

**DETERMINACIÓN DE CALIDAD DEL ENSAYO DE TENSIÓN EN ACERO
MEDIANTE ESTUDIOS DE REPRODUCIBILIDAD Y REPETIBILIDAD**

**YENI DEL PILAR BARBOSA ORTIZ
FREDY LEONARDO DALLOS RINCÓN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

**DETERMINACIÓN DE CALIDAD DEL ENSAYO DE TENSIÓN EN ACERO
MEDIANTE ESTUDIOS DE REPRODUCIBILIDAD Y REPETIBILIDAD**

**YENI DEL PILAR BARBOSA ORTIZ
FREDY LEONARDO DALLOS RINCÓN**

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Directora:

HEBENLY CELIS LEGUIZAMO

M. Sc en Ingeniería Civil

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

A Dios, a la vida y al destino por permitirme caminar por tan hermoso sendero, a mis padres Tulio Roberto Barbosa y Teresa Ortiz por confiar en mí y en cada decisión que he tomado para mi vida, a mis hermanas y hermano por el apoyo incondicional que me han brindado, a cada profesor por su paciencia y enseñanza, a mis amigos que son la familia que he construido durante estos 5 años de carrera, a mi ángel y a tí por ser la razón de todos mis logros.

Yeni del Pilar Barbosa Ortiz

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre Nelly.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Mario.

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis familiares.

A mi hermano Edwin por ser el ejemplo de un hermano mayor y del cual aprendí aciertos y de momentos difíciles; A mi hermana Marisol por ser el apoyo incondicional a diario y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

A mis amigos.

Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos: Julián Rodríguez, Jhon Corredor.

¡Gracias a ustedes!

Fredy Leonardo Dallos Rincón

Noviembre 10 de 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la Escuela de Ingeniería Civil por cada aporte que hizo para que este proyecto se realizara.

A la directora Hebenly Celis por la paciencia y el apoyo.

A todo cada uno de los profesores que contribuyeron a la formación como profesionales.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. OBJETIVOS	18
1.1 OBJETIVO GENERAL	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2. METODOLOGÍA	19
2.1. SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS	19
2.2. RECOPIACIÓN DE DATOS	21
2.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	21
2.3.1. Estudio de repetibilidad y reproducibilidad	22
2.3.1.1. Método de promedios y rangos	23
2.3.1.2. Cálculos tipos	27
2.3.2. Determinación de la incertidumbre	33
2.3.2.1 Método para calcular la incertidumbre.	35
2.3.2.2. Identificación de las fuentes de incertidumbre.	36
2.3.2.3. Información experimental y documental	37
2.3.2.4. Calculo de la incertidumbre.	37
2.4 GESTIÓN DE CALIDAD	40
3. RESULTADOS	42
3.1. TABLA DE RESULTADOS REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD PARA LOS TRES TIPOS DE VARILLA USADOS EN ESTE PROYECTO.	42

3.2. TABLA DE RESULTADOS DE LA INCERTIDUMBRE PARA LOS TRES TIPOS DE VARILLA USADOS EN ESTE PROYECTO.	44
4. DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES.	46
5. CONCLUSIONES	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
BIBLIOGRAFÍA	49
ANEXOS	50

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Varilla de los diferentes diámetros de estudio $\frac{1}{2}$ " $\frac{3}{4}$ " y $\frac{7}{8}$ "	19
Figura 2. Grafica deformación Vs Fuerza del acero	21
Figura 3. Representación gráfica del concepto de repetibilidad.	22
Figura 4. Representación gráfica del concepto de reproducibilidad.	22

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Numero de muestras para los diferentes diámetros	20
Tabla 2. Valores de las constantes K_1 y K_2	25
Tabla 3. Datos repetibilidad ejemplo 1	27
Tabla 4. Rangos de cada operario	28
Tabla 5. Datos reproducibilidad ejemplo 1	29
Tabla 6. Rangos de cada laboratorio	29
Tabla 7. Medición promedio de cada laboratorio	29
Tabla 8. Datos repetibilidad ejemplo 1	31
Tabla 9. Rangos de cada operario	31
Tabla 10. Datos reproducibilidad ejemplo 1	32
Tabla 11. Rangos de cada laboratorio	32
Tabla 12. Medición promedio de cada laboratorio.	32
Tabla 13. Resultado de incertidumbre varilla de $\frac{1}{2}$ " para resistencia a la tensión.	38
Tabla 14. Resultado de incertidumbre varilla de $\frac{1}{2}$ " para esfuerzo de fluencia	38
Tabla 15. Incertidumbre combinada mensurada de $\frac{1}{2}$ "	39
Tabla 16. Incertidumbre expandida mensurada de $\frac{1}{2}$ "	40
Tabla 17. Tabla de resultados: fuerza de fluencia y fuerza máxima repetibilidad, reproducibilidad y %r&R para los diferentes diámetros $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{7}{8}$ "	42
Tabla 18. Tabla de resultados: fuerza de fluencia incertidumbre para los diferentes diámetros $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{7}{8}$ "	44
Tabla 19. Tabla de resultados: fuerza máxima incertidumbre para los diferentes diámetros $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{7}{8}$ "	45

LISTA DE ANEXOS¹

- ANEXO A. REPETIBILIDAD 1.2
- ANEXO B. REPETIBILIDAD 3.4
- ANEXO C. REPETIBILIDAD 7.8
- ANEXO D. REPRODUCIBILIDAD
- ANEXO E. ENSAYOS ANDES

¹ Ver Documentos adjuntos en CD

RESUMEN

TITULO: DETERMINACIÓN DE CALIDAD DEL ENSAYO DE TENSIÓN EN ACERO MEDIANTE ESTUDIOS DE REPRODUCIBILIDAD Y REPETIBILIDAD*

AUTORES: YENI DEL PILAR BARBOSA ORTIZ
FREDY LEONARDO DALLOS RINCÓN**

Palabras clave: Ensayo de tensión en acero, repetibilidad de los resultados de medición, reproducibilidad de los resultados de medición, incertidumbre, Tolerancia.

DESCRIPCION:

Este proyecto plantea el análisis y procedimiento de repetibilidad, reproducibilidad e incertidumbre para el ensayo de acero corrugado para varilla de diámetros $\frac{1}{2}$ " $\frac{3}{4}$ " y $\frac{7}{8}$ " bajo los estándares de la norma NTC 2289 (NORMA TÉCNICA COLOMBIANA).

Para estudios de repetibilidad se ensayaron 6 muestras de varilla de diámetro $\frac{1}{2}$ ". Para varillas de diámetro $\frac{3}{4}$ " y $\frac{7}{8}$ " se ensayaron 12 muestras de varilla respectivamente, teniendo en cuenta que cada diámetro de varilla tiene su respectiva mordaza de ensayo en el laboratorio de caracterización de materiales de la Universidad Industrial de Santander.

