

**VALIDACIÓN DE LA CALIBRACIÓN DE SENSORES DE VIBRACIONES BAJO
LA NORMA ISO 16063-21 EN EL LABORATORIO DE VIBRACIONES DE LA
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA**

SERGIO ANDRÉS GÓMEZ SUÁREZ

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESPECIALIZACIÓN EN CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2014

**VALIDACIÓN DE LA CALIBRACIÓN DE SENSORES DE VIBRACIONES BAJO
A NORMA ISO 16063-21 EN EL LABORATORIO DE VIBRACIONES DE LA
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA**

SERGIO ANDRÉS GÓMEZ SUÁREZ

MONOGRAFIA

DIRECTOR DEL PROYECTO

ING. GILBERTO CARLOS FONTECHA DULCEY

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ESPECIALIZACIÓN EN CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

BUCARAMANGA

2014

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, Enero 25 de 2014

DEDICATORIA

A Dios y a mi familia.

AGRADECIMIENTOS

A mi director el ingeniero Gilberto Fontecha por la orientación durante la realización de este proyecto.

A las ingenieras Norma, Lina y Fislaine profesionales de apoyo de la Dirección de Planeación de la Universidad Pontificia Bolivariana por toda la colaboración brindada.

Al ingeniero Victor Hugo Cuellar y a los diferentes miembros del laboratorio de vibraciones.

A los ingenieros Roger Castro, Victor Acevedo, Ronal Prada, Hiltom Laureano y Marco Russi.

Al ingeniero Juan Carlos Mantilla y a los docentes de la Facultad de Ingeniería Electrónica por su buena disposición durante el transcurso de la especialización.

SERGIO ANDRÉS GÓMEZ

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

1. GENERALIDADES DEL LABORATORIO	17
1.1 LABORATORIO DE VIBRACIONES UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA.....	17
1.2 SERVICIOS	17
1.3 MISIÓN LABORATORIO DE VIBRACIONES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA	18
1.4 VISIÓN LABORATORIO DE VIBRACIONES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA.....	19
1.5 NÚMERO DE EMPLEADOS DEL LABORATORIO DE VIBRACIONES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.	19
1.6 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL LABORATORIO DE VIBRACIONES	20
2. DIAGNÓSTICO DEL LABORATORIO DE VIBRACIONES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA	22
3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	23
4. ANTECEDENTES	24
5. JUSTIFICACIÓN	26
6. OBJETIVOS	27
7. MARCO TEÓRICO	28
7.1 NORMA ISO 17025.....	28
7.2 REQUISITOS DE LA ISO 17025	28
7.2.1 Requisitos de gestión.....	28
7.2.2 Requisitos técnicos	29
7.3 ACREDITACIÓN.....	29
7.4 ACELERÓMETROS O SENSORES DE VIBRACIÓN	30
7.5 NORMA 16063-21	30
7.6 INCERTIDUMBRE.....	31
7.7 EVALUACIÓN TIPO A DE LA INCERTIDUMBRE	31

7.8 EVALUACIÓN TIPO B DE LA INCERTIDUMBRE	31
7.9 REPETIBILIDAD	31
7.10 REPRODUCIBILIDAD	32
8. DISEÑO METODOLÓGICO	33
9. ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	35
9.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS QUE ORIGINAN LA INCERTIDUMBRE	36
9.2 FUENTES DE INCERTIDUMBRES DEL LABORATORIO	38
9.3 PRUEBAS DE INCERTIDUMBRE	43
9.4 ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE	48
10. EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD	53
10.1 MÉTODO PROMEDIO RANGO	54
10.2 MÉTODO ANOVA	59
11. COMPARACIÓN CON UN PATRÓN DE REFERENCIA	66
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFIA	72
WEBGRAFIA	73

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Cuantificación fuente de incertidumbres	50
Tabla 2. Incertidumbre expandida	52
Tabla 3. Resultados calibraciones Promedio Rango.....	54
Tabla 4. Rango de las partes Promedio- Rango.....	55
Tabla 5. Rango promedio de los rangos Promedio- Rango	55
Tabla 6. Rango promedio de los promedios de los rangos	56
Tabla 7. Medición promedio por operador	56
Tabla 8. Diferencia promedio operadores.....	56
Tabla 9. Repetibilidad método Promedio Rango	56
Tabla 10. Reproducibilidad método Promedio- Rango	56
Tabla 11. Porcentaje reproducibilidad y repetibilidad Promedio- Rango	57
Tabla 12. Porcentaje repetibilidad y reproducibilidad rango 10-100 Hz.....	57
Tabla 13. Porcentaje de repetibilidad y reproducibilidad rango 100-160 Hz	58
Tabla 14. Porcentaje de repetibilidad y reproducibilidad rango 160-1000 Hz.....	58
Tabla 15. Porcentaje de repetibilidad y reproducibilidad rango 1000-5000 Hz.....	58
Tabla 16. Porcentaje de repetibilidad y reproducibilidad rango 5000-10000 Hz.....	59
Tabla 17. Tabla Anova	60
Tabla 18. Repetibilidad, Reproducibilidad e interacción Anova.....	60
Tabla 19. Porcentaje Repetibilidad, reproducibilidad e interacción	60
Tabla 20. Anova rango frecuencias 10-100 Hz	61
Tabla 21. Repetibilidad, Reproducibilidad e interacción Anova Rango 10-100 Hz	61
Tabla 22. Porcentaje Repetibilidad, reproducibilidad e interacción Rango 10-100 Hz.....	61
Tabla 23. Anova rango frecuencias 100-160 Hz.....	62
Tabla 24. Repetibilidad, Reproducibilidad e interacción Anova Rango 100-160 Hz.....	62
Tabla 25. Porcentaje Repetibilidad, reproducibilidad e interacción Rango 100-160 Hz...	62
Tabla 26. Anova rango frecuencias 160-1000 Hz.....	63
Tabla 27. Repetibilidad, Reproducibilidad e interacción Anova Rango 160-1000 Hz.....	63
Tabla 28. Porcentaje Repetibilidad, reproducibilidad e interacción Rango 160-1000 Hz...	63
Tabla 29. Anova rango frecuencias 1000-5000 Hz.....	64
Tabla 30. Repetibilidad, Reproducibilidad e interacción Anova Rango 1000-5000 Hz.....	64
Tabla 31. Porcentaje Repetibilidad, reproducibilidad e interacción Rango 1000-5000 Hz	64
Tabla 32. Anova rango frecuencias 5000-10000 Hz	65
Tabla 33. Repetibilidad, Reproducibilidad e interacción Anova Rango 5000-10000 Hz.....	65

Tabla 34. Porcentaje Repetibilidad, reproducibilidad e interacción Rango 5000-10000 Hz 65

Tabla 35. Índice de compatibilidad 68

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Estructura organizacional del laboratorio	21
Ilustración 2. Diseño Metodológico.....	33
Ilustración 3. Esquema de trabajo incertidumbre.....	35
Ilustración 4. Causas incertidumbre.....	37
Ilustración 5. Factores de incertidumbre en el laboratorio.....	39
Ilustración 6. Síntesis incertidumbre	49

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Metodología para estimar la incertidumbre según GUM

ANEXO B. Incertidumbre Original Evaluación tipo A

ANEXO C. Método promedio y rango para pruebas de repetibilidad y reproducibilidad

ANEXO D. Método Anova para pruebas de repetibilidad y reproducibilidad.

ANEXO E. Constantes repetibilidad y reproducibilidad

GLOSARIO

A continuación se definen algunos términos importantes para la interpretación del presente proyecto:

- **Calibración:** Operación que bajo condiciones específicas establece en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medición asociadas obtenidas a partir de los patrones de medición y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y en una segunda etapa utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medición a partir de una indicación¹
- **Equipo de medición:** instrumento de medición, software, patrón de medición, material de referencia o equipos auxiliares o combinación de ellos necesarios para llevar a cabo un proceso de medición.²
- **Especificación:** documento que establece requisitos.³
- **Medición:** Proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios valores que pueden atribuirse razonablemente a una magnitud.⁴
- **Medición de vibraciones:** la medición de vibraciones se realiza mediante un transductor, que tiene la capacidad de convertir movimientos oscilatorios o de

¹ ISO/IEC Guide 99: International vocabulary of metrology-Basic and general concepts and associated terms (VIM). -- Switzerland : ISO, 2007

² ICONTEC Norma Técnica Colombiana ISO 9000:2005.Sistemas de Gestión de calidad. fundamentos y vocabulario. Bogotá 2005. p. 19

³ Ibíd. p. 16

⁴ ISO/IEC Guide 99: International vocabulary of metrology-Basic and general concepts and associated terms (VIM). -- Switzerland : ISO, 2007

choque en una señal eléctrica proporcional al valor que se desea medir ya sea aceleración, velocidad o desplazamiento.⁵

- **No conformidad:** incumplimiento de un requisito.⁶
- **Patrón:** Realización de la definición de una magnitud dada, con un valor determinado y una incertidumbre de medición asociada, tomada como referencia.⁷
- **Requisito:** necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria.⁸
- **Validación:** Verificación donde los requisitos especificados son adecuados para un uso previsto.⁹

⁵ Harris's Shock and Vibration Handbook. C. Harris, A. Piersol. Ed. 5. Mc Graw-Hill

⁶ ICONTEC Norma Técnica Colombiana ISO 9000:2005. Sistemas de Gestión de calidad. fundamentos y vocabulario. Bogotá 2005. p. 14

⁷ ISO/IEC Guide 99: International vocabulary of metrology-Basic and general concepts and associated terms (VIM). -- Switzerland : ISO, 2007

⁸ ICONTEC Norma Técnica Colombiana ISO 9000:2005. Sistemas de Gestión de calidad. fundamentos y vocabulario. Bogotá 2005. p. 16

⁹ ISO/IEC Guide 99: International vocabulary of metrology-Basic and general concepts and associated terms (VIM). -- Switzerland : ISO, 2007

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: VALIDACIÓN DE LA CALIBRACIÓN DE SENSORES DE VIBRACIONES BAJO LA NORMA ISO 16063-21 EN EL LABORATORIO DE VIBRACIONES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

AUTOR(ES): SERGIO ANDRES GOMEZ SUAREZ

FACULTAD: Esp. en Control e Instrumentación Industrial

DIRECTOR(A): GILBERTO CARLOS FONTECHA DULCEY

RESUMEN

El Laboratorio de Vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana se postuló a la convocatoria 508-2010 banco de proyectos estandarización y acreditación de laboratorios de Colciencias donde salió elegida la propuesta y obtuvo la financiación para acreditarse bajo la ISO 17025 con el alcance en la ISO 16063-21 (Calibración de sensores de vibración) esta norma exige en su numeral 5.4.5 que todo método empleado en el laboratorio debe ser validado. El presente proyecto se desarrolló para cumplir con este requisito por medio de una metodología que consistió en cuatro etapas que se mencionan a continuación: inicialmente se realizó un estudio bibliográfico en temas estadísticos y metrológicos necesarios para desarrollar las etapas sucesivas. Posteriormente se estimó la incertidumbre mínima del laboratorio donde se identificaron los factores que afectaban la medición y como estos contribuyen en la dispersión de los resultados de las calibraciones. Acaba esta última se realizó la ejecución de pruebas de repetibilidad y reproducibilidad donde se realizó un análisis estadístico para comprobar si las calibraciones son repetibles y reproducibles es decir los resultados de mediciones sucesivas son cercanos efectuándose bajo las mismas condiciones y variándose las mismas lo que permitió conocer la robustez del método de calibración y finalmente se realizó la comparación con un patrón de referencia donde se validó el método de calibración bajo la norma ISO 16063-21. De esta forma se validó la calibración de sensores de vibraciones bajo la norma ISO 16063-21 en el laboratorio de vibraciones para su posterior acreditación por el organismo competente (Organismo Nacional de Acreditación de Colombia ONAC)

PALABRAS

CLAVES:

LABORATORIO, INCERTIDUMBRE, VALIDACIÓN, REPETIBILIDAD, REPRODUCIBILIDAD

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: VALIDATION OF CALIBRATION VIBRATION SENSORS UNDER ISO 16063-21 IN THE VIBRATION LABORATORY OF THE PONTIFICIA BOLIVARIANA UNIVERSITY SECTIONAL BUCARAMANGA

AUTOR(ES): SERGIO ANDRES GOMEZ SUAREZ

FACULTAD: Esp. en Control e Instrumentación Industrial

DIRECTOR(A): GILBERTO CARLOS FONTECHA DULCEY

RESUMEN

The vibration laboratory of the Pontifical Bolivarian University postulated to the call 508-2010 bank of projects standardization and accreditation of laboratories of Colciencias where she was elected to the proposal and obtained funding for accreditation under ISO 17025 with scope ISO 16063-21 (vibration sensors calibration) this standard requires in the item 5.4.5 that every method used in the laboratory must be validated. This project was developed to meet this requirement through a methodology consisting of four steps mentioned below; Initially, a literature review was performed on statistical and metrological issues needed to developed the successive stages. Subsequently, the minimum uncertainty of the laboratory where de factors affecting the measurement and how these contribute to the dispersión of the calibration results identified was estimated. Finished this last the test execution repeatability was performed and reproducibility where a statistical analysis was performed to check if the calibrations are repeatable and reproducible in the results of successive measurements are close effected under the same conditions and by varying the same resulting in a report the robustness of the calibration method and finally compared with a reference pattern in which the calibration method under ISO 16063-21 performed validated. Thus the calibration of vibration sensors in validated under ISO 16063-21 vibration laboratory for subsequent accreditation by the competent authority (national accreditation of Colombia ONAC)

PALABRAS CLAVES:

LABORATORY, UNCERTAINTY, VALIDATION,
REPEATIBILITY, REPRODUCIBILITY

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

INTRODUCCIÓN

El Laboratorio de Vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga dentro de su Planeación Estratégica decide ser el primer ente en Colombia en recibir la acreditación por parte de la ONAC (Organismo Nacional para la Acreditación de Colombia) para realizar calibraciones de sensores de vibración bajo la Norma ISO 17025 “Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración” con el alcance en la ISO 16063-21. Esta norma exige el cumplimiento de requisitos de gestión referentes a la parte administrativa del laboratorio (Compras, Documentos, Auditorias entre otros) junto a requisitos técnicos asociados a la parte operativa del laboratorio.

En la parte técnica se demanda que toda calibración debe ir acompañada de una estimación de incertidumbre, adicionalmente que se realice una validación de método con un análisis de pruebas de repetibilidad y reproducibilidad con el fin de evaluar la estabilidad, robustez y veracidad del laboratorio para realizar las mediciones.

El presente proyecto describe la metodología que se utilizó para estimar la incertidumbre, desarrollar el análisis de las pruebas de repetibilidad y reproducibilidad y validar el método utilizado para realizar las calibraciones en el Laboratorio de Vibraciones para cumplir con lo exigido por la Norma ISO 17025 y de este modo optar por la acreditación por parte de la ONAC.

1. GENERALIDADES DEL LABORATORIO

A continuación se relaciona las generalidades más relevantes del laboratorio de vibraciones

1.1 LABORATORIO DE VIBRACIONES UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

El laboratorio de vibraciones pertenece a la línea de estudios en sonido y vibraciones del grupo de Investigación GIDETechMA (“Grupo de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Mecatrónica y Agroindustria”) de la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana y se dedica a prestar servicios tanto a la academia (tesis de grado, optativa de vibración), como a la industria.¹⁰

1.2 SERVICIOS

El laboratorio de vibraciones presta los siguientes servicios:

- **Calibración:** Calibración de sensores de vibración según norma ISO 16063-21 (Método para la calibración de sensores de vibración)
- **Análisis Modal:** El laboratorio tiene capacidad para medir la Función de Respuesta en Frecuencia (FRF) bien sea con excitador electrodinámico o con estímulos impulsionales (martillo modal), de acuerdo a las siguientes norma: ISO 7626-2 Experimental determination of mechanical mobility. Part 2, measurements using single-point traslation excitation.

