9,841

Figura 5.57. Resultados práctica de caída libre grupo DICOPED.

Se puede observar que en los resultados obtenidos con el equipo del grupo DICOPED, el porcentaje de error de la gravedad obtenida experimentalmente respecto al valor teórico de la gravedad estándar oscila entre 0% y 2%, lo cual nos permite decir que los resultados obtenidos con el prototipo desarrollado en este proyecto son más precisos ya que se mantienen en un margen de error más pequeño que se encuentra entre 0% y 1% alrededor del valor estándar de la gravedad.

5.6.3. Resultados de la práctica de péndulo simple.

Como resultado final para la práctica de péndulo simple, se hizo uso del motor PAP y del electroimán para ubicar el péndulo en la posición deseada para el desarrollo de la práctica, además

se acondicionó un sensor a partir de un par emisor-receptor IR (ver *Figura 5.40.*) para generar una interrupción cada vez que el péndulo pase entre ellos con el fin de cronometrar la duración del periodo del péndulo, permitiéndole también al usuario definir previamente el número de ciclos a cronometrar, una vez cumplido el número de ciclos a cronometrar el tiempo medido será mostrado en el display LCD. Además en el **manual de usuario** se muestran los pasos para el desarrollo de la práctica.

A continuación se muestran los datos obtenidos durante el desarrollo de la práctica de péndulo simple (ver *Figura 5.58.*).

Cálculo de la gravedad por medio del péndulo simple								
	L(m)= 0,17				L(m)= 0,20			
t(s)	1 T	2 T	3 T	10 T	1 T	2 T	3 T	10 T
t 1	0,816	1,634	2,451	8,172	0,892	1,768	2,653	8,846
t 2	0,817	1,634	2,451	8,174	0,892	1,768	2,653	8,847
t 3	0,817	1,634	2,451	8,173	0,892	1,768	2,653	8,846
t 4	0,817	1,634	2,451	8,174	0,892	1,768	2,653	8,846
t 5	0,817	1,634	2,451	8,172	0,892	1,768	2,653	8,846
t 6	0,817	1,634	2,451	8,173	0,892	1,768	2,653	8,845
t 7	0,817	1,634	2,451	8,172	0,892	1,768	2,653	8,846
t 8	0,817	1,634	2,451	8,173	0,892	1,768	2,653	8,846
t 9	0,817	1,634	2,451	8,173	0,892	1,768	2,653	8,846
t 10	0,817	1,634	2,451	8,174	0,892	1,768	2,653	8,845
Datos procesados								
Tprom(s)	0,817	1,634	2,451	8,173	0,892	1,768	2,653	8,846
t(1T(s))	0,817	0,817	0,817	0,817	0,892	0,884	0,884	0,885
T ² (s ²)=	0,667	0,667	0,667	0,668	0,796	0,781	0,782	0,782
g(m/s ²)=	9,998	9,995	9,995	9,988	9,675	9,851	9,844	9,838
g prom(m/s ²)	9,994				9,802			

Cálculo de la gravedad por medio del péndulo simple								
	L(m)= 0,25				L(m)= 0,28			
t(s)	1 T	2 T	3 T	10 T	1 T	2 T	3 T	10 T
t 1	0,994	1,984	2,984	9,947	1,050	2,102	3,154	10,515
t 2	0,994	1,989	2,984	9,949	1,051	2,102	3,154	10,515
t 3	0,994	1,989	2,984	9,947	1,051	2,102	3,154	10,515
t 4	0,994	1,989	2,984	9,949	1,051	2,102	3,154	10,515
t 5	0,994	1,990	2,984	9,949	1,051	2,102	3,154	10,515
t 6	0,994	1,990	2,984	9,949	1,051	2,102	3,154	10,515
t 7	0,994	1,989	2,984	9,949	1,051	2,103	3,154	10,515
t 8	0,994	1,989	2,984	9,947	1,051	2,103	3,154	10,515
t 9	0,994	1,989	2,984	9,949	1,051	2,102	3,154	10,515
t 10	0,994	1,989	2,984	9,949	1,051	2,102	3,154	10,515
Datos procesados								
Tprom(s)	0,994	1,989	2,984	9,948	1,051	2,102	3,154	10,515
t(1T(s))	0,994	0,994	0,995	0,995	1,051	1,051	1,051	1,052
T ² (s ²)=	0,988	0,989	0,989	0,990	1,105	1,105	1,105	1,106
g(m/s ²)=	9,989	9,982	9,976	9,972	9,828	9,827	9,822	9,819
g prom(m/s ²)	9,980				9,824			

Figura 5.58. Resultado práctica de péndulo simple.

Se puede observar que al igual que en las prácticas desarrolladas en los numerales anteriores, los resultados obtenidos demuestran la repetitividad de las medidas que brinda el prototipo construido, además se puede notar el valor experimental de la gravedad, obtenido a partir de la siguiente ecuación:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (5.3)$$

Donde T es el periodo de oscilación alrededor de la posición establecida, el cual es entregado por el equipo, l es la longitud del péndulo, π es una constante establecida cuyo valor es 3.14159265 y g es el valor de la gravedad al cual se pretende llegar de forma experimental, es importante tener en cuenta que el valor de la gravedad estándar es de 9.80665 m/s².

Partiendo de lo anterior, al realizar los reemplazos en la ecuación 23, se obtienen los valores de la gravedad registrados en la parte inferior de la **Figura 5.58.**, para encontrar el error de la medición se procede a realizar el siguiente análisis con el fin de asegurar la medida, es decir corroborar que el error obtenido al realizar las mediciones no afecte en gran medida el valor experimental calculado para la gravedad.

Para encontrar el error de la gravedad como primera medida se deben encontrar los errores (error estándar, error del aparato, error relativo, error absoluto) en cada una de las variables medidas en este caso serán el tiempo y la longitud, se debe tener en cuenta que la resolución del cronómetro esta dado por la configuración del timer0 del PIC que en este caso es de 0.001s, esto se debe tener en cuenta para cada medida, sin pasar por alto las mediciones en las que se trabaja más de un ciclo para el péndulo, asimismo la resolución del metro es de 0.001m para el caso de la longitud y de la altura.

Para determinar el error aportado por la medición del periodo se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

1. Determinar el error estándar teniendo en cuenta que se define de la siguiente forma:

$$\text{Error estándar: } \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

Donde σ es la desviación estándar, y N es el número de datos (en este caso se tomaron 10 mediciones para cada caso). Partiendo de los datos de la **Figura 5.58.** se obtuvieron los resultados mostrados en la **Figura 5.59.**

Calculo desviaciones estandar								
	L(m)= 0,17				L(m)= 0,20			
t(s)	1 T	1T de 2 T	1T de 3 T	1T de 10 T	1 T	1T de 2 T	1T de 3 T	1T de 10 T
t 1	0,816	0,817	0,817	0,817	0,892	0,884	0,884	0,885
t 2	0,817	0,817	0,817	0,817	0,892	0,884	0,884	0,885
t 3	0,817	0,817	0,817	0,817	0,892	0,884	0,884	0,885
t 4	0,817	0,817	0,817	0,817	0,892	0,884	0,884	0,885
t 5	0,817	0,817	0,817	0,817	0,892	0,884	0,884	0,885
t 6	0,817	0,817	0,817	0,817	0,892	0,884	0,884	0,885
t 7	0,817	0,817	0,817	0,817	0,892	0,884	0,884	0,885
t 8	0,817	0,817	0,817	0,817	0,892	0,884	0,884	0,885
t 9	0,817	0,817	0,817	0,817	0,892	0,884	0,884	0,885
t 10	0,817	0,817	0,817	0,817	0,892	0,884	0,884	0,885
Desviacion estandar	0,0003	0	1E-16	7,75E-05	0	1E-16	1E-16	5E-05
Error estandar	9E-05	0E+00	4E-17	2E-05	0E+00	4E-17	4E-17	2E-05

Calculo desviaciones estandar								
	L(m)= 0,25				L(m)= 0,28			
t(s)	1 T	1T de 2 T	1T de 3 T	1T de 10 T	1 T	1T de 2 T	1T de 3 T	1T de 10 T
t 1	0,994	0,992	0,995	0,995	1,050	1,051	1,051	1,052
t 2	0,994	0,995	0,995	0,995	1,051	1,051	1,051	1,052
t 3	0,994	0,995	0,995	0,995	1,051	1,051	1,051	1,052
t 4	0,994	0,995	0,995	0,995	1,051	1,051	1,051	1,052
t 5	0,994	0,995	0,995	0,995	1,051	1,051	1,051	1,052
t 6	0,994	0,995	0,995	0,995	1,051	1,051	1,051	1,052
t 7	0,994	0,995	0,995	0,995	1,051	1,052	1,051	1,052
t 8	0,994	0,995	0,995	0,995	1,051	1,052	1,051	1,052
t 9	0,994	0,995	0,995	0,995	1,051	1,051	1,051	1,052
t 10	0,994	0,995	0,995	0,995	1,051	1,051	1,051	1,052
Desviacion estandar	0	0,001	0	9E-05	0,000	0,000	2E-16	2E-16
Error estandar	0	0,000	0	3E-05	0,000	0,000	7E-17	7E-17

Figura 5.59. Desviación estándar y error estándar péndulo simple.