Para estudios de reproducibilidad se ensayaron 4 muestras por cada diámetro de varilla respectivamente, dos en el laboratorio de caracterización de materiales de la Universidad Industrial de Santander, de igual manera fueron ensayadas 2 muestras de varilla por cada diámetro de varilla respectivamente en el laboratorio externo (Universidad de los Andes, Laboratorio de ingeniería civil), Certificado por La ONAC (Organización Nacional de acreditación de Colombia).

Utilizando diferentes métodos estadísticos como RANGOS y PROMEDIOS para obtener un porcentaje de repetibilidad, reproducibilidad y porcentaje r&R.

La guía Gum fue utilizada para estimar una incertidumbre con un nivel de confiabilidad del 95 %, este método fue aplicado únicamente para muestras de varilla de diámetro $\frac{1}{2}$ " $\frac{3}{4}$ " y $\frac{7}{8}$ " respectivamente en los ensayos realizados de repetibilidad en el laboratorio de caracterización de materiales de la Universidad Industrial de Santander.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías físico mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil Director: Hebenly Celis Leguizamo

ABSTRACT

TITLE: DETERMINACIÓN DE CALIDAD DEL ENSAYO DE TENSIÓN EN ACERO MEDIANTE ESTUDIOS DE REPRODUCIBILIDAD Y REPETIBILIDAD*

AUTHORS: YENI DEL PILAR BARBOSA ORTIZ
FREDY LEONARDO DALLOS RINCÓN**

KEYWORDS: trial of stress in steel, repeatability of the results of measurement reproducibility of measurement uncertainty, tolerance.

DESCRIPTION:

This project proposes the analysis and the procedures of repeatability, reproducibility and uncertainty for the test of corrugated steel for rod with diameters $\frac{1}{2}$ " $\frac{3}{4}$ " and $\frac{7}{8}$ " under the standards of standard NTC 2289 (COLOMBIAN TECHNICAL STANDARD).

For repeatability studies, six $\frac{1}{2}$ " diameter rod samples were tested. For rods of diameter $\frac{3}{4}$ " and $\frac{7}{8}$ ", twelve rod samples were tested, respectively, taking into account that each rod diameter has its respective test clamp in the materials characterization laboratory of the Industrial University of Santander.

For reproducibility studies, four samples were tested for each rod diameter, respectively, two in the materials characterization laboratory of the Industrial University of Santander, in the same way, two samples of rod were tested for each diameter respectively in the external laboratory (Andes University Civil Engineering laboratory), certified by the ONAC (National Accreditation Organization of Colombia).

Using different statistical methods like ranges and averages to obtain percentages of repeatability, reproducibility and r&R percentages.

The Gum guide was used to estimate an uncertainty with a 95% confidence level, this method was applied only for $\frac{1}{2}$ " $\frac{3}{4}$ " and $\frac{7}{8}$ " diameter rod samples, respectively, in the repeatability test performed in the materials characterization laboratory of the Industrial University of Santander.

* Project of grade

** Faculty of Engineering Physical Mechanical. School of Engineering Civil Director: Hebenly Celis Leguizamo

INTRODUCCIÓN

Muchos materiales cuando están en servicio están sujetos a fuerzas o cargas. En tales condiciones es necesario conocer las características del material para diseñar el instrumento donde va a usarse de tal forma que los esfuerzos a los que vaya a estar sometido no sean excesivos y el material no se fracture. El comportamiento mecánico de un material es el reflejo de la relación entre su respuesta o deformación ante una fuerza o carga aplicada. [1]

En los laboratorios es necesario validar los métodos de ensayo para tener credibilidad respecto a estos, su calidad y la conmensurabilidad de los resultados que estos arrojan, en el momento de hacer estudios para obras civiles de grandes magnitudes se hace necesario que la información que se vaya a usar este certificada.

Para dar un dictamen acerca de la validez del ensayo de tensión en acero es necesario analizar las causas de la variabilidad de las mediciones tomadas, para ello hay que buscar las fuentes de error, haciendo uso de los conceptos de repetibilidad y reproducibilidad. Con el uso de experimentos físicos se debe observar el comportamiento del método de ensayo tomando como referencia una serie de datos obtenidos, los cuales se analizarán y se concluirá sobre los mismos.

Mediante la aplicación del mismo método de ensayo por un mismo operador, a probetas de ensayo idénticas y en el mismo laboratorio, utilizando el mismo equipo a breves intervalos de tiempo se observará la variación respecto a repetibilidad.

La validez del ensayo por reproducibilidad se da por actividades entre laboratorios, para el análisis de resultados del ensayo bajo este criterio se debe aplicar el mismo método a elementos de ensayo idénticos, en laboratorios distintos, con distintos operadores y utilizando equipos diferentes.

Por medio de este trabajo se busca validar el ensayo de tensión en acero mediante estudios de reproducibilidad y repetibilidad para determinar la calidad de dicho ensayo.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la calidad del ensayo de tensión en acero mediante estudios de repetibilidad y reproducibilidad bajo la norma NTC 2289 en el laboratorio de caracterización de materiales de la Universidad Industrial de Santander.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Medir la reproducibilidad del ensayo a tensión en acero corrugado de acuerdo a la norma NTC2289 en el laboratorio de Caracterización de Materiales de la Universidad Industrial de Santander.
- Medir la repetibilidad realizando una serie de ensayos de tensión en acero corrugado de acuerdo a la norma NTC2289 en el laboratorio de Caracterización de Materiales de la Universidad Industrial de Santander
- Determinar la relación de reproducibilidad y repetibilidad.
- Analizar los resultados respecto a la incertidumbre del ensayo.
- Comprobar la calidad de los resultados obtenidos en los ensayos realizados en el laboratorio de caracterización de materiales de la Universidad Industrial de Santander

2. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo en cinco etapas, la primera fue la recolección de muestras, la segunda el proceso de ensayo, la tercera la recopilación de los datos de cada ensayo, la cuarta el análisis de resultados mediante los métodos estadísticos Rangos y Promedios y finalmente las conclusiones.

2.1. SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestras seleccionadas para el análisis fueron varillas de acero corrugado homogéneas de tres diámetros diferentes $\frac{1}{2}$ " $\frac{3}{4}$ " y $\frac{7}{8}$ "

Figura 1. Varilla de los diferentes diámetros de estudio $\frac{1}{2}$ " $\frac{3}{4}$ " y $\frac{7}{8}$ "



Para el estudio de repetibilidad y reproducibilidad se tomaron muestras por cada diámetro, de acuerdo a la tabla 1. Las muestras fueron seleccionadas de acuerdo al acero que se encuentra en la región, se tomaron varillas de 6m ya que para el estudio es necesario que sea de material homogéneo, referencia de la varilla $\frac{1}{2}$ " Mexico.4 W60 $\frac{3}{4}$ " COL-6 W60 y $\frac{7}{8}$ " COL-T-7 W60.

