

CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDICION AL EQUIPO DE MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORME (M.C.U) DEL GRUPO DE INVESTIGACION DICOPEL.

An Estimate of uncertain measure at uniform circle movement (U.C.M) equipment of the investigation group DICOPEL.

RESUMEN

El presente trabajo muestra una metodología para la estimación de la Incertidumbre de medición del equipo de movimiento circular uniforme. La metodología descrita se desarrolla mediante las siguientes etapas: i) Modelación del procedimiento de medición, ii) Evaluación de las incertidumbres estándar Tipo A y Tipo B, iii) Calcular la incertidumbre estándar combinada, iv) Calcular el criterio de distribución dominante v) Calcular la Incertidumbre expandida.

PALABRAS CLAVES: Exactitud, Resolución, División de escala, Desviación estándar, Incertidumbre, Incertidumbre Tipo A, Incertidumbre Tipo B, Incertidumbre combinada, Incertidumbre expandida.

ABSTRACT

This work presents a methodology for estimating the Measurement uncertainty team uniform circular motion. The methodology described is developed through the following stages: i) modeling of the measurement procedure, ii) Evaluation of standard uncertainty Type A and Type B, iii) Calculate the combined standard uncertainty, iv) Calculate the effective number of degrees of freedom, v) Calculate the expanded uncertainty

KEYWORDS: Accuracy, Resolution, Division of scale, standard deviation, Uncertainty, Uncertainty, Type A, Type B uncertainty, combined uncertainty, expanded uncertainty.

1. INTRODUCCIÓN

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 mundo físico, y que con distintos grados de credibilidad pueden ser atribuidos al mensurando

2. METODOLOGÍA [1]

Para la toma de datos para este equipo se tuvo en cuenta 2 equipos patrones (Pie de rey y Cronómetro casio 1000) los cuales dieron un soporte para calcular la clase de exactitud y realizar el cálculo de la incertidumbre del equipo de movimiento circular uniforme.

Las tablas 1 y 2 son tomadas con el equipo patrón (cronómetro Casio 1000).

2.1 EXPRESION MATEMATICA DEL MENSURANDO. [1] [2] [3]

Mensurando. La magnitud que se mide (mensurando) ha de calcularse a partir de un número de magnitudes de entrada las cuales se miden directamente o se toman de

Fecha Recepción: 9 de Septiembre de 2010

Fecha aceptación: 15 de Noviembre de 2010

CLAUDIA M. BETANCOURT

Ingeniera Física

Universidad Tecnológica de Pereira

Claciao3@hotmail.com

Grupo de investigación DICOPEL

DIANA M. MORALES

Ingeniera Física.

Universidad Tecnológica de Pereira

Atenea2005@hotmail.com

Grupo de investigación DICOPEL

HUGO ARMANDO GALLEGO BECERRA

MSc. Profesor asistente

Universidad Tecnológica de Pereira

ugo@utp.edu.co

Grupo de investigación DICOPEL

fuentes externas como tablas, calibración del instrumento, incertidumbre del patrón o material de referencia, etc. La medición del mensurando es vital para obtener buenos resultados de la medición. Una definición completa del mensurando incluye especificaciones sobre las magnitudes de entrada relevantes:

$$\alpha = 4\pi^2 \frac{r}{T^2} \quad (1)$$

α : Aceleración (mensurando o magnitud a calcular).

r : Radio (magnitud de entrada)

T : periodo (magnitud de entrada).

2.2 Modelo físico

Un modelo físico de la medición consiste en el conjunto de suposiciones sobre el propio mensurando y las variables físicas o químicas relevantes para la medición.

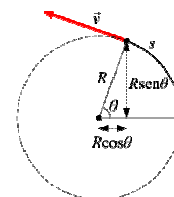


Figura 1. Modelo físico movimiento circular uniforme (M.C.U).

2.3 Modelo matemático

Debemos tener en cuenta que el modelo matemático se aplica la misma ecuación del mensurando.