- Ahora encontramos el error del aparato teniendo en cuenta que se define como el cociente entre la resolución del aparato de medida (se define como 0.001s entre en número de ciclos medidos), y la raíz del numero de medidas.

$$\text{Error aparato: } \frac{0.001}{\sqrt{N}} \# \text{ciclos}$$

Donde N es el número de medidas para cada caso, realizando dicha operación para cada una de las mediciones se obtiene como resultado la siguiente tabla (ver **Figura 5.60.**).

# Ciclos	1	2	3	10
Error aparato	0,0001	0,00005	3,33E-05	0,00001

Figura 5.60. Error aparato péndulo simple.

- De la comparación de los numerales 1 y 2 debe tomarse el mayor error para cada caso sea el error estándar o el error del aparato. Una vez realizada esa selección se obtiene el valor aceptado para cada periodo, como se ilustra en la **Figura 5.61.**

Periodos aceptados								
L(m)= 0,17					L(m)= 0,20			
# Ciclos	1 T	2 T	3 T	10 T	1 T	2 T	3 T	10 T
Tprom(s)	0,8169±1E-4	1,634±5E-5	2,451±3E-5	8,173±2E-5	0,892±1E-4	1,768±5E-5	2,653±3E-5	8,8459±2E-5

Periodos aceptados								
L(m)= 0,25					L(m)= 0,28			
# Ciclos	1 T	2 T	3 T	10 T	1 T	2 T	3 T	10 T
Tprom(s)	0,994±1E-4	1,989±5E-5	2,984±3E-5	9,948±3E-5	1,051±1E-4	2,102±5E-5	3,154±3E-5	10,515±2E-5

Figura 5.61. Periodo promedio aceptado péndulo simple.

4. Ahora una vez calculada la gravedad experimental (ver **Figura 5.58.**) se realiza el cálculo del error relativo de Δg , definido de la siguiente forma:

$$E_R(g) = \frac{\Delta L}{L} + 2 \frac{\Delta T}{T}$$

Donde ΔL es la resolución del metro utilizado que es de 0.001, L es la longitud del péndulo, ΔT es el error determinado para cada periodo, y T es el periodo promedio calculado para cada longitud. Haciendo los reemplazos correspondientes para cada una de las longitudes, teniendo en cuenta el número de ciclos tomados, se obtienen los siguientes resultados (ver **Figura 5.62.**).

L(m)= 0,17					L(m)= 0,20			
	1 T	2 T	3 T	10 T	1 T	2 T	3 T	10 T
Error relativo	0,006	0,006	0,006	6E-03	0,005	0,005	0,005	5E-03

L(m)= 0,25					L(m)= 0,28			
	1 T	2 T	3 T	10 T	1 T	2 T	3 T	10 T
Error relativo	0,004	0,004	0,004	4E-03	0,004	0,004	0,004	0,004

Figura 5.62. Error relativo péndulo simple.

5. Una vez calculado el error relativo, se procede a calcular el error absoluto para el valor experimental de la gravedad, obtenido a partir de cada una de las mediciones realizadas en la práctica. Se debe tener en cuenta que el error absoluto esta dado como:

$$\Delta g = g E_R(g)$$

Aplicando la ecuación anterior para cada una de los valores experimentales de la gravedad tenemos que (ver **Figura 5.63.**):

L(m)= 0,17					L(m)= 0,20			
	1 T	2 T	3 T	10 T	1 T	2 T	3 T	10 T
Error absoluto	0,062	0,060	0,060	0,060	0,052	0,052	0,051	0,051

L(m)= 0,25					L(m)= 0,28			
	1 T	2 T	3 T	10 T	1 T	2 T	3 T	10 T
Error absoluto	0,042	0,041	0,041	0,040	0,037	0,036	0,036	0,035

Figura 5.63. Error absoluto péndulo simple.

6. Finalmente la medida experimental de la gravedad estada dada como:

$$g \pm \Delta g$$

De lo anterior se tiene que los valores experimentales de la gravedad obtenida de la práctica de péndulo simple son (ver **Figura 5.64.**):

	L(m)= 0,17				L(m)= 0,20			
	1 T	2 T	3 T	10 T	1 T	2 T	3 T	10 T
g±Δg(m/s²)	9,998±0,062	9,995±0,060	9,995±0,060	9,988±0,060	9,675±0,052	9,851±0,052	9,844±0,051	9,838±0,051

	L(m)= 0,25				L(m)= 0,28			
	1 T	2 T	3 T	10 T	1 T	2 T	3 T	10 T
g±Δg(m/s²)	9,989±0,042	9,982±0,041	9,976±0,041	9,972±0,040	9,829±0,037	9,827±0,036	9,822±0,036	9,819±0,035

Figura 5.64. Valor aceptado para la gravedad en péndulo simple.

Podemos observar que los errores obtenidos para la gravedad, nos indican que es un valor confiable, teniendo en cuenta el rango dentro del que se encuentra la medida, y que dichos errores no superan la unidad, ósea que es una magnitud con un margen de error muy pequeño.

Una vez se tienen los datos (ver **Figura 5.58**) se procede a realizarles el tratamiento con el fin de determinar que tan confiables son, realizando una regresión potencial que nos muestra que la dispersión de los datos es aproximadamente uno lo cual significa que los datos son muy confiables (ver **Figura 5.65.**). Esto se puede afirmar al realizar la comparación con los resultados mostrados en la **Figura 5.66.** teniendo en cuenta que dicha grafica fue obtenida a partir del cálculo del periodo para el péndulo, a partir de las longitudes asignadas al péndulo y tomando el valor de la gravedad estándar de 9.80665 m/s².

Calculo de la gavedad grafico Tvs L			
l(m)	T(s)	Δl(m)	ΔT(s)
0,17	0,817	0,001	0,0001
0,2	0,892	0,001	0,0001
0,25	0,994	0,001	0,0001
0,28	1,051	0,001	0,0001
0,3	1,092	0,001	0,0001

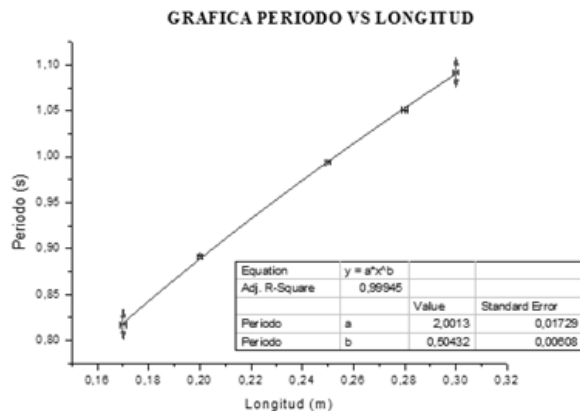


Figura 5.65. Grafica periodo Vs longitud datos experimentales.

En la siguiente figura se puede observar los datos calculados de la ecuación para el periodo del péndulo asumiendo para la gravedad estándar un valor de 9.80665 m/s² y su correspondiente grafica.

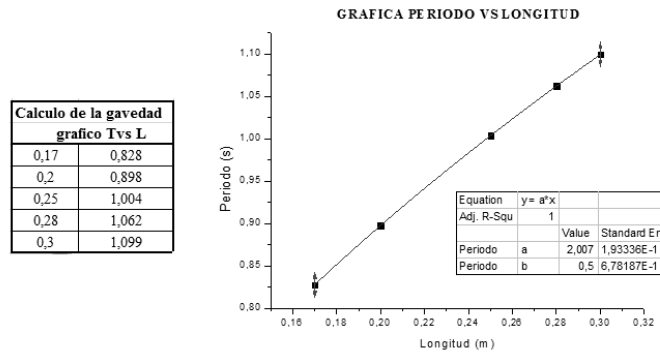


Figura 5.66. Grafica periodo Vs longitud datos teóricos.

Asimismo una vez comprobado que los resultados son confiables, se procede a realizar la comparación correspondiente entre los valores obtenidos con el prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física y el prototipo de péndulo simple del grupo DICOPED. Tomando en cuenta el valor de la gravedad obtenido experimentalmente con cada uno de los equipos (ver **Figura 5.58.** y **Figura 5.67.**).

