
	PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE DEL LABORATORIO	Código / Versión	GO-PD-003 / V03
		Fecha de emisión	6/07/2021

CONTROL DE CAMBIOS

Código	Versión	Fecha	Descripción de la modificación	Elaboró	Revisó / Aprobó
PM-GOP-PR-PD-001	V01	3/10/2019	Realización y Codificación del documento.	Gestión de operaciones	Comité de Gerencia
GO-PD-003	V02	23/11/2020	Se ajusta el procedimiento en general.	Analista de calidad	Comité de S.I
GO-PD-003	V03	6/07/2021	Se ajusta el limite inferior con margen de seguridad para las mediciones de valor entre 0,16 mm y 0,181 mm,	Analista de calidad	Comité de S.I

ELABORÓ	REVISÓ / APROBÓ
Analista de calidad	Comité de sistemas integrados

	PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE DEL LABORATORIO	Código / Versión	GO-PD-003 / V03
		Fecha de emisión	6/07/2021

1. OBJETIVO.

Establecer la metodología y el tratamiento estadístico que se debe utilizar en el laboratorio de calidad del **GRUPO PRONUM S.A.S** para la estimación de la incertidumbre de medición en los ensayos de alambre grafilado y mallas electrosoldadas para refuerzo de concreto, dando cumplimiento a la NTC 5806.

2. ALCANCE.

Este procedimiento aplica a todos las mediciones y ensayos mecánicos realizados para determinar el peso metro, altura de resalte, ángulo de inclinación de resalte, resistencia a la tracción, resistencia a la fluencia de alambre grafilado, y resistencia a la tracción, resistencia a la fluencia, esfuerzo cortante a la soldadura de alambre grafilado para malla electrosoldada.

Este inicia con la identificación de los estadísticos para tener en cuenta al momento de calcular el valor de la incertidumbre. Así mismo, identificar las fuentes de incertidumbre para los ensayos ejecutados en el laboratorio de calidad de la organización, contempla criterios como distribución normal y rectangular, incertidumbre estándar y expandida, y termina con el cálculo de esta, la forma de reportar y el aplicativo a los ensayos.

3. REPONSABLES.

Director de operaciones.


- Garantizar que los ensayos, certificados de calidad y demás actividades ejecutadas en el laboratorio se realicen de manera asertiva y dando cumplimiento a la NTC 5806 del 2019 y la resolución 0277 del 2015.

Supervisor de control calidad.

- Realizar acompañamiento y seguimiento al cumplimiento de las normas de laboratorio.
- Asegurar que los ensayos mecánicos sean realizados frente a lo requerimiento en la NTC 5806 del 2019 y la resolución 0277 del 2015.
- Verificar que se esté dando la correcta aplicación de los valores de la incertidumbre .

Analista de calidad:

- Realizar los ensayos mecánicos pertinentes al alambre grafilado y la malla electrosoldada.

 PRONUM <small>G R U P O</small>	PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DEL LABORATORIO	Código / Versión	GO-PD-003 / V03
		Fecha de emisión	6/07/2021


- Determinar el valor de la incertidumbre para los diferentes ensayos del laboratorio de calidad, con el fin de establecer los márgenes de cumplimiento para las características del material según lo determina la NTC 5806.
- Toma de datos veraces que faciliten el cálculo de la incertidumbre para los ensayos.
- Analizar los resultados de los ensayos, verificando que estos valores estén dentro de los rangos demarcados por la incertidumbre.

4. POLITICAS.

- Contar con personal capacitado, entrenado y actualizado, utilizar instalaciones, insumos y equipos confiables que permitan la ejecución y veracidad de los resultados, cumpliendo los requisitos especificados según los estándares nacionales.
- Dar cumplimiento a la NTC 5806 del 2019 y la resolución 0277 del 2015.

5. DEFINICIONES.

- **Incetidumbre de medida:** parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que puedan atribuirse razonablemente al mesurando.
- **Mesurando:** es la magnitud particular objeto de una medición.
- **Incetidumbre Combinada (Uc):** es una estimación de la desviación estándar igual a la raíz de la varianza total obtenida por combinación de todos los componentes de la incetidumbre.
- **Incetidumbre Expandida (U):** proporciona el intervalo en el cual el valor de la medida se encontrará con un alto nivel de confianza. Se obtiene por la multiplicación de las incetidumbres estándar combinadas por un factor de cubrimiento por X que es el valor de la concentración del patrón o muestra calculada por el valor. El factor es basado en el nivel de confianza deseado. Para un nivel de confianza del 95%, k es 2 (valor crítico de t para el análisis de más de seis datos).
- **Errores sistemáticos:** son errores relacionados con la forma en la que se utiliza el instrumento de medida. se caracterizan por una desviación sistemática en relación con el valor verdadero; es decir, todas las medidas individuales son demasiado grandes o pequeñas. Un error sistemático positivo produce un valor central mayor que el valor verdadero y un error sistemático negativo da lugar a un valor central menor que el valor verdadero. Tanto los errores sistemáticos positivos como los negativos pueden afectar el resultado del análisis, con un efecto acumulativo que conduce a un error sistemático positivo o negativo neto.

