

## INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD Y LA ACELERACION PARA LA SIMULACION DE OBJETOS EN MOVIMIENTO.

### Uncertainty in the measurement of the speed and the acceleration for the movement objects simulation

#### RESUMEN

Este documento pretende llevar a cabo mostrar los cálculos de incertidumbre analizados en un dispositivo diseñado y construido por el grupo de investigación “Diseño y construcción de prototipos para experimentos de demostración”. Dicho dispositivo es el prototipo para la demostración de las ecuaciones cinemáticas del movimiento rectilíneo uniforme, el cual se caracteriza por tener dos módulos electrónicos, (cronómetro y regleta móvil para la simulación) con el objetivo de obtener, a través de la simulación de este movimiento, el tiempo que demora una partícula en ir de un sitio a otro.

Es de notar que estos módulos fueron diseñados con base a las herramientas que la tecnología de hoy nos permite disfrutar, particularmente a través de microcontroladores de la familia PIC, los cuales permiten realizar funciones específicas para sensar valores de tiempo y distancia.

**PALABRAS CLAVES:** Prototipo, velocidad, tiempo, distancia, incertidumbre, física, microcontrolador.

#### ABSTRACT

This paper try to show the calculations of uncertainty analyzed in a device designed and built by the investigation group: “Diseño y construcción de prototipos para experimentos de demostración” DICOPEL. This device is the prototype for the demonstration of the kinematic equations of the rectilinear uniform movement, which is characterized by two electronic modules (stopwatch and power strip mobile for the simulation) with the objective to obtain, through the simulation of this movement, the time it takes a particle of going from one site to another.

It’s important to say that this modules was designed based in the tools that current technology let us enjoy, particularly using microcontrollers family PIC, which allow to perform specific functions for sense values of time and distance.

**KEYWORDS:** Prototype, speed, time, distance, uncertainty, physics, microcontrollers

#### 1. Introducción.

En este artículo se pretende hacer un análisis muy objetivo sobre la incertidumbre del prototipo para la práctica de Movimiento Rectilíneo Uniforme, con el objetivo de dar mayor confiabilidad y

seguridad en las pruebas realizadas con este prototipo, tales como las variables físicas de distancia, tiempo y velocidad que se manejan en este caso. .

**HUGO ARMANDO GALLEGO BECERRA**

Físico, M.Sc Física Instrumental  
Profesor asistente  
Universidad Tecnológica de Pereira  
[ugo@utp.edu.co](mailto:ugo@utp.edu.co)

**WILLIAM ARDILA URUEÑA**

Físico, M.Sc Física Instrumental  
Profesor asistente  
Universidad Tecnológica de Pereira  
[williamar@utp.edu.co](mailto:williamar@utp.edu.co)

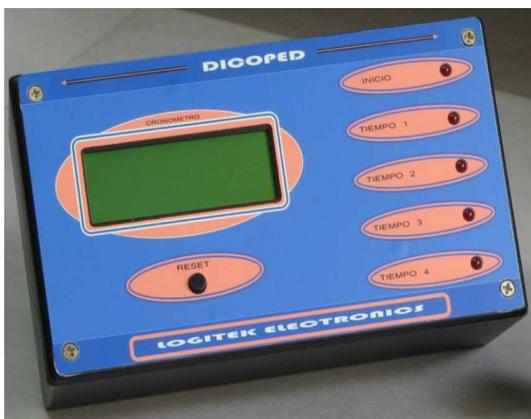
**HOOVER OROZCO GALLEGO**

Físico, M.Sc Física Instrumental  
Profesor asistente  
Universidad Tecnológica de Pereira  
[Hog1084@utp.edu.co](mailto:Hog1084@utp.edu.co)

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

Es importante notar que este dispositivo fue diseñado y posteriormente construido en dos fases diferentes.

La primera se puede describir físicamente con un cronómetro de cinco cifras decimales construido con base a un microcontrolador 16F873 el cual a través de un programa en lenguaje de máquina recibe la información de tiempo que demora una partícula en ir de un punto A a un punto B. La apariencia física de este cronómetro se muestra en la figura 1.



