

## PROTOTIPO ELECTRÓNICO DIDÁCTICO PARA EL ESTUDIO DE UN MÓVIL EN UN MEDIO VISCOSO

Didactic electronic prototype for the study of the behavior of a mobile in a half viscous one

### RESUMEN

El documento presenta los pasos seguidos en el diseño, construcción, y prueba de un dispositivo para visualizar el comportamiento de una esfera que desciende en un medio viscoso y estimar el valor de la velocidad límite. Dicho dispositivo consta de un tubo de vidrio transparente que permite observar el fenómeno de un cuerpo esférico desplazándose verticalmente en un fluido newtoniano viscoso, y de un grupo de sensores ópticos equidistantes que al paso del cuerpo produce cambios en sus características eléctricas. Estos cambios son leídos por un microcontrolador el cual los almacena en una memoria y luego son transmitidos a un PC que recoge y procesa la información.

**PALABRAS CLAVES:** física, microcontrolador, Prototipo, velocidad límite, viscosidad.

### ABSTRACT

The document presents the steps followed in the design, construction, and test of a device to visualize the behavior of a sphere that descends in viscous means and to consider the value of the limit velocity. This device consists of a transparent glass tube is that allows to observe the phenomenon of a spherical body vertically moving in a viscous Newtonian fluid, and of a group of equidistant optical sensors that produces changes in its electrical characteristics at the passage of the body. These changes are read by a microcontroller which stores them in a memory and soon they are transmitted to a PC that collects and processes.

**KEYWORDS:** Limit velocity, Microcontroller, Prototype, physics, viscosity.

### 1. INTRODUCCIÓN

Este artículo presenta la forma cómo se diseñó, construyó y se probó un prototipo didáctico, programando un microcontrolador, para analizar y describir el comportamiento de una esfera que se desplaza en un fluido viscoso. El proyecto tuvo como propósito central contribuir al mejoramiento de la enseñanza de la física a nivel universitario. Se considera aporte significativo si se tiene en cuenta las fallas, que sobre los temas asociados con dicho desplazamiento, entre ellos los de velocidad límite e índice de viscosidad, se presenta en los programas curriculares de la Física. Fallas que surgen, entre otras cosas, por la falta de prototipos didácticos para el estudio del tema y las limitaciones de los dispositivos actualmente usados, los cuales no posibilitan establecer buenas mediciones y por, ende, no permiten un conocimiento adecuado del problema.

El análisis de las gráficas obtenidas en cada experimento, utilizando el prototipo didáctico diseñado y elaborado en este proyecto de investigación, permite calcular la velocidad límite y determinar el índice de viscosidad de la sustancia utilizada. De esta manera, con el prototipo se logra mejorar la calidad en las medidas de tiempo y

**William Marín Ramírez**  
Universidad tecnológica de Pereira  
wilmar@utp.edu.co

**María Lucidia Rendón Cañaverl**  
Universidad tecnológica de Pereira  
malure61@gmail.com

**Hugo Armando Gallego Becerra**  
Físico, M.Sc Física Instrumental  
Profesor asistente  
Universidad tecnológica de Pereira  
ugo@utp.edu.co

**Grupo de investigación “Diseño y construcción de prototipos” “DICOPED”**

desplazamiento, pues cuando se realizan de forma directa usando un cronómetro de accionamiento manual, usualmente se generan márgenes de error importantes en el laboratorio de física ocasionando errores en las reflexiones teóricas sobre los temas vinculados al movimiento de un objeto en un fluido newtoniano viscoso.

El dispositivo fue puesto a prueba variando el radio de la esfera, la densidad de las mismas y el tipo de fluido, con el fin de corroborar los datos y hacer las deducciones pertinentes. El método de investigación utilizado fue básicamente el experimental, a partir de sus pasos clásicos: observación, medición e inferencia de principios. Dicho método permitió deducir que existe una relación directa entre la velocidad límite, la densidad de la esfera, el fluido y el valor del radio de la misma.