 GRUPO PRONUM	PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE DEL LABORATORIO	Código / Versión	GO-PD-003 / V03
		Fecha de emisión	6/07/2021

- **Rango:** Diferencia entre el valor máximo y el mínimo en un conjunto de valores.
- **Lectura:** Valor observado y registrado en el momento de la medición.
- **Desviación estándar:** Medición de la dispersión de un conjunto de resultados que describen la forma en que los valores difieren típicamente del promedio del conjunto. Cuando no es posible obtener un conjunto infinito de resultados (en la práctica nunca lo es).
- **Repetibilidad (de un instrumento o de los resultados de la medición):** Proximidad en la concordancia entre las mediciones de la misma propiedad bajo las mismas condiciones.
- **Reproducibilidad (de un instrumento o de los resultados de la medición):** Proximidad en la concordancia entre las mediciones de la misma propiedad bajo condiciones diferentes de medición.

6. DESARROLLO.


6.1 MENSURANDO.

La incertidumbre se calcula de forma diferente dependiendo de si el valor de la magnitud se observa directamente en un instrumento de medida (medida directa) o si se obtiene manipulando matemáticamente una o varias medidas directas (medida indirecta). Para el caso del laboratorio se tomarán como referencia las lecturas dadas en los instrumentos utilizados en los ensayos de material para dar cumplimiento a la NTC 5806, por tanto, el valor de la incertidumbre a calcular se dará a razón de los ensayos ejecutados en el laboratorio, dichos ensayos son:

- Peso metro grafil
- Diámetro grafil
- Espaciamiento longitudinal entre resaltes
- Altura resalte
- Angulo de inclinación de resalte
- Resistencia a la tracción
- Resistencia a la fluencia
- Resistencia al corte de soldadura
- Resistencia a la tracción de grafil malla
- Resistencia a la fluencia grafil malla

6.2 MODELO FÍSICO.

Se entiende como modelo físico a todo aquel montaje para realizar las mediciones, desde procedimientos instrumentos, aplicaciones, equipos, condiciones ambientales, experiencia del analista, etc. A estas variables se les conocen como entradas.

	PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DEL LABORATORIO	Código / Versión	GO-PD-003 / V03
		Fecha de emisión	6/07/2021

Para efectos de este manual se tomarán como referencia los procedimientos de los ensayos para el alambraón grafilado y malla electrosoldada de la siguiente manera:

- Peso y diámetro del material: **Peso, metro, diámetro del grafil** (GO-IG-010).
- Altura, ángulo de inclinación y espaciamento longitudinal entre resaltes: **Medición de resaltes en el grafil** (GO-IG-011).
- Resistencia a la tracción y fluencia de grafil: **Ensayo resistencia grafil y malla electrosoldada** (GO-IG-012).
- Resistencia al corte de soldadura: **Ensayo resistencia grafil y malla electrosoldada** (GO-IG-007)
- Resistencia a la tracción y fluencia de grafil malla: **Ensayo resistencia grafil y malla electrosoldada** (GO-IG-012).

Así mismo, se tendrán en cuenta los instrumentos utilizados para cada ensayo, sus características, funcionamiento, estado físico y resolución.

6.3 MODELO MATEMÁTICO.

El modelo físico se representa por un modelo descrito con lenguaje matemático. El modelo matemático supone aproximaciones originadas por la representación imperfecta o limitada de las relaciones entre las variables involucradas.