¹⁰Laboratorio de vibraciones, quienes somos , (citado el 2 de enero del 2014) disponible en internet en http://vibra.upbbga.edu.co/quienes_somos.html

- **Capacitación:** El laboratorio de vibraciones ofrece a la facultad de Ingeniería Mecánica el curso optativo de vibraciones según la norma ISO 18436-2 para analista de vibraciones Nivel II y a través del departamento de extensión ofrece cursos especializado a la medida de las necesidades de clientes empresariales.
- **Acústica:** Caracterización acústica de recintos y espacios abiertos mediante micrófonos especializados.¹¹

1.3 MISIÓN LABORATORIO DE VIBRACIONES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

La misión del laboratorio es la siguiente:

El Laboratorio de Vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga cimentado en los valores desde el humanismo cristiano, tiene como misión: prestar servicios, realizar ensayos y calibraciones y transmitir conocimiento en el área de vibraciones, contando con personal calificado y equipo especializado aportando tanto a la industria como a la academia.¹²

¹¹ Laboratorio de vibraciones, servicios , (citado el 2 de enero del 2014) disponible en internet en <http://vibra.upbbga.edu.co/servicios.html>

¹² Manual de calidad Laboratorio de Vibraciones

1.4 VISIÓN LABORATORIO DE VIBRACIONES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

La Visión del laboratorio es la siguiente:

Para el 2017 el Laboratorio de Vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga espera ser el líder en Colombia en el área de vibraciones ofreciendo ensayos y calibraciones normalizados bajo estándares, siendo a su vez transmisor de conocimiento que sirva para el desarrollo del país.¹³

1.5 NÚMERO DE EMPLEADOS DEL LABORATORIO DE VIBRACIONES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

En el momento de construcción de este documento el laboratorio contaba con 5 miembros activos

Alta dirección: (1 miembro)

Jefe del laboratorio: (1 miembro)

Director de calidad: (1 miembro)

Auxiliar técnico: (1 miembro)

Auxiliar administrativo: (1 miembro)

El cargo de alta dirección era ocupado por el decano de ingenierías de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga sin embargo al no ser ingeniero mecánico no tenía la totalidad de las competencias requeridas para

¹³ Manual de calidad Laboratorio de Vibraciones

desempeñarlo por lo cual se apoyaba en un docente de la mencionada facultad quien es el que lo ejerce actualmente.

El cargo jefe del laboratorio es ocupado por el director de la facultad de ingeniería mecánica, el cual es uno de los pocos expertos en el área de vibraciones del país.

El cargo de director de calidad y coordinador de calidad es desempeñado por el autor del presente proyecto el cual es ingeniero mecánico e ingeniero industrial.

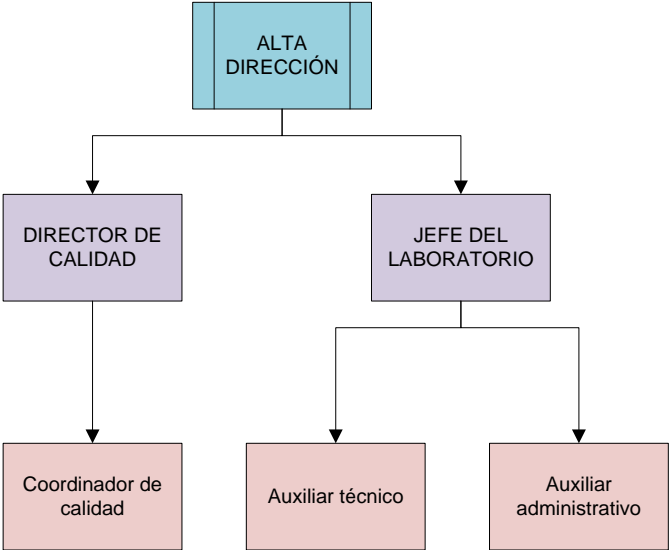
El cargo auxiliar técnico es desempeñado por un estudiante de decimo semestre de ingeniería mecánica el cual lo están validando como su proyecto de grado.

El cargo de auxiliar administrativo lo ejerce la secretaria de la Facultad de ingeniería Mecánica.

1.6 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL LABORATORIO DE VIBRACIONES

La estructura organizacional del laboratorio parte de una alta dirección y se divide en una rama de calidad y una técnica liderada por el Director de calidad y el Jefe del laboratorio respectivamente. (Ver ilustración 1)

Ilustración 1. Estructura organizacional del laboratorio



Fuente: Autor del proyecto

2. DIAGNÓSTICO DEL LABORATORIO DE VIBRACIONES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

El laboratorio de vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana presta sus servicios a la facultad de ingeniería mecánica en la enseñanza académica de vibraciones, adicionalmente realiza contratos de capacitaciones, análisis modal y calibraciones con importantes industrias como lo son ECOPETROL, AES CHIVOR, EPM, DANA TRANSEJES, WOODGROUP entre otras ¹⁴

El personal del laboratorio está conformado por un grupo multidisciplinario de profesionales, e incluso magísteres, en ingeniería mecánica e industrial asegurando la competencia del recurso humano.

Su ubicación actual es en el bloque K de la Universidad Pontificia Bolivariana el cual cuenta con una moderna planta física dotada de aire comprimido, internet y demás elementos de infraestructura necesarios para ofrecer sus servicios.

Respecto a herramientas y equipos posee variedad de llaves, acelerómetros, micrómetros, calibradores, pinzas, llave Bristol y un shaker que cumple con los requisitos técnicos para acreditar el laboratorio en su prueba de calibración de sensores bajo el estándar ISO 16063-21.

A pesar de contar con los recursos físicos, financieros y de personal hasta el momento no se ha validado las calibraciones por lo que no tiene seguridad de que la medición sea eficaz.

¹⁴ Entrevista con Gilberto Carlos Fontecha, jefe del laboratorio, Bucaramanga, 26 junio 2012

3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

El Laboratorio de Vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga se compromete a ofrecer un servicio de calibración de sensores de vibración acreditado. Para el logro de este objetivo debe cumplir con los requisitos de la NTC ISO/ IEC 17025, la cual exige que se tenga un método normalizado para realizar calibraciones o ensayos.

Este método en el laboratorio es la Norma ISO 16063-21 “Methods for the calibration of vibration and shock transducers- Vibration calibration by comparison to a reference transducer”, versión 2005. Sin embargo en la actualidad no se ha validado para aplicarse en el laboratorio.

Adicionalmente no se ha estimado la incertidumbre de la calibración y no se cuenta con ningún método para evaluar la repetibilidad y reproducibilidad de las mediciones aspectos necesarios para evaluar la robustez de las mediciones y de este modo recibir la acreditación.

4. ANTECEDENTES

En el año 2010 El Laboratorio de Vibraciones se postuló a la convocatoria 508 “Convocatoria para conformar un banco de proyectos elegibles de apoyo a la estandarización y acreditación de pruebas y calibraciones de laboratorios - Estrategia de transformación productiva mediante la innovación y el desarrollo tecnológico.” ofrecida por Colciencias donde salió elegido y obtuvo financiación para obtener la acreditación bajo la Norma ISO 17025 por ONAC (Organismo Nacional para la Acreditación de Colombia) como el primer ente para realizar calibraciones de sensores de vibración bajo el estándar ISO16063-21 en el país.¹⁵

A partir del 1 de febrero del 2012 el proyecto empieza su fase de ejecución con el desarrollo de dos tesis de grado que buscaban cumplir con los objetivos planteados a Colciencias.

Los proyectos de grado fueron los siguientes:

- Diseño, documentación e implementación del sistema de gestión de la calidad en el Laboratorio de Vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana bajo la NTC ISO 17025 versión 2005, el cual fue realizado por el autor de la presente propuesta donde se logró un sistema de gestión documentado e implementando cumpliendo con los lineamientos establecidos por la NTC ISO 17025 versión 2005.
- Ejecución técnica y financiera del proyecto de Colciencias para la calibración de sensores de vibración elaborado por la estudiante Tatiana Pacheco de la Facultad de ingeniería mecánica donde se dio cumplimiento a los requisitos técnicos exigidos por la ISO16063-21

Actualmente en el Laboratorio de Vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga se desarrolla el proyecto de grado titulado

¹⁵ Colciencias, propuesta 508-2010 banco de proyectos estandarización y acreditación de laboratorios. p.4

“Ejecución de pruebas de repetibilidad y reproducibilidad del ensayo de calibración de sensores de vibraciones según norma ISO 16063-21” a cargo del estudiante de Ingeniería Mecánica Victor Hugo Cuellar el cual tiene como objetivo proveer los datos de las calibraciones necesarios para el análisis estadístico que se ejecutara en el presente proyecto y validara los trabajos desarrollados anteriormente.

Proyectos similares de acreditación se encuentran en desarrollo en la Universidad Pontificia Bolivariana el laboratorio de suelos de ingeniería civil, y el laboratorio de aguas residuales de ingeniería ambiental, este último ya se encuentra acreditado por el IDEAM (Instituto Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales) pero actualmente trabaja para recibir la aprobación por la ONAC.

En el país se cuenta con variados laboratorios de universidades acreditados como lo son el de la Universidad de Antioquia en volumen, Eafit en fuerza y longitud, Universidad Nacional de Colombia en electricidad a alta frecuencia y por último la Universidad de Pereira la cual está acreditada en energía, frecuencia, intensidad c.a., intensidad c.c., longitud, potencia, presión y vacío, resistencia, temperatura y velocidad de fluidos¹⁶

¹⁶ ONAC, listado de laboratorios acreditados,(citado el 2 de enero 2014) Disponible en internet en <http://www.onac.org.co/modulos/contenido/default.asp?idmodulo=200&pagina=20>

5. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto se justifica con el compromiso del laboratorio de cumplir con su objetivo planteado en su planeación estratégica de acreditarse bajo la norma NTC ISO 17025 versión 2005, usando el método de calibración de sensores de vibración ISO 16063-21.

La validación del método permitirá la acreditación del laboratorio lo que lo conllevaría a ser el único ente competente para realizar dicha prueba en Colombia, convirtiéndolo conjuntamente, en el patrón nacional ya que el instituto nacional de metrología (INM) quien controla los patrones primarios en el país no cuenta con este tipo de servicio.

Por otra parte el proyecto servirá de base para validar pruebas adicionales que están siendo desarrolladas por el laboratorio bajo otros métodos estandarizados.

6. OBJETIVOS

Objetivo general:

- Validar el cumplimiento del método de calibración de sensores de vibración bajo la Norma ISO 16063-21 en el Laboratorio de Vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, mediante la aplicación de los requisitos de calidad exigidos en la norma ISO 17025, con el fin de valorar cuantitativamente la calidad de las calibraciones.

Objetivos específicos

- Estimar la incertidumbre en la calibración de sensores de vibración bajo la Norma ISO 16063-21 efectuada en el Laboratorio de Vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.
- Verificar la repetibilidad y reproducibilidad de las mediciones en la calibración de sensores bajo la ISO 16063-21 en el Laboratorio de Vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana.
- Validar el método de la Norma ISO 16063-21 para la calibración de sensores de vibración por medio de la comparación de un patrón de referencia en el Laboratorio de Vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

7. MARCO TEÓRICO

7.1 NORMA ISO 17025

La norma 17025 establece los requisitos generales para la competencia de los laboratorios en la realización de ensayos y o calibraciones, cubriendo métodos normalizados, no normalizados y los desarrollados por el propio laboratorio.

La norma es aplicable a los sistemas de gestión de los laboratorios para la ejecución de sus actividades de calidad, administrativas y técnicas.

Este estándar busca demostrar que el ente es capaz de emitir resultados confiables dividiéndose en dos secciones una de gestión la cual tiene gran similitud con los requisitos exigidos con la ISO 9001 y aplica al área administrativa y la otra técnica la cual asegura la competencia del personal, equipos y condiciones ambientales para que no invaliden la veracidad de los resultados.¹⁷

7.2 REQUISITOS DE LA ISO 17025¹⁸

Los requisitos se presentaran divididos en gestión y técnicos

7.2.1 Requisitos de gestión

Los requisitos de gestión son quince y se mencionan a continuación

4.1 Organización

4.2 Sistema de gestión

4.3 Control de los documentos

¹⁷ ICONTEC Norma Técnica Colombiana ISO 17025:2005.Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Bogotá 2005. p 1

¹⁸ Ibíd, p 4

- 4.4 Revisión de los pedidos, ofertas y contratos
- 4.5 Subcontratación de ensayos y de calibraciones
- 4.6 Compras de servicios y de suministros
- 4.7 Servicios al cliente
- 4.8 Quejas
- 4.9 Control de trabajos de ensayos o de calibraciones no conformes
- 4.10 Mejora
- 4.11 Acciones correctivas
- 4.12 Acciones preventivas
- 4.13 Control de los registros
- 4.14 Auditorías internas
- 4.15 Revisiones por la dirección

7.2.2 Requisitos técnicos

Los requisitos técnicos son diez y se mencionan a continuación:

- 5.1 Generalidades
- 5.2 Personal
- 5.3 Instalaciones y condiciones ambientales
- 5.4 Métodos de ensayo y de calibración y validación de los métodos
- 5.5 Equipos
- 5.6 Trazabilidad de las mediciones
- 5.7 Muestreo
- 5.8 Manipulación de los ítems de ensayo o de calibración
- 5.9 Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo y de calibración
- 5.10 Informe de los resultados

7.3 ACREDITACIÓN

La acreditación es un servicio donde una tercera parte (“En el caso de Colombia la ONAC”) declara que un organismo tiene las competencias y la imparcialidad para evaluar conformidad de requisitos exigidos por normas técnicas o legales sobre productos o servicios.¹⁹

¹⁹ ONAC , la acreditación, (citado el 2 de enero del 2014) disponible en internet en <http://www.onac.org.co/modulos/contenido/default.asp?idmodulo=243>

7.4 ACELERÓMETROS O SENSORES DE VIBRACIÓN

Para el desarrollo del presente proyecto es importante conocer este concepto ya que son los ítems calibrados por el laboratorio.

Un acelerómetro es un sensor que permite medir la vibración que está sintiendo un cuerpo o máquina, transformándola en una magnitud eléctrica que por medio de un acondicionador refleja la medida de velocidad y desplazamiento además de la determinación de formas de onda y frecuencia

Normalmente son utilizados en mantenimiento predictivo para prevenir el mal estado de los rodamientos o cojinetes.²⁰

7.5 NORMA 16063-21

La norma ISO 16063-21 describe la forma para calibrar un acelerómetro en un rango de frecuencia de 0,4 kHz a 10 kHz en laboratorios o en campo, por comparación con un patrón de referencia, adicionalmente se brinda la información de los factores que afectan la incertidumbre de la calibración y de las especificaciones que deben tener los equipos para realizar dicha prueba.²¹

²⁰Sensing , monitorización de vibraciones, (citado el 2 de enero del 2014) disponible en internet en http://www.sensing.es/Monitorizacion_de_Vibraciones_Cm.htm

²¹ ISO, ISO 16063-21 (citado el 2 de enero del 2014) disponible en internet en http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=27053

7.6 INCERTIDUMBRE

Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mesurando a partir de la información que se utiliza.²²

7.7 EVALUACIÓN TIPO A DE LA INCERTIDUMBRE

Evaluación de una componente de la incertidumbre de medición mediante un análisis estadístico de los valores medidos obtenidos bajo condiciones de medición definidas²³

7.8 EVALUACIÓN TIPO B DE LA INCERTIDUMBRE

Evaluación de una componente de la incertidumbre de medición de manera distinta a una evaluación tipo A de la incertidumbre de la medición²⁴

7.9 REPETIBILIDAD

Precisión de medición bajo un conjunto de condiciones que incluye el mismo procedimiento de medición, los mismos operadores, el mismo sistema de medición

²² ISO/IEC Guide 99: International vocabulary of metrology-Basic and general concepts and associated terms (VIM). -- Switzerland : ISO, 2007

²³ ISO/IEC Guide 99: International vocabulary of metrology-Basic and general concepts and associated terms (VIM). -- Switzerland : ISO, 2007

²⁴ ISO/IEC Guide 99: International vocabulary of metrology-Basic and general concepts and associated terms (VIM). -- Switzerland : ISO, 2007

las mismas condiciones de operación y el mismo lugar si como mediciones repetidas del mismo objeto o de un objeto similar en un periodo corto de tiempo.²⁵

7.10 REPRODUCIBILIDAD

Precisión de medición bajo un conjunto de condiciones que incluye diferentes lugares, operadores, sistemas de medición y mediciones repetidas de los mismos objetos u objetos similares²⁶

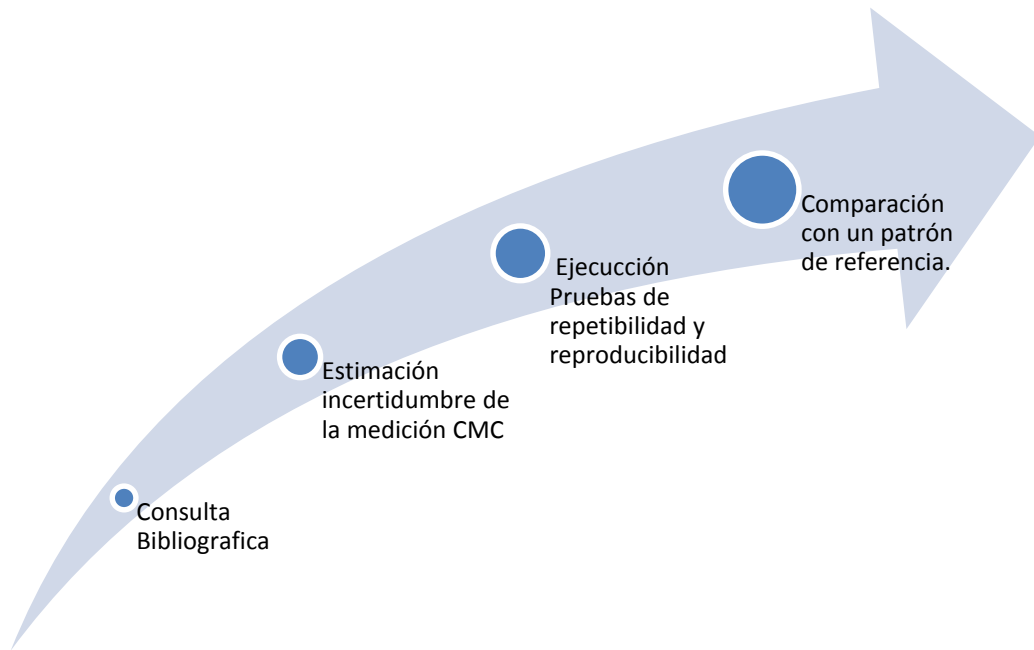
²⁵ ISO/IEC Guide 99: International vocabulary of metrology-Basic and general concepts and associated terms (VIM). -- Switzerland : ISO, 2007

²⁶ ISO/IEC Guide 99: International vocabulary of metrology-Basic and general concepts and associated terms (VIM). -- Switzerland : ISO, 2007

8. DISEÑO METODOLÓGICO

Con el propósito de la validación de las calibraciones de sensores de vibración en el Laboratorio se planteó la siguiente metodología (Ver ilustración 2)

Ilustración 2. Diseño Metodológico



Fuente: El Autor

Consulta bibliográfica: En esta etapa se realizó un estudio bibliográfico en temas estadísticos y metrológicos que sirvieron de soporte a la investigación.

