CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA AL EQUIPO DE MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORME DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN DICOPED

RESUMEN
En el presente trabajo se muestra la metodología para el cálculo de la incertidumbre en la medición de la velocidad a través del equipo movimiento rectilíneo uniforme, diseñado por el grupo de investigación DICOPED (Diseño y construcción de prototipos para experimentos de demostración) el cual trabaja con un microcontrolador PIC16F676 y con un cronómetro que se conecta al equipo para tomar el tiempo que se demora en realizar el movimiento. Para la realización del trabajo se mandó a calibrar una regla graduada clase 2 para medir la distancia y se utilizó como patrón del tiempo un cronómetro Casio-Hs-1000 en milésimas de segundo. La metodología sigue los siguientes pasos basados en la GUM (Guía para estimar la incertidumbre de medición), el documento de aplicación para laboratorios EA 4/02 (rev00) ,artículos de ciencia y técnica: i) Expresar el modelo matemático del mensurando. ii) Cuantificación: evaluación de las incertidumbres tipo A y tipo B. iv) Calcular la incertidumbre estándar combinada v) Cálculo de la incertidumbre expandida.vi) Expresión de la incertidumbre de medida.

PALABRAS CLAVES: Clase de exactitud, Incertidumbre, Incertidumbre expandida, Incertidumbre tipo A y tipo B, Metrología, Movimiento Rectilíneo Uniforme, Resolución, Teorema del Límite Central.

ABSTRACT
This paper presents a methodology for calculating the uncertainty in the measurement of speed through the uniform linear motion equipment, designed by the research group DICOPED (Design and construction of prototypes for demonstration experiments) which works with PIC16F676 microcontroller and a clock that connects to the device for measuring the time it takes to make the move. To carry out the work was sent to calibrate a two-class ruler to measure the distance and was used as a weather pattern Casio stopwatch-Hs-1000 in milliseconds. The methodology follows the following steps: i) express the mathematical model of the measured. ii) quantification: evaluation of uncertainties type A and type B. iv) Calculate the combined standard uncertainty v) Criteria for limiting application of theorem central.vi) Calculate the expanded uncertainty.

KEYWORDS: Class of accuracy, uncertainty, expanded uncertainty, uncertainty type A and type B, Metrology, Uniform Rectilinear Motion, Resolution, Central Limit Theorem.

DIANA MARSELA MORALES A.
Ingeniera Física.
Universidad Tecnológica de Pereira
Atenea_8m4@hotmail.com
Grupo de investigación Dicoped.

CLAUDIA M. BETANCOURT Q.
Ingeniera Física.
Universidad Tecnológica de Pereira
claclao3@hotmail.com
Grupo de investigación Dicoped.

LUIS GREGORIO MESA
MSc. Profesor asistente
Universidad Tecnológica de Pereira
Grupo de investigación de Metrología

1. INTRODUCCIÓN

El equipo movimiento rectilíneo uniforme está conformado por un **PIC16F873** y **48 LEDS**. El cronómetro trabaja con un **PIC16F876**. El funcionamiento del equipo movimiento rectilíneo uniforme consiste en digitar en éste el valor de la velocidad para hallar el tiempo que tarda un objeto en realizar el recorrido, así como también graduar las distancias a las que se desea realizar el recorrido. Se tomaron 4 distancias cada una con cinco velocidades diferentes (2, 4, 6, 8,10), tomando el tiempo 10 veces para cada punto.