Cálculo de la gravedad por medio del péndulo simple DICOPED								
	L(m)= 0,15				L(m)= 0,20			
t(s)	1 T	2 T	3 T	10 T	1 T	2 T	3 T	10 T
t 1	0,750	1,510	2,270	7,580	0,880	1,760	2,650	8,830
t 2	0,750	1,510	2,270	7,580	0,880	1,760	2,650	8,830
t 3	0,750	1,510	2,270	7,580	0,880	1,760	2,650	8,830
t 4	0,750	1,510	2,270	7,580	0,880	1,760	2,650	8,830
t 5	0,750	1,510	2,270	7,580	0,880	1,760	2,650	8,830
t 6	0,750	1,510	2,270	7,580	0,880	1,760	2,650	8,830
t 7	0,750	1,510	2,270	7,580	0,880	1,760	2,650	8,830
t 8	0,750	1,510	2,270	7,580	0,880	1,760	2,650	8,830
t 9	0,750	1,510	2,270	7,580	0,880	1,760	2,650	8,830
t 10	0,750	1,510	2,270	7,580	0,880	1,760	2,650	8,830
Datos procesados								
Tprom(s)	0,750	1,510	2,270	7,580	0,880	1,760	2,650	8,830
t(1T(s))	0,750	0,755	0,757	0,758	0,880	0,880	0,883	0,883
T ² (s ²)=	0,563	0,570	0,573	0,575	0,774	0,774	0,780	0,780
g(m/s ²)=	10,528	10,389	10,343	10,307	10,196	10,196	10,119	10,127
g prom(m/s²)	10,391				10,159			

Cálculo de la gravedad por medio del péndulo simple DICOPED								
	L(m)= 0,25				L(m)= 0,30			
t(s)	1 T	2 T	3 T	10 T	1 T	2 T	3 T	10 T
t 1	0,990	1,990	2,980	9,950	1,090	2,190	3,280	10,950
t 2	0,990	1,990	2,980	9,950	1,090	2,180	3,280	10,940
t 3	0,990	1,980	2,980	9,950	1,090	2,180	3,280	10,940
t 4	0,990	1,990	2,980	9,950	1,090	2,180	3,280	10,950
t 5	0,990	1,990	2,980	9,950	1,090	2,180	3,280	10,950
t 6	0,990	1,990	2,980	9,950	1,090	2,180	3,280	10,950
t 7	0,990	1,990	2,980	9,950	1,090	2,180	3,280	10,950
t 8	0,990	1,990	2,980	9,950	1,090	2,180	3,280	10,950
t 9	0,990	1,990	2,990	9,950	1,090	2,180	3,280	10,950
t 10	0,990	1,990	2,980	9,950	1,090	2,180	3,280	10,950
Datos procesados								
Tprom(s)	0,990	1,989	2,981	9,950	1,090	2,181	3,280	10,948
t(1T(s))	0,990	0,995	0,994	0,995	1,090	1,091	1,093	1,095
T ² (s ²)=	0,980	0,989	0,987	0,990	1,188	1,189	1,195	1,199
g(m/s ²)=	10,070	9,979	9,996	9,969	9,969	9,959	9,908	9,881
g prom(m/s²)	10,004				9,929			

Figura 5.67. Resultados practica de péndulo simple grupo DICOPED.

Se puede observar que en los resultados obtenidos con el equipo del grupo DICOPED, el porcentaje de error de la gravedad obtenida experimentalmente respecto al valor teórico de la gravedad estándar oscila entre 1% y 5% lo cual nos permite decir que los resultados obtenidos con el prototipo desarrollado en este proyecto son más precisos ya que se mantienen en un margen de error más pequeño que se encuentra entre 0% y 2% alrededor del valor estándar de la gravedad (9.80665 m/s^2).

5.7. Conclusiones.

El prototipo desarrollado durante este proyecto tiene como finalidad hacer un aporte tecnológico al aprendizaje de la física como ciencia básica, teniendo en cuenta las dificultades que se presentan en nuestro medio para tener acceso a esa parte experimental que es tan importante en el afianzamiento de los conceptos, ya que debido a los logros obtenidos en el diseño y construcción de este prototipo se incentiva a los universitarios a entrar en el campo de la física instrumental lo cual les abre muchas puertas en un futuro.

Es importante destacar la utilidad de dispositivos programables como el PIC18F452, teniendo en cuenta su versatilidad a la hora de ser programados para responder a la diferentes tareas, esto teniendo claro que para su óptimo funcionamiento se debe realizar un estudio previo de sus características, además de ser dispositivos que a pesar de su bajo costo pueden ser usados para proyectos tan importantes en lo que se refiere a la explicación de las leyes fundamentales de la física teórica dentro de un laboratorio.

Se logró realizar el acople electro-mecánico necesario para el buen funcionamiento del prototipo en las tres prácticas que se pretenden desarrollar, esto se puede observar en los resultados expuestos en el desarrollo del proyecto teniendo en cuenta que se logró obtener un valor experimental de la gravedad muy cercano al valor estándar de la misma, con un error en la medición muy pequeño.

Se logró manipular y adaptar cada uno de los dispositivos electrónicos presentes en el proyecto como lo son el motor pap unipolar, los diferentes tipos de sensores IR implementados en la práctica, sin olvidar los dispositivos que sirvieron de interfaz entre usuario y máquina como lo fue el display LCD y el teclado matricial 4x3.

Se diseñaron 3 guías de laboratorio teniendo en cuenta la estructura básica de una guía de laboratorio, lo cual le permitirá a los futuros usuarios del prototipo disponer de las herramientas que le permitan desarrollar cada una de ellas y realizar el respectivo análisis de los resultados obtenidos.

Además se construyó un manual de usuario en el que se logró ilustrar la funcionalidad de cada una de las partes del prototipo especificando además las características que permitirán a el usuario verificar el correcto funcionamiento del equipo, permitiendo además que el usuario haga uso de la información que dispone para no ocasionar daños a el equipo.

Pensando en mejorar los equipos ya existentes en el laboratorio, se diseñó el equipo con la característica de poder variar la magnitud de varias de las la longitud del péndulo, el número de oscilaciones, ángulos, alturas, con el objetivo de estudiar las leyes correspondientes.

Se demostró que es posible diseñar y construir equipos de laboratorio innovadores a partir de los recursos tecnológicos que tiene el país, además de los conocimientos adquiridos en la universidad permitiendo de este modo estar en la capacidad de competir con empresas extranjeras donde por sus altos costos y complejidad en el manejo de los equipos muchos colegios y universidades no pueden acceder a ellos.

Se realizó la prueba de funcionamiento del equipo con un grupo de estudiantes de física I (20 estudiantes), y se determinó la confiabilidad del equipo al obtener resultados repetitivos que permitieron calcular un valor experimental de la gravedad cercano al valor estándar de la misma, además se pudo apreciar que para la práctica de choques elásticos los resultados esperados solo se obtuvieron cuando el ángulo del péndulo simple superaba los 40 grados.

5.8. Trabajos futuros.

Durante el desarrollo e implementación del prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física se identificaron posibles mejoras, las cuales serán mencionadas a continuación:

La primera mejora que podría introducirse, es la implementación de un sistema mecánico que permita que la pieza corrediza se ubique automáticamente en el punto donde se tiene previsto que va a caer la bola 1.

La segunda mejora consiste en cambiar los tubos del prototipo por unos de mayor longitud, lo que permitiría realizar variaciones mayores en la altura de los módulos 1 y 2, además se podría modificar el sistema que sostiene el electroimán utilizado para la práctica de choques elásticos y de péndulo simple, con el fin de poder trabajar para el péndulo simple longitudes mayores.

La tercera mejora hace referencia a la implementación de un mecanizado que permita variar la distancia que separa el péndulo del módulo 1, teniendo en cuenta que dicha distancia debe ser diferente cuando se trabaja la práctica de choques elásticos y de péndulo simple.

La cuarta mejora es realizar un análisis exhaustivo con respecto al valor de la incertidumbre asociada a cada una de las prácticas.

La quinta mejora se refiere a la implementación de nuevas prácticas haciendo uso del prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física I.