Estimación de la incertidumbre: Se identificaron los factores que afectaban la medición y cómo estos contribuían en la dispersión de los resultados de las calibraciones, obteniéndose la incertidumbre expandida del laboratorio.

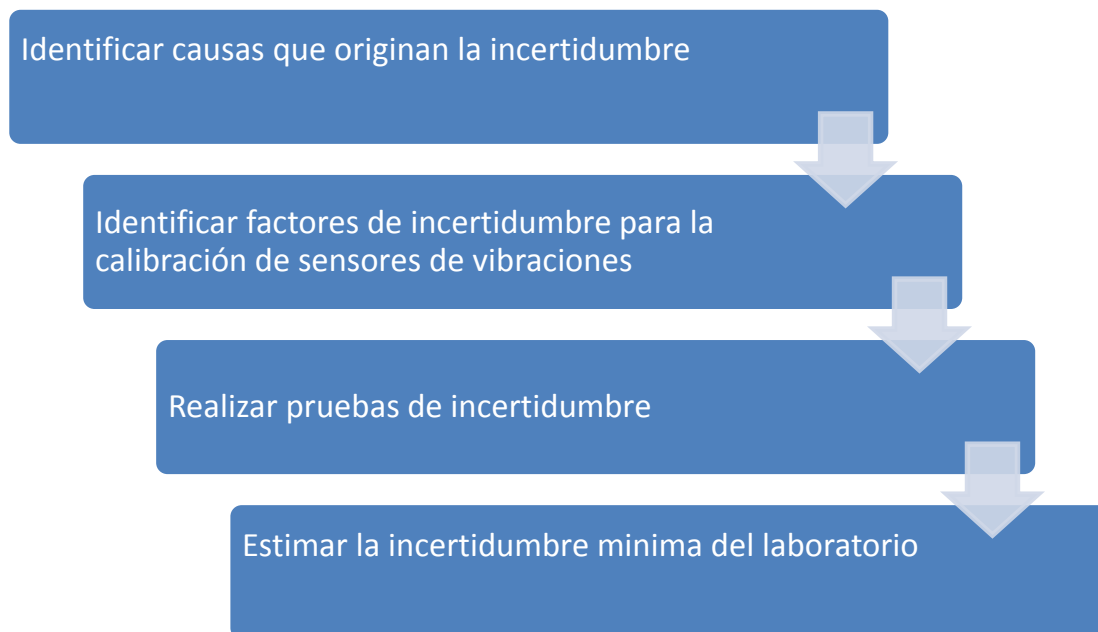
Ejecución pruebas de repetibilidad y reproducibilidad: Se realizó un análisis estadístico para comprobar si las calibraciones son repetibles y reproducibles es decir los resultados de mediciones sucesivas son cercanos efectuándose bajo las mismas condiciones y variándose las mismas.

Comparación con un patrón de referencia: Se validó el método de calibración bajo la Norma ISO 16063-21 por medio de la comparación con un patrón de referencia.

9. ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Para estimar la incertidumbre mínima del laboratorio se siguió el siguiente esquema de trabajo (Ver ilustración 3):

Ilustración 3. Esquema de trabajo incertidumbre



Fuente: El autor

- **Identificar causas que originan la incertidumbre:** En esta etapa se identificaron las causas que producen que cuando se realice una medición no se tengan total certeza de la misma, con el fin de ser la partida para identificar los factores que aportan a la incertidumbre de la calibración de sensores de vibración en el laboratorio.
- **Identificar factores de incertidumbre para la calibración de sensores de vibraciones:** En esta etapa se obtuvieron los factores puntuales que afectan

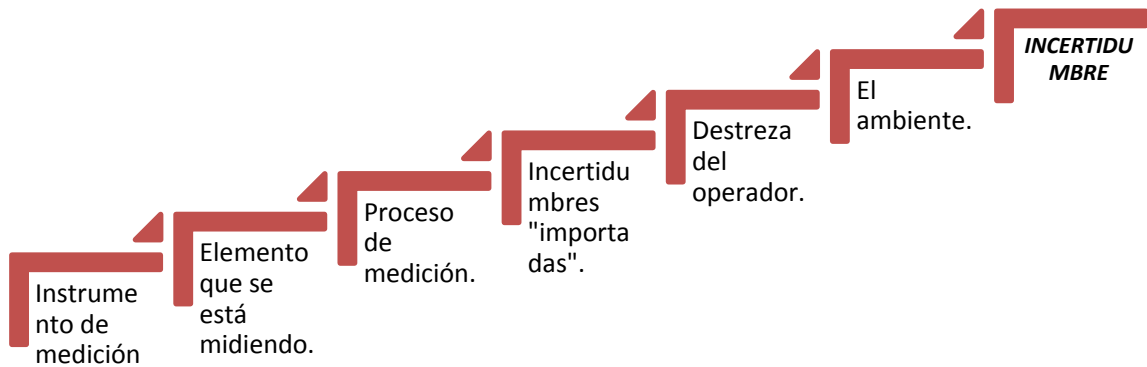
y aportan a la incertidumbre de la calibración de sensores de vibración en el Laboratorio de Vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana.

- **Realizar pruebas de incertidumbre:** En esta fase de la metodología se realizaron las diferentes calibraciones con el sensor patrón secundario para obtener los datos que permitan la estimación de la incertidumbre mínima del laboratorio.
- **Estimar la incertidumbre:** Con los datos obtenidos en el laboratorio se estimó la incertidumbre mínima de la calibración de sensores de vibración en el laboratorio de vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana.

9.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS QUE ORIGINAN LA INCERTIDUMBRE

Para identificar las causas que generan incertidumbre en la medición se tomaron como referencia las indicadas por la guía técnica Colombiana GTC 115 “guía sobre la incertidumbre de la medición para principiantes”, las cuales se relacionan a continuación (Ver ilustración 4):

Ilustración 4. Causas incertidumbre



Fuente: El autor

Instrumentos de medición: Se produce por desgaste y desajustes de los instrumentos con que se realizan las mediciones.

Elemento medido: Es generada por la inestabilidad del elemento.

Proceso de medición. Dificultad para realizar la medición.

Incertidumbres "importadas": Incertidumbres de los patrones y elementos de referencia con que se hace la medición.

Operador: Referente a las habilidades que tiene el operario al realizar la medición.

Muestreo: En caso de que se requiera una muestra que esta sea representativa para todo el conjunto a ser medido.

El ambiente: Factores ambientales como son presión, temperatura humedad que puedan afectar la estabilidad del elemento medido o de medición.²⁷

Al realizar un análisis de las causas se concluyó que todas aplican para la calibración de sensores exceptuando el muestreo ya que todo sensor que llega al laboratorio de vibraciones debe ser calibrado.

9.2 FUENTES DE INCERTIDUMBRES DEL LABORATORIO

La identificación de las fuentes de incertidumbres propias de la calibración de los sensores de vibración del Laboratorio de Vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana se realizó con la asesoría de un experto en estimación de incertidumbre empleándose el siguiente procedimiento:

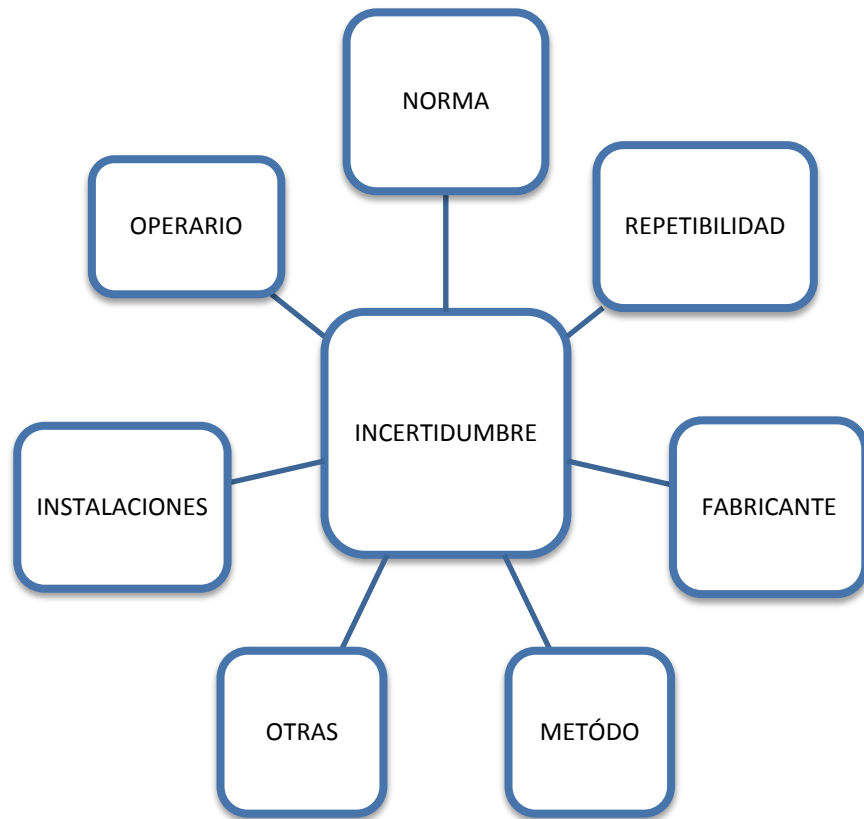
- ✓ Inicialmente se analizaron las causas descritas en el numeral anterior con el fin de identificar con mayor facilidad las propias que aportan a la incertidumbre de la calibración de sensores de vibración en el laboratorio de vibraciones.
- ✓ Posteriormente se realizó la calibración de un sensor de vibración analizando el proceso con el fin de identificar fuentes de incertidumbre por el Jefe del Laboratorio, Auxiliar técnico, Director de calidad y el Experto en estimación de incertidumbre.
- ✓ Por último se realizó una lluvia de ideas donde cada uno de los asistentes manifestó las fuentes que pudo identificar durante el proceso de calibración

²⁷ Icontec Guía Técnica Colombiana GTC 115: Guía sobre la incertidumbre de la medición para principiantes. -- Bogotá : Icontec, 2005

y posibles fuentes adicionales que afectan la incertidumbre de la medición identificadas por la experiencia previa con el proceso o por sus conocimientos técnicos.

Como consecuencia de la lluvia de ideas se obtuvieron los factores relevantes que afectan la incertidumbre de la calibración de los sensores en el laboratorio, los cuales se agruparon en los siguientes grupos (Ver ilustración 5):

Ilustración 5. Factores de incertidumbre en el laboratorio



Fuente: El autor

➤ **Norma:**

La norma ISO 16063-21 brinda sugerencias de los factores que afectan a la incertidumbre de la calibración de sensores bajo este método, A continuación se relacionan cada uno de ellos los cuales se tienen en cuenta para estimar la incertidumbre de la calibración de sensores en el laboratorio de vibraciones.

- ✓ Incertidumbre de la calibración del sensor patrón
- ✓ Incertidumbre de la tarjeta de adquisición
- ✓ Ganancia del amplificador
- ✓ Medida del voltaje
- ✓ Cambio de la frecuencia del muestreo
- ✓ Efecto por vibración externa
- ✓ Efecto del parámetro de montaje (torque)
- ✓ Efecto del parámetro de montaje (cable)
- ✓ Estabilidad del sensor de referencia
- ✓ Efecto de la temperatura
- ✓ Medida de la frecuencia de vibración
- ✓ Influencia causada por no linealidades inherentes a los sensores
- ✓ Influencia del campo magnético del shaker inducido sobre los sensores
- ✓ Influencia de otros factores ambientales

➤ **Fabricante**

Al realizar el análisis de los equipos de calibración junto a sus manuales de operación y la página web del fabricante se concluyó que no se brinda ningún factor de incertidumbre (Adicional a los ya mencionados en la norma) ya que

las exigencias expuestas por el mismo, se basa en cumplimiento de requisitos sin embargo no se brinda información adicional de cómo estos afectan la variabilidad de las medidas.

➤ **Repetibilidad**

La repetibilidad de las pruebas se estableció como uno de los parámetros con mayor importancia para estimar la incertidumbre de la calibración de los sensores de vibración y debe aplicarse a todo sensor que ingrese al laboratorio.

➤ **Operario**

Debido a que el proceso de calibración de sensores de vibración es parcialmente automático el operario no tiene gran influencia en la calibración, razón por la cual no se encontraron nuevos factores que aporten a la incertidumbre de la medición diferentes a los mencionados por la norma.

No obstante se determinaron las siguientes acciones con el fin de evitar futuras fuentes de incertidumbre generadas por el operario y adicionalmente disminuir el riesgo y accidentes que pueda tener el mismo

- ✓ El auxiliar técnico debe usara tapabocas con el fin de evitar mareos que puedan producir errores que afecten la medición., ya que se utiliza un producto químico para limpiar la suciedad con que llega el sensor al laboratorio
- ✓ El auxiliar técnico debe utilizar guantes para realizar las calibraciones para asegurar que no se adiciona suciedad al sensor

➤ **Instalaciones**

Se identificaron nuevas fuentes de incertidumbre que se generan por la instalación debido al montaje del sensor las cuales se tendrán en cuenta para estimar la incertidumbre y se mencionan a continuación:

- ✓ Efecto de la posición del cable
- ✓ Efecto del cambio de cable por otro de las mismas características
- ✓ Efecto de la longitud del cable

➤ **Método**

En su mayoría las fuentes que menciona la norma se refieren al método sin embargo se considera importante adicionar el siguiente factor que aporta a la incertidumbre:

- ✓ Efecto de la amplitud

➤ **Otras**

En caso que no se haya tenido en cuenta alguna fuente que contribuya con la incertidumbre, se plantea el siguiente factor que compensa el aporte de dicha fuente.

- ✓ Factor de seguridad

9.3 PRUEBAS DE INCERTIDUMBRE

Inicialmente se definió un conjunto de características bases para realizar las pruebas de incertidumbre del presente estudio las cuales serán usadas posteriormente para toda calibración que se realice en el laboratorio, variando únicamente el sensor a calibrar.

Las características bases para las pruebas de incertidumbre y posteriores calibraciones del laboratorio son las siguientes:

- Sensor a calibrar: (Sensor patrón secundario)
- Cable: Tipo 003C10 serial CN32840
- Longitud del cable: 300 cm
- Posición del cable: 20 cm libres y suspendidos hasta el trípode / 7 giros de 9 cm de diámetro y sujetos al trípode con amarres plásticos ajustables / 65 cm libres y suspendidos hasta la cDAQ
- Ganancia del amplificador: 90°
- Torque: 200 Ncm
- Campo magnético: 0°
- Rango de Temperatura entre 21 y 25 °C
- Rango de humedad entre 67 y 72 %
- Condiciones de protección y de trabajo del operario (guantes, bata y tapabocas)

Por otra parte, se definió que se deben realizar mínimo 5 pruebas para cada factor en la medida de lo posible.

A continuación se relaciona la metodología para realizar cada prueba y analizar cada factor.

- Incertidumbre de la calibración del sensor patrón

Indicada en el certificado de calibración del sensor patrón

- Incertidumbre de la tarjeta de adquisición

Indicado en el certificado de calibración de la tarjeta de adquisición

- Ganancia del amplificador

Esta prueba se realizó llevando a cabo la calibración con las características básicas mencionadas anteriormente, variando la ganancia del amplificador

1. 30° medidos desde la posición cero de la perilla de ganancia
2. perilla en dirección horizontal en sentido hacia la izquierda
3. perilla a 30° desde la horizontal.
4. perilla a 60° desde la horizontal
5. perilla indicando hacia arriba

- Cambio de la frecuencia del muestreo

Realizar calibraciones con las siguientes frecuencias de muestreo

20.000 s/s

25.000 s/s

30.000 s/s

40.000 s/s

50.000 s/s

No es posible realizar este ensayo con frecuencias de muestreo menores a 20.000 s/s, pues violaría el principio de muestreo de Nyquist.