**Figura 1. Cronómetro digital**

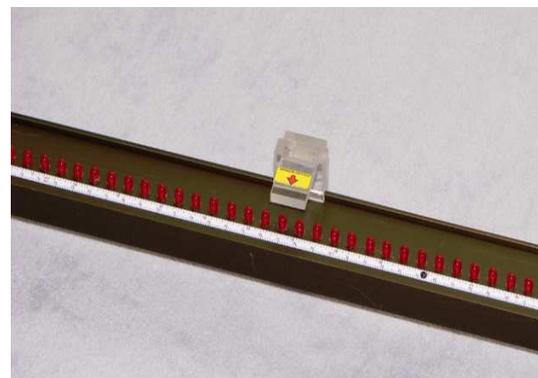
Una de las grandes ventajas que tiene este prototipo es la de poder utilizar cuatro bases de tiempo simultáneas, para cuatro diferentes sensores, sin embargo como en este caso sólo se requiere tener datos del momento en que la partícula se detiene, entonces se recurre a una base de tiempo, la cual es suficiente para la información que se solicita en el mismo y para los datos que permiten realizar el cálculo de incertidumbre de la práctica para el movimiento rectilíneo uniforme. Ver figura 2



**Figura 2. Panel frontal con bases de tiempo**

La segunda fase cuenta con una regleta horizontal en la cual se encuentra distribuidos un conjunto de LEDs los cuales permiten visualizar la distancia programada en el dispositivo, ya que depende básicamente de la lectura que hace el sistema a través de un sensor móvil de posición, que indica el momento en que el cronómetro deje de contar el tiempo empleado por la simulación realizada.

Una vez se tienen los datos de diferentes distancias, obtenidas a través de la regleta móvil, ya que con ella se varía la distancia, (en este caso de cinco en cinco centímetros) y por ende los diferentes resultados de tiempo que muestra el cronómetro después de terminada la trayectoria, se puede encontrar, recurriendo a cada uno de los gráficos distancia en función del tiempo, la pendiente, que no es más que el dato de velocidad que emplea la partícula al describir su trayectoria rectilínea. Ver figura 3.



**Figura 3. Regleta móvil del dispositivo**

Es importante tener en cuenta que este prototipo cuenta con la posibilidad de trabajar en diferentes modos de operación, donde se busca manejar diferentes velocidades para la obtención de diferentes gráficos basados en los tiempos y distancias adquiridas con el sistema. Ver figura 4.



**Figura 4. Módulo para el cambio de modos de operación**

Electrónicamente, este módulo cuenta con un decodificador 74LS154 de 24 pines que se comunica a través de un microcontrolador 16F628 de 18 pines, con el cual a través de un programa en lenguaje de máquina permite obtener los datos de tiempo que se pueden observar en la pantalla de cristal líquido del cronómetro.

**2. Cálculo de la Incertidumbre:**

En la Tabla 1, se muestran los datos del tiempo tomados con el prototipo al variar la posición.

Posición (m)	Tiempo (s)		
0,05	5,04010	5,04010	5,04010
0,10	10,07005	10,07005	10,07005
0,15	15,10000	15,10000	15,10000
0,20	20,12995	20,12995	20,12995
0,25	25,15975	25,15975	25,15975
0,30	30,18965	30,18965	30,18965
0,35	35,21980	35,21980	35,21980
0,40	40,24975	40,24975	40,24975

Tabla 1. Datos de Posición y Tiempo

Los valores promedios de la posición y el tiempo, se muestran en la Tabla 2.

Posición (m)	P (m)	t (s)
0,05	0,05	5,04010
0,10	0,10	10,07005
0,15	0,15	15,10000

0,20	0,20	20,12995
0,25	0,25	25,15975
0,30	0,30	30,18965
0,35	0,35	35,21980
0,40	0,40	40,24975

Tabla 2. Promedio de la Posición y el Tiempo

Antes de calcular la incertidumbre para la velocidad, es indispensable conocer las especificaciones y la resolución con las cuales trabajó el equipo en las variables de posición y tiempo. En la Tabla 3 se muestran estos valores.