5.9. Bibliografía.

- [1] SERWAY, Física I. Editorial MacGraw Hill. Cuarta edición. 2005.
- [2] DICOPEL. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPOS PARA EXPERIMENTOS DE FISICA I. Pereira, (2010)Publiprint. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de ciencias básicas.
- [3] ARMENTA BARRERAS, José Oscar. Leyes de conservación de la energía mecánica, DGEP-UAS, Culiacán, Sinaloa, México. Et al (1994):
- [4] FAKHRUDDIN H. Maximizing imparted speed in elastic collisions. The Physics Teacher, Vol 41, September 2003,
<http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica/dinamica/con_mlineal/elastico/elastico.htm pp. 338-339>
- [5] VELEZ, Esteban. Tiro parabólico. Medellín 2008. Simulación. Facultad de física. Universidad de Antioquia: <www.fisica.udea.edu.co/~labgicm/Web_Instrumentacion/.../parabola.docx>.
- [6] FALLONES, Fernando. (1999). <http://www.educaplus.org/movi/4_2caidalibre.html>
- [7] MENDOZA DUEÑAS, Jorge. España (2007).
<<http://raulcaroy.iespana.es/FISICA/14%20cinematica%20caida%20libre.pdf>>
- [8] QUESADA, Alonso. Laboratorio física III para ingenieros (péndulo) Chile, (2007),
<www.laboratorioiii.galeon.com/ingenieros.htm#P%C3%A9ndulo%20f%C3%ADsico>.
- [9] DICOPEL. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPOS PARA EXPERIMENTOS DE FISICA I. Pereira, (2010)Publiprint. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de ciencias básicas.
- [10] MEDINA, Javier: Introducción al microcontrolador. (2009),
<www.usuarios.multimania.es/sfriswolker/pic/uno.htm>.
- [11] CUENCA, Martín: Microcontroladores, Angulo J: M(1998)2ª Edición. Paraninfo-ITP. <http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/mendoza_s_ea/bibliografia.pdf>
- [12] CAMPO, Lucio. Motores paso a paso unipolar. (2006)
- [13] CARLETTI, Eduardo J. Motores paso a paso. (2009)
<http://axxon.com.ar/rob/MotorPP_basico.htm>.
- [14] ARANGO, Mateo. Electrónica (2009) (www.pablin.com.ar/electron/info/lcd/index.htm).
- [15] <http://www.micropic.es/index.php?option=com_content&task=view&id=56&Itemid=42>
- [16] electroimán. <<http://www.misrespuestas.com/que-es-un-electroiman.html>>.
- [17] SANZ. Elena (2001) Sensores para todo.
<www.cienciadigital.es/hemeroteca/reportaje.php?id=49>

- [18] CAMPO, Lucio. Motores paso a paso unipolar. (2006)
- [19] ARISTIZABAL, Luís. Sensores Infrarrojo. (www.r-luis.xbot.es/sensores/ir.html). R-Luís.
- [20] MONTROYA, Ramiro. Bogotá, (2005) <<http://es.scribd.com/doc/6467246/Tipos-de-Sensores-y-Actuadores>> microswitch
- [21] Solidworks
- [22] BEDOYA, Jaime. (2004) <http://www.micropic.es/index.php%3Foption%3Dcom_content>
- [23] OSPINA, Luis. (2008) <<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=UL2003>> ULN2003
- [24] DIÉGUEZ, Salomón <<http://usuarios.multimania.es/carlosyaco/microcontroaldor/teclado.htm>> teclado matricial
- [25] <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39564c.pdf>>
- [26] Lacasa, Lorenzo <<http://www.astrosurf.com/astronosur/estrellas.htm>> diagrama espectral
- [27] Becke, Heinric <http://perso.wanadoo.es/luis_ju/sensor/ir.html> emisorreceptor
- [28] Kennedy, Patricio <<http://www2.ing.puc.cl/~iee2782/lcd.html>> Display
- [29] SOLÍS, Úbeda (España). Diagrama Microswitch <<http://www.amstrad.es/forum/viewtopic.php?f=10&t=1876>>
- [30] BÉCQUER, Guille. España. (1999) <<http://www.members.fortunecity.es/biblioman/bib/500/530/conservacion.htm>>
- [31] DÁVILA, Cristóbal, <<http://www.slideshare.net/jonasface/microcontroladores-pic>>
- [32] <<http://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.superrobotica.com/images/S310119.JPG&imgrefurl=>>>
- [33] YAVORSKI, Detlaf. Portal académico. (2006) <www.fisica.ru>.
- [34] AKERMAN, Jhon. United States. (Centers for Disease Control. "Preventing Foodborne Illness." 9 Aug. 1996.
- [35] ACEBERO, Anastasio. España, (2001) <http://www.cdc.gov/ncidod/diseases/food%20borne/e_coli.htm> 12 June 1998.>
- [36] AGOSTA, Roberto. pendulo. (2004) <<http://www.iesalonsoquesada.org/inicio/fisica/departafyq/TecnicasLaboratorio/21pendulosimple.pdf>>

ANEXOS.

Diagrama de flujo cuerpo principal del programa.

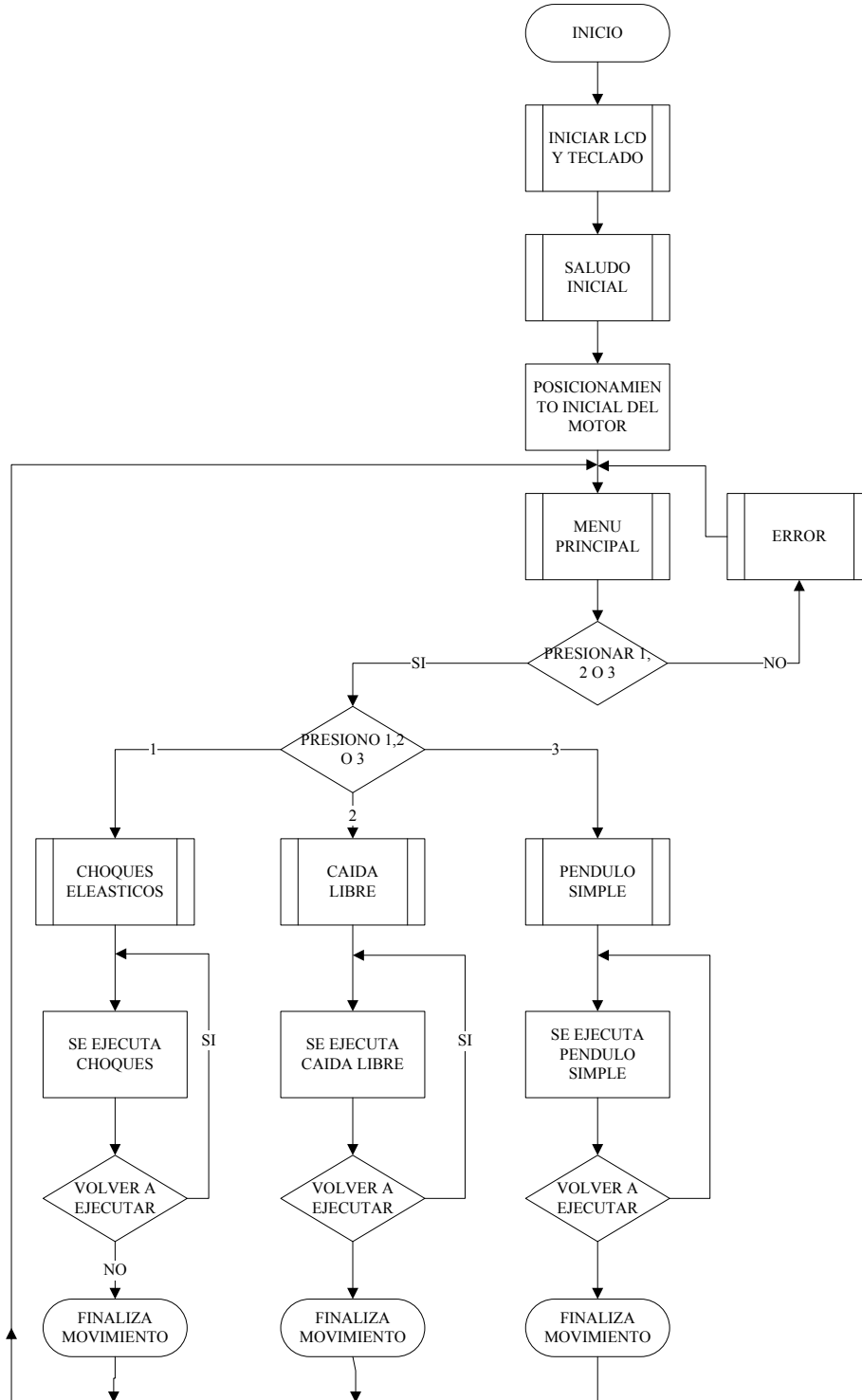


Diagrama de flujo cuerpo principal del programa.

Diagrama de flujo choques elásticos.