➤ Efecto por vibración externa

Se realizó cinco calibraciones induciendo vibración transversal aleatoria a 0,5g +/- 0,2g con un shaker conectado mecánicamente al pedestal del banco de calibraciones. Se debe monitorear la amplitud de la vibración inducida con un acelerómetro instalado en la misma dirección de la vibración inducida.

➤ Efecto del parámetro de montaje (torque)

Se realizó cinco calibraciones, cada una con los siguientes valores de torque:

150N-cm

175N-cm

200N-cm

250N-cm

300N-cm

➤ Efecto del parámetro de montaje (cable)

Esta prueba depende del sensor a calibrar, deben realizarse las calibraciones descritas a continuación, o una combinación de ellas según la aplicación:

- a) Realizar cinco calibraciones, cada una con una posición de cable distinta así: extendido, enrollado a dos vueltas, enrollado a tres vueltas, enrollado a cuatro vueltas, enrollado a cinco vueltas.
- b) Realizar cinco calibraciones, cada una con un cable distinto del mismo tipo y longitud.
- c) Realizar cinco calibraciones, cada una con un cable distinto del mismo tipo con cinco longitudes distintas según disponibilidad del fabricante.

- d) Realizar cinco calibraciones, cada una con un tipo de cable distinto de la misma longitud, según características técnicas del sensor a calibrar.
- e) Realizar cinco calibraciones, con el mismo cable, con cinco tipos de conector distinto: BNC, caimán, con soldadura, con T de bifurcación BNC, con empalme.

➤ Estabilidad del sensor de referencia

Se calculó según la tendencia mostrada por tres certificados de calibración consecutivos o se asume según datos del fabricante.

➤ Efecto de la temperatura

Se realizó cinco calibraciones con cinco valores de temperatura así:

1. 22°C +/- 0,3°C
2. 23°C +/- 0,3°C
3. 24°C +/- 0,3°C
4. 25°C +/- 0,3°C
5. 26°C +/- 0,3°C

➤ Influencia causada por no linealidades inherentes a los sensores

Se realizaron cinco calibraciones distintas, cada una con los siguientes valores de amplitud y frecuencia:

- a) 0,5g, 0,75g, 1g, 1,25g, 1,5g @ 10Hz
- b) 0,5g, 1g, 1,5g, 2g, 2,5g @ 30Hz
- c) 1g, 2g, 3g, 4g, 5g @ 60Hz – 500Hz
- d) 1g, 3g, 7g, 10g, 20g @ 1.000Hz – 10.000Hz

- Influencia del campo magnético del shaker inducido sobre los sensores

Se realizaron 5 calibraciones variando la posición del shaker

- Influencia de otros factores ambientales

Se realizaron 5 pruebas variando la humedad de la siguiente manera

- a) 75%
- b) 73%
- c) 72%
- d) 70%
- e) 68%

- Efecto de la posición del cable

Se realizaron 5 calibraciones variando la posición de conexión del cable

- Efecto de la longitud del cable

Se realizaron las calibraciones con 5 cables de diferente longitud

- Efecto del grosor del cable

Se realizaron las calibraciones con 5 cables de diferente grosor

- Efecto producido por el tipo de unión del sensor

Se realizaron las calibraciones con las siguientes uniones

- a) Roscadas
- b) Cinta doble faz
- c) Cera
- d) Pegante instantáneo
- e) Silicona

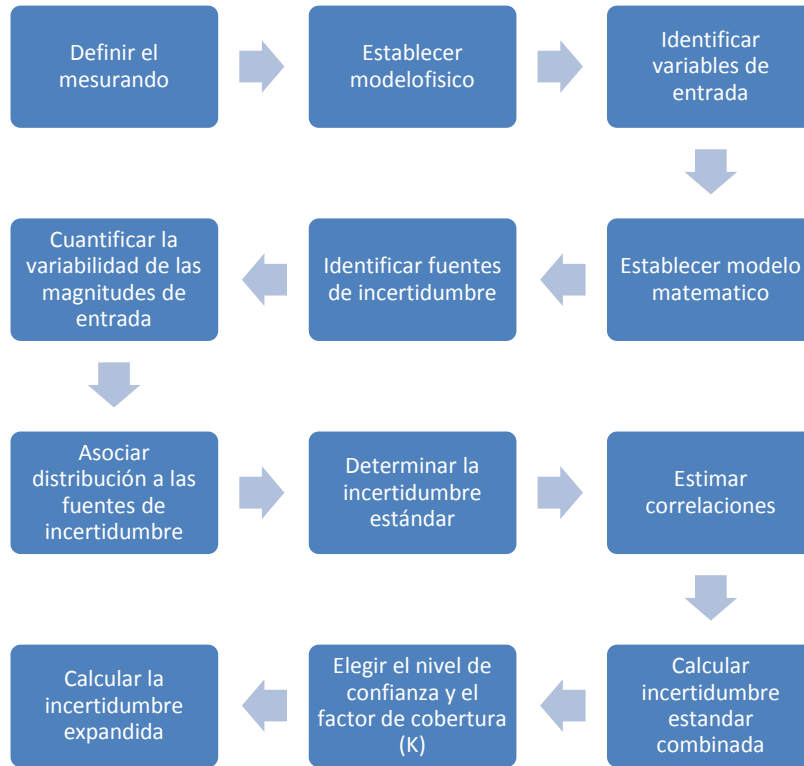
➤ Factor de seguridad

Se aporta un factor de seguridad en caso de que se hayan omitido alguna fuente que aporten a la incertidumbre.

9.4 ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE

La estimación de la incertidumbre de la calibración de sensores del Laboratorio de Vibraciones se realizó siguiendo la metodología del Anexo A la cual se basada en la GUM (Guide to expression of uncertainty in measurement), en la ilustración 6 se presenta una síntesis de la misma.

Ilustración 6. Síntesis incertidumbre



Fuente: El autor

Definir el mesurando: El mesurando para la calibración de los sensores de vibración en el laboratorio de vibraciones es la sensibilidad de los mismos expresado en milivoltios sobre gravedad (mV/g)²⁸

Establecer el modelo físico, identificar las variables de entrada y establecer el modelo matemático: El modelo físico, expresado matemáticamente en función a las variables de entrada es planteado por la Norma ISO 16063-21 y se formula como se representa a continuación:

²⁸ ISO/IEC Guide 98-3 : Uncertainty of measurement- Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995). -- Switzerland : ISO, 2008

$$S2 = \frac{X2}{X1} * S1$$

Dónde:

S2= Sensibilidad sensor a ser calibrado

X2=Salida del sensor a ser calibrado

X1= Salida del sensor de referencia

S1= Sensibilidad sensor de referencia

Identificar las fuentes de incertidumbre: Las fuentes de incertidumbre fueron identificadas en el numeral 5 del presente estudio.

Cuantificación de las fuentes de incertidumbre: La cuantificación de las fuentes de incertidumbre tipo A se realizó en Formato incertidumbre original por evaluación tipo A (FO-401-007) el cual se adjunta con los cálculos en el Anexo B del presente estudio. Las tipos B se recolectaron de los certificados de calibración.

A continuación (Tabla1) se hace un resumen de las incertidumbres obtenidas para cada rango de frecuencia:

Tabla 1. Cuantificación fuente de incertidumbres

RANGOS	Ganancia	Torque	Tipo cable	Temperatura	humedad	Campo magnético	Longitud cable
10 Hz- 100 Hz	0,043981%	0,028710%	0,048013%	0,046463%	0,056234%	0,024413%	0,308439%
100 Hz- 1000 Hz	0,005139%	0,018593%	0,008380%	0,005881%	0,011907%	0,006808%	0,226970%
1000 Hz- 5000 Hz	0,026265%	0,243617%	0,024910%	0,004457%	0,083526%	0,041250%	32,25859%
5000 Hz- 10000 Hz	0,097554%	0,786146%	0,084841%	0,006141%	0,618477%	0,088273%	53,41089%

RANGOS	Posición cable	Ruido de piso	Vibración externa	Medida de voltaje	Frecuencia del muestreo	No linealidades	Repetibilidad
10 Hz- 100 Hz	0,055978%	0,906920%	0,140827%	79,13524%	0,033829%	0,091111%	0,034197%
100 Hz- 1000 Hz	0,004021%	1,053264%	0,023764%	0,020789%	0,006041%	0,012893%	0,003743%
1000 Hz- 5000 Hz	0,050802%	0,734341%	0,020448%	0,075098%	0,006806%	0,016368%	0,004182%
5000 Hz- 10000 Hz	0,157940%	0,911071%	0,012375%	0,179966%	0,007625%	0,018177%	0,004278%

Fuente: El autor

Asociar distribución a las variables de entrada: Las fuentes de incertidumbre se asociaron a cada una de las fuentes de incertidumbre como se manifiesta en el Formato para estimar la Incertidumbre (FO-401- 006) sin embargo no fue permitido adjuntarlo a la presente monografía por cuestiones de confidencialidad.

Determinar incertidumbre estándar: La incertidumbre estándar se estimó para cada una de las fuentes de incertidumbre como se manifiesta en el Formato para estimar la Incertidumbre (FO-401- 006) sin embargo no fue permitido adjuntarlo a la presente monografía por cuestiones de confidencialidad.

Estimar correlaciones: Debido la norma ISO 16063-21 indica que no existe correlación entre las fuentes de incertidumbre razón por la cual se toma $r= 0$

Calcular incertidumbre estándar combinada: La incertidumbre estándar combinada se estimó para cada una de las fuentes de incertidumbre como se manifiesta en Formato para estimar la Incertidumbre (FO-401- 006) sin embargo no fue permitido adjuntarlo a la presente monografía por cuestiones de confidencialidad.

Elegir el nivel de confianza y el factor de cobertura: Se eligió un nivel de confianza del 95% (Recomendación de la norma) obteniéndose un factor de cobertura de aproximadamente de 2

Calcular la incertidumbre expandida: Se calculó la incertidumbre estándar expandida para cada uno de los rangos de frecuencia como se manifiesta en el Formato para estimar la Incertidumbre (FO-401-006) sin embargo no fue permitido adjuntarlo a la presente monografía por cuestiones de confidencialidad.

A continuación se hace un resumen de los resultados obtenidos para cada uno de los rangos (Tabla2):

Tabla 2. Incertidumbre expandida

RANGOS	Incertidumbre expandida
10 Hz-100 Hz	2,30%
100 Hz-1000 Hz	1,60%
1000 Hz-5000 Hz	3,00%
5000 Hz-10000 Hz	3,20%

Fuente: El autor

10. EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD.

La ejecución de pruebas de repetibilidad y reproducibilidad se ejecutan con el fin de verificar si un proceso se encuentra bajo control analizando la variabilidad de los resultados cuando se realizan diversas mediciones manteniendo las condiciones de operación (Repetibilidad) y variando algunas de ellas (Reproducibilidad).²⁹

Adicionalmente permite conocer la robustez y estabilidad de un método de medición lo que respalda su validación.

Existen diferentes técnicas para conocer la repetibilidad y reproducibilidad de una medición a continuación se mencionan los más relevantes:

- Cartas de Control
- Método del Rango
- Método Promedio y Rango
- Método ANOVA

Para el presente estudio se eligieron los últimos dos métodos ya que otorgan un valor propio separado de repetibilidad y reproducibilidad lo que permite conocer con mayor facilidad las causas que generan que el sistema no se encuentre bajo control.

²⁹Botero Marcela, Diseño y sistematización de procedimientos para el aseguramiento de la calidad de las mediciones del laboratorio de metrología de variables eléctricas de la Universidad Tecnológica de Pereira

10.1 METÓDO PROMEDIO RANGO

El método del rango es usado para realizar verificaciones de un proceso brindando resultados que permiten inferir su estado, permitiendo descomponer la variabilidad total del sistema en la repetibilidad y reproducibilidad.³⁰

Para obtener los resultados del método se utilizó la metodología planteada en el Anexo C.

Inicialmente se definieron dos operadores para realizar las pruebas y cada uno realizó dos calibraciones a las diferentes frecuencias (partes).

A continuación se relacionan los datos obtenidos (Tabla3):

Tabla 3. Resultados calibraciones Promedio Rango

PARTE (HZ)	OPERADOR 1		OPERADOR 2	
	PRUEBA A	PRUEBA B	PRUEBA A	PRUEBA B
10	9,871641133	9,85926985	9,867650623	9,865759387
15	9,878841103	9,87463501	9,881513879	9,88350001
30	9,904490421	9,89579597	9,902331409	9,90045183
50	9,917984435	9,91798632	9,918026016	9,917673937
100	9,917295699	9,917135	9,917504534	9,917126015
160	9,923643018	9,92391544	9,924537909	9,923178273
300	9,920126965	9,9196293	9,919895727	9,919960483
500	9,92678712	9,92625837	9,92667192	9,926548042
1000	9,959520601	9,9590283	9,959473688	9,958399201
1500	9,956934089	9,95637733	9,956970865	9,956375105
2000	9,967036844	9,96648167	9,966533054	9,966500877
3000	9,998262827	9,99802068	9,997711397	9,997402227
4000	10,02272266	10,0226297	10,02246152	10,02159995
5000	10,0760952	10,0752233	10,07552155	10,07485193
6000	10,14605795	10,1454774	10,1458216	10,14509934

³⁰ Llamosa Luis, Meza Luis, Botero Marcela. Estudio de repetibilidad y reproducibilidad utilizando el método de promedios y rangos para el aseguramiento de la calidad de los resultados de calibración de acuerdo con la norma técnica NTC- ISO/IEC 17025

7000	10,19746914	10,1972296	10,19714684	10,19692339
8000	10,29208055	10,2912023	10,29202145	10,29134023
9000	10,39389771	10,3927437	10,39357828	10,39314776
10000	10,46795734	10,4675108	10,46793984	10,46738008

Fuente: El autor

Posteriormente se obtuvo el rango de cada una de las partes (Tabla 4)

Tabla 4. Rango de las partes Promedio- Rango

PARTE (HZ)	RANGO 1	RANGO 2
10	0,01237128	0,00189124
15	0,00420609	0,00198613
30	0,00869445	0,00187958
50	1,8819E-06	0,00035208
100	0,0001607	0,00037852
160	0,00027242	0,00135964
300	0,00049766	6,4757E-05
500	0,00052875	0,00012388
1000	0,0004923	0,00107449
1500	0,00055675	0,00059576
2000	0,00055518	3,2178E-05
3000	0,00024214	0,00030917
4000	9,2937E-05	0,00086157
5000	0,00087195	0,00066963
6000	0,00058056	0,00072226
7000	0,00023955	0,00022346
8000	0,00087821	0,00068122
9000	0,00115397	0,00043052
10000	0,00044651	0,00055976

Fuente: El autor

Se calculó el rango promedio de los rangos obtenidos de cada parte (Tabla 5)

Tabla 5. Rango promedio de los rangos Promedio- Rango

	RANGO 1	RANGO 2
RANGO PROMEDIO	0,001728595	0,00074715

Fuente: El autor

Se obtuvo el rango promedio de los promedios de los rangos (Tabla 6).