Posición (m)		Tiempo (s)	
Exactitud	Resolución	Exactitud	Resolución
0,1%* lectura	0,001	0,001%* lectura	0,00001

Tabla 3. Especificaciones y Resolución de la Posición y el Tiempo

En la Tabla 4, se encuentran los valores calculados de las incertidumbres Tipo A y Tipo B (por exactitud y por resolución) tanto de la posición como del tiempo.

Posición = 0,05 m					
Posición (m)			Tiempo (s)		
u <sub>A</sub>	u <sub>B1</sub>	u <sub>B2</sub>	u <sub>A</sub>	u <sub>B1</sub>	u <sub>B2</sub>
0,00000	2,88675 *10 <sup>-5</sup>	2,88675 *10 <sup>-4</sup>	0,00000	2,90990 *10 <sup>-5</sup>	2,88675* 10 <sup>-6</sup>
Posición = 0,10 m					
Posición (m)			Tiempo (s)		
u <sub>A</sub>	u <sub>B1</sub>	u <sub>B2</sub>	u <sub>A</sub>	u <sub>B1</sub>	u <sub>B2</sub>
0,0000	5,77350 *10 <sup>-5</sup>	2,88675 *10 <sup>-4</sup>	0,00000	5,81395 *10 <sup>-5</sup>	2,88675* 10 <sup>-6</sup>
Posición = 0,15 m					
Posición (m)			Tiempo (s)		
u <sub>A</sub>	u <sub>B1</sub>	u <sub>B2</sub>	u <sub>A</sub>	u <sub>B1</sub>	u <sub>B2</sub>
0,0000	8,66025 *10 <sup>-5</sup>	2,88675 *10 <sup>-4</sup>	0,00000	8,71800 *10 <sup>-5</sup>	2,88675* 10 <sup>-6</sup>
Posición = 0,20 m					
Posición (m)			Tiempo (s)		
u <sub>A</sub>	u <sub>B1</sub>	u <sub>B2</sub>	u <sub>A</sub>	u <sub>B1</sub>	u <sub>B2</sub>
0,00000	1,15470 *10 <sup>-4</sup>	2,88675 *10 <sup>-4</sup>	0,00000	1,16220 *10 <sup>-4</sup>	2,88675* 10 <sup>-6</sup>
Posición = 0,25 m					
Posición (m)			Tiempo (s)		
u <sub>A</sub>	u <sub>B1</sub>	u <sub>B2</sub>	u <sub>A</sub>	u <sub>B1</sub>	u <sub>B2</sub>

0,00000	1,44338 *10 <sup>-4</sup>	2,88675 *10 <sup>-4</sup>	0,00000	1,45260 *10 <sup>-4</sup>	2,88675* 10 <sup>-6</sup>
<b>Posición = 0,30 m</b>					
<b>Posición (m)</b>			<b>Tiempo (s)</b>		
<b>u<sub>A</sub></b>	<b>u<sub>B1</sub></b>	<b>u<sub>B2</sub></b>	<b>u<sub>A</sub></b>	<b>u<sub>B1</sub></b>	<b>u<sub>B2</sub></b>
0,00000	1,73205 *10 <sup>-4</sup>	2,88675 *10 <sup>-4</sup>	0,00000	1,74300 *10 <sup>-4</sup>	2,88675* 10 <sup>-6</sup>
<b>Posición = 0,35 m</b>					
<b>Posición (m)</b>			<b>Tiempo (s)</b>		
<b>u<sub>A</sub></b>	<b>u<sub>B1</sub></b>	<b>u<sub>B2</sub></b>	<b>u<sub>A</sub></b>	<b>u<sub>B1</sub></b>	<b>u<sub>B2</sub></b>
0,00000	2,02072 *10 <sup>-4</sup>	2,88675 *10 <sup>-4</sup>	0,00000	2,03342 *10 <sup>-4</sup>	2,88675* 10 <sup>-6</sup>
<b>Posición = 0,40 m</b>					
<b>Posición (m)</b>			<b>Tiempo (s)</b>		
<b>u<sub>A</sub></b>	<b>u<sub>B1</sub></b>	<b>u<sub>B2</sub></b>	<b>u<sub>A</sub></b>	<b>u<sub>B1</sub></b>	<b>u<sub>B2</sub></b>
0,00000	2,30940 *10 <sup>-4</sup>	2,88675 *10 <sup>-4</sup>	0,00000	2,32382 *10 <sup>-4</sup>	2,88675* 10 <sup>-6</sup>

Tabla 4. Incertidumbres Tipo A y Tipo B para la Posición y el Tiempo

La incertidumbre combinada para la posición y el tiempo se muestra en la Tabla 5.

