



Scientia Et Technica

ISSN: 0122-1701

scientia@utp.edu.co

Universidad Tecnológica de Pereira
Colombia

Meza Contreras, Luis Gregorio; Gallego Becerra, Hugo Armando; Orozco Gallego, Hoover
MEDICIÓN DE LA GRAVEDAD EMPLEANDO EL DISPOSITIVO "CAIDA LIBRE" CON BASE AL
MICROCONTROLADOR PIC 16F84A Y SU CORRESPONDIENTE INCERTIDUMBRE DE MEDIDA

Scientia Et Technica, vol. XV, núm. 42, agosto, 2009, pp. 248-253

Universidad Tecnológica de Pereira
Pereira, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84916714046>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

MEDICIÓN DE LA GRAVEDAD EMPLEANDO EL DISPOSITIVO “CAIDA LIBRE” CON BASE AL MICROCONTROLADOR PIC 16F84A Y SU CORRESPONDIENTE INCERTIDUMBRE DE MEDIDA

RESUMEN

El presente trabajo muestra una metodología para la estimación de la incertidumbre en la medición de la gravedad empleando el dispositivo “CAIDA LIBRE” con base al microcontrolador 16F84A. Lo anterior, basado en el documento GTC 51, “Guía para la expresión de incertidumbre en las mediciones”. 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 número efectivo de grados de libertad, v) Calcular la Incertidumbre expandida.

PALABRAS CLAVES: Caída libre, Gravedad, Exactitud, Resolución, División de escala, Desviación estándar, Incertidumbre, Incertidumbre Tipo A, Incertidumbre Tipo B, Incertidumbre combinada, Grados efectivos de libertad, Incertidumbre expandida.

ABSTRACT

This paper introduces an estimating methodology for uncertainty in measurement of gravity using a free-fall device based on the 16F84A microcontroller. The foregoing supported by the GTC 51 document, Guide to the expression of uncertainty in measurement. This methodology is described through the following steps: i) modeling of the measurement procedure, ii) Evaluation of the Type A and Type B standard uncertainty, iii) Calculating the combined standard uncertainty, iv) calculating the effective number of degrees of freedom, v) Calculating the expanded uncertainty.

KEYWORDS: Free fall, Gravity, Accuracy, Resolution, Division on a large scale, standard Deviation, Uncertainty, Uncertainty Type To, Uncertainty Type B, combined Uncertainty, effective Degrees of freedom, expanded Uncertainty.

1. INTRODUCCIÓN [2]

El dispositivo empleado en la medición de la gravedad es diseñado y construido, con base en el microcontrolador 16F84, el cual a través de un algoritmo en lenguaje de máquina se controla un electroimán y un cronómetro que mide el tiempo que demora un balón en recorrer diferentes alturas. Ver figura 1.

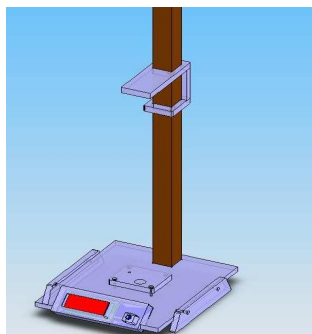


Figura 1. Diagrama del prototipo de Caída Libre

Luis Gregorio Meza Contreras

Ingeniero Electricista, Ms.C en Instrumentación Física, Profesor Auxiliar Universidad Tecnológica de Pereira.

lgmezac@hotmail.com

Grupo de investigación Metrología

Hugo Armando Gallego Becerra

MSc. Profesor asistente Universidad Tecnológica de Pereira

ugo@utp.edu.co

Grupo de investigación Dicoped

Hoover Orozco Gallego

MSc. Profesor asistente Universidad Tecnológica de Pereira

Hog1084@utp.edu.co

Grupo de investigación Dicoped

2. ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA

Cuando se reporta el resultado de una medición de una magnitud física es obligatorio proporcionar alguna indicación cuantitativa de la calidad del resultado, de manera tal que el usuario pueda apreciar su confiabilidad. Sin esta indicación, los resultados de las mediciones no pueden ser comparados, ni entre ellas mismas ni con respecto a valores de referencia dados en una especificación o norma. Por lo tanto, es necesario que exista un procedimiento fácil de usar y aceptado de manera general para caracterizar la calidad del resultado de una medición, esto es, para evaluar y expresar su incertidumbre [2, 3].