Tabla 6. Rango promedio de los promedios de los rangos

RANGO PROMEDIO RANGOS	0,00123787
-----------------------	------------

Fuente: El autor

Se calculó la medición promedio por operador (Tabla 7)

Tabla 7. Medición promedio por operador

	OPERADOR 1	OPERADOR 2
Promedio	10,03803671	10,03832974

Fuente: El autor

Se calculó la diferencia entre el promedio mayor o el promedio menor de los operadores (Tabla 8)

Tabla 8. Diferencia promedio operadores

Diferencia Promedio operadores	0,000293034
--------------------------------	-------------

Fuente: El autor

Se obtuvo el valor de la repetibilidad de las mediciones (Tabla 9)

Tabla 9. Repetibilidad método Promedio Rango

Repetibilidad	0,005651631
---------------	-------------

Fuente: El autor

Se calculó el valor de la reproducibilidad de las mediciones (Tabla 10)

Tabla 10. Reproducibilidad método Promedio- Rango

Reproducibilidad	0,000552261
------------------	-------------

Fuente: El autor

Se obtuvo el porcentaje de reproducibilidad y repetibilidad con diferentes tolerancias obteniéndose que la mínima para todo el rango es de 0,056 (ver Tabla 11)

Tabla 11. Porcentaje reproducibilidad y repetibilidad Promedio - Rango

Tolerancia	TOTAL		
	% repetibilidad	% reproducibilidad	%r&R
0,02	28,25815577	2,761302747	28,39
0,03	18,83877052	1,840868498	18,93
0,04	14,12907789	1,380651373	14,20
0,05	11,30326231	1,104521099	11,36
0,0568	9,95005485	0,9722897	10,00

Fuente: El autor

Adicionalmente se realizó un análisis más detallado por rangos de frecuencias aplicando la misma metodología según Anexo C obteniéndose los siguientes resultados

Rango frecuencias 10- 100 Hz

Los resultados obtenidos para el rango de 10 a 100 Hz se presentan en la siguiente tabla

Tabla 12. Porcentaje repetibilidad y reproducibilidad rango 10-100 Hz

Tolerancia	10-100 HZ		
	% repetibilidad	% reproducibilidad	%r&R
0,1	14,17224763	5,5561018	15
0,16	8,857654766	3,4725636	10

Fuente: El autor

La tolerancia mínima aceptable del método de 10 a 100 Hz es de 0,16

Rango frecuencias 100- 160 Hz

Los resultados obtenidos para el rango de 100 a 160 Hz se presentan a continuación (Tabla 13)

Tabla 13. Porcentaje de repetibilidad y reproducibilidad rango 100-160 Hz

Tolerancia	100-160 HZ		
	% repetibilidad	% reproducibilidad	%r&R
0,02	11,55174	0	12
0,024	9,62645	0	10

Fuente: El autor

La tolerancia mínima aceptable del método de 100 a 160 Hz es de 0,024

Rango frecuencias 160- 1000 Hz

Los resultados obtenidos para el rango de 160 a 1000 Hz se presentan a continuación (Tabla 14)

Tabla 14. Porcentaje de repetibilidad y reproducibilidad rango 160-1000 Hz

Tolerancia	160-1000 HZ		
	% repetibilidad	% reproducibilidad	%r&R
0,02	12,14291985	0	12
0,024	10,11909988	0	10

Fuente: El autor

La tolerancia mínima aceptable del método de 160 a 1000 Hz es de 0,024

Rango frecuencias 1000- 5000 Hz

Los resultados obtenidos para el rango de 1000 a 5000 Hz se presentan a continuación (Tabla 15)

Tabla 15. Porcentaje de repetibilidad y reproducibilidad rango 1000-5000 Hz

Tolerancia	1000-5000 HZ		
	% repetibilidad	% reproducibilidad	%r&R
0,02	11,85630007	6,623191348	14
0,026	9,120230825	5,094762576	10

Fuente: El autor

La tolerancia mínima aceptable del método de 1000 a 5000 Hz es de 0,026

Rango frecuencias 5000- 10000 Hz

Los resultados obtenidos para el rango de 5000 a 10000 Hz se presentan a continuación (Tabla 16)

Tabla 16. Porcentaje de repetibilidad y reproducibilidad rango 5000-10000 Hz

Tolerancia	5000-100000 HZ		
	% repetibilidad	% reproducibilidad	%r&R
0,02	13,9154293	2,4161708	14
0,027	10,3077254	1,78975615	10

Fuente: El autor

La tolerancia mínima aceptable del método de 5000 a 10000 Hz es de 0,027

10.2 METÓDO ANOVA

El método Anova permite cuantificar la variabilidad debida por los operadores, los instrumentos y la generada debido a la interacción entre el los operadores y las partes.

El método permite evaluar simultáneamente los efectos de dos fuentes de variación (Operadores y partes)³¹ y se ejecutó siguiendo la metodología expuesta en el Anexo D

Los resultados se relacionan a continuación en la siguiente tabla ANOVA

³¹ Botero Marcela, Arbeláez Osiel. Método anova utilizado para realizar el estudio de repetibilidad y reproducibilidad dentro del control de calidad de un sistema de medición, Diciembre 2007

Tabla 17. Tabla Anova

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios
Partes	2,300937437	18	0,127829858
Operador	2,36422E-05	1	2,36422E-05
Interacción	6,0846E-05	18	3,38033E-06
Error	8,77467E-05	38	2,30912E-06
Total	2,301109672	75	

Fuente: El autor

Con los datos obtenidos en la tabla anterior se estimó la repetibilidad, reproducibilidad e interacción de la calibración.

Tabla 18. Repetibilidad, Reproducibilidad e interacción Anova

REPETIBILIDAD	REPRODUCIBILIDAD	INTERACCIÓN
0,007825837	0,01159089	0,003769032

Fuente: El autor

Se obtuvo el porcentaje de reproducibilidad, repetibilidad e interacción con diferentes tolerancias obteniéndose que la mínima es de 0,14

Tabla 19. Porcentaje Repetibilidad, reproducibilidad e interacción

TOLERANCIA	TOTAL			
	%REPRODUCIBILIDAD	%REPETIBILIDAD	%INTERACCIÓN	%
0,07	16,55841382	11,17976768	5,384330992	21
0,08	14,48861209	9,782296722	4,711289618	18
0,09	12,8787663	8,695374864	4,187812994	16
0,1	11,59088967	7,825837378	3,769031694	14
0,14	8,279206909	5,589883841	2,692165496	10

Fuente: El autor

Adicionalmente se realizó un análisis detallado por rangos de frecuencias según método Anova (Anexo C) obteniéndose los siguientes resultados:

Rango frecuencias 10- 100 Hz

Se obtuvo tabla anova para el rango de 10- 100 Hz (Tabla 20)

Tabla 20.Anova rango frecuencias 10-100 Hz

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios
Partes	0,012097766	4	0,003024442
Operador	2,5669E-07	1	2,5669E-07
Interacción	0,000239474	4	5,98685E-05
Error	0,000389019	10	3,89019E-05
Total	0,012726517	19	

Fuente: El autor

Se estimó la repetibilidad, reproducibilidad e interacción (Tabla 21)

Tabla 21. Repetibilidad, Reproducibilidad e interacción Anova Rango 10-100 Hz

REPETIBILIDAD	REPRODUCIBILIDAD	INTERACCIÓN
0,032121279	0	0,01667463

Fuente: El autor

Se obtuvo el porcentaje de reproducibilidad, repetibilidad e interacción con diferentes tolerancias obteniéndose que la mínima para el rango es de 0,35 (Tabla 22)

Tabla 22.Porcentaje Repetibilidad, reproducibilidad e interacción Rango 10-100 Hz

TOLERANCIA	1-100 HZ			
	%REPRODUCIBILIDAD	%REPETIBILIDAD	%INTERACCIÓN	%
0,3	0	10,7070932	5,558209909	12
0,35	0	9,17750842	4,764179922	10

Fuente: El autor

Rango frecuencias 100- 160 Hz

Se obtuvo tabla anova para el rango 100-160 Hz

Tabla 23.Anova rango frecuencias 100-160 Hz

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS
Partes	9,53861E-05	1	9,53861E-05
Operador	1,55052E-06	1	1,55052E-06
Interacción	1,19898E-07	1	1,19898E-07
Error	3,66347E-06	4	9,15868E-07
Total	0,00010072	7	

Fuente: El autor

Se estimó la repetibilidad, reproducibilidad e interacción

Tabla 24. Repetibilidad, Reproducibilidad e interacción Anova Rango 100-160 Hz

REPETIBILIDAD	REPRODUCIBILIDAD	INTERACCIÓN
0,004928601	0,003079923	0

Fuente: El autor

Se obtuvo el porcentaje de reproducibilidad, repetibilidad e interacción con diferentes tolerancias obteniéndose que la mínima para o el rango es de 0,058

Tabla 25. Porcentaje Repetibilidad, reproducibilidad e interacción Rango 100-160 Hz

TOLERANCIA	100-160 HZ			
	%REPRODUCIBILIDAD	%REPETIBILIDAD	%INTERACCIÓN	%
0,05	6,15984579	9,85720121	0	12
0,058	5,31021189	8,49758725	0	10

Fuente: El autor

Rango frecuencias 160- 1000 Hz

Se obtuvo tabla Anova para el rango 160 a 1000 Hz (Tabla 26)

Tabla 26 .Anova rango frecuencias 160-1000 Hz

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios
Partes	0,003605928	3	0,001201976
Operador	5,28371E-06	1	5,28371E-06
Interacción	4,85909E-06	3	1,6197E-06
Error	1,06889E-05	8	1,33611E-06
Total	0,00362676	15	

Fuente: El autor

Se estimó la repetibilidad, reproducibilidad e interacción (Tabla 27)

Tabla 27. Repetibilidad, Reproducibilidad e interacción Anova Rango 160-1000 Hz

REPETIBILIDAD	REPRODUCIBILIDAD	INTERACCIÓN
0,004928601	0,003079923	0

Fuente: El autor

Se obtuvo el porcentaje de reproducibilidad, repetibilidad e interacción con diferentes tolerancias obteniéndose que la mínima para o el rango es de 0,069 (Tabla 28)

Tabla 28. Porcentaje Repetibilidad, reproducibilidad e interacción Rango 160-1000 Hz

TOLERANCIA	160-1000 HZ			
	%REPRODUCIBILIDAD	%REPETIBILIDAD	%INTERACCIÓN	%
0,06	5,80884329	9,92149816	3,232084236	12
0,069	5,05116808	8,62738971	2,810508031	10

Fuente: El autor

Rango frecuencias 1000- 5000 Hz

Se obtuvo tabla anova para el rango de 1000 a 5000 Hz (Tabla 29)

Tabla 29.Anova rango frecuencias 1000-5000 Hz

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios
Partes	0,054588953	5	0,010917791
Operador	1,17035E-09	1	1,17035E-09
Interacción	5,60147E-06	5	1,12029E-06
Error	1,16504E-05	12	9,70864E-07
Total	0,054606206	23	

Fuente: El autor

Se estimó la repetibilidad, reproducibilidad e interacción (Tabla 30)

Tabla 30.Repetibilidad, Reproducibilidad e interacción Anova Rango 1000-5000 Hz

REPETIBILIDAD	REPRODUCIBILIDAD	INTERACCIÓN
0,005074419	0	0,001407709

Fuente: El autor

Se obtuvo el porcentaje de reproducibilidad, repetibilidad e interacción con diferentes tolerancias obteniéndose que la mínima para o el rango es de 0,052 (Tabla 31)

Tabla 31.Porcentaje Repetibilidad, reproducibilidad e interacción Rango 1000-5000 Hz

TOLERANCIA	1000-5000 HZ			
	%REPRODUCIBILIDAD	%REPETIBILIDAD	%INTERACCIÓN	%
0,04	0	12,6860483	3,51927176	13
0,052	0	9,75849871	2,70713212	10

Fuente: El autor

Rango frecuencias 5000- 10000 Hz

Se obtuvo tabla anova para el rango de 5000 a 10000 Hz (Tabla 32)

Tabla 32.Anova rango frecuencias 5000-10000 Hz

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios
Partes	0,621460204	5	0,124292041
Operador	3,8931E-07	1	3,8931E-07
Interacción	3,53536E-06	5	7,07073E-07
Error	5,7478E-06	12	4,78983E-07
Total	0,621469876	23	

Fuente: El autor

Se estimó la repetibilidad, reproducibilidad e interacción (Tabla 33)

Tabla 33.Repetibilidad, Reproducibilidad e interacción Anova Rango 5000-10000 Hz

REPETIBILIDAD	REPRODUCIBILIDAD	INTERACCIÓN
0,003564244	0	0,00173918

Fuente: El autor

Se obtuvo el porcentaje de reproducibilidad, repetibilidad e interacción con diferentes tolerancias obteniéndose que la mínima para o el rango es de 0,04 (Tabla 34)

Tabla 34. Porcentaje Repetibilidad, reproducibilidad e interacción Rango 5000-10000 Hz

TOLERANCIA	5000-10000 HZ			
	%REPRODUCIBILIDAD	%REPETIBILIDAD	%INTERACCIÓN	%
0,03	0	11,8808146	5,79726704	13
0,04	0	8,91061092	4,34795028	10

Fuente: El autor

11.COMPARACIÓN CON UN PATRÓN DE REFERENCIA

La validación de un método es la confirmación a través del examen de evidencias objetivas, de que se cumplen los requisitos particulares para un uso específico previsto.

Existen diversos métodos o técnicas para evaluar un desempeño de un método entre ellas las más relevantes son:

- Calibración utilizando patrones de referencia
- Comparación con resultados obtenidos con otros métodos
- Comparaciones interlaboratorios
- Evaluación sistemática de los factores que influyen en el resultado
- Evaluación de la incertidumbre de los resultados basada en el conocimiento científico de los principios teóricos del método y la experiencia practica³²

En la presente monografía se utilizó la comparación utilizando un patrón de referencia, elección del Jefe del laboratorio quien lo considero el método más viable tanto económicamente y técnicamente, sin embargo al momento de construcción de este documento se estaba realizando la gestión para realizar intercomparación de laboratorios con un ente acreditado en ISO 17043 “Evaluación de la conformidad, requisitos generales para los ensayos de aptitud” en los Estados Unidos. (Debido a que en Colombia no existen más laboratorios acreditados bajo este alcance)

³² ICONTEC Norma Técnica Colombiana ISO 17025:2005.Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Bogotá 2005 p.17

11.1 Índice de compatibilidad.

Para realizar la comparación con el patrón de referencia se utiliza el índice de compatibilidad el cual se define como se muestra a continuación³³:

$$C = \frac{|V_{lab} - V_{ref}|}{\sqrt{U_{Lab}^2 + U_{Ref}^2}}$$

Donde:

C= índice de compatibilidad

Vlab= valor de sensibilidad obtenido por el laboratorio de vibraciones

Vref= Valor del patrón de referencia

El criterio tiene aceptación cuando $C \leq 1$ es decir las mediciones tanto del laboratorio como del sensor de referencia son compatibles o similares.

El índice de compatibilidad obtenido se relaciona a continuación:

³³ Guillen Edwin, Servicio Nacional de metrología INDECOPI, Simpoio de metrologia, Lima Peru, 2010 citado (2 enero 2014) Disponible en [http://www.indecopi.gob.pe/repositorioaps/0/13/jer/cap_simposiodmetro/INTRALAB_RESULTS_2\(1\).pdf](http://www.indecopi.gob.pe/repositorioaps/0/13/jer/cap_simposiodmetro/INTRALAB_RESULTS_2(1).pdf)

Tabla 35. Índice de compatibilidad

Frecuencia	Sensibilidad patrón secundario	Universidad Pontificia Bolivariana	Incertidumbre UPB	Incertidumbre patrón	Índice Compatibilidad
10	9,89018	9,87164	2,300%	2,000%	0,6
15	9,88027	9,87884	2,300%	1,500%	0,1
30	9,90009	9,90449	2,300%	1,500%	0,2
50	9,91	9,91798	2,300%	1,500%	0,3
100	9,91	9,91730	2,300%	1,000%	0,3
300	9,93973	9,92013	1,600%	1,000%	1,0
500	9,93973	9,92679	1,600%	1,000%	0,7
1000	9,94964	9,95952	1,600%	1,000%	0,5
3000	9,99919	9,99826	3,000%	2,500%	0,0
5000	10,05865	10,07610	3,000%	2,500%	0,4
7000	10,19739	10,19747	3,200%	2,500%	0,0

Fuente: El autor

CONCLUSIONES

- Se identificaron las diferentes fuentes de incertidumbre que afectan la calibración de sensores de vibración en el Laboratorio de Vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana agrupándose en las categorías de Norma, Operario, Instalaciones, Método, Fabricante y Repetibilidad.
- Se cuantificaron las fuentes de incertidumbre que afectan la calibración de sensores de vibración en el Laboratorio de Vibraciones y se les asocio una distribución lo que permitió obtener la incertidumbre estándar para cada factor.
- Se estimó la incertidumbre mínima de la calibración de sensores de vibración bajo la Norma ISO 16063-21 efectuada en el Laboratorio de Vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga para los rangos de 10 Hz a 100 Hz, 100 Hz a 1000 Hz, 1000 Hz a 5000 Hz y 5000 Hz a 10000 Hz.
- Se verificó la Repetibilidad y Reproducibilidad de las mediciones según método promedio y rango obteniéndose una tolerancia mínima de 0,056 (siendo la tolerancia máxima permisible a nivel industrial 0,15) lo que permitió inferir que el método es robusto y se encuentra bajo control.
- Se verificó la repetibilidad y reproducibilidad de las mediciones según método Anova obteniéndose una tolerancia mínima de 0,14 (siendo la tolerancia máxima permisible a nivel industrial 0,15) lo que permitió inferir que el método es robusto y se encuentra bajo control, adicionalmente se obtuvo que la reproducibilidad es mayor a la repetibilidad lo que indica que a pesar de que el sistema se encuentra bajo control es necesario entrenar al operador

constantemente en el manejo del sistema shaker y en el montaje de los sensores.