Fecha Recepción: 9 de Septiembre de 2010
Fecha aceptación: 15 de Noviembre de 2010

2. CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA

La incertidumbre es un parámetro que indica la probabilidad de que el resultado de una medición esté efectivamente dentro de ciertos límites alrededor de un valor medio. En conclusión: La incertidumbre es una forma de expresar el hecho de que, para un mensurando y su resultado de medición dados no existe un sólo valor, sino un número infinito de valores dispersos alrededor del resultado que es consistente en todas las observaciones, datos y conocimientos que se tenga del

	$x = 10cm$		$x = 20cm$		$x = 30cm$		$x = 40cm$	
V (cm/s)	t1	t2	t1	t2	t1	t2	t1	t2
2	5,043	5,096	10,038	10,043	15,185	15,089	20,145	20,158
4	2,592	2,540	5,068	5,012	7,448	7,582	10,045	10,063
6	1,656	1,693	3,307	3,329	5,020	5,003	6,758	6,761
8	1,260	1,238	2,421	2,540	3,745	3,786	5,060	5,089
10	1,056	1,080	1,958	2,015	3,007	3,031	4,074	4,034
V (cm/s)	t3	t4	t3	t4	t3	t4	t3	t4
2	5,100	5,033	10,053	10,074	15,119	15,135	20,125	20,106
4	2,553	2,506	5,054	5,048	7,521	7,505	10,094	10,056
6	1,674	1,644	3,288	3,284	5,014	5,015	6,640	6,732
8	1,272	1,257	2,543	2,556	3,764	3,732	5,027	5,003
10	1,020	1,083	1,975	2,006	3,036	3,045	4,040	4,015
V (cm/s)	t5	t6	t5	t6	t5	t6	t5	t6
2	5,086	5,093	10,059	10,069	15,092	15,093	20,096	20,131
4	2,550	2,570	5,062	5,060	7,492	7,495	10,019	10,054
6	1,682	1,657	3,349	3,351	5,019	5,001	6,704	6,738
8	1,258	1,238	2,507	2,537	3,739	3,741	5,078	5,020
10	1,074	1,032	1,956	2,041	3,054	3,049	4,081	4,094
V (cm/s)	t7	t8	t7	t8	t7	t8	t7	t8
2	5,032	5,057	10,027	10,039	15,169	15,098	20,132	20,185
4	2,572	2,507	5,015	5,074	7,548	7,591	10,101	10,083
6	1,642	1,678	3,319	3,310	5,018	5,022	6,708	6,663
8	1,275	1,216	2,472	2,470	3,732	3,793	5,047	5,055
10	1,049	1,033	2,096	1,948	3,031	3,028	4,020	4,038
V (cm/s)	t9	t10	t9	t10	t9	t10	t9	t10
2	5,094	5,087	10,002	10,841	15,098	15,089	20,176	20,141
4	2,551	2,587	5,022	5,040	7,539	7,524	10,025	10,011
6	1,638	1,677	3,330	3,309	5,035	5,019	6,676	6,671
8	1,278	1,269	2,476	2,473	3,763	3,752	5,015	5,051
10	1,022	1,039	2,041	1,989	3,082	3,091	4,025	4,018

mundo físico, y que con distintos grados de credibilidad pueden ser atribuidos al mensurando.[1]

En vista de la creciente necesidad de tener valores confiables a la hora de realizar la medición es importante expresar el resultado de ésta con una incertidumbre de medida y su nivel de confianza determinado.

La incertidumbre de la medición nos brinda que tanto conocemos de los procesos de medición de nuestro desempeño día a día, el nivel de la gestión de calidad de los mismos y por consiguiente saca a relucir las virtudes y los defectos de los sistemas de aseguramiento metrológico que soportan todas las mediciones que realizamos.

Los pasos básicos a seguir para el cálculo de la incertidumbre de medida, según los expone la GUM (Guía para estimar la incertidumbre de medición) [2] y el documento de aplicación para laboratorios EA 4/02 (rev00) [3] son los siguientes:

A continuación se presenta una tabla con todos los datos tomados por el equipo (M.R.U):

Tabla1. Datos tomados tiempo del equipo (s) (M.R.U)