El concepto de incertidumbre como un atributo cuantificable es relativamente nuevo en la historia de las mediciones, a pesar de que los conceptos de error y análisis de error han sido parte de la práctica de la ciencia de la medición por largo tiempo. Actualmente se acepta de manera general que cuando todas las componentes, conocidas o supuestas, del error han sido evaluadas y se han aplicado las correcciones

apropiadas, aún persiste una incertidumbre acerca del estado de corrección del resultado expresado, esto es, persiste una duda acerca de qué tan bien representa el resultado de la medida al valor de la cantidad que está siendo medida [2, 3]. El método para evaluar y expresar la incertidumbre del resultado de una medición debe ser:

Universal: Aplicable a cualquier tipo de medición y a cualquier tipo de dato utilizado en la medición [2, 3].

Internamente consistente: debe poder obtenerse directamente a partir de los componentes que contribuyen a ella, así mismo, debe ser independiente de la forma en que dichas componentes son agrupadas y del método en que éstas se descomponen en subcomponentes.

Transferible: debe ser posible utilizar directamente la incertidumbre evaluada para un resultado, como una componente al evaluar la incertidumbre de otra medida en la cual es utilizado el primer resultado [2, 3].

2.1 FUENTES DE LAS INCERTIDUMBRES DE MEDICIÓN [2, 3]

En la práctica, existen muchas posibles fuentes de incertidumbre en una medición, algunas de las más significativas son:

- Definición incompleta de la magnitud por medir.
- Realización imperfecta de la definición de la magnitud a medir.
- Muestreo no representativo (la muestra medida puede no representar a la magnitud a medir definida).
- Conocimiento inadecuado de los efectos de las condiciones ambientales sobre las mediciones, o mediciones imperfectas de las condiciones ambientales.
- Errores de apreciación del operador en la lectura de instrumentos analógicos.
- Resolución finita del instrumento
- Valores inexactos de patrones de medición y de los materiales de referencia.
- Aproximaciones y suposiciones incorporadas en los métodos y procedimiento de medición.
- Variaciones en observaciones repetidas del mensurando bajo condiciones aparentemente iguales.

2.2 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE [2], [3]

La metodología para el cálculo de incertidumbre se compone de 5 etapas: i) Modelación del procedimiento de medición, ii) Evaluación de las incertidumbres estándar Tipo A y Tipo B, iii) Calcular la incertidumbre combinada, iv) Calcular el número efectivo de grados de libertad, v) Calcular la Incertidumbre expandida.

A continuación se implementarán las 5 etapas que describen la metodología para estimar la incertidumbre de medida de la gravedad empleando el dispositivo “CAIDA LIBRE”:

2.2.1 Modelación del procedimiento de medición

Para modelar matemáticamente este experimento, debemos tener en cuenta que la aceleración con que cae un balón es aproximadamente constante si no se tiene en cuenta la

fricción del balón con el aire. Realmente, la aceleración con que cae un cuerpo depende de factores tales como [4, 5]:

- La altitud respecto al ecuador,
- La altura a partir del nivel del mar,
- La densidad volumétrica del terreno circundante,
- La posición del sol y de la luna,
- La geometría del cuerpo que cae,
- La viscosidad de medio (aire),
- Valor de la velocidad (si se ha alcanzado la velocidad límite, la aceleración es cero).

Este experimento se lleva a cabo empleando alturas relativamente pequeñas, además las características de los dispositivos de medida empleados no permiten medir los pequeños efectos que los factores antes relacionados tienen sobre la aceleración, por lo tanto, para un objeto que cae “libremente” la distancia recorrida está dada por la expresión (1) [4, 5]:

$$h = h_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (1)$$

Donde:

h: Altura final

h₀: Altura inicial

v₀: Velocidad inicial

t: Tiempo que tarda el objeto en descender una altura h,

a: Aceleración

Lo anterior quiere decir que si se mide el tiempo que tarda el objeto en descender una altura h, se puede determinar el valor de la aceleración [4, 5].

De la expresión (1), tenemos que la velocidad inicial v₀ del balón y la altura inicial h₀ de donde parte este, son iguales a cero, por lo tanto la ecuación (1) queda de la siguiente manera [4, 5]:

$$h = \frac{1}{2} a t^2$$

Despejando la aceleración de la anterior expresión tendremos que la aceleración es [4, 5]:

$$a = \frac{2h}{t^2} \quad (2)$$

2.2.2 Evaluación de las incertidumbres estándar Tipo A y Tipo B

Existen dos tipos de incertidumbre, la incertidumbre **Tipo A** que está relacionada con la Repetibilidad de los datos y la incertidumbre **Tipo B** que se relaciona con las especificaciones de exactitud de los equipos empleados en el proceso de medida [2, 3]. Estas fuentes de incertidumbre podemos visualizarlas en la Figura 1.