El equipo a trabajar es el movimiento circular uniforme, el cual está formado por 36 LEDS y por un microcontrolador **PIC16F628**. Su funcionamiento consiste en digitar el número de ciclos y la velocidad que se desea, arrojando el valor del tiempo que se demora en realizar el movimiento circular uniforme. Para cada ciclo se tomó cinco velocidades (3, 6, 9, 12, 15) al igual que 10 tiempos en cada punto. Ver tabla 1. [4]

		tiempo (Equipo)									
ciclos	Velocidad	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10
5	3	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
	6	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
	9	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
	12	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
	15	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1
10	3	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
	6	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
	9	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7
	12	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0
	15	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2
15	3	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
	6	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7
	9	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6
	12	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5
	15	39,5	39,5	39,5	39,5	39,5	39,5	39,5	39,5	39,5	39,5
20	3	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
	6	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0
	9	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5
	12	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0
	15	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5
25	3	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1
	6	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2
	9	39,3	39,3	39,3	39,3	39,3	39,3	39,3	39,3	39,3	39,3
	12	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5
	15	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6
30	3	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7
	6	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5
	9	47,2	47,2	47,2	47,2	47,2	47,2	47,2	47,2	47,2	47,2
	12	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0
	15	78,7	78,7	78,7	78,7	78,7	78,7	78,7	78,7	78,7	78,7
35	3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3
	6	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7
	9	55,1	55,1	55,1	55,1	55,1	55,1	55,1	55,1	55,1	55,1
	12	73,5	73,5	73,5	73,5	73,5	73,5	73,5	73,5	73,5	73,5
	15	91,8	91,8	91,8	91,8	91,8	91,8	91,8	91,8	91,8	91,8

Tabla 1. Datos obtenidos del prototipo de Movimiento Circular Uniforme de sus respectivos ciclos y velocidades. [4]

A continuación se muestran los datos obtenidos con el equipo patrón. Ver tabla 2.

		tiempo/Cronometro									
ciclos	Velocidad	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10
5	3	2,9	2,8	2,6	2,4	2,5	2,8	2,8	2,9	2,9	2,8
	6	5,2	5,2	5,2	5,3	5,2	5,3	5,2	5,4	5,2	5,2
	9	7,8	7,9	7,9	7,8	7,8	7,8	7,9	7,9	7,9	7,9
	12	10,5	10,6	10,5	10,4	10,5	10,5	10,5	10,6	10,5	10,6
	15	13,1	13,0	13,3	13,3	13,3	13,3	13,1	13,1	13,3	13,4
10	3	5,2	5,3	5,3	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
	6	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,6	10,5	10,6	10,5
	9	15,8	15,7	15,7	15,8	15,8	15,8	15,7	15,8	15,7	15,8
	12	21,0	21,0	21,1	20,8	21,0	21,1	21,0	21,1	21,0	21,0
	15	26,2	26,3	26,2	26,3	26,1	26,2	26,2	26,2	26,3	26,1
15	3	7,9	7,9	7,8	7,7	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	8,0
	6	15,7	15,7	15,8	15,7	15,7	15,8	15,7	15,8	15,9	15,8
	9	23,7	23,6	23,6	23,5	23,6	23,5	23,5	23,6	23,5	23,5
	12	31,5	31,5	31,6	31,6	31,5	31,6	31,5	31,5	31,4	31,5
	15	39,2	39,4	39,3	39,3	39,3	39,3	39,2	39,8	39,2	39,4
20	3	10,6	10,6	10,5	10,5	10,5	10,6	10,6	10,5	10,7	10,4
	6	21,0	20,9	21,2	21,0	21,1	20,9	20,9	20,9	20,9	21,1
	9	31,4	31,5	31,4	31,5	31,5	31,6	31,6	31,5	31,5	31,5
	12	42,1	42,2	41,9	42,2	42,2	42,1	42,1	42,1	42,1	42,0
	15	52,7	52,9	52,6	52,6	52,5	52,7	52,5	52,6	52,6	52,5
25	3	13,1	13,3	13,2	13,2	13,1	13,2	13,1	13,2	13,1	13,1
	6	26,1	26,2	26,2	26,3	26,2	26,3	26,3	26,2	26,2	26,2
	9	39,3	39,3	39,4	39,3	39,3	39,4	39,4	39,3	39,3	39,2
	12	52,4	52,5	52,5	52,5	52,6	52,5	52,6	52,5	52,3	52,4
	15	65,5	65,5	65,6	65,5	65,6	65,5	65,4	65,6	65,6	65,6
30	3	15,8	15,8	15,8	15,7	15,8	15,8	15,6	15,7	15,7	15,8
	6	31,6	31,5	31,5	31,6	31,6	31,7	31,5	31,5	31,5	31,5
	9	47,3	47,3	47,2	47,3	47,3	47,2	47,3	47,3	47,3	47,2
	12	63,1	63,1	63,0	63,1	63,2	62,9	63,2	63,0	63,1	63,1
	15	79,0	79,1	79,0	78,9	78,9	79,0	78,9	79,0	79,0	79,1
35	3	18,3	18,3	18,4	18,3	18,3	18,4	18,3	18,3	18,3	18,3
	6	36,8	36,8	36,7	36,7	36,7	36,8	36,7	36,7	36,8	36,8
	9	55,2	55,2	55,2	55,3	55,1	55,2	55,1	55,2	55,2	52,1
	12	73,7	73,7	73,6	73,5	73,5	73,6	73,5	73,6	73,5	73,6
	15	92,2	92,3	92,2	92,1	92,3	92,3	92,1	92,0	92,0	91,9