Posición (m)	u <sub>cp</sub> (m)	u <sub>ct</sub> (s)
0,05	2,90115*10 <sup>-3</sup>	2,92418*10 <sup>-5</sup>
0,10	2,94392*10 <sup>-3</sup>	5,82111*10 <sup>-5</sup>
0,15	3,01386*10 <sup>-3</sup>	8,72278*10 <sup>-5</sup>
0,20	3,10912*10 <sup>-3</sup>	1,16256*10 <sup>-4</sup>
0,25	3,22749*10 <sup>-3</sup>	1,45289*10 <sup>-4</sup>
0,30	3,36650*10 <sup>-3</sup>	1,74324*10 <sup>-4</sup>
0,35	3,52372*10 <sup>-3</sup>	2,03362*10 <sup>-4</sup>
0,40	3,69684*10 <sup>-3</sup>	2,32400*10 <sup>-4</sup>

Tabla 5. Incertidumbre Combinada para la Posición y el Tiempo

Para el cálculo de la incertidumbre combinada es necesario conocer las derivadas parciales de la velocidad con respecto a la posición y al tiempo.

La velocidad está dada por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{P}{t}$$

donde P es la posición y t es el tiempo.

Las derivadas parciales de la velocidad con respecto a la posición y al tiempo son respectivamente:

$$\frac{\partial V}{\partial P} = \frac{1}{t} \quad \text{y} \quad \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{-P}{t^2}$$

En la Tabla 5 se muestran los valores de las derivadas parciales, de la incertidumbre combinada, de los grados efectivos de libertad, del factor de cobertura k y de la incertidumbre expandida para cada uno de los valores de posición analizados.

<b>Posición = 0,05 m</b>					
$\frac{\partial V}{\partial P}$	$\frac{\partial V}{\partial t}$	u <sub>c</sub> (m/s)	γ <sub>ef</sub>	k	U <sub>E</sub> (m/s)
0,19841	1,96830 *10 <sup>-3</sup>	5,75617 *10 <sup>-5</sup>	∞	1,96	1,12821 *10 <sup>-4</sup>
<b>Posición = 0,10 m</b>					
$\frac{\partial V}{\partial P}$	$\frac{\partial V}{\partial t}$	u <sub>c</sub> (m/s)	γ <sub>ef</sub>	k	U <sub>E</sub> (m/s)
0,09930	9,86136 *10 <sup>-4</sup>	2,92332 *10 <sup>-5</sup>	∞	1,96	5,72970 *10 <sup>-5</sup>
<b>Posición = 0,15 m</b>					
$\frac{\partial V}{\partial P}$	$\frac{\partial V}{\partial t}$	u <sub>c</sub> (m/s)	γ <sub>ef</sub>	k	U <sub>E</sub> (m/s)
0,06623	6,57866 *10 <sup>-4</sup>	2,00134 *10 <sup>-5</sup>	∞	1,96	3,92263 *10 <sup>-5</sup>
<b>Posición = 0,20 m</b>					
$\frac{\partial V}{\partial P}$	$\frac{\partial V}{\partial t}$	u <sub>c</sub> (m/s)	γ <sub>ef</sub>	k	U <sub>E</sub> (m/s)
0,04968	4,93565 *10 <sup>-4</sup>	1,54454 *10 <sup>-5</sup>	∞	1,96	3,02729 *10 <sup>-5</sup>
<b>Posición = 0,25 m</b>					
$\frac{\partial V}{\partial P}$	$\frac{\partial V}{\partial t}$	u <sub>c</sub> (m/s)	γ <sub>ef</sub>	k	U <sub>E</sub> (m/s)
0,03975	3,94937 *10 <sup>-4</sup>	1,28294 *10 <sup>-5</sup>	∞	1,96	2,51456 *10 <sup>-5</sup>
<b>Posición = 0,30 m</b>					
$\frac{\partial V}{\partial P}$	$\frac{\partial V}{\partial t}$	u <sub>c</sub> (m/s)	γ <sub>ef</sub>	k	U <sub>E</sub> (m/s)
0,03312	3,29159 *10 <sup>-4</sup>	1,11500 *10 <sup>-5</sup>	∞	1,96	2,18540 *10 <sup>-5</sup>
<b>Posición = 0,35 m</b>					
$\frac{\partial V}{\partial P}$	$\frac{\partial V}{\partial t}$	u <sub>c</sub> (m/s)	γ <sub>ef</sub>	k	U <sub>E</sub> (m/s)
0,02839	2,82159 *10 <sup>-4</sup>	1,00040 *10 <sup>-5</sup>	∞	1,96	1,96079 *10 <sup>-5</sup>
<b>Posición = 0,40 m</b>					
$\frac{\partial V}{\partial P}$	$\frac{\partial V}{\partial t}$	u <sub>c</sub> (m/s)	γ <sub>ef</sub>	k	U <sub>E</sub> (m/s)
0,02484	2,46907 *10 <sup>-4</sup>	9,18313 *10 <sup>-6</sup>	∞	1,96	1,79989 *10 <sup>-5</sup>