### 2. DESCRIPCION DEL HARDWARE DEL CIRCUITO

El proyecto tuvo como propósito principal diseñar un sistema didáctico para mostrar a los alumnos el comportamiento de una partícula esférica en un medio viscoso y la manera como se puede estudiar mediante la

adquisición de una señal. La experiencia de laboratorio diseñada, permite deducir que el fenómeno observado se puede medir usando las tecnologías apropiadas y que mediante procedimientos matemáticos adecuados es posible realizar cálculos para analizar los fenómenos físicos. El diagrama de bloques del prototipo se muestra en la figura 1.

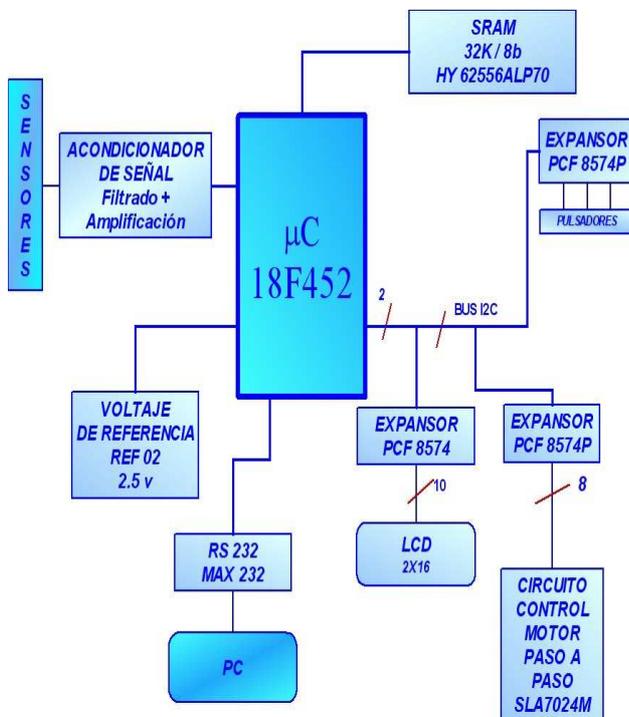


Figura 1. Diagrama de Bloques

## 2.1 ESPECIFICACIONES DEL HARDWARE

Para recibir la señal de los FTR IR, tomarla y procesarla parcialmente se diseñó y construyó un circuito electrónico capaz de detectar pequeñas variaciones de corriente y luego amplificarlas para ser llevadas al microcontrolador y de este ser transmitidas al computador, utilizando el puerto serial RS232. Para este proceso se hace uso de una interfaz de visualización como es la pantalla LCD de 2X16 líneas. Para visualizar gráficamente la señal, el circuito debe estar siempre conectado al puerto serial de una PC.

El voltaje para la fuente es de 110V ADC, regulada para proteger el circuito. El valor mínimo del tiempo de muestreo es de 1ms, el número de muestras a tomar es 4000 muestras de acuerdo al tiempo programado y la velocidad TX USART (Bps) es 19200.

Se utilizó el microcontrolador 18F452 de la familia Microchip, con una frecuencia de cristal de 20 MHz, para coordinar todos los procesos del sistema, imprimiendo los menús de opciones del prototipo en la pantalla LCD, controlando la captura de las señales, almacenándolas en

la memoria RAM del circuito principal y manejo del motor paso a paso.

Para almacenar los datos se usó una memoria estática SRAM 32Kb, para EL manejo del motor se empleó el CI SLA 7024M y los expansores PCF 8574, ya que se necesitó ampliar las líneas para conectar dispositivos.

La **elección de los sensores** constituyó una de las **etapas más importantes y críticas** dentro del proyecto por tanto, se trató entonces de buscar un dispositivo económico, que presentara la mejor respuesta a un ambiente natural. Teniendo en cuenta que la luz ambiente no tuviera mucha influencia, ni la práctica requiriera de condiciones especiales como oscuridad u otra característica especial.

Una vez caracterizado el sensor a utilizar entre las muchas opciones ensayadas como: LDR o fotorresistencias, sonar, Leds, fotodiodos, bobinas, entre otros dispositivos; se decidió por un **sensor fotoeléctrico** de infrarrojos, como el **FOTOTRANSISTOR**, uno de los optocomponentes más importantes.