Tabla 2. Datos tomados del equipo patrón

2.4 IDENTIFICACION DE LAS FUENTES DE INCERTIDUMBRE [6] [7]

Estas provienen de los diversos factores involucrados en la medición por ejemplo, los resultados de la calibración del instrumento, conocimiento inadecuado de los efectos de las condiciones ambientales sobre las mediciones, o mediciones imperfectas de las condiciones ambientales, la definición del propio mensurando, el modelo particular de la medición, errores de apreciación del operador en la lectura de instrumentos analógicos, variaciones en observaciones repetidas del mensurando bajo condiciones aparentemente iguales, la incertidumbre del patrón o material de referencia y características del propio instrumento como resolución, histéresis, deriva.

2.4.1 Evaluación Tipo A de la incertidumbre estándar: Teniendo en cuenta que el mejor estimado de la incertidumbre estándar Tipo A es la desviación estándar de la media (S_m) de las observaciones.

Se halla la desviación estándar de las lecturas tomadas con la siguiente ecuación:

$$U_{A\bar{r}} = s(m) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (r_k - \bar{r})^2}{n(n-1)}} \quad (2)$$

$$U_{A\bar{r}} = s(m) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (r_k - \bar{r})^2}{n(n-1)}} \quad (3)$$

NOTA: Para el cálculo de la incertidumbre tipo A con respecto al radio r se tomaron 12 datos del diámetro interno y externo de la circunferencia de 36 LEDS, cuya diferencia da igual al diámetro total; se puede observar que se presentaron variaciones en cada una de las 12 mediciones realizadas. Las variaciones de las incertidumbre Tipo A con respecto al periodo T son cero; $U_{A\bar{T}} = 0,0$ m, debido a que el periodo T es el mismo en cada punto.

Diámetros internos(m)	Diámetros externos(m)	Diámetro(m) $D_i - D_{ext}$	Radio(m)
0,1152	0,1248	0,0096	0,0048
0,1152	0,1248	0,0096	0,0048
0,1152	0,1248	0,0096	0,0048
0,1152	0,1247	0,0095	0,0047
0,1153	0,1247	0,0095	0,0047
0,1153	0,1247	0,0094	0,0047
0,1151	0,1248	0,0097	0,0048
0,1151	0,1248	0,0097	0,0049
0,1152	0,1248	0,0096	0,0048
0,1151	0,1248	0,0097	0,0048
0,1151	0,1248	0,0097	0,0049
0,1151	0,1248	0,0097	0,0049

Tabla 3. Diámetros internos y externos tomados con el pie de rey

2.4.2 Estimación de la incertidumbre tipo B.

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 de movimiento circular uniforme (M.C.U)(U_{B1}):

$$U_{B1}(\delta t_{esp}) = \frac{\text{clase de exactitud} \times \text{Periodo promedio}(\bar{T}) \text{ equipo}}{2 \times \sqrt{3}} \quad (4)$$

Por lo tanto:

$$U_{B1}(\delta T_{esp}) = \frac{\frac{1\%}{100} \times 0,52s}{2 \times \sqrt{3}} = 7,505553 E^{-04} s$$