Tabla 6. Incertidumbre Combinada y Expandida para cada valor de Velocidad

A manera de resumen, en la Tabla 7 se encuentra el valor de la velocidad con su respectiva incertidumbre para cada valor de posición.

Posición (m)	Velocidad (m/s) $\pm$ Incertidumbre (m/s)
0,05	$9,9 * 10^{-3} \pm 1,2 * 10^{-4}$
0,10	$9,9 * 10^{-3} \pm 5,8 * 10^{-5}$
0,15	$9,9 * 10^{-3} \pm 4,0 * 10^{-5}$
0,20	$9,9 * 10^{-3} \pm 3,1 * 10^{-5}$
0,25	$9,9 * 10^{-3} \pm 2,6 * 10^{-5}$
0,30	$9,9 * 10^{-3} \pm 2,2 * 10^{-5}$
0,35	$9,9 * 10^{-3} \pm 2,0 * 10^{-5}$
0,40	$9,9 * 10^{-3} \pm 1,8 * 10^{-5}$

Tabla 7. Valores de Velocidad con su respectiva Incertidumbre

### 3. Conclusiones

Toda magnitud física encontrada a través de medios experimentales debe tener el acompañamiento de la incertidumbre de la medida. Este procedimiento permite la confiabilidad y validez correspondiente para ser utilizado posteriormente en la interpretación y análisis de resultados.

La incertidumbre es llevada a cabo a través de un metrólogo o persona dedicada a la realización de mediciones para convertir estas medidas en un indicador de la calidad de la medición

### 4. Bibliografía

- [1] Marcelo. Física, Mecánica, Ed. Fondo educativo Interamericano,s.a., Madrid, 1976
- [2] FISHBANE, Paul M. GASIOROWICZ. Stephen. Física para ciencias e ingeniería. Volumen I. Prentice-Hall Hispanoamericana. México. 1994.
- [3] GONZÁLEZ, José Adolfo, *Introducción a los Microcontroladores de 16bits*, McGraw Hill, 1993.
- [4] HALLIDAY, David, RESNICK Robert. Física I y II. Compañía editorial continental. Mexico. 1978.
- [5] HEWITT, Paul G. Física Copnceptual. Addison Wesley Longman. 2da Edición. 1998.

MATAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. Harper & Row Publisher. 1970.

[6] Norma NTC-2194 Vocabulario de términos básicos y generales en metrología.

[7] GTC 51, Guía para la Expresión de Incertidumbre en Mediciones. 2000: Bogotá D.C.

[8] EA 4/02, Expresión of the Uncertainty of Measurement in Calibration.

[9] Física Universitaria, FRANCIS W. SEARS. Volumen 1.

[