Tabla2. Datos tomados –tiempo del Cronómetro

	$x = 10cm$		$x = 20cm$		$x = 30cm$		$x = 40cm$	
V (cm/s)	t1	t2	t1	t2	t1	t2	t1	t2
2	5,033	5,033	10,06085	10,0609	15,089	15,08875	20,1166	20,1166
4	2,5145	2,5145	5,02645	5,02645	7,5384	7,5384	10,0504	10,0504
6	1,6727	1,6727	3,34365	3,34365	5,0146	5,0146	6,68555	6,68555
8	1,2553	1,2553	2,50925	2,50925	3,7632	3,7632	5,0172	5,0172
10	1,00505	1,00505	2,009	2,009	3,013	3,013	4,01695	4,01695
V (cm/s)	t3	t4	t3	t4	t3	t4	t3	t4
2	5,033	5,033	10,06085	10,0609	15,089	15,08875	20,1166	20,1166
4	2,5145	2,5145	5,02645	5,02645	7,5384	7,5384	10,0504	10,0504
6	1,6727	1,6727	3,34365	3,34365	5,0146	5,0146	6,68555	6,68555
8	1,2553	1,2553	2,50925	2,50925	3,7632	3,7632	5,0172	5,0172
10	1,00505	1,00505	2,009	2,009	3,013	3,013	4,01695	4,01695
V (cm/s)	t5	t6	t5	t6	t5	t6	t5	t6
2	5,033	5,033	10,06085	10,0609	15,089	15,08875	20,1166	20,1166
4	2,5145	2,5145	5,02645	5,02645	7,5384	7,5384	10,0504	10,0504
6	1,6727	1,6727	3,34365	3,34365	5,0146	5,0146	6,68555	6,68555
8	1,2553	1,2553	2,50925	2,50925	3,7632	3,7632	5,0172	5,0172
10	1,00505	1,00505	2,009	2,009	3,013	3,013	4,01695	4,01695
V (cm/s)	t7	t8	t7	t8	t7	t8	t7	t8
2	5,033	5,033	10,06085	10,0609	15,089	15,08875	20,1166	20,1166
4	2,5145	2,5145	5,02645	5,02645	7,5384	7,5384	10,0504	10,0504
6	1,6727	1,6727	3,34365	3,34365	5,0146	5,0146	6,68555	6,68555
8	1,2553	1,2553	2,50925	2,50925	3,7632	3,7632	5,0172	5,0172
10	1,00505	1,00505	2,009	2,009	3,013	3,013	4,01695	4,01695
V (cm/s)	t9	t10	t9	t10	t9	t10	t9	t10
2	5,033	5,033	10,06085	10,0609	15,089	15,08875	20,1166	20,1166
4	2,5145	2,5145	5,02645	5,02645	7,5384	7,5384	10,0504	10,0504
6	1,6727	1,6727	3,34365	3,34365	5,0146	5,0146	6,68555	6,68555
8	1,2553	1,2553	2,50925	2,50925	3,7632	3,7632	5,0172	5,0172
10	1,00505	1,00505	2,009	2,009	3,013	3,013	4,01695	4,01695

Casio-Hs-1000(s) (M.R.U)

2.1 EXPRESAR EL MODELO MATEMÁTICO DEL MENSURANDO

De acuerdo a la 1ª Ley de Newton toda partícula permanece en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme cuando no hay una fuerza neta que actúe sobre el cuerpo. Esta es una situación ideal, ya que siempre existen fuerzas que tienden a alterar el movimiento de las partículas, ya que en realidad no podemos afirmar que algún objeto se encuentre en reposo total.
El MRU se caracteriza por:

- Movimiento que se realiza en una sola dirección en el eje horizontal.
- Velocidad constante; implica magnitud y dirección inalterables.
- La magnitud de la velocidad recibe el nombre de rapidez. Este movimiento no presenta aceleración (aceleración = 0).[4]

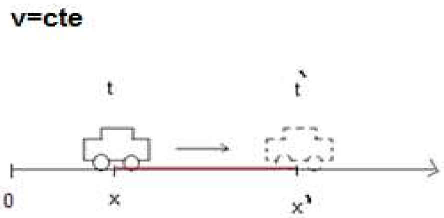


Figura 3.Modelo físico

La función que describe el funcionamiento del equipo de movimiento rectilíneo uniforme es:

$$v = \frac{x}{t} \qquad (1)$$

Donde:

v : Velocidad
x: Distancia
t: Tiempo

Para M.R.U el mensurando es la velocidad y las magnitudes de entrada son la distancia d y el tiempo t empleadas en ello.