- Se validó el método de la Norma ISO 16063-21 para la calibración de sensores de vibración por medio de la comparación de un patrón de referencia obteniéndose un índice de compatibilidad menor a 1 para las frecuencias de 10Hz, 15Hz, 30Hz, 50Hz, 100Hz, 300Hz, 500Hz, 1000Hz, 3000Hz, 5000Hz y 7000Hz en el Laboratorio de Vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda aplicar la metodología expuesta en la presente monografía cada tres meses con el fin de identificar nuevas fuentes de incertidumbre, revalidar la cuantificación de las ya identificadas y conocer si las calibraciones se encuentran bajo control en el Laboratorio de Vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana.
- Usar preferiblemente el conjunto con características bases identificado en el numeral 10.3 de la presente monografía para realizar las calibraciones de los sensores de vibración en el laboratorio.
- Establecer la presente monografía como un documento externo que afecte el sistema de gestión del Laboratorio.
- Realizar una prueba de intercomparación de laboratorios bajo norma 17043 con el fin de validar las calibraciones de sensores de Vibraciones bajo el método ISO 16063-21 utilizando otra metodología en el Laboratorio de Vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana.

BIBLIOGRAFIA

- Colciencias, propuesta 508-2010 banco de proyectos estandarización y acreditación de laboratorios. p
- Harris` s Shock an Vibration Handbook. C. Harris, A. Piersol. Ed. 5.Mc Graw-Hill
- ICONTEC Norma Técnica Colombiana ISO 17025:2005.Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Bogotá 2005.
- ICONTEC Norma Técnica Colombiana ISO 9000:2005.Sistemas de Gestión de calidad. fundamentos y vocabulario. Bogotá 2005.
- ISO/IEC Guide 99: International vocabulary of metrology-Basic and general concepts and associated terms (VIM). -- Switzerland : ISO, 2007
- Manual de calidad Laboratorio de Vibraciones
- Icontec Guía Técnica Colombiana GTC 115: Guía sobre la incertidumbre de la medición para principiantes. -- Bogotá : Icontec, 2005
- Llamosa Luis, Meza Luis, Botero Marcela. Estudio de repetibilidad y reproducibilidad utilizando el método de promedios y rangos para el aseguramiento de la calidad de los resultados de calibración de acuerdo con la norma técnica NTC- ISO/IEC 17025
- Botero Marcela, Arbeláez Osiel. Método Anova utilizado para realizar el estudio de repetibilidad y reproducibilidad dentro del control de calidad de un sistema de medición, Diciembre 2007.
- Botero Marcela, Diseño y sistematización de procedimientos para el aseguramiento de la calidad de las mediciones del laboratorio de metrología de variables eléctricas de la Universidad Tecnológica de Pereira
- ISO/IEC Guide 98-3: Uncertainty of measurement- Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995). -- Switzerland : ISO, 2008

WEBGRAFIA

- Laboratorio de vibraciones, quienes somos , (citado el 2 de enero del 2014) disponible en internet en http://vibra.upbbga.edu.co/quienes_somos.html
- Laboratorio de vibraciones, servicios , (citado el 2 de enero del 2014) disponible en internet en <http://vibra.upbbga.edu.co/servicios.html>
- ONAC, listado de laboratorios acreditados,(citado el 2 de enero 2014) Disponible en internet en <http://www.onac.org.co/modulos/contenido/default.asp?idmodulo=200&pagina=20>
- ONAC , la acreditación, (citado el 2 de enero del 2014) disponible en internet en <http://www.onac.org.co/modulos/contenido/default.asp?idmodulo=243>
- Sensing , monitorización de vibraciones, (citado el 2 de enero del 2014) disponible en internet en http://www.sensing.es/Monitorizacion_de_Vibraciones_Cm.htm
- ISO, ISO 16063-21 (citado el 2 de enero del 2014) disponible en internet en http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=27053
- Guillen Edwin, Servicio Nacional de metrología INDECOPI, Simposio de metrología, Lima Perú, 2010 citado (2 enero 2014) Disponible en [http://www.indecopi.gob.pe/repositorioaps/0/13/jer/cap_simposiodmetro/INTRALAB_RESULTS_2\(1\).pdf](http://www.indecopi.gob.pe/repositorioaps/0/13/jer/cap_simposiodmetro/INTRALAB_RESULTS_2(1).pdf)

ANEXO A

Metodología para estimar la incertidumbre según GUM

La presente metodología para estimar la incertidumbre se basa en la GUM (Guide to expression of uncertainty in measurement) y se desarrolla de la siguiente manera:

1. **Definir el mesurando:** inicialmente se define el mesurando es decir la magnitud que se desea medir con el fin de evitar realizar mediciones a atributos que no son acordes con el mismo.
2. **Establecer el modelo físico:** Se simplifica el sistema real a un se establece un conjunto de suposiciones del mesurando y de las variables relevantes para la medición como lo son:
 - Relaciones entre variables
 - Consideraciones que afectan el proceso
 - Comportamiento de variables
3. **Identificar las variables de entrada:** Se Identifican las variables de entrada (X_i) que afectan la incertidumbre partiendo de que existe una dependencia entre ellas y el mesurando (Y)
4. **Establecer modelo matemático:** Se representa el modelo físico en lenguaje matemático de forma que el mesurando (Y) se exprese en función de las variables (x_i) :
$$Y=f(x_1, x_2, x_3,.. X_n)$$
5. **Identificar fuentes de incertidumbre:** Se Identifican los posibles factores de influencia, estos pueden ser por ejemplo:
 - Resultados de calibración de los instrumentos
 - Incertidumbre del patrón

- Condiciones ambientales

6. Cuantificar la variabilidad de las magnitudes de entrada (incertidumbre original): Se Cuantifica la variabilidad de las fuentes de incertidumbre (incertidumbre original); lo cual puede realizarse por alguno de los dos tipos de evaluación:

- **Tipo A:**

Se obtiene por observaciones repetidas bajo condiciones de repetibilidad y se estima con base en la dispersión de los resultados individuales.

Para cuantificar la variabilidad se debe hacer n mediciones independientes q_1, q_2, \dots, q_n de las fuentes de incertidumbre (X_i) y con estos datos proceder hallar la media y la desviación estándar

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

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

Conociendo esto dos valores se halla la incertidumbre original por medio del cálculo de la desviación estándar de la media es decir:

$$u(x_i) = s(\bar{q}) = \frac{s(q)}{\sqrt{n}} = \frac{1}{\sqrt{n}} * \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{j=1}^n (q - \bar{q})^2}$$

- **Tipo B:**

Se usa información externa u obtenida por experiencia para asignarle un valor.

7. Asociar distribución a las fuentes de incertidumbre: Se asigna una distribución a cada fuente de incertidumbre según el comportamiento de la variabilidad. Las cuales pueden ser :

- Normal: Magnitudes que varían aleatoriamente; normalmente la incertidumbre de certificados de calibración se comportan con esta distribución.
- Rectangular: Se usa cuando se conoce el límite superior e inferior de la magnitud de entrada y cada valor en el intervalo tiene la misma probabilidad.
- Triangular: Se conoce el límite superior e inferior de la magnitud de entrada y adicionalmente hay evidencia de que la probabilidad es más alta para el centro del intervalo.

- Especiales: Cualquier otro tipo de distribución

8. Determinar la incertidumbre estándar $U(X_i)$: Debido a las diferentes distribuciones se representa las incertidumbres originales como valores estándares para su posterior combinación.

Según la distribución asignada se realiza la conversión de la siguiente manera:

- Distribución Normal: Cuando se dispone de una incertidumbre expandida (U) por ejemplo la de un certificado de calibración se divide en un factor de cobertura (k) a partir de un nivel de confianza (p) elegido por el laboratorio.

$$u(x_i) = U / k$$

- Distribución Rectangular: si se conoce el límite inferior(a-) y superior a(+) la incertidumbre se calcula como

$$u(x_i) = \frac{(a+) - (a-)}{\sqrt{12}}$$

O

$$u(x_i) = \frac{((a+) - (a-))/2}{\sqrt{3}}$$

- Distribución Triangular: si se conoce el límite inferior(a-) y superior a(+) la incertidumbre se calcula como

$$u(x_i) = \frac{(a+) - (a-)}{\sqrt{24}}$$

9. Estimar correlaciones: Se Estima el coeficiente de correlación con cada una de las variables de entrada X_i para conocer su independencia.

$$r(q, w) = \frac{u(q, w)}{u(q) * u(w)}$$

Donde el numerador es la covarianza entre las dos variables y el denominador las incertidumbres estándar de las mismas.

Si el coeficiente $r = 0$ no existe ninguna correlación entre las variables, un valor de $r = 1$ o igual -1 indican una dependencia lineal.

10. Calcular la incertidumbre estándar combinada $U_c(Y)$: Se calcula la contribución para la incertidumbre estándar combinada ($u_i(y)$) de cada variable de entrada X_i , la cual se determina por:

$$u_i(y) = c_i * u(x_i)$$

Dónde:

c_i : Coeficiente de sensibilidad

El coeficiente de sensibilidad se calcula por medio de la siguiente ecuación

$$c_i = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$$

Es decir se establece el cambio del mesurando Y por un cambio producido en una variable de entrada X_i a partir de la información disponible.

- Incertidumbre combinada, X_i no correlacionadas

Si las X_i no se correlacionan se calcula la incertidumbre combinada como la suma geométrica de las particulares

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N u_i^2(y)$$

Siendo lo mismo

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \{c_i * u(x_i)\}^2}$$

- Incertidumbre combinada, X_i correlacionadas

Se debe calcular la incertidumbre total combinada de cada magnitud de entrada x_i por la suma geométrica de las incertidumbres individuales

$$u(x_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^{M_i} \{u_j(x_i)\}^2}$$

Donde $u_j(x_i)$ es la incertidumbre estándar de la incertidumbre número j de las M_i fuentes relacionadas con la magnitud de entrada x_i

Posteriormente los valores de $u(x_i)$ deben ser reemplazados en la siguiente ecuación para tener la incertidumbre combinada

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \{c_i * u(x_i)\}^2}$$

11. Elegir el nivel de confianza (P) y determinar el factor de cobertura (K): Se elige el nivel de confianza (P) para determinar el factor de cobertura (K) que representa el nivel de desviaciones estándar en una distribución normal que se utilizara en la incertidumbre expandida.

12. Calcular la incertidumbre expandida (U)

Se Calcula la incertidumbre expandida la cual se determina por el producto entre el factor de cobertura (k) con la incertidumbre combinada ($u_{c(y)}$).

$$U = K * u_{c(y)}$$

ANEXO B
Formato incertidumbre original evaluación Tipo A



**Universidad
Pontificia
Bolivariana**

SECCIONAL BUCARAMANGA

FORMATO INCERTIDUMBRE ORIGINAL EVALUACIÓN TIPO A

CÓDIGO: FO - 401 - 007

VERSIÓN: 2

Fecha:	16/12/2013
Fuente de incertidumbre (Xi)	REPETIBILIDAD
Método	ISO 16063-21

Características del conjunto Base			
TEMPERATURA	Entre 21 y 25 °C	SENSOR	patrón secundario atornillado
HUMEDAD	Entre 67 y 72 %	CABLE	Tipo 003C10 serial CN32840
TORQUE	200 N*cm	LONGITUD DEL CABLE	300 cm
GANANCIA	90°	POSICIÓN CABLE	20 cm/7 vueltas/65 cm
EFEECTO MAGNÉTICO	0°	OTROS	condiciones del operario

	prueba 1	prueba 2	prueba 3	prueba 4	prueba 5
Modificaciones (explique clara mente la modificación realizada en cada prueba)	En cada una de estas pruebas se trató de mantener estables TODAS las características del Conjunto Base	En cada una de estas pruebas se trató de mantener estables TODAS las características del Conjunto Base	En cada una de estas pruebas se trató de mantener estables TODAS las características del Conjunto Base	En cada una de estas pruebas se trató de mantener estables TODAS las características del Conjunto Base	En cada una de estas pruebas se trató de mantener estables TODAS las características del Conjunto Base

Frecuencia (Hz)	N pruebas					X(q)	S ² (q)	U(q)	X(U)	% des
	1	2	3	4	5					
10	9,872	9,868	9,859	9,866	9,859	9,9	0,000030799	0,0025	0,0033841	0,0342%
15	9,879	9,882	9,875	9,884	9,876	9,9	0,000014353	0,0017		
30	9,904	9,902	9,896	9,900	9,898	9,9	0,000012039	0,0016		
50	9,918	9,918	9,918	9,918	9,918	9,9	0,000000021	0,0001		
100	9,917	9,918	9,917	9,917	9,917	9,9	0,000000049	0,0001		
160	9,924	9,925	9,924	9,923	9,924	9,9	0,000000249	0,0002	0,0003718	0,0037%
300	9,920	9,920	9,920	9,920	9,919	9,9	0,000000195	0,0002		
500	9,927	9,927	9,926	9,927	9,927	9,9	0,000000039	0,0001		
1000	9,960	9,959	9,959	9,958	9,959	10,0	0,000000209	0,0002		
1500	9,957	9,957	9,956	9,956	9,957	10,0	0,000000105	0,0001	0,0004184	0,004182%
2000	9,967	9,967	9,966	9,967	9,966	10,0	0,000000131	0,0002		
3000	9,998	9,998	9,998	9,997	9,998	10,0	0,000000106	0,0001		
4000	10,023	10,022	10,023	10,022	10,022	10,0	0,000000219	0,0002		
5000	10,076	10,076	10,075	10,075	10,075	10,1	0,000000315	0,0003		

6000	10,146	10,146	10,145	10,145	10,145	10,1	0,000000261	0,0002	0,0004406	0,004278%
7000	10,197	10,197	10,197	10,197	10,197	10,2	0,000000038	0,0001		
8000	10,292	10,292	10,291	10,291	10,291	10,3	0,000000247	0,0002		
9000	10,394	10,394	10,393	10,393	10,392	10,4	0,000000359	0,0003		
10000	10,468	10,468	10,468	10,467	10,468	10,5	0,000000065	0,0001		



Universidad
Pontificia
Bolivariana
SECCIONAL BUCARAMANGA

FORMATO INCERTIDUMBRE ORIGINAL EVALUACIÓN TIPO A

CÓDIGO: FO - 401 - 007

VERSIÓN: 2

Fecha:	17/12/2013
Fuente de incertidumbre (Xi)	GANANCIA
Método	ISO 16063-21

Características del conjunto Base			
TEMPERATURA	Entre 21 y 25 °C	SENSOR	patrón secundario
HUMEDAD	Entre 67 y 72 %	CABLE	Tipo 003C10 serial CN32840
TORQUE	200 N*cm	LONGITUD DEL CABLE	300 cm
GANANCIA	NO APLICA	POSICIÓN CABLE	20 cm/7 vueltas/65 cm
EFEECTO MAGNÉTICO	0°	OTROS	condiciones del operario

	prueba 1	prueba 2	prueba 3	prueba 4	prueba 5
Modificaciones (explique clara mente la modificación realizada en cada prueba)	GANANCIA: 60° HORA: 9:41 AM TEMPERAT: 21,8°C HUMEDAD: 69,0 %	GANANCIA: 90° HORA: 10:00 AM TEMPERAT: 21,7°C HUMEDAD: 69,0 %	GANANCIA: 120° HORA: 10:20 AM TEMPERAT: 21,7°C HUMEDAD: 69,2 %	GANANCIA: 150° HORA: 10:34 AM TEMPERAT: 21,9°C HUMEDAD: 68,9 %	GANANCIA: 180° HORA: 10:50 AM TEMPERAT: 21,8°C HUMEDAD: 69,1 %

Frecuencia (Hz)	N pruebas					X(q)	S ² (q)	U(q)	X(U)	% des
	1	2	3	4	5					
10	9,877	9,883	9,863	9,872	9,882	9,9	0,000068527	0,0037	0,0043542	0,0440%
15	9,890	9,881	9,886	9,882	9,879	9,9	0,000020512	0,0020		
30	9,908	9,906	9,903	9,902	9,904	9,9	0,000005142	0,0010		
50	9,921	9,920	9,919	9,919	9,920	9,9	0,000000553	0,0003		
100	9,918	9,918	9,918	9,918	9,918	9,9	0,000000060	0,0001		
160	9,926	9,926	9,925	9,925	9,926	9,9	0,000000309	0,0002	0,0005107	0,0051%
300	9,922	9,923	9,922	9,922	9,922	9,9	0,000000443	0,0003		
500	9,931	9,931	9,930	9,930	9,931	9,9	0,000000060	0,0001		
1000	9,970	9,971	9,970	9,969	9,969	10,0	0,000000492	0,0003		
1500	9,982	9,981	9,980	9,980	9,979	10,0	0,000000980	0,0004	0,0026443	0,026265%
2000	9,999	9,998	9,998	9,998	9,998	10,0	0,000000260	0,0002		
3000	10,096	10,095	10,091	10,089	10,089	10,1	0,000010267	0,0014		
4000	10,060	10,059	10,059	10,058	10,058	10,1	0,000000671	0,0004		
5000	10,215	10,212	10,208	10,205	10,204	10,2	0,000022784	0,0021		
6000	10,112	10,127	10,140	10,151	10,151	10,1	0,000272120	0,0074		