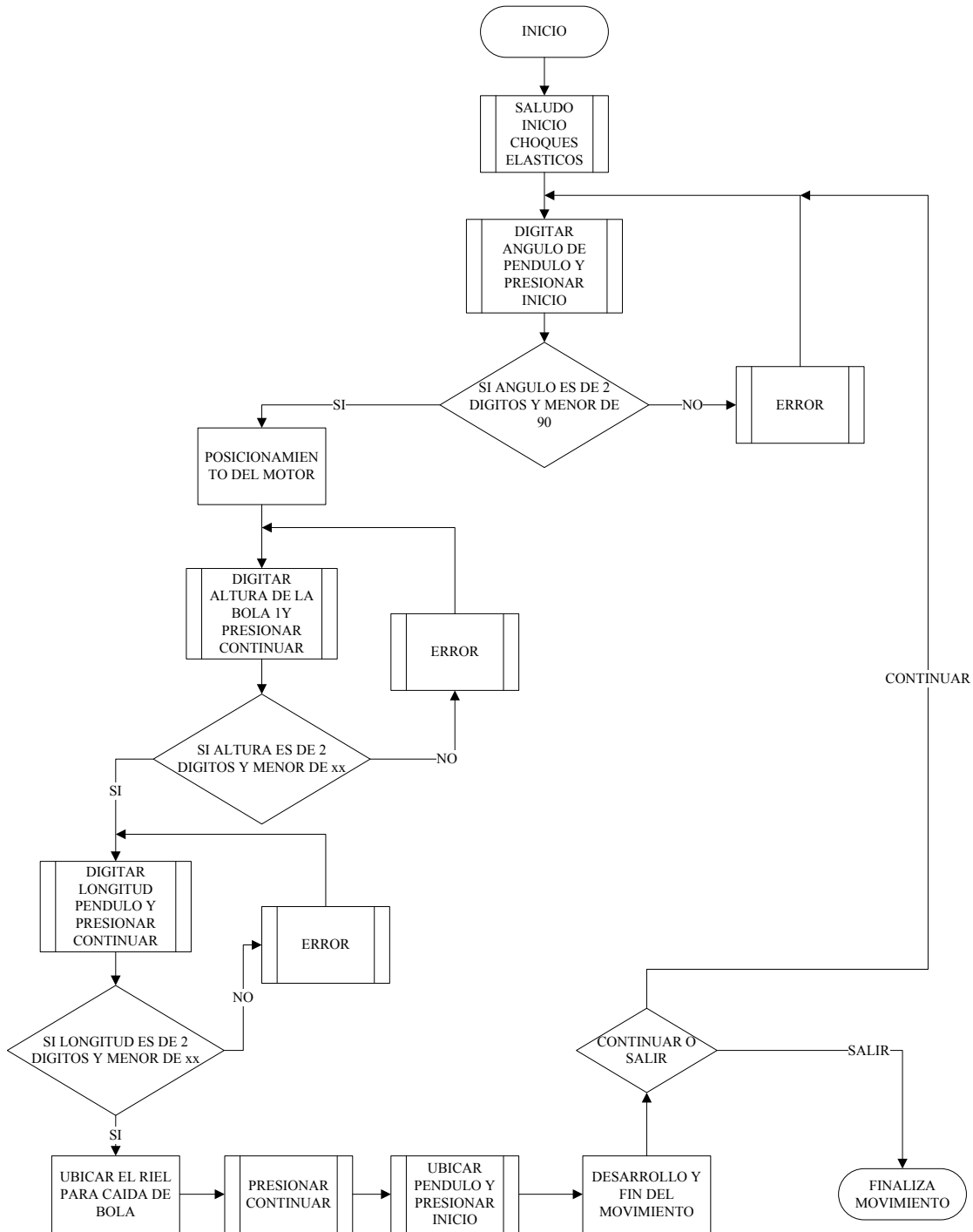


Diagrama de flujo choques elásticos.

Diagrama de flujo caída libre.

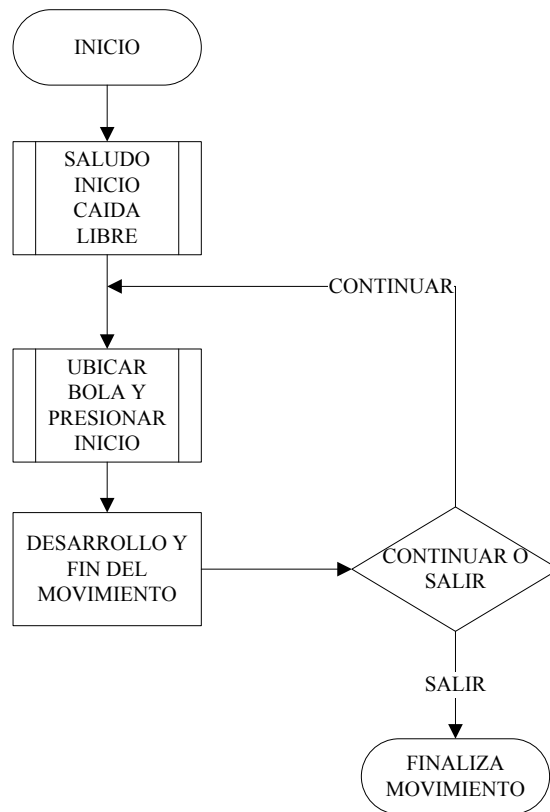


Diagrama de flujo caída libre.

Diagrama de flujo péndulo simple.

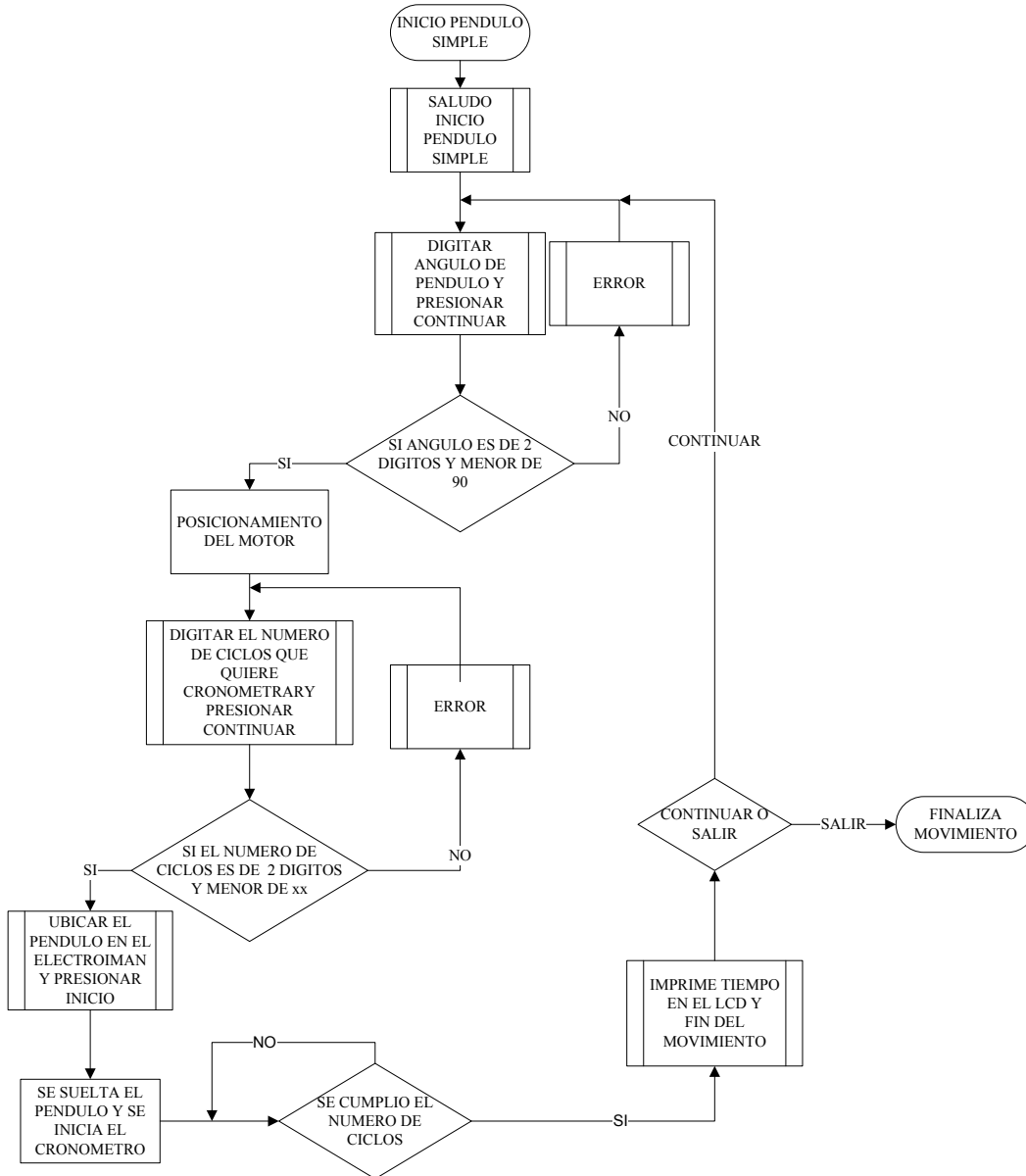


Diagrama de flujo péndulo simple.

Diagrama de flujo TecladoSelección.