Tabla 1. Numero de muestras para los diferentes diámetros

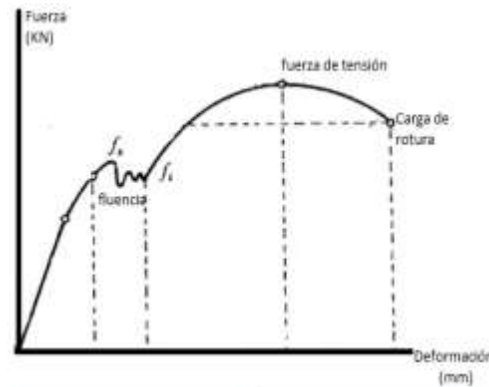
Número de muestras		
D	Repetitividad	Reproducibilidad
1/2"	6	4
3/4"	12	4
7/8"	12	4

- Las muestras para el estudio de reproducibilidad fueron cortadas a una longitud de 44 cm para q tuvieran una luz de ensayo de 25 cm debido a que el laboratorio externo exigía dicha longitud de ensayo, y las muestras de repetibilidad fueron cortadas a una longitud de 39 cm con luz de ensayo de 20 cm debido a que esta es luz mínima que exige la norma NTC 2289 de 2009 (anexo 1. Norma NTC 2289).
- El primero paso para la realización del ensayo de tensión fue tomar las respectivas mediciones de las varillas, este proceso de medición se efectuó con cuidado tratando de obtener una buena precisión mediante un pie re rey calibrado, se hizo medición de separación de venas altura de resaltes y peso de cada muestra. (anexo 2)
- Seguidamente fue necesario acondicionar las mordaza respectiva para cada diámetro de varilla, se hizo la verificación de la máquina MTS 810 Material Testing Systems, y se alisto el programa respectivo de la misma (Test Were MPT software), este software proporciona los datos correspondientes a cada prueba ya procesados, desplazamiento Vs fuerza axial y su respectiva gráfica, y así poder empezar a probar cada una de las muestras.
- Finalmente se procese a realizar el ensayo, este es realizado por los técnicos del laboratorio.

2.2. RECOPIACIÓN DE DATOS

Los datos de desplazamiento y fuerza axial se toman del software para cada muestra, mediante un archivo de Excel que el programa arroja, se puede obtener los valores de fuerza de resistencia a la tensión, fuerza de fluencia y carga de rotura, de donde se obtienen los datos de estudio. (anexo 3, formatos de cada probeta).

Figura 2. Grafica deformación Vs Fuerza del acero



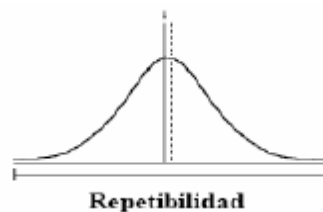
2.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de resultados se utilizó un método estadístico para llegar a un estimado de % r&R (repetibilidad y reproducibilidad), el método fue Rangos y Promedios, y para la incertidumbre se aplicó el método de la Guía para la expresión de incertidumbre de medida, GUM, mediante la evaluación tipo A debido a que es el método de evaluación de la incertidumbre por medio de análisis estadístico de una serie de observaciones. Se le hizo análisis a la fuerza de fluencia y a la fuerza de tensión.

Los procesos de cada uno de estos análisis serán descritos a continuación.

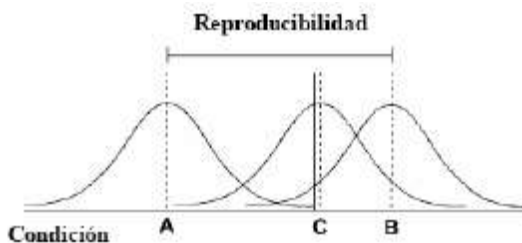
2.3.1. Estudio de repetibilidad y reproducibilidad Indica el grado de acuerdo entre resultados mutuamente independientes de un ensayo, obtenidos utilizando el mismo método, en material idéntico, en el mismo laboratorio, usando el mismo equipo. La repetibilidad puede ser expresada cuantitativamente en términos de la dispersión característica de los resultados. En la Figura 3 se muestra el concepto de repetibilidad.

Figura 3. Representación gráfica del concepto de repetibilidad.



Teniendo en cuenta que la reproducibilidad es la proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo material, aplicando el mismo método, en diferente laboratorio con diferentes operadores y utilizando diferente equipo, ésta se puede expresar en forma cuantitativa, en función de las características de la dispersión de los resultados; en la Figura 4 se observa una representación gráfica del concepto de reproducibilidad

Figura 4. Representación gráfica del concepto de reproducibilidad.



El método para determinar la repetibilidad y la reproducibilidad de las mediciones están basados en la evaluación estadística de las dispersiones de los resultados, ya sea en forma de rango, varianzas o desviaciones estándar. En el presente

estudio se utilizó el método de Promedio y Rango con la finalidad de analizar las dispersiones que se obtienen en el ensayo y determinar si las desviaciones son aceptadas o posibles, sospechosas o si estadísticamente se consideran aberrantes

2.3.1.1. Método de promedios y rangos. Este método determina la repetibilidad y la reproducibilidad para un sistema de medición, este método permite descomponer la variabilidad del sistema en dos componentes independientes: la repetibilidad y la reproducibilidad. Los pasos que se siguen para la realización de este método según [2] son:

- a) Se determina el equipo que se desean ensayar, el número de operadores y el número de ensayos que debe efectuar cada uno de ellos.
- b) Cada operador realiza los ensayos correspondientes con el equipo y consigna los resultados correspondientes en el formato respectivo para su posterior estudio
- c) Los operadores repiten las mediciones, pero esta vez en diferente orden y sin observar las mediciones realizadas anteriormente por sus compañeros.
- d) Con los datos del formato se procede a calcular el rango de cada parte del equipo por medio de la ecuación (1)

$$R = X_{max} - X_{min} \quad (1)$$

- e) Se calcula el rango promedio de cada operador utilizando la ecuación (2).

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (2)$$

Dónde:

n : es el número de mediciones realizadas por cada operador.

f) Se calcula el rango promedio de todos los rangos por medio de la ecuación (3).

$$\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{R} \quad (3)$$

Donde:

m : es el número de operadores y \bar{R} es el rango promedio de cada operador.

g) Se calcula el porcentaje de la repetibilidad de las mediciones utilizando la ecuación (4).

$$\% \text{ Repetibilidad} = \frac{K_1 \times \bar{R}}{T} \times 100\% \quad (3)$$

Donde:

K_1 : es una constante que depende del número de mediciones realizadas por cada operador y proporciona un intervalo de confianza del 99% para estas características.

\bar{R} : es el rango promedio de todos los rangos.