2.2 CUANTIFICACIÓN

Se distinguen dos métodos para cuantificar las fuentes: el método de evaluación tipo A el cual está basado en un análisis estadístico de una serie de mediciones. El método de evaluación tipo B comprende todas las demás maneras de estimar la incertidumbre es decir una distribución con base en experiencia o información del metrólogo ,estas fuentes de incertidumbre podemos observarlas en la figura 2.

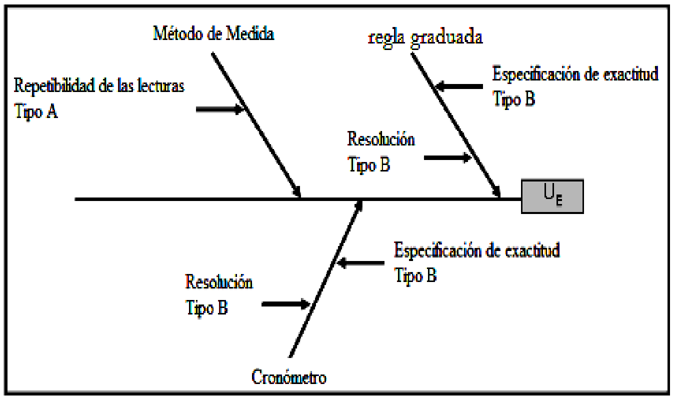


Figura 4.Fuentes de incertidumbre de medida en el proceso de medición

2.2.1 Evaluación de la incertidumbre tipo A

La incertidumbre de una magnitud de entrada X_i obtenida a partir de observaciones repetidas bajo condiciones de repetibilidad, se estima con base en la dispersión de los resultados individuales. Para una serie de medidas efectuadas bajo condiciones de repetibilidad, compuesta de n medidas (n > 1) independientes, el valor estimado x, del valor verdadero de la magnitud X, viene dado por la media aritmética de los valores individuales medidos

$x(cm)$	$v(\frac{cm}{s})$	$\bar{t}equipo$ (s)	$\bar{t}cronometro$(s)	$E\% = \left(\frac{\bar{t}_e - \bar{t}_{cro}}{\bar{t}_{cro}} * 100\right)$
10	2	5,033	5,0721	-0,77
	4	2,5145	2,5528	-1,50
	6	1,6727	1,6641	0,52
	8	1,2553	1,2561	-0,06
	10	1,00505	1,0488	-4,17
20	2	10,06085	10,1245	-0,63
	4	5,02645	5,0455	-0,38
	6	3,34365	3,3176	0,79
	8	2,50925	2,4995	0,39
	10	2,009	2,0025	0,32
30	2	15,08875	15,1167	-0,18
	4	7,5384	7,5245	0,18
	6	5,0146	5,0166	-0,04
	8	3,7632	3,7547	0,23
	10	3,013	3,0454	-1,06
40	2	20,1166	20,1395	-0,11
	4	10,05035	10,0551	-0,05
	6	6,68555	6,7051	-0,29
	8	5,0172	5,0445	-0,54
	10	4,01695	4,0439	-0,67

$x_i = (i, \ldots..1)$:

$$\bar{x_i} = \bar{q} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} q_j \qquad (2)$$

La incertidumbre $u(x_i)$ de X_i se obtiene mediante el cálculo de la desviación estándar experimental de la media:

$$u(x_i) = \frac{1}{\sqrt{n}}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(q_k-\bar{q})^2}{(n-1)}} \qquad (3)$$

Se halla la desviación estándar[1] de las lecturas tomadas de la altura *x* y el tiempo *t* con la ecuación (4) y (5):

$$U_{A\bar{x}} = s(m) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_k-x)^2}{n(n-1)}} \qquad (4)$$

$$U_{A\bar{t}} = s(m) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(t_k-\bar{t})^2}{n(n-1)}} \qquad (5)$$

Las variaciones de las incertidumbres Tipo A con respecto a la distancia y el tiempo son mínimas, por lo tanto $U_{A\bar{x}} = 0{,}0m$, $U_{A\bar{t}} = 0{,}0m$debido a que la distancia x y el tiempo t son los mismos en cada punto.