Este sensor se basa en la acción del fotodiodo combinada con la función del transistor (que es un amplificador de corriente), por lo cual se obtiene un componente muy sensible a la luz. Funciona como el receptor de rayos infrarrojos que emitirán los Leds Emisores IR.

Los fototransistores son los componentes más ampliamente usados como receptores de luz, debido a que ofrecen la mejor relación entre la sensibilidad a la luz y la velocidad de respuesta, comparado con los componentes fotorresistivos, además responden bien ante luz visible e infrarroja.

Una vez seleccionados estos dispositivos, se procedió a construir el panel de Leds emisores IR y receptores FTR para sensar el paso de la partícula a través de estos. Se ideó el dispositivo de tal manera que su ubicación en el tubo fuera alineada, para así obtener el mismo potencial y además evitar que el mal funcionamiento de uno interfiriera en la señal del otro. Por esta razón se decidió realizar una conexión en paralelo. Otra de las razones es que si se desea aumentar el número de Leds no hay dificultad.

Se decidió proteger los sensores de incidencia de luz externa usando una cubierta en acrílico negro y a la vez proteger el tubo de vidrio contra golpes o posibles fisuras.

A continuación se muestra el prototipo con la ubicación de los sensores lateralmente alineados para que haya una excelente Emisión/Recepción de la señal, como se aprecia en la figura 2.



Figura 2. Prototipo

Como la memoria del micro es insuficiente para almacenar los datos del muestreo, por esto se hizo necesario expandir su memoria usando una RAM estática **SRAM** de 32 Kb, que tiene una capacidad de 62256 bytes, cuya referencia es HY62256MP-70. Esta permite almacenar un gran número de muestras de acuerdo a su capacidad, posibilitando así al usuario un amplio margen en el muestreo.

Con el objetivo de ampliar las funciones del microcontrolador, se usaron varios **PCF8574** CI expansores I/O, con el fin de expandir el bus I2C para obtener la comunicación con la pantalla LCD a 10 líneas, con el circuito control del motor paso a paso que usa el SLA7024M para 8 líneas y el panel compuesto por los pulsadores a 4 líneas. El PCF8574 proporciona una salida de interrupción que puede conectarse a una entrada de interrupción externa del  $\mu\text{C}$ . Cuando el expansor detecta un cambio en cualquiera de las líneas de entrada, se genera una señal de interrupción por la línea INT para que el  $\mu\text{C}$  pueda leer el nuevo dato por el bus I2C.

La señal únicamente puede ser generada cuando el puerto está configurado como entrada. Cuando el  $\mu\text{C}$  recibe la señal de interrupción activa la correspondiente subrutina de servicio, la cual captura el dato y lo envía vía serie ya sea para su representación en la pantalla LCD o para activar un dispositivo como el motor.

La LCD usada para visualización del menú para control del hardware es de 2 líneas x 16 caracteres lleva incorporado un controlador estándar Hitachi HD44780.

El programa Principal para su manejo fue realizado en MPLAB. El menú principal solicita un carácter desde cada pulsador el cual es enviado a través del PCF8574 al  $\mu\text{C}$  a través del I2C, y este a su vez lo reenvía para ser visualizado en el módulo de la LCD.

Para la comunicación el sistema puede transmitir la información a través de la USART usando el sistema estándar RS232, de esta forma puede comunicarse directamente con un PC a través del puerto serial. La transmisión USART se habilita directamente por el usuario para que el sistema se comunique inmediatamente con el PC.

## 2.2 FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO

**Sensores.** Para detectar el paso de la esfera a través del fluido se utilizaron diodos emisores de luz infrarroja IR cuya longitud de onda se acopla con la longitud de onda captada por los fototransistores infrarrojos, originando una respuesta a la longitud de onda del diodo emisor. Tanto los diodos emisores como receptores fueron conectados en paralelo.

Cuando el sistema se encuentra en reposo (no hay paso de esfera) cada **fototransistor** produce una corriente llamada corriente en reposo, esta corriente técnicamente es igual en cada diodo.

Dicha corriente nos da un punto de suma que equivale a  $\Sigma I$ , es decir equivalente al número de transistores por la corriente que produce cada uno de estos fototransistores. Ella va a un amplificador o convertidor de corriente a voltaje, el cual entrega un voltaje negativo  $V = -IR$ . Este voltaje corresponde al **voltaje del circuito en reposo**.