T : es la tolerancia de la característica medida, en este caso del equipo ensayado.

Nota: Los valores de K_1 se encuentra en la tabla 1.

h) Se calcula la medición promedio de cada operador utilizando la ecuación (5).

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{nr} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

Donde:

n : es el número de ensayos por operador, r es el número de partes y x_i es cada una de las medidas del operador.

- i) Se calcula la diferencia entre el promedio mayor y el promedio menor de los operadores por medio de la ecuación (6).

$$\bar{x}_D = x_{max} - x_{min} \quad (6)$$

- j) Se calcula el porcentaje de la reproducibilidad por medio de la ecuación (7).

$$\%R = \frac{\sqrt{(K_2 \times \bar{x}_D)^2 - \frac{(K_1 \times \bar{R})^2}{nr}}}{T} \times 100\% \quad (7)$$

Dónde:

K_2 : es una constante que depende del número de operadores y proporciona un intervalo de confianza del 99% para estas características.

\bar{x}_D : es la diferencia entre el promedio mayor y promedio menor de los operadores.

n : es el número de ensayos por operador.

r : es el número de partes de medidas.

T : es la tolerancia de la característica medida, en este caso del equipo ensayado.

Notas: los valores de K_2 se encuentran en la Tabla 1 y si el valor dentro de la raíz es un número negativo, el valor de la reproductibilidad se considera como cero.

Tabla 2. Valores de las constantes K_1 y K_2

Número de ensayos	2	3	4	5
K1	4,56	3,05	2,50	2,21
Número de operadores	2	3	4	5
K2	3,65	2,70	2,30	2,08

- k) Se calcula el porcentaje de la relación entre la repetibilidad y la reproducibilidad mediante la ecuación (8).

$$\%r\&R = \sqrt{(\% \text{ Repetibilidad})^2 + (\% \text{ Reproducibilidad})^2} \quad (8)$$

- l) Se interpretan los resultados obtenidos por medio de los siguientes criterios:

-Si $\% r\&R < 10\%$ el sistema de medición es aceptable.

-Si $10\% \leq \% r\&R < 30\%$ el sistema de medición puede ser aceptable según su uso, aplicación, costo del instrumento de medición, costo de reparación.

-Si $\% r\&R \geq 30\%$ el sistema de medición es considerado como no aceptable y requiere de mejoras en cuanto al operador, equipo, método, condiciones, etc.

Después de analizar la información que resulta del estudio de repetibilidad y reproducibilidad, es posible evaluar las causas que originan la variación del sistema o del instrumento:

-Si la repetibilidad es mayor a la reproducibilidad las posibles causas son: El instrumento necesita mantenimiento, el equipo requiere ser rediseñado para ser más rígido, el montaje o ubicación donde se efectúan las mediciones necesita ser mejorado y/o, existe una variabilidad excesiva entre las partes.

-Si la reproducibilidad es mayor que la repetibilidad, las causas pueden ser: El operador necesita mejor entrenamiento en cómo utilizar y como leer el instrumento, la indicación del instrumento no es clara. No se han mantenido condiciones de reproducibilidad (ambientales, montaje, ruidos, etc.) y/o el instrumento de medición presenta deriva.

2.3.1.2. Cálculos tipos. Para el estudio de repetibilidad y de reproducibilidad se tomaron dos variables las cuales fueron:

- Fuerza de fluencia.
- Fuerza de resistencia

Los datos fueron tomados de ensayos realizados en el laboratorio de Caracterización de Materiales de la Universidad Industrial de Santander y el laboratorio de la Universidad de los Andes.

FUERZA DE FLUENCIA

- *Análisis de repetibilidad*

Los datos para el análisis de repetibilidad fueron tomados de los ensayos realizados en el Laboratorio de Caracterización de materiales de la universidad Industrial de Santander, correspondientes a una de una varilla de 1/2".

Calculando el rango para cada operario por medio de la ecuación (1), en este caso será el mismo rango promedio de la ecuación (2) debido a que solo son dos datos, se obtiene:

Tabla 3. Datos repetibilidad ejemplo 1

VARILLA 1/2"	
OPERADOR	Fy (kN)
A	56.30
	55.94
	56.45
B	56.36
	57.63
	56.07

Calculado el rango para cada operario por medio de la ecuación (1), en este caso era el mismo rango promedio de la ecuación (2) debido a que solo son dos datos, se obtiene:

Tabla 4. Rangos de cada operario

R A (kN)	0.355
R B (kN)	1.554

Calculando el rango promedio de todos los rangos con la ecuación (3), se tiene:

$$\bar{R} = 0.9548 \text{ kN}$$

De la Tabla 1 se obtiene que K1 3.05 para 3 ensayos, empleando la ecuación (4), con una tolerancia 31.313 kN (La tolerancia se considera como el promedio entre la mínima fuerza y la máxima fuerza aplicada en el ensayo) se tiene que el porcentaje de repetibilidad es:

$$\% r = \frac{3.05 \times 0.9548 \text{ kN}}{31.313 \text{ kN}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Repetibilidad} = 9.30\%$$

- **Análisis de reproducibilidad**

Para el análisis de la reproducibilidad los datos tomados son los siguientes:

Tabla 5. Datos reproducibilidad ejemplo 1

VARILLA 1/2"	
LABORATORIO	Fy (kN)
UIS	56.71
	56.02
ANDES	55.48
	55.23

Calculando el rango para cada laboratorio por medio de la ecuación (1), en este caso será el mismo rango promedio de la ecuación (2) debido a que solo son dos datos, se obtiene:

Tabla 6. Rangos de e cada laboratorio

RUIS	0.69
RANDES	0.253

Calculando el rango promedio de todos los rangos con la ecuación (3), se tiene:

$$\bar{R} = 0.47 \text{ kN}$$

De la Tabla 1 se obtiene que K_1 4,56 para 2 ensayos.

La medición promedio de cada operador por medio de la ecuación (5), se tiene:

Tabla 7. Medición promedio de cada laboratorio

xi UIS (kN)	56.37
xi ANDES (kN)	55.36

Calculando la diferencia entre el promedio mayor y menor utilizando la ecuación (8) se tiene:

$$\overline{XD} = 1.01kN$$

De la Tabla 1, se obtiene que K2 3,65 para 2 operadores y empleando la ecuación (7), con una tolerancia 30.085 kN (La tolerancia se considera como el promedio entre la mínima fuerza y la máxima fuerza aplicada en el ensayo) se tiene que el porcentaje de reproducibilidad es:

$$\%R = \frac{\sqrt{(3.65 \times 1.01)^2 - \frac{(4.56 \times 0.47)^2}{2 \times 1}}}{30.085} \times 100\%$$

$$\% \text{ Reproducibilidad} = 10.86\%$$

El porcentaje de la relación entre la repetibilidad y la reproducibilidad calculada por medio de la ecuación (3), es:

$$\%r\&R = \sqrt{(9.3)^2 + (10.86)^2}$$

$$\%r\&R = 14.30\%$$

FUERZA DE TENSIÓN

- *Análisis de repetibilidad*

Los datos para el análisis de reproducibilidad fueron tomados de los ensayos realizados en el Laboratorio de Caracterización de materiales de la Universidad Industrial de Santander, correspondientes a una de una varilla de ½”.