Considerando a la medición como un proceso, se identifican magnitudes de entrada denotadas por el conjunto:

$$\{X_i\}$$


expresión en la cual el índice i toma valores entre 1 y el número de magnitudes de entrada N .

la relación entre las magnitudes de entrada y el mensurando Y como la magnitud de salida se representa como una función:

$$Y = f(\{X_i\}) = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

Representada por una tabla de valores correspondientes, una gráfica o una ecuación, en cuyo caso y para los fines de este documento estará dada por las lecturas de los instrumentos utilizados en los ensayos de medición, de tal manera que el modelo matemático será representado de la siguiente manera:

ENSAYO	MODELO MATEMATICO
Peso metro grafil	$L = I_{BD}$, donde I_{BD} es indicación de bascula digital BD-2

	PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE DEL LABORATORIO	Código / Versión	GO-PD-003 / V03
		Fecha de emisión	6/07/2021

Diámetro grafil	$L = I_M$, donde I_M es indicación micrómetro análogo M-1
Separación promedio de resaltes	$L = I_{PIR}$, donde I_{PIR} es indicación pie de rey análogo PIR-1
Altura resalte	$L = I_{COMCAR}$, donde I_{COMCAR} es indicación comparador de caratula COMCAR-1
Resistencia a la tracción y fluencia de grafil, resistencia al corte de soldadura, resistencia a la tracción y fluencia grafil malla	$L = I_{EM}$, donde I_{EM} es indicación maquina universal de ensayos EM-1


Los códigos utilizados en los instrumentos de medición hacen parte de la identificación del elemento, de acuerdo con el procedimiento **Cronograma anual de verificación y calibración** (GO-IG-005).

6.4 IDENTIFICAR LAS FUENTES DE INCERTIDUMBRE.

Una vez determinados el mensurando, el principio, el método y el procedimiento de medición, se identifican las posibles fuentes de incertidumbre. Estas provienen de los diversos factores involucrados en la medición, por ejemplo:

- Los resultados de la calibración del instrumento
- La incertidumbre del patrón o del material de referencia
- La repetibilidad de las lecturas
- La reproducibilidad de las mediciones por cambio de observadores, instrumentos u otros elementos
- Características del propio instrumento, como la resolución
- Error máximo permisible de los instrumentos, determinados en el **Manual de calidad** (GO-PP-002).

No es recomendable desechar alguna de las fuentes de incertidumbre por la suposición de que es poco significativa sin una cuantificación previa de su contribución, comparada con las demás, apoyada en mediciones. Es preferible la inclusión de un exceso de fuentes que ignorar algunas entre las cuales pudiera descartarse alguna importante. No obstante, siempre estarán presentes efectos que la experiencia, conocimientos y actitud crítica del metrologo permitirán calificar como irrelevantes después de las debidas consideraciones.

	PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DEL LABORATORIO	Código / Versión	GO-PD-003 / V03
		Fecha de emisión	6/07/2021

6.5 CUANTIFICACIÓN.

Se distinguen dos métodos principales para cuantificar las fuentes de incertidumbre: El Método de Evaluación Tipo A está basado en un análisis estadístico de una serie de mediciones, mientras el Método de Evaluación Tipo B comprende todas las demás maneras de estimar la incertidumbre.

Cabe mencionar que esta clasificación no significa que existe alguna diferencia en la naturaleza de los componentes que resultan de cada uno de los dos tipos de evaluación, puesto que ambos tipos están basados en distribuciones de probabilidad. La única diferencia es que en las evaluaciones tipo A se estima esta distribución basándose en mediciones repetidas obtenidas del mismo proceso de medición mientras en el caso de tipo B se supone una distribución con base en experiencia o información externa al metrologo. En la práctica esta clasificación no tiene consecuencia alguna en las etapas para obtener una estimación de la incertidumbre combinada.

- **Evaluación 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.


Si X_i se determina por n mediciones independientes, resultando en valores q_1, q_2, \dots, q_n , el mejor estimado x_i para el valor de X_i , es la media de los valores individuales:

$$x_i = \bar{q} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n q_j$$

La dispersión de los resultados de la medición q_1, q_2, \dots, q_n para la magnitud de entrada X_i se expresa por su desviación estándar experimental:

$$s(q) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2}$$

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

	PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DEL LABORATORIO	Código / Versión	GO-PD-003 / V03
		Fecha de emisión	6/07/2021

$$u(x_i) = s(\bar{q}) = \frac{s(q)}{\sqrt{n}}$$

Así que resulta para la incertidumbre estándar de X_i :

$$u(x_i) = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2} \longrightarrow 1$$

Para una medición que se realiza por un método bien caracterizado y bajo condiciones controladas, es razonable suponer que la distribución (dispersión) de los q_j no cambia, o sea se mantiene prácticamente igual para mediciones realizadas en diferentes días, distintos metrólogos, etc. (esto es, la medición está bajo control estadístico). En este caso esta componente de la incertidumbre puede ser más confiablemente estimada con la desviación estándar S_p obtenida de un solo experimento anterior, que con la desviación estándar experimental $S(q)$ obtenida por un número n de mediciones, casi siempre pequeño.