- Evaluación de la incertidumbre estándar *Tipo B* por Resolución del equipo

(U_{B2}):

$$U_{B2}(\delta T_{res}) = \frac{\text{Resolución/Equipo}}{2 \times \sqrt{3}} \quad (5)$$

$$U_{B2}(\delta T_{res}) = \frac{0,1s}{2 \times \sqrt{3}} = 0,02886751s$$

- Evaluación de la incertidumbre estándar *Tipo B* por CERTIFICADO DE CALIBRACION del pie de rey (U_{B3}).

$$U_{B3 \text{ cert. calib}} = \frac{U}{k} \quad (6)$$

$$U_{B3 \text{ cert. calib}} = \frac{11,55E^{-06}m}{2} = 5,775E^{-06}m$$

- Evaluación de la incertidumbre estándar *Tipo B* por Resolución del pie de rey

(U_{B4})

$$U_{B4}(\delta r_{res}) = \frac{\text{resolución/ pie de rey}}{2 \times \sqrt{3}} \quad (7)$$

$$U_{B4}(\delta r_{res}) = \frac{1mm}{2 \times \sqrt{3}} = 0,288675mm = 0,000288675m$$

ciclos	Velocidad	$U_{B1}(\delta T_{resp})$	$U_{B2}(\delta T_{res})$	$U_{B3}(\delta r_{resp})$	$U_{B4}(\delta r_{res})$
5	3	0,0007506	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	6	0,0015011	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	9	0,0022517	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	12	0,0030311	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	15	0,0037816	0,0288675	0,0000058	0,0000029
10	3	0,0007506	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	6	0,0015155	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	9	0,0022661	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	12	0,0030311	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	15	0,0037816	0,0288675	0,0000058	0,0000029
15	3	0,0007506	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	6	0,0015107	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	9	0,0022709	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	12	0,0030311	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	15	0,0038009	0,0288675	0,0000058	0,0000029
20	3	0,0007578	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	6	0,0015155	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	9	0,0022733	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	12	0,0030311	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	15	0,0037889	0,0288675	0,0000058	0,0000029
25	3	0,0007563	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	6	0,0015127	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	9	0,0022690	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	12	0,0030311	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	15	0,0037874	0,0288675	0,0000058	0,0000029
30	3	0,0007554	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	6	0,0015155	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	9	0,0022709	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	12	0,0030311	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	15	0,0037865	0,0288675	0,0000058	0,0000029
35	3	0,0007547	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	6	0,0015135	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	9	0,0022723	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	12	0,0030311	0,0288675	0,0000058	0,0000029
	15	0,0037858	0,0288675	0,0000058	0,0000029

Tabla 4. Cálculo de las incertidumbre estándar Tipo B.

NOTA: Como los datos del equipo movimiento circular uniforme (M.C.U) son bastantes, analizando todos estos, se puede observar que las aceleraciones a diferentes ciclos y las mismas velocidades (por ejemplo ciclo 5, 10, 15,20, etc., a una velocidad 3) dan iguales o muy parecidos, por lo tanto se elegirá a manera de ejemplo la aceleración $a = 0,701469 \frac{m}{s^2}$. Véase tabla a un ciclo de de 5 y velocidad 3.

2.5. Calculo de la Incertidumbre estándar combinada

Una vez calculada la incertidumbre tipo A y tipo B se halla la incertidumbre combinada de cada parámetro es decir del periodo T y del radio r con la siguiente ecuación:

$$u_c(T) = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial T}\right) \cdot U^2_A(T) + \left(\frac{\partial T}{\partial \delta T_{resp}}\right) \cdot U^2_{B1}(\delta T_{resp}) + \left(\frac{\partial T}{\partial \delta T_{res}}\right) \cdot U^2_{B2}(\delta T_{res})} \tag{8}$$

$$u_c(r) = \sqrt{\left(\frac{\partial r}{\partial r}\right) \cdot U^2_A(r) + \left(\frac{\partial r}{\partial \delta r_{resp}}\right) \cdot U^2_{B1}(\delta r_{resp}) + \left(\frac{\partial r}{\partial \delta r_{res}}\right) \cdot U^2_{B2}(\delta r_{res})} \tag{9}$$