Tabla 8. Datos repetibilidad ejemplo 1

VARILLA 1/2"	
OPERADOR	Fu (kN)
A	81.27
	81.01
	80.56
B	81.24
	82.96
	81.31

Calculando el rango para cada operario por medio de la ecuación (1), en este caso será el mismo rango promedio de la ecuación (2) debido a que solo son dos datos, se obtiene:

Tabla 9. Rangos de cada operario

R A (kN)	0.129
R B (kN)	0.338

Calculando el rango promedio de todos los rangos con la ecuación (3), se tiene:

$$\bar{R} = 0.2337 \text{ kN}$$

De la Tabla 1 se obtiene que K1 4,56 para 2 ensayos, empleando la ecuación (4), con una tolerancia 43.978 kN (La tolerancia se considera como el promedio entre la mínima fuerza y la máxima fuerza aplicada en el ensayo), se tiene que el porcentaje de repetibilidad es:

$$\% r = \frac{3.05 \times 0.2337 \text{ KNkN}}{43.978 \text{ kN}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Repetibilidad} = 1.62\%$$

Para el análisis de la reproducibilidad los datos tomados son los siguientes:

Tabla 10. Datos reproducibilidad ejemplo 1

VARILLA 1/2"	
LABORATORIO	Fu (kN)
UIS	80.15
	81.49
ANDES	79.43
	79.17

Calculando el rango para cada laboratorio por medio de la ecuación (1), en este caso será el mismo rango promedio de la ecuación (2) debido a que solo son dos datos, se obtiene:

Tabla 11. Rangos de cada laboratorio

R UIS (kN)	1.35
R ANDES (kN)	0.25

Calculando el rango promedio de todos los rangos con la ecuación (3), se tiene:

$$\bar{R} = 0.80 \text{ kN}$$

De la Tabla 1 se obtiene que K1 4,56 para 2 ensayos.

La medición promedio de cada operador por medio de la ecuación (5), se tiene:

Tabla 12. Medición promedio de cada laboratorio.

xi UIS(kN)	80.82
xi ANDES (kN)	79.30

Calculando la diferencia entre el promedio mayor y menor utilizando la ecuación (8) se tiene:

$$\overline{XD} = 1.52kN$$

De la Tabla 1, se obtiene que K2 3,65 para 2 operadores y empleando la ecuación (7), con una tolerancia 43.25 kN (La tolerancia se considera como el promedio entre la mínima fuerza y la máxima tuerza aplicada en el ensayo) se tiene que el porcentaje de reproducibilidad es:

$$\%R = \frac{\sqrt{(3.65 \times 1.52)^2 - \frac{(4.56 \times 0.8)^2}{2 \times 1}}}{43.25} \times 100\%$$

$$\% \text{ Reproducibilidad} = 11.35\%$$

El porcentaje de la relación entre la repetibilidad y la reproducibilidad calculada por medio de la ecuación (8), es:

$$\%r\&R = \sqrt{(1.62)^2 + (11.35)^2}$$

$$\%r\&R = 11.466\%$$

2.3.2. Determinación de la incertidumbre. Cuando se da a conocer el resultado de la medición de una cierta cantidad física, es indispensable dar una indicación cuantitativa de la calidad del resultado, para que pueda tenerse una idea de su confiabilidad. Sin esto, es imposible hacer comparaciones de dichos resultados, ya sea entre ellos mismos, o con valores de referencia. Por ello debe existir un procedimiento comprensible y aceptado generalmente que lleve a una evaluación y expresión apropiada de la incertidumbre.

Así como se ha establecido y difundido el uso del Sistema Internacional de Unidades (SI), se requiere instaurar un método “universal” para la evaluación y expresión de la incertidumbre en las mediciones, en los campos de la ciencia, la ingeniería, el comercio, la tecnología y las reglamentaciones en general.

El método ideal para la evaluación de las incertidumbres debe tener las siguientes propiedades:

- Universal: se podrá aplicar a todo tipo de mediciones y todo tipo de datos usados en las mediciones;
- Consistente internamente: debe ser derivable directamente de las componentes que contribuyen a ella, y ser independiente de cómo se agrupan esas componentes;
- Transferible: la incertidumbre evaluada para un resultado debe poderse usar directamente en la evaluación de la incertidumbre de otra medición en que se utilice dicho resultado.

Más aún, en aplicaciones comerciales e industriales es necesario dar intervalos de confianza para ciertas magnitudes mensurables, en los cuales se engloba una fracción grande de la distribución de valores obtenidos en el proceso de medición de dicha magnitud. El método de evaluación de la incertidumbre debería ofrecer entonces, la capacidad de calcular esos intervalos de confianza. Antes de presentar el procedimiento para la evaluación de las incertidumbres, es conveniente recordar algunas definiciones.

- **La incertidumbre de una medición** es un parámetro asociado con el resultado de esa medición, que caracteriza la dispersión de los valores que se podrían atribuir razonablemente al mensurando.
- **La Incertidumbre estándar** es la incertidumbre del resultado de una medición expresado como una desviación estándar.

- **La evaluación tipo A** es el método de evaluación de la incertidumbre por medio del análisis estadístico de una serie de observaciones.
- **La evaluación tipo B** es el método de evaluación de la incertidumbre por medios distintos al análisis estadístico de una serie de observaciones.
- **La incertidumbre estándar combinada** es la incertidumbre estándar del resultado de una medición cuando el resultado se obtiene de los valores de otras cantidades, y es igual a la raíz cuadrada positiva de una suma de términos, los cuales son las varianzas o covarianzas de estas otras cantidades ponderadas de acuerdo a cómo el resultado de la medición varía con cambios en estas cantidades.
- **La incertidumbre expandida** es una cantidad que define un intervalo alrededor del resultado de una medición, y que se espera abarque una fracción grande de la distribución de valores que se podrían atribuir razonablemente al mensurando.
- El factor de cobertura es un factor numérico utilizado como un multiplicador de la incertidumbre estándar combinada para obtener la incertidumbre expandida.
- **El error (de medición)** es el resultado de una medición menos el valor real del mensurando.