2.2.2 Evaluación de la incertidumbre tipo B

Las fuentes de incertidumbre tipo B son cuantificadas usando información externa u obtenida por experiencia; éstas fuentes de información pueden ser: certificados de calibración, manuales del instrumento de medición, especificaciones del instrumentos, normas de literatura, valores de mediciones anteriores.

Las incertidumbres Tipo B presentes en este proceso de medida son las siguientes:

- Evaluación de la incertidumbre estándar *Tipo B* por asignación de la clase de exactitud al equipo M.R.U. (U_{B1}):

$$U_{B1}(\delta t_{esp}) = \frac{clase\ de\ exactitud * Lectura\ del\ tiempo}{2*\sqrt{3}} \qquad (6)$$

Clase de exactitud

$$Clase\ de\ exactitud = \left(\frac{A_i - A_r}{A_r}\right) * 100 \qquad (7)$$

Donde:
$A_i = Lectura\ equipo$
$A_r = Lectura\ patrón$

Tabla. 3 Clase de exactitud

La clase de exactitud para este equipo es $\approx \pm 1\%$

A manera de ejemplo se escoge la lectura del tiempo a 40cm y 10cm/s de velocidad a través de todo el documento debido a que a esa distancia y ese tiempo da un valor significativo de la velocidad.

$$U_{B1}(\delta t_{esp}) = \frac{\frac{1\%}{100}*4{,}01695s}{2*\sqrt{3}} = 0{,}011596s \qquad (8)$$

- Evaluación de la incertidumbre estándar *Tipo B* por Resolución del equipo M.R.U (U_{B2}):

$$U_{B2}(\delta t_{res}) = \frac{Resolución/Equipo}{2*\sqrt{3}} \qquad (9)$$

$$U_{B2}(\delta tres) = \frac{0{,}00001s}{2*\sqrt{3}} = 2{,}88675E^{-06}s \qquad (10)$$

- Evaluación de la incertidumbre estándar *Tipo B* por CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN de la regla graduada clase 2 (U_{B3})…véase anexo (B)…:

$$U_{3Cert} = \frac{U}{k} \qquad (11)$$

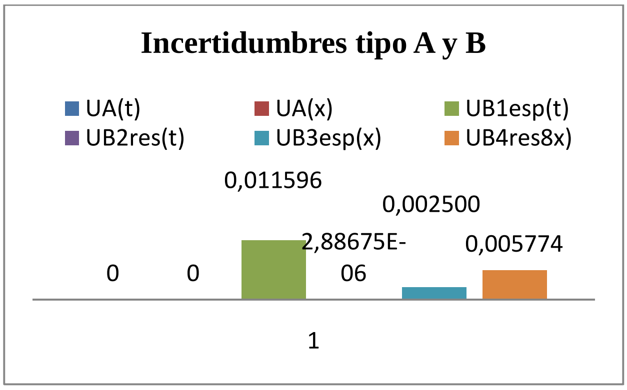
$$U_{B_{3Cert}} = \frac{0{,}05mm}{2} \approx 0{,}0025cm \qquad (12)$$

- Evaluación de la incertidumbre estándar *Tipo B* por Resolución de la regla graduada(U_{B_4}):

$$U_{B4}(\delta xres) = \frac{División\ de\ la\ escala}{Apreciación*\sqrt{3}} \qquad (13)$$

$$U_{B4}(\delta xres) = \frac{1mm}{10*\sqrt{3}} \approx 0{,}005774\text{cm} \qquad (14)$$

La división de la escala es 1mm ya que la regla esta dividida en milímetros. La apreciación es la cantidad de veces en que se puede subdividir la escala.