ciclos	Velocidad	$U_c(T) (s)$	$U_c(r) (m)$
5	3	0,0288773	0,0000162
	6	0,0289065	0,0000162
	9	0,0289552	0,0000162
	12	0,0290262	0,0000162
	15	0,0291142	0,0000162
10	3	0,0288773	0,0000162
	6	0,0289073	0,0000162
	9	0,0289563	0,0000162
	12	0,0290262	0,0000162
	15	0,0291142	0,0000162
15	3	0,0288773	0,0000162
	6	0,0289070	0,0000162
	9	0,0289567	0,0000162
	12	0,0290262	0,0000162
	15	0,0291167	0,0000162
20	3	0,0288775	0,0000162
	6	0,0289073	0,0000162
	9	0,0289569	0,0000162
	12	0,0290262	0,0000162
	15	0,0291151	0,0000162
25	3	0,0288774	0,0000162
	6	0,0289071	0,0000162
	9	0,0289565	0,0000162
	12	0,0290262	0,0000162
	15	0,0291149	0,0000162
30	3	0,0288774	0,0000162
	6	0,0289073	0,0000162
	9	0,0289567	0,0000162
	12	0,0290262	0,0000162
	15	0,0291148	0,0000162
35	3	0,0288774	0,0000162
	6	0,0289072	0,0000162
	9	0,0289568	0,0000162
	12	0,0290262	0,0000162
	15	0,0291147	0,0000162

Tabla 5 Incertidumbre combinada individual del Periodo (T) y e radio(r).

2.5.1 Cálculo de los coeficientes de sensibilidad.

Se procede a derivar la ecuación del modelo matemático con respecto al Periodo (T) el radio (r) y se obtienen los siguientes coeficientes de sensibilidad:

$$C_T = \frac{\partial f}{\partial T} = \frac{\partial}{\partial T} \left(4\pi^2 \frac{r}{T^2} \right) = -8\pi^2 \frac{r}{T^3} \tag{10}$$

$$C_r = \frac{\partial f}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial r} \left(4\pi^2 \frac{r}{T^2} \right) = \frac{4\pi^2}{T^2} \tag{11}$$

Luego al tener los coeficientes de sensibilidad calculamos la incertidumbre combinada total de la siguiente forma.

2.5.2 Propagación de la incertidumbre para magnitudes de entrada correlacionada.

En este proceso de medición la covarianza es cero debido a que las medidas del periodo y el radio en diferentes puntos son las mismas, por lo tanto la ecuación se modifica:

$$U_c(y) = \sqrt{\sum_{k=1}^N [C_k \cdot (x_k)]^2} = \sqrt{\sum_{k=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_k} \cdot u(x_k) \right]^2} \tag{12}$$

$$U_c(a) = \sqrt{C_T^2 \cdot u_c^2(T) + C_r^2 \cdot u_c^2(r)} \quad (13)$$

ciclos	Velocidad	$U_c(a) = \left(\frac{m}{s^2}\right)$
5	3	0,077946
	6	0,009766
	9	0,002905
	12	0,001198
	15	0,000621
10	3	0,077946
	6	0,009491
	9	0,002850
	12	0,001198
	15	0,000621
15	3	0,077946
	6	0,009581
	9	0,002832
	12	0,001198
	15	0,000612
20	3	0,075741
	6	0,009491
	9	0,002823
	12	0,001198
	15	0,000618
25	3	0,076175
	6	0,009545
	9	0,002840
	12	0,001198
	15	0,000618
30	3	0,076466
	6	0,009491
	9	0,002832
	12	0,001198
	15	0,000619
35	3	0,076675
	6	0,009529
	9	0,002827
	12	0,001198
	15	0,000619

Tabla 6. Incertidumbre combinada total

NOTA: Se escogió el dato más representativo para expresarlo en la siguiente tabla a una aceleración $\alpha = 0,701469 \frac{m}{s^2}$, ciclo de de 5 y velocidad 3.