No debe confundirse error con incertidumbre. [4]

2.3.2.1 Método para calcular la incertidumbre. Evaluación tipo A de la incertidumbre estándar

En la mayor parte de los casos, la mejor estimación del valor esperado μ_q de una cantidad q , y para la cual se han hecho n mediciones independientes q_k es la media aritmética o promedio \bar{q} :

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k \quad (9)$$

Las observaciones individuales q_k difieren en valor debido a variaciones aleatorias. La varianza experimental de las observaciones, que es un estimador de la varianza σ^2 de la distribución de probabilidad de q es:

$$s^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2 \quad (10)$$

Esta cantidad, junto con su raíz cuadrada positiva $s(q_k)$ (conocida como la **desviación estándar experimental**), caracterizan la variabilidad de los valores observados q_k es decir, su dispersión alrededor de la media q .

Por otro lado, la mejor estimación de la varianza de la media $\sigma^2(q) = \sigma^2/n$ es

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q_k)}{n} \quad (11)$$

La varianza experimental de la media, junto con su raíz cuadrada positiva, $s(q)$, denominada la **desviación estándar experimental de la media**, cuantifican qué tan bien \bar{q} estima el valor esperado de q , y se puede utilizar como una medida de la incertidumbre de q . En otras palabras, la evaluación tipo A de la incertidumbre estándar de un conjunto de mediciones x_k , tal como se definió previamente, se logra con la ecuación:

$$u(x) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2}{n(n-1)}} \quad (12)$$

2.3.2.2. Identificación de las fuentes de incertidumbre. Las fuentes de incertidumbre se asocian a cada magnitud de entrada [5]

- Medición fuerza de fluencia
- Medición de fuerza de tensión
 - Según norma NTC 2289

- Procedimiento de los resultados
 - Esfuerzo de fluencia
 - Resistencia a la tensión
 - Tipo de acero
 - Uso
- Mano de obra
 - Desarrollo del ensayo
 - Informe de resultados
- Mediciones
 - Fuerza
 - Maquina
 - Prensa mecánica MTS 810

2.3.2.3. Información experimental y documental

- Del certificado de calibración se informa sobre el patrón de referencia utilizado en la calibración
 - Grado de confiabilidad 95%
 - Resolución del equipo: 0.1 kN indicador digital

2.3.2.4. Calculo de la incertidumbre.

- **Incertidumbre asociada a la lectura de datos por parte de los operadores.**

Ensayos realizados bajo condiciones de precisión intermedia sirven de base para identificar y estimar la incertidumbre debida a las lecturas tomadas por determinados operadores del laboratorio. Se tomaron los mismos datos del análisis de repetibilidad para F y tabla 3 y para Fu tabla 8 en el caso del análisis de las varillas de ½”.

- **incertidumbre asociada a la resolución del instrumento de medida.**

Tabla 13. Resultado de incertidumbre varilla de 1/2" para resistencia a la tensión.

Fy (kN)		
n (# de datos)	n	6
Media	\bar{q}	56.46
Varianza	s^2	0.36
Desviación estándar	raíz (s^2)	0.60
Varianza experimental de la media	$s^2(\bar{q})$	0.06
Desviación estándar de la media	raíz s^2	0.25
Incertidumbre estándar	$u(x_i)$	0.2458

Tabla 14. Resultado de incertidumbre varilla de 1/2" para esfuerzo de fluencia

Fu (kN)		
n (# de datos)	n	6
Media	\bar{q}	81.39
Varianza	s^2	0.67
Desviación estándar	raíz(s^2)	0.82
Varianza experimental de la media	$s^2(\bar{q})$	0.11
Desviación estándar de la media	raíz s^2	0.33
Incertidumbre estándar	$u(x_i)$	0.3335

- **Incertidumbre asociada a la resolución del instrumento de medida.**

Una fuente de incertidumbre es la resolución del dispositivo indicador. Si la resolución del dispositivo indicador es δx , el valor de la señal de entrada que produce una indicación dada X puede sustituirse con igual probabilidad en cualquier punto dentro del intervalo que va de $(X - \delta x)$ a $(X + \delta x)$ [5]. La señal de entrada puede describirse entonces por medio de una distribución rectangular de

rango δx y varianza $u^2 = (\delta x)^2 / 12$, lo que supone una incertidumbre típica, como se observa en la ecuación (13)

$$u(d) = \frac{\delta x}{\sqrt{12}} \quad (13)$$

En el caso de la MS 810 se tiene una resolución de 0.1 kN, lo que indica una incertidumbre $u(d) = 0.028867$.

- **Cálculo de la incertidumbre combinada**

La incertidumbre típica combinada sirve para caracterizar la calidad de las medidas. En la práctica lo que se necesita es conocer el intervalo dentro del cual es razonable suponer, con alta probabilidad de no equivocarse, que se encuentran los infinitos valores que pueden ser “razonablemente” atribuidos al mensurando [6].

En esta etapa se relacionaron las incertidumbres estándar de diversas fuentes, de manera tal que se combinaran entre sí. De esta manera se obtendrá la incertidumbre combinada U_c , calculada como se expresa en la ecuación (14):

$$U_c = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} \quad (14)$$

Tabla 15. Incertidumbre combinada mensurada de 1/2”

	Fy (kN)	Fu (kN)
INCERTUDUMBRE COMBINADA	0.25	0.33

- **Cálculo de la incertidumbre expandida**

Para aumentar la probabilidad hasta valores más útiles de cara a la toma posterior de decisiones, podemos multiplicar la incertidumbre combinada por un número denominado “factor de cobertura” k_p . El producto $k_p * U_c = U_{exp}$ se denomina incertidumbre expandida, donde $k_p = 2$ es el factor de cobertura para un nivel de confianza $p \approx 95\%$ [3].

En la Tabla 14 se muestran el resultado de incertidumbre expandida para el mensurando de $\frac{1}{2}$ ”, objeto del presente estudio.

Tabla 16. Incertidumbre expandida mensurada de $\frac{1}{2}$ ”

	Fy (kN)	Fu (kN)
INCERTIDUMBRE EXPANDIDA	0.5	0.67

2.4 GESTIÓN DE CALIDAD

Para obtener satisfacción en los resultados de cada ensayo el laboratorio debe contar con: [8]

Gestión de los recursos: La organización debe determinar y proporcionar los recursos necesarios para:

- a) Implementar y mantener el sistema de gestión de la calidad y mejorar continuamente su eficacia, y
- b) Aumentar la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de sus requisitos.

Recursos Humanos: El personal que realice trabajos que afecten a la conformidad con los requisitos del producto debe ser competente con base en la educación, formación, habilidades y experiencia apropiadas.