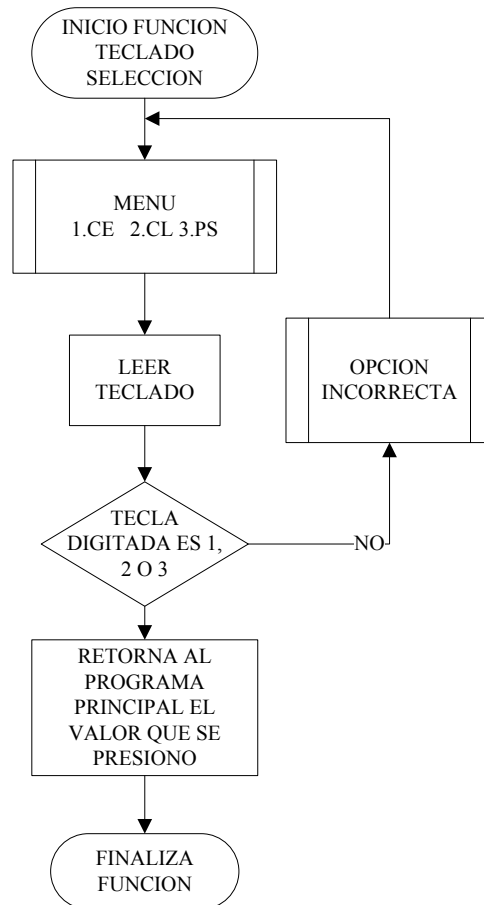


Diagrama de flujo TecladoSelección.

Diagrama de flujo TecladoAngulo.

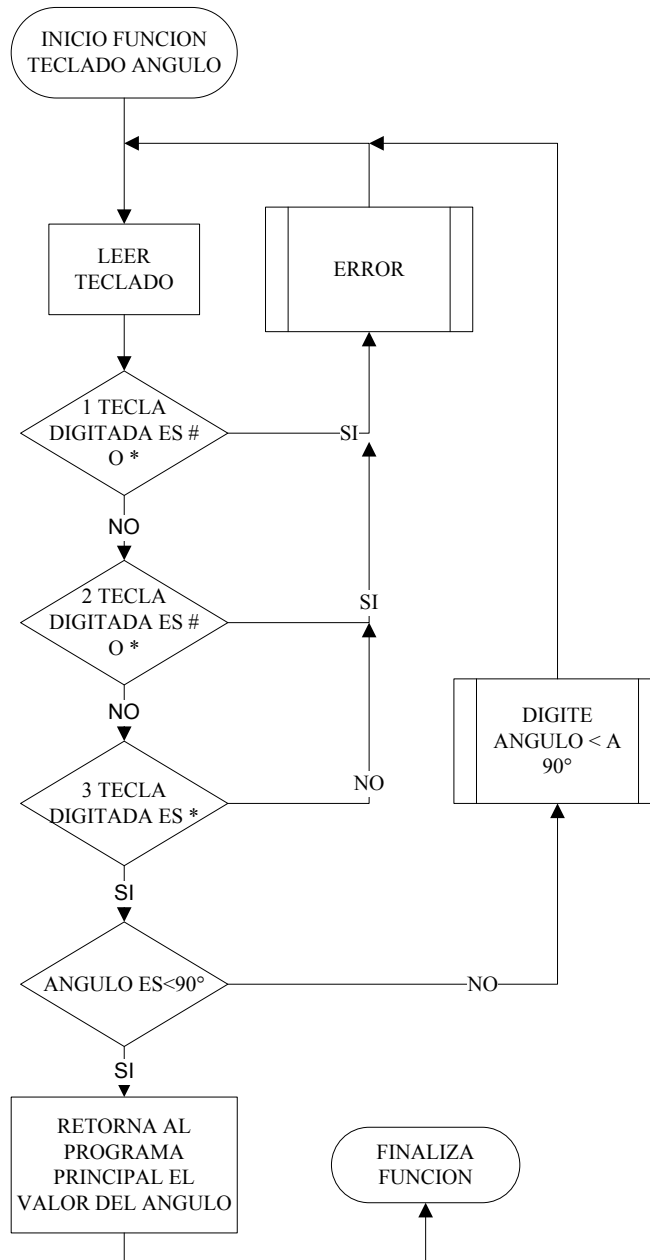


Diagrama de flujo TecladoAngulo.

Diagrama de flujo TecladoContinuar.

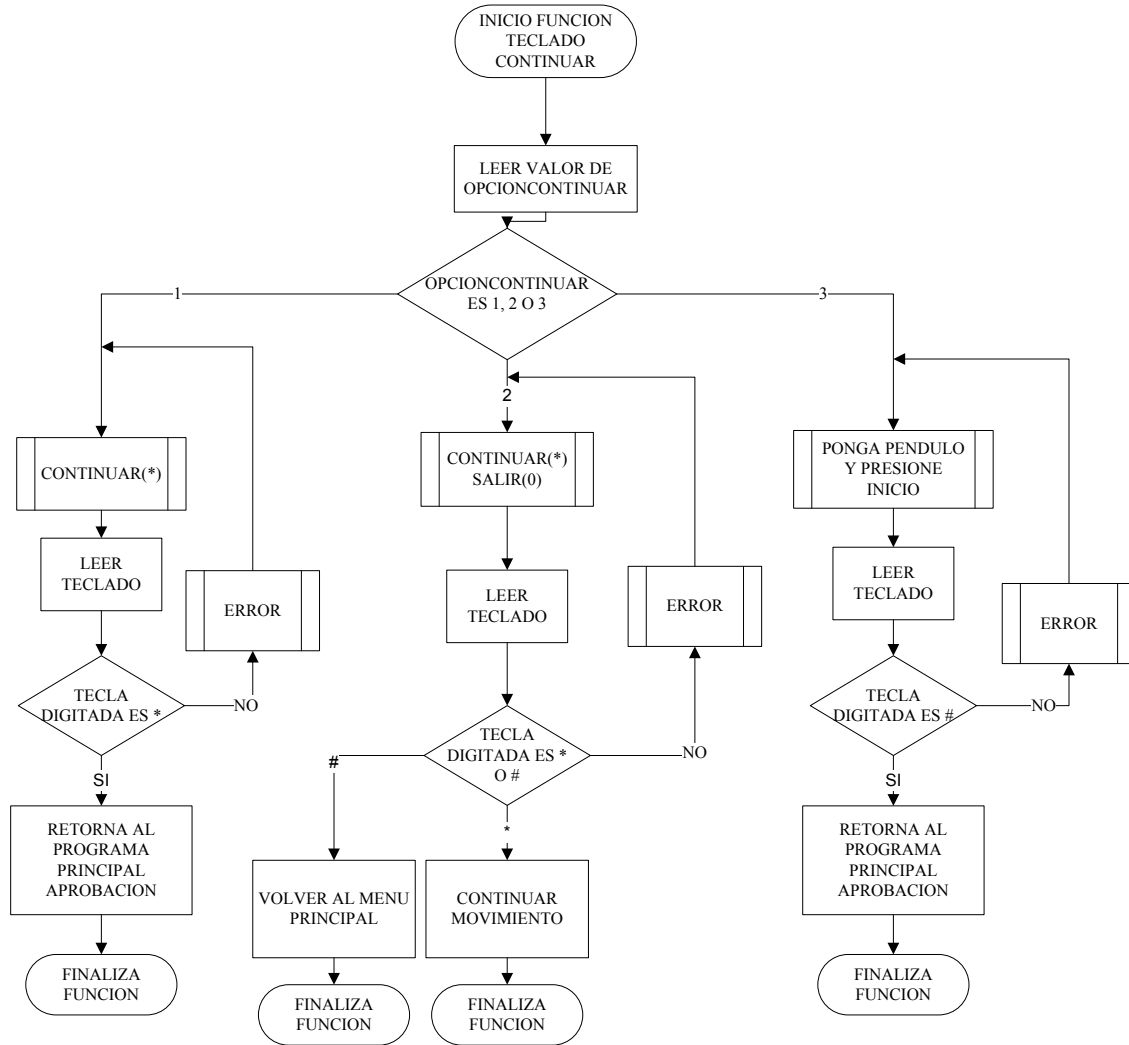


Diagrama de flujo TecladoContinuar.

Diagrama de flujo TecladoAlturaLongitud.