Cuando la esfera cruza por el fototransistor hay una fluctuación en la corriente total, es decir, hay una disminución de esta corriente debido a que la luz que incide sobre el fototransistor baja. Automáticamente se produce una variación en el voltaje, las fluctuaciones que se producen técnicamente deberían ser iguales, suponiendo que la esfera pasa por el frente y que todos los fototransistores responden de igual manera. Las fluctuaciones producidas son del orden de 50mV dependiendo de cómo la esfera cruce por el sistema de sensores y afecte el nivel de reposo (offset).

La fluctuación del voltaje a partir del nivel DC trae la información del paso de la esfera y esta variación es la que debe ser amplificada para realizar una medición confiable del tiempo que demora el paso de la esfera por cada sensor. La señal es lenta, del orden de los 2Hz, se puede decir, entonces, que el sistema de acondicionamiento de señal debe amplificar la fluctuación y eliminar el nivel DC, filtrar el ruido para luego establecer una comparación.

El sistema de **Acondicionamiento de señal** consta de: **Un buffer** que es un acople de impedancia realizado con un amplificador de ganancia uno y un inversor. En esta etapa la señal queda invertida.

**Detector de pico positivo.** Mide o guarda el nivel de reposo de la señal. Dicho detector de pico estará en el

pico más alto de la señal; se debe resetear el sistema para ubicarlo en el nivel actual (reposo).

**Restador.** Si al nivel de reposo se le resta la señal que esta a un voltaje negativo, este entrega la fluctuación producida por el sistema, lo que da una variación aproximada de 50mV. Teóricamente si no hay fluctuación la nueva señal debe entregar un valor de cero. La fluctuación obtenida va a un amplificador no inversor de ganancia cuatro. Luego pasa a un filtro Butterworth con una frecuencia de corte de 40 Hz el que elimina las señales de 60 Hz producidas por el ruido ya sea eléctrico o de otro tipo que afecte al sistema. Esta señal va al sistema de adquisición de datos ya filtrada.

**Sistema de adquisición de datos.** Este sistema consta de un microcontrolador de la familia de Microchip el PIC 18F452 y una memoria externa la cual permite almacenar los datos correspondientes a la señal que se registra con el paso de la esfera, y que ha sido tratada antes de ser recibida por el microcontrolador, para luego ser enviada por el puerto serial al computador. Luego es procesada por la interfaz gráfica (GUIDE) en Matlab.

El programa del microcontrolador se maneja a través de una pantalla LCD, la cual visualiza inicialmente varias opciones de menú que se operan a través de pulsadores y permite seleccionar los diversos parámetros como: adquisición de señal, número de muestras, tiempo de muestreo, manejo de motor y transmisión de los datos por el puerto serial.

**2.3 ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS DEL SOFTWARE**

El software fue implementado en el Matlab® 7.0, por tanto los requerimientos del sistema para trabajar apropiadamente son los mismos para este lenguaje, como por ejemplo memoria RAM de 512 Mb, procesador Pentium IV, capacidad de DD 80GB, Sistema Operativo Windows XP SP2, Puerto Serial RS232, y unidades de almacenamiento externas para transportar los datos o conexión a internet.

Para operar el prototipo se requiere que esté instalado en el computador que va a ser utilizado para la recepción de la señal el MatLab® 7.0. El software para recibir la señal se realizó en este programa como un archivo, con la extensión .m y se denominó **velocidad\_terminal.m**.

El software del microcontrolador fue desarrollado en Mplab, la simulación del circuito en Proteus, los filtros se diseñaron en Filterlab 2.0.exe y la respuesta en frecuencia se obtuvo en FilterFree 2008.exe.