En cuanto a la competencia, formación y toma de conciencia la organización debe:

- a) determinar la competencia necesaria para el personal que realiza trabajos que afectan a la conformidad con los requisitos del producto.
- b) cuando sea aplicable, proporcionar formación o tomar otras acciones para lograr la competencia necesaria.
- c) evaluar la eficacia de las acciones tomadas.
- d) asegurarse de que su personal es consciente de la pertinencia e importancia de sus actividades y de cómo contribuyen al logro de los objetivos de la calidad, y
- e) mantener los registros apropiados de la educación, formación, habilidades y experiencia

Infraestructura: La organización debe determinar, proporcionar y mantener la infraestructura necesaria para lograr la conformidad con los requisitos del producto. La infraestructura incluye, cuando sea aplicable:

- a) edificios, espacio de trabajo y servicios asociados.
- b) equipo para los procesos (tanto hardware como software), y
- c) servicios de apoyo (tales como transporte, comunicación o sistemas de información).

3. RESULTADOS

3.1. TABLA DE RESULTADOS REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD PARA LOS TRES TIPOS DE VARILLA USADOS EN ESTE PROYECTO.

Tabla 17. Tabla de resultados:Fuerza de fluencia y fuerza máxima repetibilidad, reproducibilidad y %r&R para los diferentes diámetros 1/2" 3/4" 7/8".

FUERZA DE FLUENCIA (kN)							
	REPETIBILIDAD 1/2"		REPRODUCIBILIDAD 1/2"		RESULTADOS 1/2"		
	OPERADOR A	56.30	UIS	56.71	% REPETIBILIDAD (r)	9.30	
		55.94		56.02	% REPRODUCIBILIDAD (R)	10.86	
		56.45		55.48	% r&R	14.30	
	OPERADOR B	56.36	ANDES	55.23	INCERTIDUMBRE	0.50	
		57.63					
		56.07					
	REPETIBILIDAD 3/4"		REPRODUCIBILIDAD 3/4"		RESULTADOS 3/4"		
	OPERADOR A	122.01	UIS	133.99	% REPETIBILIDAD (r)	7.29	
		120.3		119.78	133.50	% REPRODUCIBILIDAD (R)	5.02
		121.6		118.47	133.52	% r&R	8.85
	OPERADOR B	121.47	ANDES	129.79	INCERTIDUMBRE	0.55	
		120.17		121.01			
		122.55		121.545			
	REPETIBILIDAD 7/8"		REPRODUCIBILIDAD 7/8"		RESULTADOS 7/8"		
	OPERADOR A	170.22	UIS	162.09	% REPETIBILIDAD (r)	6.03	
		168.30		170.01	163.34	% REPRODUCIBILIDAD (R)	3.77
		170.53		168.92	162.36	% r&R	7.12
	OPERADOR B	169.30	ANDES	156.77	INCERTIDUMBRE	0.47	
		170.80		168.40			
		169.30		168.95			

FUERZA MAXIMA (kN)						
	REPETIBILIDAD 1/2"		REPRODUCIBILIDA D 1/2"		RESULTADOS 1/2"	
	OPERADOR A	81.27	UIS	80.15	% REPETIBILIDAD (r)	1.62
		81.01			% REPRODUCIBILIDAD (R)	11.35
		80.56	ANDES	79.43	% r&R	11.47
	OPERADOR B	81.24		79.17	INCERTIDUMBRE	0.67
		82.96				
		81.31				
	REPETIBILIDAD 3/4"		REPRODUCIBILIDA D 3/4"		RESULTADOS 3/4"	
	OPERADOR A	180.55	UIS	192.68	% REPETIBILIDAD (r)	5.92
		178.70			191.82	% REPRODUCIBILIDAD (R)
		180.16	ANDES	191.97	% r&R	6.46
	OPERADOR B	180.72		188.24	INCERTIDUMBRE	0.69
		179.00				
		182.12				
	REPETIBILIDAD 7/8"		REPRODUCIBILIDA D 7/8"		RESULTADOS 7/8"	
	OPERADOR A	250.50	UIS	225.38	% REPETIBILIDAD (r)	5.63
		250.71			226.76	% REPRODUCIBILIDAD (R)
		251.80	ANDES	225.44	% r&R	6.51
	OPERADOR B	254.36		221.34	INCERTIDUMBRE	0.91
		254.80				
		250.70				

3.2. TABLA DE RESULTADOS DE LA INCERTIDUMBRE PARA LOS TRES TIPOS DE VARILLA USADOS EN ESTE PROYECTO.

Tabla 18. Tabla de resultados: fuerza de fluencia incertidumbre para los diferentes diámetros 1/2", 3/4", 7/8"

FUERZA DE FLUENCIA (kN)					
REPETIBILIDAD 1/2"		Incertidumbre de repetibilidad 1/2"			
OPERADOR A	56.30		n (# de datos)	n	6
	55.94		Media	q~	56.46
	56.45		Varianza	s^2	0.36
OPERADOR B	56.36		Desviación estándar	raíz (s^2)	0.60
	57.63		Varianza experimental de la media	s^2(q~)	0.06
	56.07		Desviación estándar de la media	raíz s^2	0.25
			Incertidumbre estándar	u(xi)	0.25
			Incertidumbre combinada	Uc	0.25
			incertidumbre expandida	2*Uc	0.50

REPETIBILIDAD 3/4"		
OPERADOR A	122.01	119.8
	120.3	119.78
	121.6	118.47
OPERADOR B	121.47	120.87
	120.17	121.01
	122.55	121.545

Incertidumbre de repetibilidad 3/4"		
n (# de datos)	n	12
Media	q~	120.80
Varianza	s^2	0.89
Desviación estándar	raíz (s^2)	0.94
Varianza experimental de la media	s^2(q~)	0.07
Desviación estándar de la media	raíz s^2	0.27
Incertidumbre estándar	u(xi)	0.27
Incertidumbre combinada	Uc	0.27
incertidumbre expandida	2*Uc	0.55

REPETIBILIDAD 7/8"		
OPERADOR A	170.22	171.47
	168.30	170.01
	170.53	168.92
OPERADOR B	169.30	169.10
	170.80	168.40
	169.30	168.95

Incertidumbre de repetibilidad 7/8"		
n (# de datos)	n	12
Media	q~	169.61
Varianza	s^2	0.64
Desviación estándar	raíz(s^2)	0.80
Varianza experimental de la media	s^2(q~)	0.05
Desviación estándar de la media	raíz s^2	0.23
Incertidumbre estándar	u(xi)	0.23
Incertidumbre combinada	Uc	0.23
incertidumbre expandida	2*Uc	0.47

Tabla 19. Tabla de resultados: fuerza máxima incertidumbre pata los diferentes diámetros 1/2", 3/4", 7/8"