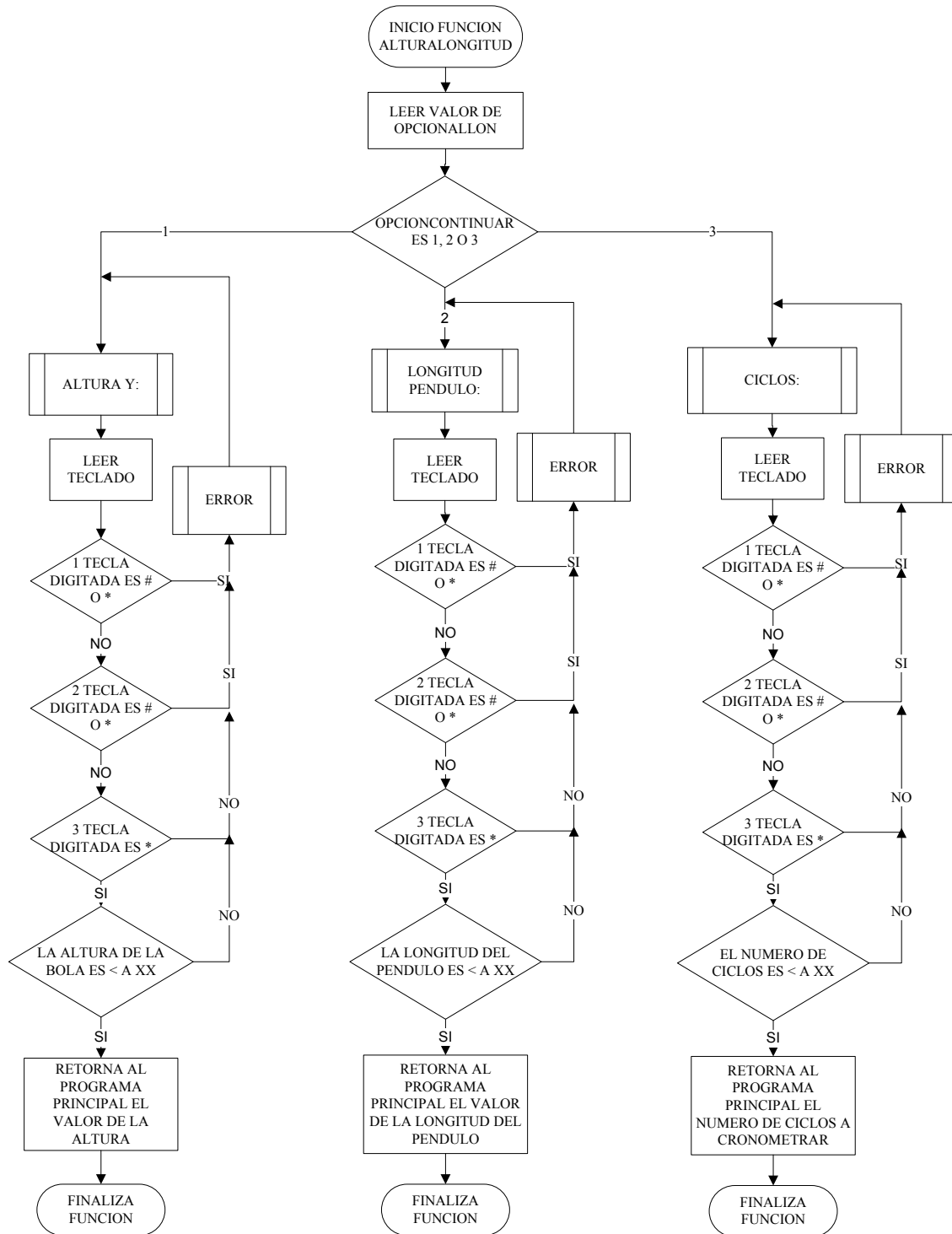


Diagrama de flujo TecladoAlturaLongitud.

Diagrama de flujo Motor.

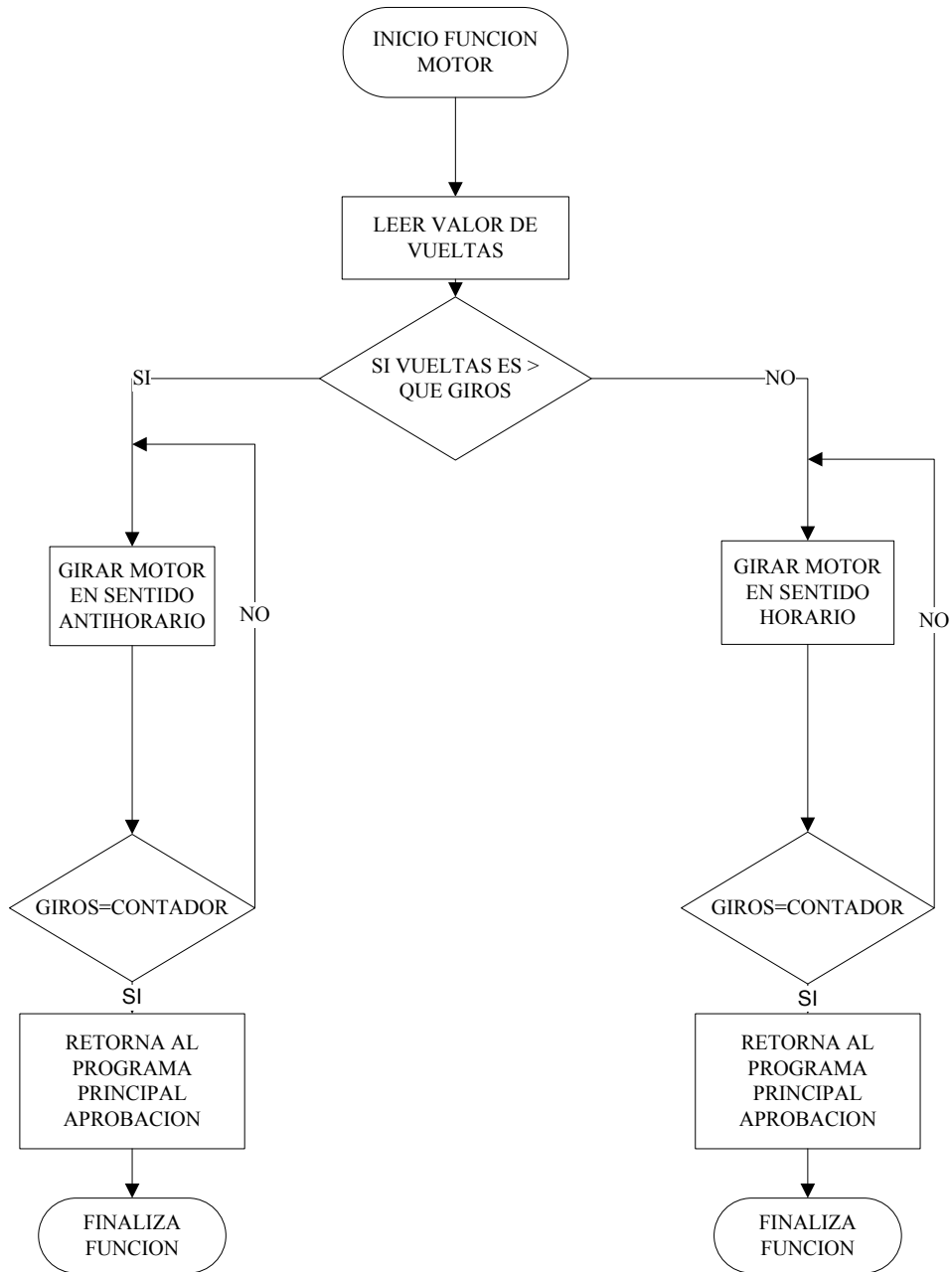


Diagrama de flujo Motor.

Diagrama de flujo MotorCero.