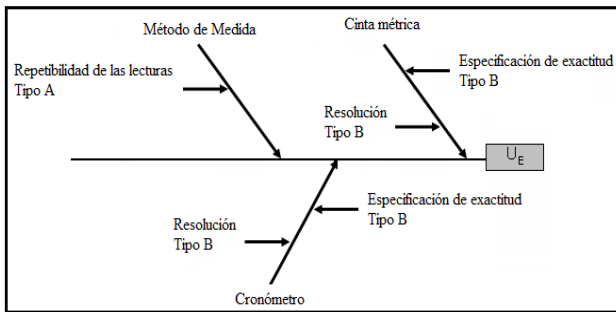


Figura 1. Fuentes de incertidumbre de medida en el proceso de medición

2.2.2.1 Evaluación Tipo A de la incertidumbre estándar:

Para una magnitud de entrada **X** que varía aleatoriamente y que su valor se obtiene a partir de **n** observaciones repetidas, el mejor estimado **x** es la media de las observaciones **x_k** que se obtiene de [2, 3]:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k \quad (3)$$

El mejor estimado de la incertidumbre estándar Tipo A es la desviación estándar de la media (**S_m**) de las observaciones.

$$U_{\bar{x}} = S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_k - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (4)$$

Implementado la expresión 4 a las variables **h** y **t** tendremos:

$$U_{\bar{h}} = S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_k - \bar{h})^2}{n(n-1)}}$$

$$U_{\bar{t}} = S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_k - \bar{t})^2}{n(n-1)}}$$

2.2.2.2 Evaluación Tipo B de la incertidumbre estándar:

Cuando solamente se conoce un valor para la magnitud de entrada **X**, debe usarse ese valor como estimado **x**. La incertidumbre estándar **u_x** se evalúa a partir de la información que se tenga sobre la variabilidad de los posibles valores de la magnitud [2, 3].

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

- Evaluación de la incertidumbre estándar **Tipo B** por especificaciones de exactitud del Cronómetro (**U_{B1}**):

$$U_{B1} = \frac{\text{ExactitudCronómetro}}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

- Evaluación de la incertidumbre estándar **Tipo B** por Resolución del Cronómetro (**U_{B2}**):

$$U_{B2} = \frac{\text{ResoluciónCronómetro}}{2\sqrt{3}} \quad (6)$$

- Evaluación de la incertidumbre estándar **Tipo B** por especificaciones de exactitud de la Cinta Métrica (**U_{B3}**):

$$U_{B3} = \frac{\text{ExactitudCintaMétrica}}{\sqrt{3}} \quad (7)$$

- Evaluación de la incertidumbre estándar **Tipo B** por Resolución de la Cinta Métrica (**U_{B4}**):

$$U_{B4} = \frac{\text{ResoluciónCintaMétrica}}{2\sqrt{3}} \quad (8)$$

2.2.3 Calcular la incertidumbre estándar combinada

La incertidumbre estándar combinada (**u_c**) o incertidumbre total del resultado de una medición o magnitud de salida se obtiene combinando apropiadamente las incertidumbres estándar de los estimados de las magnitudes de entrada [2, 3].

La función que relaciona la incertidumbre estándar combinada de la magnitud de salida con las incertidumbres estándar de las magnitudes de entrada se deriva de la Ley de la Propagación de Incertidumbres [2, 3].

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j) \quad (9)$$

Donde:

$U(x_i)$	Corresponde a las incertidumbres estándar Tipo A y Tipo B determinadas en los ítems 2.2.2.1 y 2.2.2.2.
$\frac{\partial f}{\partial x_i}$	Son los coeficientes de sensibilidad, o derivadas parciales de la función con respecto a cada una de las variables que intervienen en mi proceso de medida.
$u(x_i, x_j)$	Este término es la covarianza, que estima la correlación entre las magnitudes de entrada. Esta última expresión se denomina "Ley general de la propagación de las incertidumbres". $u(\bar{x}, \bar{y}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})(y_k - \bar{y}) \quad (10)$

Implementando la expresión (9) al proceso de medida tendremos lo siguiente:

$$u_c^2(\mathbf{a}) = \sqrt{\frac{\partial a^2}{\partial t} (U_i^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2) + \frac{\partial a^2}{\partial h} (U_h^2 + U_{B3}^2 + U_{B4}^2)}$$

Donde:

$$\frac{\partial a}{\partial t} = -\frac{4h}{t^3}$$

$$\frac{\partial a}{\partial h} = -\frac{4}{t^2}$$

En este proceso de medición, la covarianza es cero ya que las mediciones de altura en diferentes puntos son las mismas.