Magnitud X_i	valor estimado x_i	Incertidumbre estándar $U(x_i)$	Distribución de probabilidad	Coefficiente de sensibilidad C_i	Contribución a la incertidumbre $U_i^2(y)$
T	0,52	0	Normal		$U_c^2(T)$
$\hat{\sigma}_{t_{exp}}$	0	0,0007506	Rectangular	146,000065	0,0060699
$\hat{\sigma}_{\gamma_{es}}$	0	0,00288675	Rectangular		
γ	0,00480450	0	Normal		$U_c^2(r)$
$\hat{\sigma}_{l_{exp}}$	0	5,775E-06	Rectangular	-2,697960	0,0000056
$\hat{\sigma}_{e_{exp}}$	0	2,8887E-06	Rectangular		
g	0,701469				0,077946

Tabla 7. Resumen

2.6 Cálculo de la incertidumbre expandida

2.6.1 Criterio de la distribución dominante. 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 Periodo (incertidumbre de mayor magnitud) y u_R a la combinación de las incertidumbres estándares restantes como se muestra a continuación:

$$u_1 = \sqrt{C_T^2 \cdot U_c^2(T)} \quad (14)$$

$$u_R = \sqrt{C_r^2 \cdot U_c^2(r)} \quad (15)$$

$$\frac{u_R}{u_1} = \frac{\sqrt{C_r^2 \cdot U_c^2(r)}}{\sqrt{C_T^2 \cdot U_c^2(T)}} \leq 0,3 \quad (16)$$

2.6.2 Evaluación de la incertidumbre expandida en el caso en que el resultado de la medición tiende a ser una distribución rectangular. En este caso en el que la contribución de la incertidumbre dominante resulta de las especificaciones del periodo (Clase de exactitud con respecto al Periodo asignada al equipo) y la contribución total de incertidumbre de los términos no dominantes sea del certificado de calibración del pie de rey y la resolución, se tiene una relación menor que 0,3 de esta manera la distribución resultante es de tipo rectangular, según...la sección (2.6.1)... se obtiene un factor de cobertura de $k=1,65$.

Aplicamos la siguiente ecuación y se obtiene:

$$U = k(p) \cdot u_c \quad (17)$$

ciclos	Velocidad	$U_c(a) \frac{m}{s^2}$	$k(p)$	U_{Ei}
5	3	0,077946	1,65	0,12861
	6	0,009766	1,65	0,01611
	9	0,002905	1,65	0,00479
	12	0,001198	1,65	0,00198
	15	0,000621	1,65	0,00102
10	3	0,077946	1,65	0,12861
	6	0,009491	1,65	0,01566
	9	0,002850	1,65	0,00470
	12	0,001198	1,65	0,00198
	15	0,000621	1,65	0,00102
15	3	0,077946	1,65	0,12861
	6	0,009581	1,65	0,01581
	9	0,002832	1,65	0,00467
	12	0,001198	1,65	0,00198
	15	0,000612	1,65	0,00101
20	3	0,075741	1,65	0,12497
	6	0,009491	1,65	0,01566
	9	0,002823	1,65	0,00466
	12	0,001198	1,65	0,00198
	15	0,000618	1,65	0,00102
25	3	0,076175	1,65	0,12569
	6	0,009545	1,65	0,01575
	9	0,002840	1,65	0,00469
	12	0,001198	1,65	0,00198
	15	0,000618	1,65	0,00102
30	3	0,076466	1,65	0,12617
	6	0,009491	1,65	0,01566
	9	0,002832	1,65	0,00467
	12	0,001198	1,65	0,00198
	15	0,000619	1,65	0,00102
35	3	0,076675	1,65	0,12651
	6	0,009529	1,65	0,01572
	9	0,002827	1,65	0,00466
	12	0,001198	1,65	0,00198
	15	0,000619	1,65	0,00102

Tabla 8 Incertidumbre expandida

2.7. Expresión de la incertidumbre de medición

$Y = y \pm U(y)$

La gravedad experimental se calcula con la fórmula y se obtiene:

$$a = 4\pi^2 \frac{r}{T^2} \quad (18)$$

Velocidad	ciclos	$\bar{T}(m)$	\bar{r}	$a(\frac{m}{s^2})$	U_{Ei}	$a = a \pm U_{Ei}$
3	5	0,52	0,00480	0,701469	0,128610	0,70±0,129
6		1,04	0,00480	0,175367	0,016115	0,18±0,016
9		1,56	0,00480	0,077941	0,004794	0,08±0,005
12		2,10	0,00480	0,043011	0,001976	0,04±0,002
15		2,62	0,00480	0,027632	0,001025	0,03±0,001
3	10	0,52	0,00480	0,701469	0,128610	0,70±0,129
6		1,05	0,00480	0,172043	0,015660	0,17±0,016
9		1,57	0,00480	0,076951	0,004703	0,08±0,005
12		2,10	0,00480	0,043011	0,001976	0,04±0,002
15		2,62	0,00480	0,027632	0,001025	0,03±0,001
3	15	0,52	0,00480	0,701469	0,128610	0,70±0,129
6		1,05	0,00480	0,173141	0,015809	0,17±0,016
9		1,57	0,00480	0,076626	0,004673	0,08±0,005
12		2,10	0,00480	0,043011	0,001976	0,04±0,002
15		2,63	0,00480	0,027353	0,001010	0,03±0,001
3	20	0,53	0,00480	0,688172	0,124972	0,69±0,125
6		1,05	0,00480	0,172043	0,015660	0,17±0,016
9		1,58	0,00480	0,076464	0,004659	0,08±0,005
12		2,10	0,00480	0,043011	0,001976	0,04±0,002
15		2,63	0,00480	0,027527	0,001019	0,03±0,001
3	25	0,52	0,00480	0,690801	0,125689	0,69±0,126
6		1,05	0,00480	0,172700	0,015749	0,17±0,016
9		1,57	0,00480	0,076756	0,004685	0,08±0,005
12		2,10	0,00480	0,043011	0,001976	0,04±0,002
15		2,62	0,00480	0,027548	0,001020	0,03±0,001
3	30	0,52	0,00480	0,692562	0,126170	0,69±0,126
6		1,05	0,00480	0,172043	0,015660	0,17±0,016
9		1,57	0,00480	0,076626	0,004673	0,08±0,005
12		2,10	0,00480	0,043011	0,001976	0,04±0,002
15		2,62	0,00480	0,027562	0,001021	0,03±0,001
3	35	0,52	0,00480	0,693824	0,126514	0,69±0,127
6		1,05	0,00480	0,172512	0,015724	0,17±0,016
9		1,57	0,00480	0,076533	0,004665	0,08±0,005
12		2,10	0,00480	0,043011	0,001976	0,04±0,002
15		2,62	0,00480	0,027572	0,001022	0,03±0,001

Tabla 9. Valor de la aceleración centrípeta y su incertidumbre

3. CONCLUSIONES

Al momento de reportar el resultado obtenido de la medición de una magnitud física es indispensable que dicho resultado se encuentre acompañado por su incertidumbre para que este valor tenga la validez requerida y pueda ser utilizado para su interpretación y análisis.

La incertidumbre de medida es un indicador de la calidad de la medición ya que se encuentra asociada con los equipos de medida utilizados y con la pericia del metrólogo (metrólogo: persona dedicada a la realización de mediciones).

En el movimiento circular uniforme se observa que la aceleración centrípeta para diferentes ciclos y una velocidad similar (por ejemplo ciclo 5, 10, 15, 20,25 y velocidad 3) arroja valores muy similares.

4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Guía para estimar la incertidumbre de medición/CENAM/ WSchimd y RLazos/mayo 2000.
- [2] Enrique LLamosa, et al “Diseño de un procedimiento para el cálculo de incertidumbre en mediciones indirectas” Sci, Tech, Año XV, N° 42 Agosto de 2009. Universidad Tecnológica de Pereira.
- [3] Vocabulario internacional de metrología, conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM),1ªEdicion 2008.
- [4] Diseño electrónico de equipo para experimentos de movimiento en el plano y m.c.u con base en microcontroladores (pics). Scientia Et Technica. UTP . V.28, p.163 - 168, 2005.
- [5] Guía de laboratorio de física experimental I, departamento de física facultad de ciencias básicas, Pereira 2001.
- [6] TRIANA Z, Álvaro; RUEDA P, Gerardo, expresión de incertidumbre en la calibración de equipos de medición de energía eléctrica, superintendencia de industria y comercio. Bogotá 2010.
- [7] Políticas para la declaración de incertidumbres en el CENAM. No. 100-AC-P.013 (Octubre 1999)