La incertidumbre estándar de la media se estima en este caso por:

$$u(x_i) = \frac{S_p}{\sqrt{n}} \longrightarrow 2$$


No se puede dar una recomendación general para el número ideal de las repeticiones n , ya que este depende de las condiciones y exigencias (meta para la incertidumbre) de cada medición específica.

Otras fuentes de incertidumbre que se evalúan con este método son la reproducibilidad y las obtenidas al hacer una regresión lineal.

- **Evaluación tipo B:**

Las fuentes de incertidumbre tipo B son cuantificadas usando información externa u obtenida por experiencia. Estas fuentes de información pueden ser:

- Certificados de calibración
- Manuales del instrumento de medición, especificaciones del instrumento
- Normas o literatura
- Valores de mediciones anteriores
- Conocimiento sobre las características o el comportamiento del sistema de medición

	PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DEL LABORATORIO	Código / Versión	GO-PD-003 / V03
		Fecha de emisión	6/07/2021

6.6 ESTANDARIZACIÓN DE LAS COMPONENTES.

Debido a que los valores de las contribuciones de la incertidumbre cubren un grupo de valores probables dentro de un intervalo, se requiere que cada componente sea evaluado de manera probabilística, mediante algún tipo de distribución probabilística, siendo las más utilizadas la distribución normal y la distribución rectangular

A. Distribución normal:

Los resultados de una medición repetida afectada por una o más magnitudes de influencia que varían aleatoriamente, generalmente siguen en buena aproximación una distribución normal. También la incertidumbre indicada en certificados de calibración se refiere generalmente a una distribución normal

B. Distribución rectangular:

En una distribución rectangular cada valor en un intervalo dado tiene la misma probabilidad, o sea la función de densidad de probabilidad es constante en este intervalo. Ejemplos típicos son la resolución de un instrumento digital o la información técnica sobre tolerancias de un instrumento. En general, cuando exclusivamente hay conocimiento de los límites superior e inferior del intervalo de variabilidad de la magnitud de entrada, lo más conservador es suponer una distribución rectangular.


Antes de comparar y combinar contribuciones de la incertidumbre que tienen distribuciones diferentes, es necesario representar los valores de las incertidumbres originales como incertidumbres estándar. Para ello se determina la desviación estándar de la distribución asignada a cada fuente.

A. Distribución normal:

La cuantificación estándar de la media calculada a partir de los resultados de una medición repetida se halla a través de la ecuación (1), anteriormente mencionada, donde se toman los valores de los ensayos hallando su promedio, luego la diferencia entre ese promedio y cada valor. Posteriormente se toman esas diferencias, se deben elevar al cuadrado cada una, se suman los valores obtenidos y se divide el resultado por el número de datos menos uno. Finalmente se toma ese resultado y se halla la raíz cuadrada. A este valor se le conocerá (S_p)

Para la desviación estándar se utiliza la ecuación (2), donde se toma el valor (S_p) y se divide por la raíz cuadrada de los valores n (repeticiones del ensayo)

Cuando se dispone de valores de una incertidumbre expandida U , como los presentados por ejemplo en certificados de calibración, se divide U entre el factor

	PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE DEL LABORATORIO	Código / Versión	GO-PD-003 / V03
		Fecha de emisión	6/07/2021

de cobertura k , obtenido ya sea directamente o a partir de un nivel de confianza dado:

$$u(x_i) = \frac{U}{k}$$

B. Distribución rectangular

Si la magnitud de entrada X_i tiene una distribución rectangular con el límite superior a_+ y el límite inferior a_- , el mejor estimado para el valor X_i está dado por:

$$Xi = \frac{a_+ + a_-}{2}$$

Y la incertidumbre estándar se calcula por:

$$u(Xi) = \frac{a_+ - a_-}{2\sqrt{3}}$$

6.7 INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR COMBINADA.


El resultado de la combinación de las contribuciones de todas las fuentes es la incertidumbre estándar combinada $u_c(y)$. la contribución $u_i(y)$ de cada fuente a la incertidumbre estándar $u(X_i)$ de la propia fuente y el impacto de la fuente sobre el mensurando. Es posible encontrar que una pequeña variación de alguna de las magnitudes de influencia tenga un impacto importante en el mensurando, y viceversa.