FURZA MAXIMA (kN)			
REPETIBILIDAD 1/2"			
OPERADOR A	81.27		
	81.01		
	80.56		
OPERADOR B	81.24		
	82.96		
	81.31		
Incertidumbre de repetibilidad 1/2"			
n (# de datos)	N	6	
Media	q~	81.39	
Varianza	s^2	0.67	
Desviación estándar	raíz(s^2)	0.82	
Varianza experimental de la media	s^2(q~)	0.11	
Desviación estándar de la media	raíz s^2	0.33	
Incertidumbre estándar	u(xi)	0.33	
Incertidumbre combinada	Uc	0.33	
incertidumbre expandida	2*Uc	0.67	
REPETIBILIDAD 3/4"			
OPERADOR A	180.55	178.30	
	178.70	179.02	
	180.16	178.67	
OPERADOR B	180.72	179.53	
	179.00	180.82	
	182.12	181.12	
Incertidumbre de repetibilidad 3/4"			
n (# de datos)	N	12	
Media	q~	179.89	
Varianza	s^2	1.42	
Desviación estándar	raíz(s^2)	1.19	
Varianza experimental de la media	s^2(q~)	0.12	
Desviación estándar de la media	raíz s^2	0.34	
Incertidumbre estándar	u(xi)	0.34	
Incertidumbre combinada	Uc	0.35	
incertidumbre expandida	2*Uc	0.69	
REPETIBILIDAD 7/8"			
OPERADOR A	250.50	249.70	
	250.71	251.80	
	251.80	251.30	
OPERADOR B	254.36	250.10	
	254.80	252.20	
	250.70	251.75	
Incertidumbre de repetibilidad 7/8"			
n (# de datos)	N	12	
Media	q~	251.64	
Varianza	s^2	2.46	
Desviación estándar	raíz(s^2)	1.57	
Varianza experimental de la media	s^2(q~)	0.21	
Desviación estándar de la media	raíz s^2	0.45	
Incertidumbre estándar	u(xi)	0.45	
Incertidumbre combinada	Uc	0.45	
incertidumbre expandida	2*Uc	0.91	

4. DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES.

- El número de muestras es un factor determinante en la evaluación de la precisión y exactitud de un método, si se desea demostrar la confiabilidad de sus resultados; por tal razón, se recomienda que el diseño experimental de las pruebas a realizar en el procedimiento de reproducibilidad, repetibilidad y de estimación de incertidumbre, sea lo suficientemente representativo en cuanto a número de muestras ensayadas se refiere. Si se tiene una cantidad significativa de muestras, se garantizará el cumplimiento de los criterios de aceptación planteados en la norma técnica de referencia adoptada por el laboratorio, con una mayor representación de la población, es decir, del tipo de varilla que se quiere estudiar. Para este proyecto solo fue posible analizar los datos por un método debido a las pocas muestras que se tenían para el estudio de reproducibilidad.
- En cuanto a la exactitud de los valores de fuerza para determinar esfuerzo de fluencia y esfuerzo de resistencia, sería conveniente idear un algoritmo que los pueda definir ya que los técnicos toman estos valores de manera subjetiva. Cada persona tiene criterio diferente y estos puntos pueden ser cambiantes en mínimas proporciones pero se ve afectado el resultado.

5. CONCLUSIONES

- El laboratorio de caracterización de materiales de la Universidad Industrial de Santander, realiza los ensayos bajo la norma NTC 2289 y cuenta con la experiencia de los técnicos para seguir el procedimiento adecuado y así obtener resultados confiables.
- En el análisis de repetibilidad y reproducibilidad se pudo observar que en la varilla de ½” el %R es de 14.3% para la fuerza de fluencia y el %R es de 11.47% en la fuerza máxima, aunque están en el rango de aceptabilidad, estos son mayor con respecto a los otros dos diámetros que se estudiaron debido a que el número de muestras fue menor, y a que este tipo de varilla es tan manejable que no se sabe su estado antes de la compra.
- Como se ha mostrado en el presente documento, el procedimiento de cálculo de la incertidumbre depende en su mayor parte del proceso de medición. Debido a esto, la calidad y el uso de la incertidumbre para este ensayo dependerá de la honestidad, la experiencia y el criterio de quienes contribuyen al cálculo y a la realización del informe, cabe aclarar que los datos manejados para el análisis de incertidumbre fueron los mismos de repetibilidad.
- En este proyecto se pudo observar que los resultados obtenidos están dentro del rango estipulado por la norma NTC 2289.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MEDINA BARAJAS EDWIN. Guía laboratorio mecánica de materiales. [en línea] disponible en: http://www.udistrital.edu.co:8080/c/document_library/get_file?uuid=1404d4ad-0b86-4473-8ade-8292e80b0eac&groupId=19625
- [2] LLAMOSA R. Luis Enrique, MEZA CONTRERAS Luis G., BOTERO ARBELAEZ Marcela. Estudio de repetibilidad y reproducibilidad utilizando el métodos de promedios y rangos para el aseguramiento de la calidad de los resultados de calibración de acuerdo a la norma técnica NTC-ISO/IEC 17025. [en línea] disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/849/84903579.pdf>
- [3] MIRANDA M. Javier. Evaluación de la incertidumbre en datos experimentales. [en línea] disponible en: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/eval_incert_11208.pdf
- [4] DURAN P. Yerlith A. Aplicación del método GUM para la estimación de la incertidumbre en el ensayo de la compresión de cilindros de hormigón.
- [5] JOIN COMITÉ FOR GUIDES IN METROLOGY. Evaluation of measurement data: Guide to the expression of uncertainty in measurement. First edition. Sevres: Editor, 2008, p5.
- [6] MARTÍNEZ C. Sergio A. Determinación de validación y de estimación de la incertidumbre, y su aplicación al ensayo de límites de Atterberg para el laboratorio de suelos de la empresa Construsuelos de Colombia S.A.S

BIBLIOGRAFÍA

DURAN P. Yerlith A. Aplicación del método GUM para la estimación de la incertidumbre en el ensayo de la compresión de cilindros de hormigón.

JOIN COMITÉ FOR GUIDES IN METROLOGY. Evaluation of measurement data: Guide to the expression of uncertainty in measurement. First edition. Sevres: Editor, 2008, p5.

LLAMOSA R. Luis Enrique, MEZA CONTRERAS Luis G., BOTERO ARBELAEZ Marcela. Estudio de repetibilidad y reproducibilidad utilizando el métodos de promedios y rangos para el aseguramiento de la calidad de los resultados de calibración de acuerdo a la norma técnica NTC-ISO/IEC 17025. [en línea] disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/849/84903579.pdf>

MARTÍNEZ C. Sergio A. Determinación de validación y de estimación de la incertidumbre, y su aplicación al ensayo de límites de Atterberg para el laboratorio de suelos de la empresa Construsuelos de Colombia S.A.S

MEDINA BARAJAS EDWIN. Guía laboratorio mecánica de materiales. [en línea] disponible en: http://www.udistrital.edu.co:8080/c/document_library/get_file?uuid=1404d4ad-0b86-4473-8ade-8292e80b0eac&groupId=19625

MIRANDA M. Javier. Evaluación de la incertidumbre en datos experimentales. [en línea] disponible en: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/eval_incert_11208.pdf

ANEXOS