2.2.4 Calcular el número efectivo de grados de libertad

Para obtener una mejor aproximación en la definición de los intervalos de confianza en lugar de emplearse la distribución normal se requiere emplear la distribución de Student y el factor de cobertura k_p entonces se determina a partir del coeficiente t de Student evaluado en el número de grados de libertad efectivos del estimado de salida, o sea, $k_p = t(V_{ef})$ [2, 3].

Lo anterior es una consecuencia de que para la incertidumbre estándar combinada $u_c(\mathbf{y})$ la medida de la incertidumbre es el número de **grados de libertad efectivos** (V_{ef}) del estimado de salida \mathbf{y} que en buena aproximación se obtiene combinando los grados de libertad de los estimados \mathbf{x}_i de las \mathbf{X}_i magnitudes de entrada. Esa combinación se obtiene a través de la llamada fórmula de Welch-Satterthwaite que tiene la forma siguiente [2, 3]:

$$\gamma_{ef} = \frac{U_c^4(\mathbf{y})}{\sum_{i=1}^n \frac{c_i^4 u^4(\mathbf{x}_i)}{\gamma_i}} \quad (12)$$

Determinar el número efectivo de grados de libertad γ_{ief} de cada distribución teniendo en cuenta lo siguiente:

$\gamma_{ief} = n - 1$. Evaluaciones Tipo A con una restricción.

$\gamma_{ief} = n - m$. Evaluaciones Tipo A con m restricciones.

$\gamma_{ief} = \infty$. Cuando se apliquen distribuciones rectangulares.

$\gamma_{ief} = 50$. Si se deduce de una distribución normal para la cual se han tomado suficiente número de datos.

Grados de libertad	K (95%)	Grados de libertad	K (95%)	Grados de libertad	K (95%)
1	12,71	10	2,23	19	2,09
2	4,3	11	2,2	20	2,09
3	3,18	12	2,18	25	2,06
4	2,78	13	2,16	30	2,04
5	2,57	14	2,14	40	2,02
6	2,45	15	2,13	50	2,01
7	2,36	16	2,12	100	1,984
8	2,31	17	2,11	∞	1,96
9	2,26	18	2,1	--	--

Tabla 1. Factor k de Student en función del número efectivo de grados de libertad y del nivel de confianza deseado.

De acuerdo con el proceso de medición, la expresión (12), queda de la siguiente forma:

$$\gamma_{ef} = \frac{U_c^4(a)}{\frac{\partial a^4}{\partial t} \left(\frac{U_i^4}{n-1} + \frac{U_{B1}^4}{\infty} + \frac{U_{B2}^4}{\infty} \right) + \frac{\partial a^4}{\partial h} \left(\frac{U_h^4}{n-1} + \frac{U_{B3}^4}{\infty} + \frac{U_{B4}^4}{\infty} \right)}$$

2.2.5 Calcular la Incertidumbre expandida.

Aunque la incertidumbre estándar combinada puede utilizarse para expresar la incertidumbre del resultado de una medición en algunas aplicaciones comerciales, industriales y regulatorias es necesario ofrecer una medida de la incertidumbre que represente a un intervalo alrededor del resultado de la medición dentro del cual puedan encontrarse los valores que razonablemente pueden ser atribuidos al mensurado con un alto nivel de confianza [2, 3].

El resultado de la medición se expresa por tanto de la forma $\mathbf{Y} = \mathbf{y} \pm \mathbf{U}$ que se interpreta como que \mathbf{y} es el mejor estimado del valor atribuible al mensurado \mathbf{Y} , y que el intervalo definido por $\mathbf{y} - \mathbf{U}$; $\mathbf{y} + \mathbf{U}$ contiene a los valores que pueden atribuirse razonablemente a \mathbf{Y} con un alto nivel de confianza \mathbf{P} [2, 3].