La incertidumbre estándar combinada está dada por:

$$U_c(Y) = \sqrt{U_1^2(y) + U_2^2(y) + \dots + U_n^2(y)}$$

6.8 INCERTIDUMBRE EXPANDIDA.

La incertidumbre estándar u_c representa un intervalo centrado en el mejor estimado del mensurando que contiene el valor verdadero con una probabilidad p de 68% aproximadamente, bajo la suposición de que los posibles valores del mensurando siguen una distribución normal.

	PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DEL LABORATORIO	Código / Versión	GO-PD-003 / V03
		Fecha de emisión	6/07/2021

Generalmente se desea una probabilidad mayor, lo que se obtiene expandiendo el intervalo de incertidumbre por un factor k , llamado factor de cobertura. El resultado se llama incertidumbre expandida U

$$U = K * u_c$$

La incertidumbre expandida U indica entonces un intervalo que representa una fracción p de los valores que puede probablemente tomar el mensurando. El valor de p es llamado el nivel de confianza y puede ser elegido a conveniencia. Para la organización, el factor K es igual a 2, para un nivel de confianza del 95%.

6.9 REPORTE DE RESULTADOS.

La expresión del resultado debe ser de la forma:

$$Y = y \pm U$$

Donde el valor de la incertidumbre será reportado en los formatos respectivos dependiendo del ensayo analizado, es decir, para ensayos de grafil trefilado (peso metro grafil, diámetro grafil, separación promedio de resaltes, altura resalte, ángulo de inclinación de resalte, resistencia a la tracción, resistencia a la fluencia), el resultado se registrará en el formato **Ruta de inspección trefilación y grafilado** (GO-FM-040), para los ensayos de malla electrosoldada (resistencia al corte de soldadura, resistencia a la tracción de grafil malla, resistencia a la fluencia grafil malla) el valor de la incertidumbre será reportada en el formato **Resultado de ensayos malla electrosoldada** (GO-FM-051).


La forma de aplicar la incertidumbre del laboratorio a los resultados de los ensayos será, en todos los casos, tomar el valor obtenido del ensayo y restarle el valor de la incertidumbre, se procede a comparar este nuevo valor contra la especificación mínima, este valor (incluyendo la incertidumbre) debe ser mayor que la especificación mínima para cumplir.

Para ejemplificar este punto, se tomará el valor de la altura de resalte de grafil para un diámetro nominal de 4,0mm; donde el valor del límite inferior es 0,16mm y se tomara como referencia una incertidumbre $U = 0,02\text{mm}$, para un valor medido en el grafil de 0.23mm.

Entonces:

$$Y = 0.23 \text{ mm} - 0,02\text{mm}$$

$$Y = 0,21\text{mm}$$

 GRUPO PRONUM	PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DEL LABORATORIO	Código / Versión	GO-PD-003 / V03
		Fecha de emisión	6/07/2021

Al compararlo contra la especificación mínima de 0.16mm concluimos que cumple, ya que el valor de 0.21mm (incluyendo la incertidumbre) es mayor que la especificación mínima.

El valor final de los resultados se reportará en el formato de **Reporte de calidad resultado ensayo grafil** (GO-FM-048) y en el **Reporte de calidad - resultado ensayo -malla electrosoldada** (GO-FM-047) según sea el caso. En el reporte también se incluirá el valor de la incertidumbre expandida U , el factor de cobertura $K=2$ y el nivel de confianza del 95% para la organización.

6.10 EJECUCIÓN DEL CÁLCULO.

Para fines prácticos en el cálculo de la incertidumbre, las respectivas formulas y operaciones matemáticas con el q se rige este documento, serán aplicadas en el formato **Calculo de la incertidumbre del laboratorio** (GO-FM-071) , donde se definirán las respectivas componentes para tener en cuenta para hallar el valor final de la incertidumbre, como lo son las fuentes de incertidumbre.

7. ANEXOS.

- Peso, metro, diámetro del grafil (GO-IG-010).
- Medición de resaltes en el grafil (GO-IG-011).
- Ensayo resistencia grafil y malla electrosoldada (GO-IG-012).
- Ensayo resistencia grafil y malla electrosoldada (GO-IG-007).
- Cronograma anual de verificación y calibración (GO-IG-005).
- Manual de calidad (GO-PP-002).
- Ruta de inspección trefilación y grafilado (GO-FM-040).
- Ruta de inspección malla electrosoldada (GO-FM-042).
- Reporte de calidad resultado ensayo grafil (GO-FM-048).
- Reporte de calidad - resultado ensayo -malla electrosoldada (GO-FM-047).