---

[1] En Microsoft Excel, la desviación estándar de una serie de datos se puede obtener por medio de la función "DESVEST(A: B)", donde "A: B" es el rango de valores obtenidos en la medición.

Figura 5.Incertidumbres tipo A y B

2.3 CALCULAR LA INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR COMBINADA

La incertidumbre estándar combinada es el resultado de la combinación de las contribuciones de todas las fuentes, la cual contiene toda la información esencial sobre el propio mensurando, si algunas de las magnitudes de entrada están correlacionadas hay que considerar las covarianzas por lo tanto la ecuación se presenta de la siguiente forma:

$$U_c{}^2(y) = \sum_{i=1}^{N}\left[\frac{\partial f}{\partial X_i}.u(x_i)\right]^2 + 2\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n}\frac{\partial f}{\partial X_i}\frac{\partial f}{\partial X_j}.u(x_i,x_j) \quad (15)$$

Donde

$$u(\overline{x_\iota},\overline{x_J}) = \frac{1}{n(n-1)}\sum_{k=1}^{n}(x_i-\overline{x_\iota}).(x_j-\overline{x_J}) \quad (16)$$

Es la covarianza

$u(x_i)$: Incertidumbres tipo A y tipo B

Magnitud X_i	valor estimado x_i	Incertidumbre estándar $U(x_i)$	Distribución De probabilidad	Coeficiente de sensibilidad C_i	Contribución a la incertidumbre $U_i^2(y)$
t	0,3034	0,000267	Normal	-64,45042355	$U_i^2(t)$
δt_{esp}	0	0,000438	Rectangular		0,00143814
δt_{esp}	0	0,000289	Rectangular		
h	0,45	0	Normal	21,72695389	$U_i^2(h)$
δh_{esp}	0	0,000025	Rectangular		1,86857E-06
δh_{esp}	0	0,000058	Rectangular		
g	9,777129				0,037948

$\frac{\partial f}{\partial x_i}$: Coeficientes de sensibilidad

El segundo término se hace cero debido a que la distancia y el tiempo es el mismo en cada punto por lo tanto la ecuación (15) se modifica por:

$$U_c(y) = \sqrt{\sum_{k=1}^{N}\left[\frac{\partial f}{\partial x_i}.u(x_i)\right]^2} \quad (17)$$

2.3.1 Incertidumbres combinadas individuales

Una vez calculada la incertidumbre tipo A y tipo B se halla la incertidumbre combinada de cada parámetro es decir del tiempo y la distancia con la ecuación (15):

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{N}[c_{i.}.u_i(x_m)]^2} \quad (18)$$

$$u_c(x) = \sqrt{(1).U^2{}_A(x) + (1).U^2{}_{B_3}(\delta x_{esp}) + (1).U^2{}_{B_4}(\delta x_{res})} \quad (19)$$

$$u_c(t) = \sqrt{(1).U^2{}_A(\bar{t}) + (1).U^2{}_{B_1}(\delta t_{esp}) + (1).U^2{}_{B_2}(\delta t_{res})} \quad (20)$$

$$u_c(x) = \sqrt{\begin{matrix}(0)^2 + (0{,}0025)^2 + \\ (0{,}005774)^2\end{matrix}} = 0{,}006292cm \quad (21)$$

$$u_c(t) = \sqrt{\begin{matrix}(0)^2 + (0{,}011596)^2 + \\ (2{,}88675E^{-06})^2\end{matrix}} = 0{,}011596s \quad (22)$$

2.3.2 Coeficientes de sensibilidad

Se procede a derivar la ecuación (1) y se obtienen los siguientes coeficientes de sensibilidad.