Esa medida de la incertidumbre se denomina **incertidumbre expandida** (\mathbf{U}) que se obtiene de multiplicar la incertidumbre estándar combinada por un factor (\mathbf{k}) llamado **factor de cobertura** [2, 3]:

$$U_E = kU(a) \quad (13)$$

3. REGISTRO DE MEDICIÓN DE LA GRAVEDAD EMPLEANDO EL DISPOSITIVO “CAIDA LIBRE” Y SU CORRESPONDIENTE INCERTIDUMBRE.

Los datos de altura, tiempo, altura promedio, tiempo promedio y aceleración correspondientes se especifican en la tabla 2.

ALTURA 1, h = 0,1 m										
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
hi (m)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
ti (ms)	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141
\bar{h} (m)			\bar{t} (s)				a(m/s ²)			
0,1			0,1413				10,02			
ALTURA 2, h = 0,2 m										
hi (m)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
ti (ms)	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201
\bar{h} (m)			\bar{t} (s)				a(m/s ²)			
0,2			0,2010				9,90			
ALTURA 3, h = 0,3 m										
hi (m)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
ti (ms)	246	247	246	247	246	246	247	246	247	247
\bar{h} (m)			\bar{t} (s)				a(m/s ²)			
0,3			0,2465				9,87			
ALTURA 4, h = 0,4 m										
hi (m)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
ti (ms)	285	285	285	285	285	286	285	285	285	285
\bar{h} (m)			\bar{t} (s)				a(m/s ²)			
0,4			0,2851				9,84			
ALTURA 5, h = 0,5 m										
hi (m)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
ti (ms)	319	319	319	319	319	319	319	319	319	319
\bar{h} (m)			\bar{t} (s)				a(m/s ²)			
0,5			0,3190				9,83			
ALTURA 6, h = 0,6 m										
hi (m)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
ti (ms)	350	349	349	350	349	349	349	349	349	349
\bar{h} (m)			\bar{t} (s)				a(m/s ²)			
0,6			0,3492				9,84			
ALTURA 7, h = 0,7 m										
hi (m)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
ti (ms)	378	378	378	378	378	377	378	378	378	378
\bar{h} (m)			\bar{t} (s)				a(m/s ²)			
0,7			0,3779				9,80			
ALTURA 8, h = 0,8 m										
hi (m)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ti (ms)	404	404	404	404	404	404	404	404	404	404
\bar{h} (m)			\bar{t} (s)				a(m/s ²)			
0,8			0,4040				9,80			

Tabla 2. Registro de medición de la gravedad.

La estimación de la incertidumbre de medida correspondiente a los datos de la tabla 2 se especifica en la tabla 3.

Es importante tener en cuenta que $U_{\bar{h}} = 0,0$ m, debido a que la altura es la misma. De igual forma, las variaciones de las incertidumbre Tipo A son mínimas, por lo tanto los valores de γ_{ief} son superiores a 100, de acuerdo con esto, y teniendo en cuenta los valores en la tabla 1, el factor k de cobertura para un nivel de confianza del 95 % es k = 2.

ALTURA 1, h = 0,1 m								
$U_{\bar{t}}$ (s)	U_{B1} (s)	U_{B2} (s)	U_{B3} (m)	U_{B4} (m)	$\partial a/\partial t$ (m/s ³)	$\partial a/\partial h$ (1/s ²)	U_c (m/s ²)	U_{Ei} (m/s ²)
0,000067	0,000163	0,000289	0,0000577	0,0000722	-141,786	-200,344	0,0514	0,10
ALTURA 2, h = 0,2 m								
$U_{\bar{t}}$ (s)	U_{B1} (s)	U_{B2} (s)	U_{B3} (m)	U_{B4} (m)	$\partial a/\partial t$ (m/s ³)	$\partial a/\partial h$ (1/s ²)	U_c (m/s ²)	U_{Ei} (m/s ²)
0,0000	0,000232	0,000289	0,000115	0,000072	-98,51	-99,01	0,0389	0,08
ALTURA 3, h = 0,3 m								
$U_{\bar{t}}$ (s)	U_{B1} (s)	U_{B2} (s)	U_{B3} (m)	U_{B4} (m)	$\partial a/\partial t$ (m/s ³)	$\partial a/\partial h$ (1/s ²)	U_c (m/s ²)	U_{Ei} (m/s ²)
0,000053	0,000285	0,000289	0,000173	0,000072	-80,118	-65,830	0,035	0,070
ALTURA 4, h = 0,4 m								
$U_{\bar{t}}$ (s)	U_{B1} (s)	U_{B2} (s)	U_{B3} (m)	U_{B4} (m)	$\partial a/\partial t$ (m/s ³)	$\partial a/\partial h$ (1/s ²)	U_c (m/s ²)	U_{Ei} (m/s ²)
0,000032	0,000329	0,000289	0,0002309	0,0000722	-69,044	-49,211	0,0326	0,065

Tabla 3. Estimación de la Incertidumbre de medida.