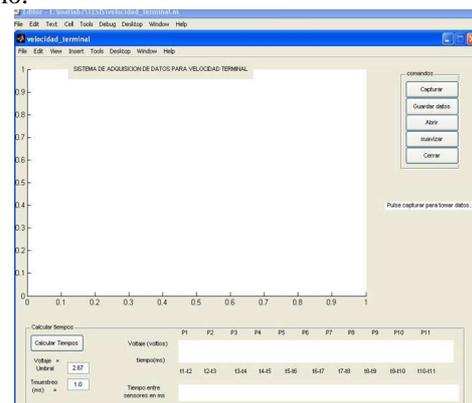
**2.4 MODO DE OPERACIÓN DEL SOFTWARE**

Con el fin de transmitir los parámetros necesarios y recibir y procesar la información que el dispositivo envía

al PC, se desarrollo un software en Matlab 7.0, el cual permite el control y manejo del hardware a través de su interface GUIDE.

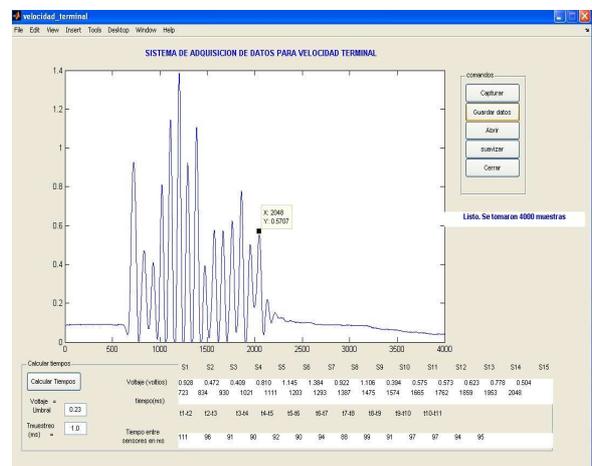
Se eligió este software por la facilidad de programación de su interfaz gráfica, también porque permitió procesar la señal como lo requería el sistema diseñado y además por su transportabilidad y facilidad de manejo por parte del usuario.

La siguiente figura enseña el menú de entrada del programa que fue diseñado para interacción con el usuario.



**Figura 3. Menú de entrada**

El botón Capturar lee los datos del puerto serial, estos son almacenados en una matriz de entrada y son guardados en un array para luego ser graficados usando las funciones del MatLab. Para iniciar la transmisión se debe tener habilitado el puerto serial, y luego hacer clic en el botón capturar del MatLab y posteriormente presionar el botón **Po** transmitir del hardware, siempre y cuando se halla verificado, que el hardware esté conectado y funcionando. En la pantalla **LCD** al iniciar la transmisión debe aparecer el mensaje TX....., el cual permanece unos segundos mientras se envían los datos al PC para luego de unos segundos más aparecer en pantalla la gráfica de la señal adquirida como se visualiza en la figura 4.



**Figura 4. Gráfica de los datos adquiridos**

Cada uno de los picos permite obtener el tiempo de muestreo, es decir el cruce de la esfera por el centro de cada sensor.

A continuación se presentan algunas tablas y graficas más significativas y los valores hallados, ya promediados de varios lanzamientos de diferentes esferas con su respectivo valor de velocidad y viscosidad.