7000	10,381	10,388	10,394	10,397	10,397	10,4	0,000048491	0,0031		
8000	10,386	10,385	10,388	10,389	10,390	10,4	0,000003322	0,0008		
9000	10,719	10,711	10,701	10,695	10,694	10,7	0,000114819	0,0048		
10000	10,841	10,835	10,828	10,822	10,819	10,8	0,000084822	0,0041		



FORMATO INCERTIDUMBRE ORIGINAL EVALUACIÓN TIPO A

CÓDIGO: FO - 401 - 007

VERSIÓN: 2

Fecha:	17/12/2013
Fuente de incertidumbre (Xi)	TORQUE
Método	ISO 16063-21

Características del conjunto Base			
TEMPERATURA	Entre 21 y 25 °C	SENSOR	patrón secundario
HUMEDAD	Entre 67 y 72 %	CABLE	Tipo 003C10 serial CN32840
TORQUE	NO APLICA	LONGITUD DEL CABLE	300 cm
GANANCIA	90°	POSICIÓN CABLE	20 cm/7 vueltas/65 cm
EFFECTO MAGNÉTICO	0°	OTROS	condiciones del operario

	prueba 1	prueba 2	prueba 3	prueba 4	prueba 5
Modificaciones (explique clara mente la modificación realizada en cada prueba)	TORQUE: 150 N*cm HORA: 11:07 AM TEMPERAT: 21,8°C HUMEDAD: 69,3 %	TORQUE: 175 N*cm HORA: 11:21 AM TEMPERAT: 21,9°C HUMEDAD: 69,6 %	TORQUE: 200 N*cm HORA: 11:34 AM TEMPERAT: 21,7°C HUMEDAD: 70,2 %	TORQUE: 250 N*cm HORA: 11:49 AM TEMPERAT: 21,7°C HUMEDAD: 71,8 %	TORQUE: 300 N*cm HORA: 12:01 PM TEMPERAT: 21,5°C HUMEDAD: 71,3 %

Frecuencia (Hz)	N pruebas					X(q)	S ² (q)	U(q)	X(U)	% des
	1	2	3	4	5					
10	9,868	9,867	9,875	9,867	9,877	9,9	0,000024172	0,0022	0,0028416	0,0287%
15	9,880	9,882	9,882	9,876	9,883	9,9	0,000006736	0,0012		
30	9,904	9,898	9,901	9,905	9,899	9,9	0,000008053	0,0013		
50	9,919	9,918	9,918	9,917	9,917	9,9	0,000001070	0,0005		
100	9,918	9,918	9,916	9,918	9,917	9,9	0,000000342	0,0003		
160	9,925	9,925	9,924	9,924	9,924	9,9	0,000000173	0,0002	0,0018469	0,0186%
300	9,922	9,920	9,920	9,920	9,921	9,9	0,000000909	0,0004		
500	9,930	9,927	9,927	9,926	9,927	9,9	0,000001785	0,0006		
1000	9,968	9,960	9,959	9,959	9,959	10,0	0,000014189	0,0017		
1500	9,974	9,959	9,958	9,957	9,957	10,0	0,000052415	0,0032	0,0244008	0,243617%
2000	9,990	9,970	9,968	9,967	9,965	10,0	0,000106415	0,0046		
3000	10,067	10,011	10,001	9,999	9,998	10,0	0,000866228	0,0132		
4000	10,054	10,029	10,026	10,024	10,024	10,0	0,000164803	0,0057		
5000	10,175	10,094	10,081	10,077	10,075	10,1	0,001787144	0,0189		
6000	10,218	10,174	10,154	10,147	10,145	10,2	0,000925943	0,0136	0,0812909	0,786146%

7000	10,364	10,189	10,206	10,200	10,198	10,2	0,005560111	0,0333		
8000	10,359	10,345	10,306	10,298	10,293	10,3	0,000883202	0,0133		
9000	10,572	10,402	10,401	10,401	10,402	10,4	0,005852182	0,0342		
10000	10,798	10,506	10,481	10,474	10,478	10,5	0,019819581	0,0630		



FORMATO INCERTIDUMBRE ORIGINAL EVALUACIÓN TIPO A

CÓDIGO: FO - 401 - 007

VERSIÓN: 2

Fecha:	17/12/2013
Fuente de incertidumbre (Xi)	TIPO DE CABLE
Método	ISO 16063-21

Características del conjunto Base			
TEMPERATURA	Entre 21 y 25 °C	SENSOR	patrón secundario
HUMEDAD	Entre 67 y 72 %	CABLE	Tipo 003C10
TORQUE	200 N°cm	LONGITUD DEL CABLE	300 cm
GANANCIA	90°	POSICIÓN CABLE	20 cm/7 vueltas/65 cm
EFEECTO MAGNÉTICO	0°	OTROS	condiciones del operario

	prueba 1	prueba 2	prueba 3	prueba 4	prueba 5
Modificaciones (explique clara mente la modificación realizada en cada prueba)	CABLE TIPO 003C10 SERIAL: CN 32840 HORA: 1:40 PM TEMPERAT: 21,8°C HUMEDAD: 71,6 %	CABLE TIPO 003C10 SERIAL: CN 49308 HORA: 1:57 PM TEMPERAT: 21,8°C HUMEDAD: 71,6 %	CABLE TIPO 003C10 SERIAL: CN 58324 HORA: 2:12 PM TEMPERAT: 21,9°C HUMEDAD: 71,4 %	CABLE TIPO 003C10 SERIAL: CN 59464 HORA: 2:29 PM TEMPERAT: 22°C HUMEDAD: 71,8 %	CABLE TIPO 003C10 SERIAL: CN 50067 HORA: 2:45 PM TEMPERAT: 22,1°C HUMEDAD: 71,9 %

Frecuencia (Hz)	N pruebas					X(q)	S²(q)	U(q)	X(U)	% des
	1	2	3	4	5					
10	9,868	9,845	9,855	9,857	9,868	9,9	0,000090309	0,0042	0,0047490	0,0480%
15	9,866	9,869	9,872	9,873	9,871	9,9	0,000008867	0,0013		
30	9,894	9,893	9,892	9,896	9,901	9,9	0,000011679	0,0015		
50	9,914	9,915	9,916	9,917	9,917	9,9	0,000000949	0,0004		
100	9,915	9,915	9,916	9,916	9,917	9,9	0,000000960	0,0004		
160	9,922	9,923	9,923	9,924	9,923	9,9	0,000000350	0,0003	0,0008323	0,0084%
300	9,918	9,921	9,920	9,920	9,921	9,9	0,000001407	0,0005		
500	9,923	9,925	9,924	9,925	9,925	9,9	0,000001251	0,0005		
1000	9,957	9,958	9,958	9,958	9,958	10,0	0,000000455	0,0003		
1500	9,955	9,956	9,955	9,955	9,955	10,0	0,000000235	0,0002	0,0024917	0,024910%
2000	9,964	9,964	9,965	9,968	9,967	10,0	0,000003433	0,0008		
3000	9,992	9,995	9,991	9,994	9,993	10,0	0,000002378	0,0007		
4000	10,019	10,029	10,024	10,021	10,027	10,0	0,000016422	0,0018		
5000	10,075	10,075	10,080	10,076	10,072	10,1	0,000008574	0,0013		
6000	10,141	10,144	10,140	10,143	10,141	10,1	0,000003376	0,0008	0,0087359	0,084841%

7000	10,196	10,197	10,190	10,195	10,193	10,2	0,000007684	0,0012		
8000	10,297	10,289	10,278	10,282	10,281	10,3	0,000060379	0,0035		
9000	10,397	10,400	10,376	10,390	10,370	10,4	0,000165094	0,0057		
10000	10,470	10,487	10,466	10,490	10,465	10,5	0,000145043	0,0054		



FORMATO INCERTIDUMBRE ORIGINAL EVALUACIÓN TIPO A

CÓDIGO: FO - 401 - 007

VERSIÓN: 2

Fecha:	19/12/2013
Fuente de incertidumbre (X_i)	TEMPERATURA
Método	ISO 16063-21

Características del conjunto Base			
TEMPERATURA	NO APLICA	SENSOR	patrón secundario
HUMEDAD	Entre 67 y 72 %	CABLE	Tipo 003C10 serial CN32840
TORQUE	200 N*cm	LONGITUD DEL CABLE	300 cm
GANANCIA	90°	POSICIÓN CABLE	20 cm/7 vueltas/65 cm
EFEECTO MAGNÉTICO	0°	OTROS	condiciones del operario

	prueba 1	prueba 2	prueba 3	prueba 4	prueba 5
Modificaciones (explique clara mente la modificación realizada en cada prueba)	HORA: 4:04 PM TEMPERAT: 21,3°C HUMEDAD: 71,3 %	HORA: 4:17 PM TEMPERAT: 22,1°C HUMEDAD: 71,5 %	HORA: 4:30 PM TEMPERAT: 23,2°C HUMEDAD: 71,7 %	HORA: 4:43 PM TEMPERAT: 24,3°C HUMEDAD: 71,7 %	HORA: 4:57 PM TEMPERAT: 24,6°C HUMEDAD: 71,8 %

Frecuencia (Hz)	N pruebas					X(q)	S ² (q)	U(q)	X(U)	% des
	1	2	3	4	5					
10	9,868	9,858	9,859	9,854	9,849	9,9	0,000048247	0,0031	0,0045939	0,0465%
15	9,867	9,867	9,862	9,855	9,858	9,9	0,000028189	0,0024		
30	9,893	9,888	9,890	9,886	9,879	9,9	0,000028128	0,0024		
50	9,915	9,913	9,914	9,914	9,915	9,9	0,000000454	0,0003		
100	9,915	9,916	9,914	9,914	9,914	9,9	0,000000501	0,0003		
160	9,923	9,922	9,922	9,921	9,921	9,9	0,000000795	0,0004	0,0005839	0,0059%
300	9,919	9,919	9,919	9,918	9,918	9,9	0,000000136	0,0002		
500	9,922	9,922	9,921	9,921	9,921	9,9	0,000000538	0,0003		
1000	9,958	9,957	9,956	9,956	9,956	10,0	0,000000237	0,0002		
1500	9,955	9,954	9,954	9,954	9,954	10,0	0,000000199	0,0002	0,0004457	0,004457%
2000	9,964	9,963	9,963	9,963	9,963	10,0	0,000000111	0,0001		
3000	9,994	9,993	9,994	9,993	9,993	10,0	0,000000190	0,0002		
4000	10,019	10,019	10,018	10,018	10,018	10,0	0,000000269	0,0002		

5000	10,075	10,074	10,074	10,074	10,074	10,1	0,000000224	0,0002		
6000	10,141	10,142	10,141	10,141	10,141	10,1	0,000000107	0,0001	0,0006325	0,006141%
7000	10,196	10,195	10,194	10,195	10,193	10,2	0,000000658	0,0004		
8000	10,296	10,296	10,295	10,295	10,295	10,3	0,000000328	0,0003		
9000	10,403	10,401	10,401	10,401	10,400	10,4	0,000000789	0,0004		
10000	10,471	10,470	10,471	10,470	10,470	10,5	0,000000118	0,0002		



FORMATO INCERTIDUMBRE ORIGINAL EVALUACIÓN TIPO A

CÓDIGO: FO - 401 - 007

VERSIÓN: 2

Fecha:	17/12/2013
Fuente de incertidumbre (Xi)	HUMEDAD
Método	ISO 16063-21

Características del conjunto Base			
TEMPERATURA	Entre 21 y 25 °C	SENSOR	patrón secundario
HUMEDAD	NO APLICA	CABLE	Tipo 003C10 serial CN32840
TORQUE	200 N*cm	LONGITUD DEL CABLE	300 cm
GANANCIA	90°	POSICIÓN CABLE	20 cm/7 vueltas/65 cm
EFECTO MAGNÉTICO	0°	OTROS	condiciones del operario

	prueba 1	prueba 2	prueba 3	prueba 4	prueba 5
Modificaciones (explique clara mente la modificación realizada en cada prueba)	HORA: 8:29 AM TEMPERAT: 21,8°C HUMEDAD: 82,4 %	HORA: 8:44 AM TEMPERAT: 21,9°C HUMEDAD: 79,7 %	HORA: 8:57 AM TEMPERAT: 21,8°C HUMEDAD: 75,9 %	HORA: 9:09 AM TEMPERAT: 21,9°C HUMEDAD: 71,4 %	HORA: 9:24 AM TEMPERAT: 22,3°C HUMEDAD: 70 %

Frecuencia (Hz)	N pruebas					X(q)	S²(q)	U(q)	X(U)	% des
	1	2	3	4	5					
10	9,861	9,854	9,875	9,876	9,871	9,9	0,000093158	0,0043	0,0055652	0,0562%
15	9,871	9,879	9,884	9,881	9,886	9,9	0,000034120	0,0026		
30	9,899	9,891	9,898	9,902	9,902	9,9	0,000022213	0,0021		
50	9,919	9,914	9,920	9,918	9,920	9,9	0,000005080	0,0010		
100	9,918	9,917	9,917	9,918	9,918	9,9	0,000000286	0,0002		
160	9,925	9,923	9,924	9,925	9,927	9,9	0,000001510	0,0005	0,0011832	0,0119%
300	9,923	9,921	9,922	9,922	9,922	9,9	0,000000950	0,0004		
500	9,931	9,928	9,929	9,929	9,930	9,9	0,000001474	0,0005		
1000	9,974	9,969	9,970	9,970	9,971	10,0	0,000003066	0,0008		
1500	9,986	9,982	9,983	9,983	9,982	10,0	0,000002693	0,0007	0,0084148	0,083526%
2000	10,010	10,000	10,002	10,000	10,000	10,0	0,000021210	0,0021		
3000	10,122	10,105	10,104	10,099	10,098	10,1	0,000093744	0,0043		
4000	10,045	10,063	10,064	10,063	10,062	10,1	0,000068618	0,0037		
5000	10,200	10,233	10,231	10,225	10,221	10,2	0,000167780	0,0058		
6000	9,848	10,026	10,045	10,075	10,092	10,0	0,009570406	0,0438		

7000	10,447	10,322	10,333	10,346	10,357	10,4	0,002491083	0,0223		
8000	10,588	10,388	10,387	10,384	10,386	10,4	0,008103150	0,0403		
9000	10,756	10,773	10,767	10,751	10,741	10,8	0,000159625	0,0057		
10000	10,925	10,886	10,881	10,865	10,856	10,9	0,000717314	0,0120		



FORMATO INCERTIDUMBRE ORIGINAL EVALUACIÓN TIPO A

CÓDIGO: FO - 401 - 007

VERSIÓN: 2

Fecha:	18/12/2013
Fuente de incertidumbre (X_i)	CAMPO MAGNÉTICO
Método	ISO 16063-21

Características del conjunto Base			
TEMPERATURA	Entre 21 y 25 °C	SENSOR	patrón secundario
HUMEDAD	Entre 67 y 72 %	CABLE	Tipo 003C10 serial CN32840
TORQUE	200 N*cm	LONGITUD DEL CABLE	300 cm
GANANCIA	90°	POSICIÓN CABLE	20 cm/7 vueltas/65 cm
EFECTO MAGNÉTICO	NO APLICA	OTROS	condiciones del operario

	prueba 1	prueba 2	prueba 3	prueba 4	prueba 5
Modificaciones (explique clara mente la modificación realizada en cada prueba)	ÁNGULO SHAKER: 0° HORA: 8:02 AM TEMPERAT: 21,6°C HUMEDAD: 72 %	ÁNGULO SHAKER: 72° HORA: 8:20 AM TEMPERAT: 21,5°C HUMEDAD: 72 %	ÁNGULO SHAKER: 144° HORA: 8:35 AM TEMPERAT: 21,6°C HUMEDAD: 71,8 %	ÁNGULO SHAKER: 216° HORA: 9:00 AM TEMPERAT: 21,7°C HUMEDAD: 71,9 %	ÁNGULO SHAKER: 288° HORA: 9:20 AM TEMPERAT: 21,7°C HUMEDAD: 72 %

Frecuencia (Hz)	N pruebas					X(q)	S ² (q)	U(q)	X(U)	% des
	1	2	3	4	5					
10	9,854	9,858	9,859	9,862	9,859	9,9	0,000009106	0,0013	0,0024147	0,0244%
15	9,868	9,871	9,872	9,877	9,868	9,9	0,000013653	0,0017		
30	9,894	9,899	9,894	9,893	9,893	9,9	0,000005899	0,0011		
50	9,915	9,916	9,915	9,915	9,915	9,9	0,000000298	0,0002		
100	9,916	9,916	9,916	9,916	9,915	9,9	0,000000198	0,0002		
160	9,923	9,922	9,922	9,922	9,922	9,9	0,000000336	0,0003	0,0006761	0,0068%
300	9,918	9,920	9,918	9,918	9,919	9,9	0,000001073	0,0005		
500	9,923	9,922	9,924	9,924	9,925	9,9	0,000000850	0,0004		
1000	9,958	9,958	9,957	9,957	9,958	10,0	0,000000027	0,0001		
1500	9,955	9,955	9,954	9,954	9,955	10,0	0,000000189	0,0002	0,0041260	0,041250%
2000	9,961	9,962	9,969	9,968	9,965	10,0	0,000011634	0,0015		
3000	9,993	9,990	9,997	9,992	9,997	10,0	0,000009834	0,0014		
4000	10,020	10,033	10,018	10,030	10,017	10,0	0,000055843	0,0033		