$$C_t = \frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{x}{t}\right) = -\frac{x}{t^2} \quad (23)$$

$$C_x = \frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{x}{t}\right) = \frac{1}{t} \quad (24)$$

$$C_t = \frac{40m}{(4{,}01695s)^2} = -2{,}478946(\mathrm{cm}/s^2) \quad (25)$$

$$C_x = \frac{1}{(4{,}01695s)^2} = 0{,}248945(1/\mathrm{s}) \quad (26)$$

Se aplica la ecuación (17) y se obtiene la incertidumbre estándar combinada:

$$U_c(v) = \sqrt{C^2{}_t.u^2{}_c(t) + C^2{}_x.u^2{}_c(x)} \quad (27)$$

$$U_c(v) = \sqrt{\begin{matrix}(-2{,}478946)^2.(0{,}011596)^2 + \\ (0{,}248945)^2.(0{,}006292)^2\end{matrix}} = 0{,}028788cm/s \quad (28)$$

2.4 CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

2.4.1 Criterio para la aplicación del teorema del límite central

Una vez hallada la incertidumbre combinada se procede a utilizar el criterio de la distribución dominante, en este caso se llama u_1 a la incertidumbre estándar con respecto al tiempo (incertidumbre de mayor magnitud) y u_R a la combinación de las incertidumbres estándares restantes como se muestra a continuación:

$$u_1 = \sqrt{C_t{}^2.U^2{}_c(t)} \quad (29)$$

$$u_R = \sqrt{C_h{}^2.U^2{}_c(h)} \quad (30)$$

$$\frac{u_R}{u_1} = \frac{\sqrt{C_h{}^2 . U^2{}_c(h)}}{\sqrt{C_t{}^2 . U^2{}_c(t)}} \leq 0,3 \qquad (31)$$

$$u_1 = \sqrt{(-2,478946)^2 . (0,011596)^2} = 0,028746 cm/s \qquad (32)$$

$$u_R = \sqrt{(0,248945)^2 . (0,006292)^2} = 0,001566 cm/s \qquad (33)$$

$$\frac{u_R}{u_1} = \frac{0,001566 cm/s}{0,028746 cm/s} = 0,054486 \qquad (34)$$

El criterio para definir la distribución es:
Distribución normal $f \geq 0,3$
Distribución rectangular $f < 0,3$

NOTA: Como se observa la relación resultó un número menor que 0,3 por lo tanto se sigue con el procedimiento cuando la distribución es de tipo rectangular.

Evaluación de la incertidumbre expandida en el caso en que el resultado de la medición tiende a ser una distribución rectangular. El nivel de confianza para una distribución rectangular está relacionado linealmente con la incertidumbre expandida de la medición (siendo $\frac{a}{2}$ el semi-ancho de la distribución rectangular), así:

$$p = \frac{U}{a/2} \qquad (35)$$

Resolviendo esta relación para la incertidumbre expandida de medición *U* e insertando el resultado junto con la expresión de la incertidumbre estándar de medición relacionada con la distribución rectangular dada por la siguiente ecuación:

$$U(x_i) = \frac{a/2}{\sqrt{3}} \qquad (36)$$

Finalmente se tiene la relación:

$$k(p) = p\sqrt{3} \qquad (37)$$

Para un nivel de confianza *p*=95% el factor de cobertura seria *k (p)*=1,65

Por lo tanto:

$$U = k(p) . u_c \qquad (38)$$

$$U = (1,65) . (0,028788 cm/s) = 0,047501 cm/s \qquad (39)$$

$x(cm)$	$v(cm/s)$	$U_{ctotal}(v)$	$k(p)$	U_{Ei}
10	2	0,00587029	1,65	0,009686
	4	0,01174992	1,65	0,019387
	6	0,01766316	1,65	0,029144
	8	0,02353634	1,65	0,038835
	10	0,02939672	1,65	0,048505
20	2	0,00577256	1,65	0,009525
	4	0,01155424	1,65	0,019064
	6	0,01736929	1,65	0,028659
	8	0,02314509	1,65	0,038189
	10	0,02890832	1,65	0,047699
30	2	0,00575467	1,65	0,009495
	4	0,01151846	1,65	0,019005
	6	0,01731559	1,65	0,028571
	8	0,02307365	1,65	0,038072
	10	0,02881871	1,65	0,047551
40	2	0,00574855	1,65	0,009485
	4	0,0115062	1,65	0,018985
	6	0,01729721	1,65	0,028540
	8	0,02304898	1,65	0,038031
	10	0,02878834	1,65	0,047501