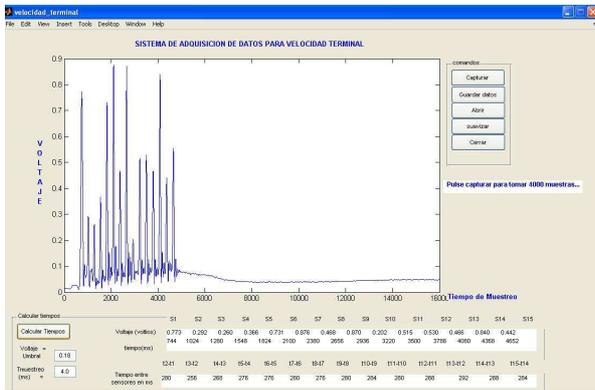
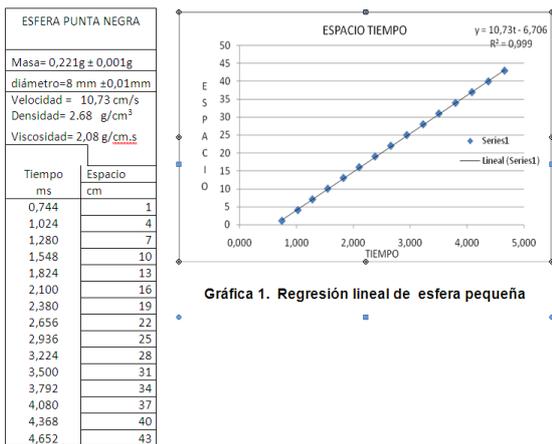
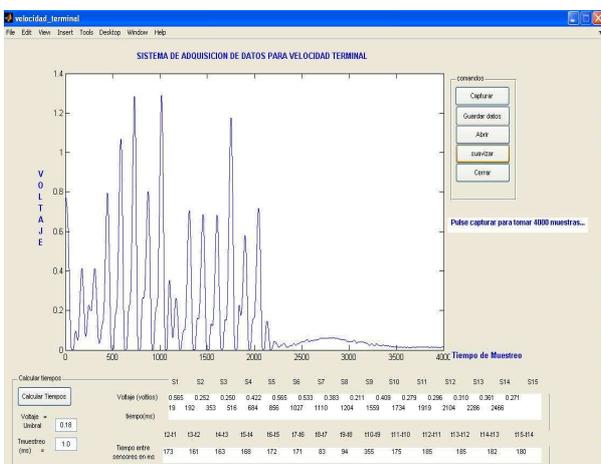


Figura 5. Señal esfera Pequeña



Gráfica 1. Regresión lineal de esfera pequeña

Figura 6. Tabla de datos experimentales y regresión lineal.



del mismo material y diámetros similares, obteniéndose en cada caso un valor de viscosidad y realizándose luego un promedio de dichos valores.

El procedimiento descrito se repite utilizando esferas de diversos materiales y diámetros, así como para diferentes fluidos.

Con el prototipo construido, el estudiante puede realizar prácticas de caracterización de los tiempos y hacer análisis estadístico de datos, con el fin de calcular las incertidumbres de una variable. También es posible inferir hipótesis y observar como varía la velocidad de un cuerpo a través de un fluido.

#### 4. BIBLIOGRAFÍA

- [1]ALONSO, Marcelo. Física, Mecánica, Ed. Fondo educativo Interamericano,s.a., Madrid, 1976, páginas 173, 174.
- [2]BERTIN, JOHN J. Mecánica de fluidos para ingenieros. Prentice may Hispanoamericana S.A. 1984.
- [3]FISHBANE, Paul M. GASIOROWICZ. Stephen. Física para ciencias e ingeniería. Volumen I. Prentice-Hall Hispanoamericana. México. 1994.
- [4]GONZÁLEZ, José Adolfo, *Introducción a los Microcontroladores de 16bits*, McGraw Hill, 1993.
- [5]HALLIDAY, David, RESNICK Robert. Física I y II. Compañía editorial continental. Mexico. 1978.
- [6]HEWITT, Paul G. Física Conceptual. Addison Wesley Longman. 2da Edición. 1998.
- [7]HUGHES, William, BRIGHTON John A. Teoría y problemas de dinámica de fluidos. McGraw Hill. 1970.
- [8]L. LANDAU Y E. Lifchitz. “Mecánica de los Fluidos”. Tomo 6. Editorial Mir.
- [9]L. MOTT ROBERT. Mecánica De Fluidos Aplicada. Prentice-Hall Hispanoamericana . 6ª edición.2006. Págs 520 a 537.
- [10]MOTOROLA CMOS LOGIC DATO, series c. Motorola INC., 1981 previous edition .printed U.S.A.
- [11]R.V. Giles, J.B. Evett y C. Liu. “Mecánica de los Fluidos e Hidráulica”. McGraw-Hill. 1994.
- [12]SERWAY, Raymond A. Física Tomo I. McGraw-Hill. Cuarta edición. 1990
- [13]SERWAY, Raymond A. Física Tomo II. McGraw-Hill. Cuarta edición. 1990
- [14]SALDARRIAGA. Juan G. Mecánica De Fluidos. Mcgraw-Hill Interamericana S.A. 3ª Edición.
- [15]STREETER L., Victor, Wylie Benjamin. Mecánica de fluidos. Mcgraw-Hill Latinoamericana S.A. Bogotá Colombia. 1979