Continuación tabla 3. Estimación de la Incertidumbre de medida.

ALTURA 5, h = 0,5 m								
$U_{\bar{t}}$ (s)	U_{B1} (s)	U_{B2} (s)	U_{B3} (m)	U_{B4} (m)	$\partial a/\partial t$ (m/s ³)	$\partial a/\partial h$ (1/s ²)	U_c (m/s ²)	U_{Ei} (m/s ²)
0.000	0.000368	0.000289	0.0002887	0.0000722	-61.611	-39.308	0.0311	0,0622
ALTURA 6, h = 0,6 m								
$U_{\bar{t}}$ (s)	U_{B1} (s)	U_{B2} (s)	U_{B3} (m)	U_{B4} (m)	$\partial a/\partial t$ (m/s ³)	$\partial a/\partial h$ (1/s ²)	U_c (m/s ²)	U_{Ei} (m/s ²)
0.000033	0.000000	0.000289	0.000	0.0000722	-56.362	-32.803	0.0165	0,033
ALTURA 7, h = 0,7 m								
$U_{\bar{t}}$ (s)	U_{B1} (s)	U_{B2} (s)	U_{B3} (m)	U_{B4} (m)	$\partial a/\partial t$ (m/s ³)	$\partial a/\partial h$ (1/s ²)	U_c (m/s ²)	U_{Ei} (m/s ²)
0.000032	0.000436	0.000289	0.0004041	0.0000722	-51.883	-28.010	0.0295	0,059
ALTURA 8, h = 0,8 m								
$U_{\bar{t}}$ (s)	U_{B1} (s)	U_{B2} (s)	U_{B3} (m)	U_{B4} (m)	$\partial a/\partial t$ (m/s ³)	$\partial a/\partial h$ (1/s ²)	U_c (m/s ²)	U_{Ei} (m/s ²)
0.000000	0.000466	0.000289	0.0004619	0.0000722	-48.530	-24.507	0.0290	0,058

A manera de resumen, en la Tabla 4 se encuentra el valor de la aceleración con su respectiva incertidumbre para cada valor de altura y tiempo.

\bar{h} (m)	\bar{t} (s)	a(m/s ²)	U_{Ei} (m/s ²)
0,1	0,1413	10,02	0,100
0,2	0,2010	9,90	0,080
0,3	0,2465	9,87	0,070
0,4	0,2851	9,84	0,065
0,5	0,3190	9,83	0,062
0,6	0,3492	9,84	0,033
0,7	0,3779	9,80	0,059
0,8	0,4040	9,80	0,058

Tabla 4. Valor de la aceleración con su correspondiente incertidumbre de medida.

4. 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).
- De acuerdo con la tabla 4, el mayor valor de incertidumbre expandida se obtuvo para una altura de 0,1 m. En estos valores de medida puede observarse que se tienen aportes de incertidumbre estándar Tipo A debido a las variaciones del tiempo. Y de las incertidumbres estándar Tipo B proporcionadas por las especificaciones de exactitud y a la resolución de los equipos de medida de tiempo y altura.
- A fin de disminuir la duda en los resultados de medida, es recomendable trabajar con equipos cuyas especificaciones de exactitud sean menores que la de los equipos empleados en el proceso de medida. Adicionalmente, para bajar los valores de incertidumbre Tipo A, es adecuado aumentar el número de mediciones de tiempo.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Norma NTC-2194 Vocabulario de términos básicos y generales en metrología.
- GTC 51, Guía para la Expresión de Incertidumbre en Mediciones. 2000: Bogotá D.C.
- EA 4/02, Expresión of the Uncertainty of Measurement in Calibration.
- Física Universitaria, FRANCIS W. SEARS. Volumen 1.
- Física Experimental 1, Departamento de Física, Facultad e Ciencias Básicas, Universidad Tecnológica de Pereira.