Tabla 4.Incertidumbre expandida

2.5 EXPRESIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA

La expresión de la incertidumbre expandida U incluye su indicación como un intervalo centrado en el mejor estimado *y* del mensurando, la afirmación de que *p* es del 95%(o el valor elegido) aproximadamente y el número efectivo de grados de libertad, cuando sea requerido. Una manera de expresar el resultado de la medición es dado por la ecuación (40):

$$Y = y \pm U \qquad (40)$$

Es aconsejable utilizar dos cifras significativas, se debe asegurar que el número de cifras significativas del valor del mensurando es consecuente con el de la incertidumbre.

$vequipo$ (cm/s)	$x(cm)$	$t(s)$	$vteorica$ (cm/s)	U_{Ei}	$v = v \pm U_{Ei}$
2	10	5,03300	1,986887	0,005870	1,99±0,01
4		2,51450	3,976934	0,011750	3,98±0,01
6		1,67270	5,978358	0,017663	5,98±0,02
8		1,25530	7,966223	0,023536	7,97±0,02
10		1,00505	9,949754	0,029397	9,95±0,03
2	20	10,06085	1,987904	0,005773	1,99±0,01
4		5,02645	3,978951	0,011554	3,98±0,01
6		3,34365	5,981487	0,017369	5,98±0,02
8		2,50925	7,970509	0,023145	7,97±0,02
10		2,00900	9,955202	0,028908	9,96±0,03
2	30	15,08875	1,988236	0,005755	1,99±0,01
4		7,53840	3,979624	0,011518	3,98±0,01
6		5,01460	5,982531	0,017316	5,98±0,02
8		3,76320	7,971939	0,023074	7,97±0,02
10		3,01300	9,956854	0,028819	9,96±0,03
2	40	20,11660	1,988408	0,005749	1,99±0,01

4		10,05035	3,979961	0,011506	3,98±0,01
6		6,68555	5,983053	0,017297	5,98±0,02
8		5,01720	7,972574	0,023049	7,97±0,02
10		4,01695	9,957804	0,028788	9,96±0,03

Tabla 5. Valor de la velocidad con su correspondiente incertidumbre

3. CONCLUSIONES

- En el movimiento rectilíneo uniforme se puede observar que al asignarle la velocidad al equipo (por ejemplo 2) y se varían las distancias, las velocidades calculadas teóricamente permanecen constantes, de aquí se ratifica que en este movimiento la velocidad permanece constante.
- La incertidumbre expandida es requerida para suministrar un intervalo en el cual podría encontrarse una fracción grande de la distribución de valores que podrían ser atribuidos al mensurando.
- Con la aplicación del criterio de la distribución dominante se presenta una relación menor que 0.3, lo que afirma que el tipo de distribución de la incertidumbre combinada es rectangular, por lo cual se aplicó el teorema del límite central.

4. BIBLIOGRAFÍA

[1] Guía de laboratorio de física experimental I, departamento de física facultad de ciencias básicas, Pereira 2001.

[2]Guía para estimar la incertidumbre de medición/CENAM/ WSchimd y RLazos/mayo 2000.

[3] *Expressions of the Uncertainty of Measurements in Calibration*", publicado por la Cooperación Europea para la Acreditación (*European co-operation for Accreditation*, EA).Diciembre 1999.

[4] Serway ,Raymond A , Jewett ,Jhon W.Jr Física para ciencias e ingenierías,6ª edición volumen 1