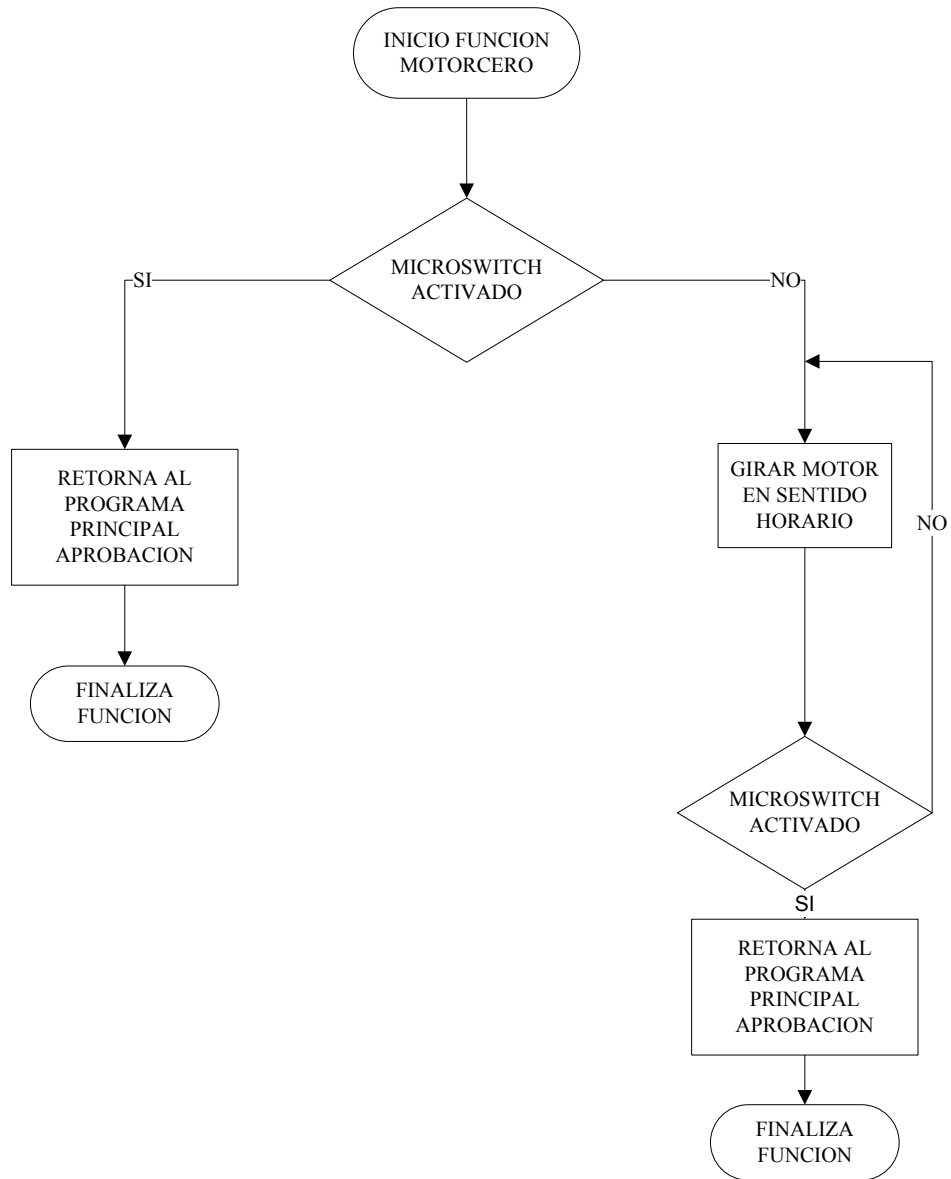


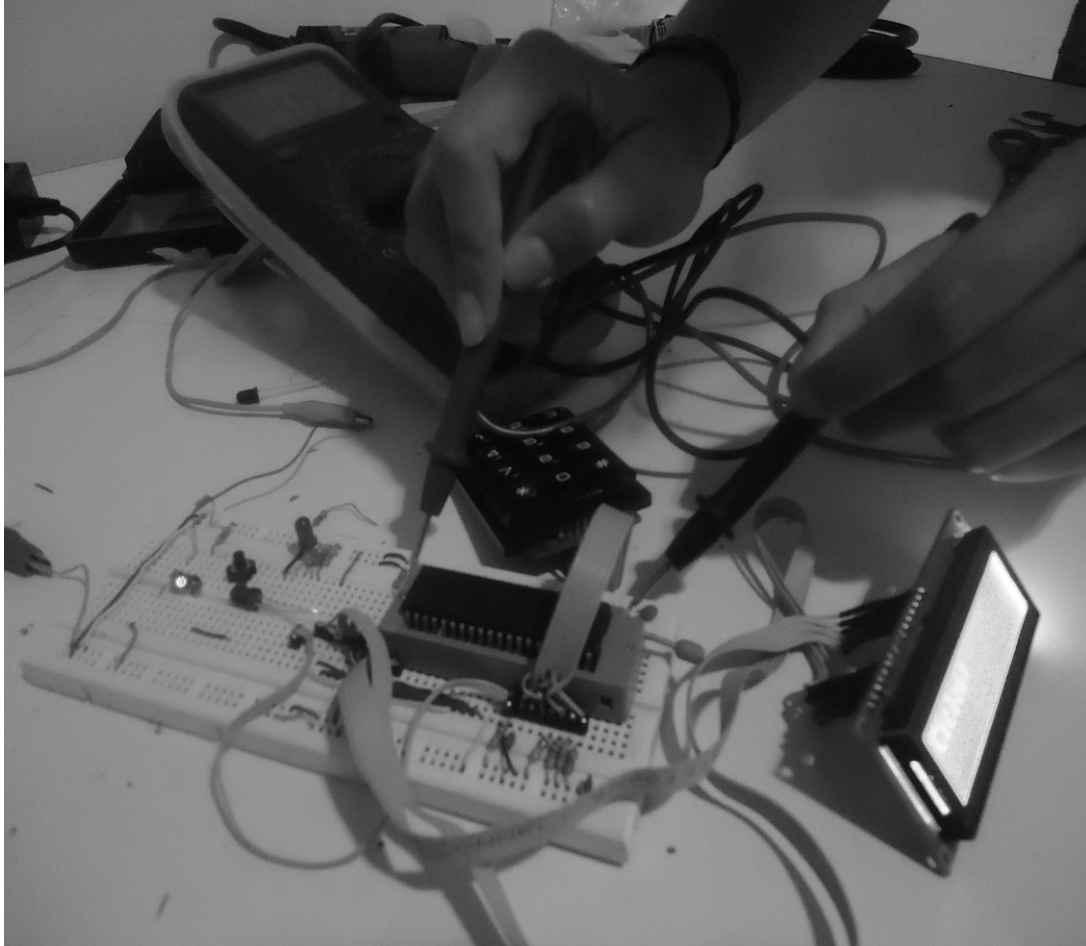
Diagrama de flujo MotorCero.

Imagen real prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física I.



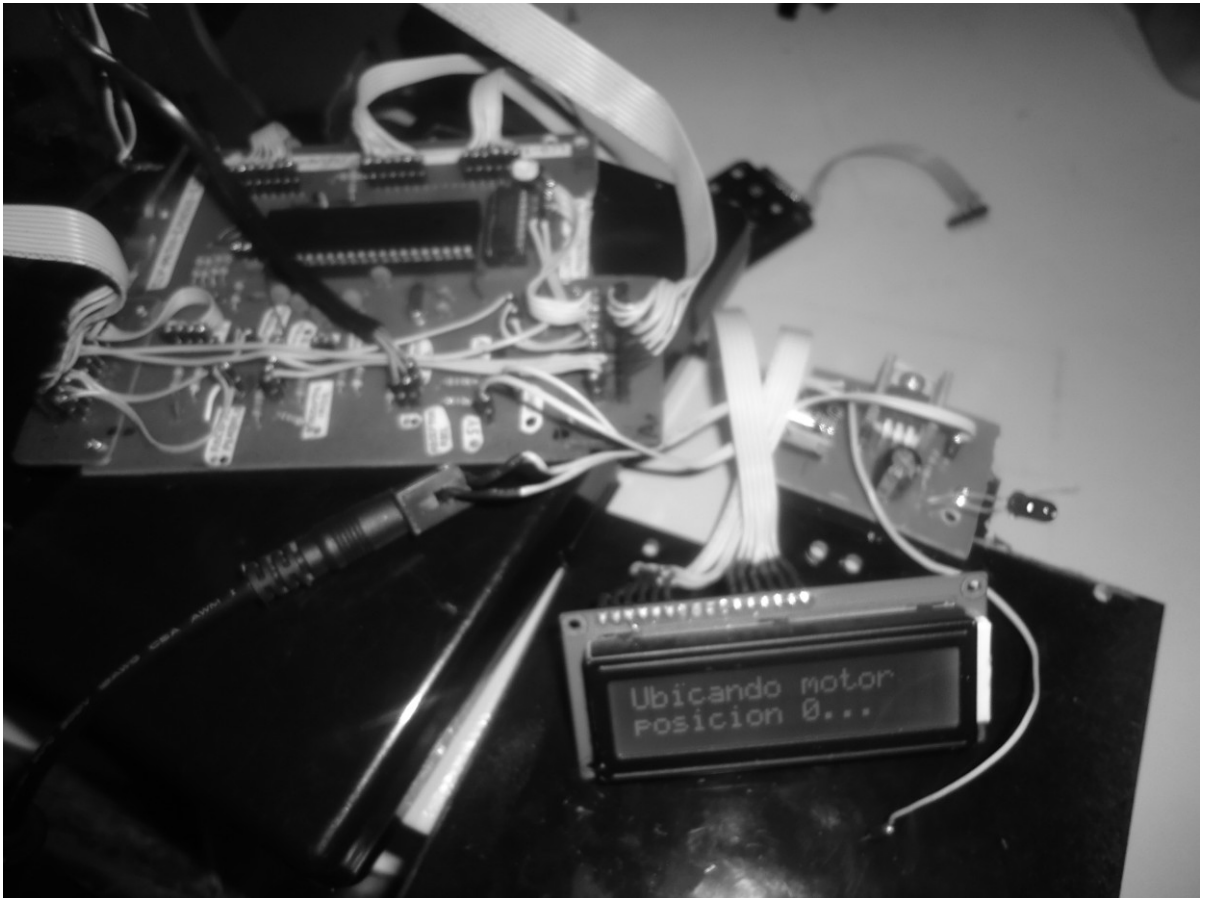
Prototipo Terminado.

Imagen pruebas en protoboard.



Pruebas protoboard.

Circuito impreso.



Circuito impreso.