5000	10,072	10,080	10,074	10,076	10,077	10,1	0,000007619	0,0012		
6000	10,139	10,139	10,143	10,141	10,143	10,1	0,000003546	0,0008	0,0090996	0,088273%
7000	10,197	10,192	10,198	10,195	10,198	10,2	0,000007560	0,0012		
8000	10,296	10,295	10,299	10,301	10,304	10,3	0,000014770	0,0017		
9000	10,425	10,421	10,398	10,411	10,411	10,4	0,000106212	0,0046		
10000	10,495	10,522	10,483	10,492	10,478	10,5	0,000281926	0,0075		



FORMATO INCERTIDUMBRE ORIGINAL EVALUACIÓN TIPO A

CÓDIGO: FO - 401 - 007

VERSIÓN: 2

Fecha:	18/12/2013
Fuente de incertidumbre (X_i)	LONGITUD DEL CABLE
Método	ISO 16063-21

Características del conjunto Base			
TEMPERATURA	Entre 21 y 25 °C	SENSOR	patrón secundario
HUMEDAD	Entre 67 y 72 %	CABLE	Tipo 003C10 serial CN32840
TORQUE	200 N*cm	LONGITUD DEL CABLE	NO APLICA
GANANCIA	90°	POSICIÓN CABLE	20 cm/7 vueltas/65 cm
EFFECTO MAGNÉTICO	0°	OTROS	condiciones del operario

	prueba 1	prueba 2	prueba 3	prueba 4	prueba 5
Modificaciones <small>(explique clara mente la modificación realizada en cada prueba)</small>	CABLE TIPO: 03C10 LONGITUD: 300 cm HORA: 1:50 PM TEMPERAT: 21,9°C HUMEDAD: 72,0 %	CABLE TIPO: 03C20 LONGITUD: 400 cm HORA: 2:14 PM TEMPERAT: 22,0°C HUMEDAD: 72,0 %	CABLE TIPO: 03C30 LONGITUD: 500 cm HORA: 2:31 PM TEMPERAT: 21,8°C HUMEDAD: 71,9 %	CABLE TIPO: 03C40 LONGITUD: 600 cm HORA: 2:53 PM TEMPERAT: 21,9°C HUMEDAD: 71,9 %	CABLE TIPO: 03C50 LONGITUD: 800 cm HORA: 3:09 PM TEMPERAT: 21,9°C HUMEDAD: 72,0 %

Frecuencia (Hz)	N pruebas					X(q)	S ² (q)	U(q)	X(U)	% des
	1	2	3	4	5					
10	9,847	9,894	9,877	9,918	9,915	9,9	0,000850746	0,0130	0,0306011	0,3084%
15	9,853	9,920	9,875	9,926	9,917	9,9	0,001053504	0,0145		
30	9,886	9,959	9,894	9,957	9,947	9,9	0,001270347	0,0159		
50	9,914	9,968	9,915	9,962	9,959	9,9	0,000723831	0,0120		
100	9,914	9,972	9,917	9,964	9,961	9,9	0,000783694	0,0125		
160	9,921	9,979	9,924	9,972	9,968	10,0	0,000791448	0,0126	0,0226014	0,2270%
300	9,917	9,972	9,919	9,965	9,963	9,9	0,000705459	0,0119		
500	9,921	9,971	9,926	9,967	9,965	9,9	0,000604489	0,0110		
1000	9,956	9,999	9,960	9,996	9,994	10,0	0,000452711	0,0095		
1500	9,954	9,994	10,302	9,991	9,989	10,0	0,020726984	0,0644	3,5647096	32,258595%
2000	9,963	10,001	15,560	10,000	9,998	11,1	6,205214151	1,1140		
3000	9,997	10,025	12,987	10,024	10,022	10,6	1,764262984	0,5940		
4000	10,019	10,060	26,714	10,060	10,057	13,4	55,54521326	3,3330		

5000	10,075	10,116	10,120	10,117	10,114	10,1	0,000356217	0,0084		
6000	10,143	10,186	10,361	10,185	10,183	10,2	0,007312779	0,0382	6,7536334	53,410890%
7000	10,197	10,239	25,007	10,237	10,234	13,2	43,69393408	2,9561		
8000	10,295	10,340	29,848	10,333	10,328	14,2	76,23831939	3,9048		
9000	10,385	10,459	33,687	10,453	10,449	15,1	108,117722	4,6501		
10000	10,477	10,542	10,514	10,519	10,512	10,5	0,000532646	0,0103		



FORMATO INCERTIDUMBRE ORIGINAL EVALUACIÓN TIPO A

CÓDIGO: FO - 401 - 007

VERSIÓN: 2

Fecha:	18/12/2013
Fuente de incertidumbre (Xi)	POSICIÓN DEL CABLE
Método	ISO 16063-21

Características del conjunto Base			
TEMPERATURA	Entre 21 y 25 °C	SENSOR	patrón secundario
HUMEDAD	Entre 67 y 72 %	CABLE	Tipo 003C10 serial CN32840
TORQUE	200 N*cm	LONGITUD DEL CABLE	300 cm
GANANCIA	90°	POSICIÓN CABLE	20 cm/7 vueltas/65 cm
EFFECTO MAGNÉTICO	0°	OTROS	condiciones del operario

	prueba 1	prueba 2	prueba 3	prueba 4	prueba 5
Modificaciones (explique clara mente la modificación realizada en cada prueba)	20 cm libres desde el sensor al trípode + 7 vueltas de 9 cm de diámetro sujetas al trípode + 65 cm libres hasta la tarjeta de adquisición de datos HORA: 3:26 PM TEMPERAT: 21,8°C HUMEDAD: 72,0 %	45 cm libres desde el sensor al trípode + 5 vueltas de 9 cm de diámetro sujetas al trípode + 55 cm libres hasta la tarjeta de adquisición de datos HORA: 3:46 PM TEMPERAT: 21,7°C HUMEDAD: 71,8 %	totalmente descolgado y apoyado sobre el pedestal HORA: 4:07 PM TEMPERAT: 21,8°C HUMEDAD: 71,6 %	totalmente desenrollado y tensionado desde arriba (techo) HORA: 4:28 PM TEMPERAT: 21,9°C HUMEDAD: 71,7 %	totalmente desenrollado y sujeto a la pared HORA: 4:49 PM TEMPERAT: 22,0°C HUMEDAD: 71,8 %

Frecuencia (Hz)	N pruebas					X(q)	S ² (q)	U(q)	X(U)	% des
	1	2	3	4	5					
10	9,870	9,861	9,860	9,887	9,860	9,9	0,000133064	0,0052	0,0055366	0,0560%
15	9,867	9,861	9,867	9,872	9,868	9,9	0,000014306	0,0017		
30	9,890	9,889	9,885	9,887	9,890	9,9	0,000005027	0,0010		
50	9,915	9,915	9,916	9,915	9,914	9,9	0,000000176	0,0002		
100	9,916	9,914	9,915	9,914	9,916	9,9	0,000000697	0,0004		
160	9,922	9,921	9,922	9,923	9,922	9,9	0,000000481	0,0003	0,0003993	0,0040%
300	9,919	9,919	9,919	9,918	9,919	9,9	0,000000172	0,0002		
500	9,924	9,923	9,923	9,923	9,923	9,9	0,000000112	0,0001		
1000	9,957	9,957	9,957	9,957	9,957	10,0	0,000000033	0,0001		
1500	9,955	9,954	9,953	9,953	9,953	10,0	0,000000604	0,0003	0,0050823	0,050802%
2000	9,964	9,965	9,964	9,964	9,963	10,0	0,000000596	0,0003		
3000	9,999	9,992	9,991	9,990	9,990	10,0	0,000013480	0,0016		
4000	10,020	10,033	10,030	10,026	10,026	10,0	0,000025668	0,0023		
5000	10,074	10,080	10,099	10,082	10,082	10,1	0,000088802	0,0042		
6000	10,145	10,132	10,128	10,149	10,150	10,1	0,000107431	0,0046	0,0162733	0,157940%

7000	10,198	10,189	10,191	10,202	10,204	10,2	0,000046958	0,0031		
8000	10,294	10,284	10,289	10,303	10,304	10,3	0,000075411	0,0039		
9000	10,389	10,377	10,390	10,425	10,423	10,4	0,000461185	0,0096		
10000	10,475	10,458	10,467	10,512	10,511	10,5	0,000633122	0,0113		



FORMATO INCERTIDUMBRE ORIGINAL EVALUACIÓN TIPO A

CÓDIGO: FO - 401 - 007

VERSIÓN: 2

Fecha:	18/12/2013
Fuente de incertidumbre (Xi)	RUIDO DE PISO
Método	ISO 16063-21

Características del conjunto Base			
TEMPERATURA	Entre 21 y 25 °C	SENSOR	patrón secundario
HUMEDAD	Entre 67 y 72 %	CABLE	Tipo 003C10 serial CN32840
TORQUE	200 N*cm	LONGITUD DEL CABLE	300 cm
GANANCIA	90°	POSICIÓN CABLE	20 cm/7 vueltas/65 cm
EFFECTO MAGNÉTICO	0°	OTROS	condiciones del operario

	prueba 1	prueba 2	prueba 3	prueba 4	prueba 5
Modificaciones (explique clara mente la modificación realizada en cada prueba)	cable de señal desconectado del sensor patrón secundario HORA: 10:18 AM TEMPERAT: 21,8°C HUMEDAD: 71,9 %	cable de señal desconectado de la tarjeta de adquisición de datos HORA: 10:40 AM TEMPERAT: 22°C HUMEDAD: 72 %	cable de señal desconectado de la tarjeta de adquisición de datos HORA: 10:54 AM TEMPERAT: 21,9°C HUMEDAD: 72 %	cable de señal desconectado de la tarjeta de adquisición de datos HORA: 11:09 AM TEMPERAT: 22°C HUMEDAD: 72%	cable de señal desconectado de la tarjeta de adquisición de datos HORA: 11:22 AM TEMPERAT: 21,8°C HUMEDAD: 71,9 %

Frecuencia (Hz)	N pruebas					X(q)	S²(q)	U(q)	X(U)	% des
	1	2	3	4	5					
10	7,949	7,962	7,823	7,977	7,964	7,9	0,004028061	0,0284	0,0532448	0,9069%
15	7,412	7,433	7,429	7,387	7,413	7,4	0,000332204	0,0082		
30	7,760	7,665	7,685	7,726	7,666	7,7	0,001719046	0,0185		
50	3,174	3,127	3,198	3,160	3,162	3,2	0,000656790	0,0115		
100	3,227	3,100	3,238	3,081	3,054	3,1	0,007438959	0,0386		
160	3,183	3,169	3,159	3,238	3,159	3,2	0,001109284	0,0149	0,0335232	1,0533%
300	3,248	3,227	3,245	3,165	3,306	3,2	0,002549619	0,0226		
500	3,169	3,172	3,145	3,175	3,160	3,2	0,000143720	0,0054		
1000	3,133	3,104	3,150	3,218	3,131	3,1	0,001816395	0,0191		
1500	3,106	3,139	3,141	3,168	3,114	3,1	0,000597037	0,0109	0,0230682	0,734341%
2000	3,163	3,111	3,158	3,117	3,112	3,1	0,000671985	0,0116		
3000	3,107	3,144	3,122	3,099	3,146	3,1	0,000450133	0,0095		
4000	3,134	3,138	3,134	3,136	3,171	3,1	0,000256870	0,0072		
5000	3,165	3,145	3,193	3,162	3,210	3,2	0,000684687	0,0117		
6000	3,117	3,209	3,179	3,103	3,149	3,2	0,001894068	0,0195		

7000	3,178	3,219	3,127	3,168	3,119	3,2	0,001657193	0,0182		
8000	3,188	3,167	3,172	3,175	3,161	3,2	0,000101324	0,0045		
9000	3,174	3,160	3,188	3,191	3,176	3,2	0,000158695	0,0056		
10000	3,180	3,179	3,161	3,156	3,203	3,2	0,000353935	0,0084		



**Universidad
Pontificia
Bolivariana**
SECCIONAL BUCARAMANGA

FORMATO INCERTIDUMBRE ORIGINAL EVALUACIÓN TIPO A

CÓDIGO: FO - 401 - 007

VERSIÓN: 2

Fecha:	19/12/2013
Fuente de incertidumbre (Xi)	VIBRACIÓN EXTERNA
Método	ISO 16063-21

Características del conjunto Base			
TEMPERATURA	Entre 21 y 25 °C	SENSOR	patrón secundario
HUMEDAD	Entre 67 y 72 %	CABLE	Tipo 003C10 serial CN32840
TORQUE	200 N*cm	LONGITUD DEL CABLE	300 cm
GANANCIA	90°	POSICIÓN CABLE	20 cm/7 vueltas/65 cm
EFFECTO MAGNÉTICO	0°	OTROS	condiciones del operario

	prueba 1	prueba 2	prueba 3	prueba 4	prueba 5
Modificaciones (explique clara mente la modificación realizada en cada prueba)	HORA: 8:14 AM TEMPERAT: 21,6°C HUMEDAD: 71,9 %	HORA: 9:15 AM TEMPERAT: 21,7°C HUMEDAD: 71,9 %	HORA: 9:32 AM TEMPERAT: 21,7°C HUMEDAD: 71,6 %	HORA: 9:47 AM TEMPERAT: 21,8°C HUMEDAD: 71,0 %	HORA: 10:00 AM TEMPERAT: 21,9°C HUMEDAD: 70,8 %

Frecuencia (Hz)	N pruebas					X(q)	S ² (q)	U(q)	X(U)	% des
	1	2	3	4	5					
10	9,822	9,879	9,871	9,864	9,869	9,9	0,000496721	0,0100	0,0139294	0,1408%
15	9,840	9,875	9,873	9,876	9,884	9,9	0,000283104	0,0075		
30	9,871	9,897	9,901	9,902	9,902	9,9	0,000171640	0,0059		
50	9,909	9,915	9,917	9,917	9,916	9,9	0,000010029	0,0014		
100	9,910	9,917	9,917	9,917	9,917	9,9	0,000008647	0,0013		
160	9,918	9,924	9,924	9,925	9,923	9,9	0,000007730	0,0012	0,0023599	0,0238%
300	9,913	9,920	9,921	9,920	9,920	9,9	0,000009329	0,0014		
500	9,920	9,924	9,925	9,925	9,924	9,9	0,000005235	0,0010		
1000	9,953	9,958	9,959	9,958	9,959	10,0	0,000005552	0,0011		
1500	9,951	9,956	9,956	9,957	9,956	10,0	0,000004533	0,0010	0,0020451	0,020448%
2000	9,961	9,965	9,965	9,966	9,965	10,0	0,000003772	0,0009		
3000	9,989	9,994	9,995	9,995	9,995	10,0	0,000005385	0,0010		
4000	10,016	10,020	10,021	10,020	10,020	10,0	0,000003456	0,0008		
5000	10,072	10,076	10,076	10,076	10,075	10,1	0,000003766	0,0009		
6000	10,139	10,142	10,142	10,142	10,142	10,1	0,000001569	0,0006		

7000	10,194	10,197	10,196	10,195	10,196	10,2	0,000000791	0,0004		
8000	10,295	10,298	10,298	10,297	10,297	10,3	0,000001407	0,0005		
9000	10,394	10,397	10,398	10,394	10,395	10,4	0,000003043	0,0008		
10000	10,468	10,470	10,470	10,468	10,468	10,5	0,000001313	0,0005		



FORMATO INCERTIDUMBRE ORIGINAL EVALUACIÓN TIPO A

CÓDIGO: FO - 401 - 007

VERSIÓN: 2

Fecha:	19/12/2013
Fuente de incertidumbre (Xi)	MEDIDA DEL VOLTAJE
Método	ISO 16063-21

Características del conjunto Base			
TEMPERATURA	Entre 21 y 25 °C	SENSOR	patrón secundario
HUMEDAD	Entre 67 y 72 %	CABLE	Tipo 003C10 serial CN32840
TORQUE	200 N*cm	LONGITUD DEL CABLE	300 cm
GANANCIA	90°	POSICIÓN CABLE	20 cm/7 vueltas/65 cm
EFEECTO MAGNÉTICO	0°	OTROS	condiciones del operario

	prueba 1	prueba 2	prueba 3	prueba 4	prueba 5
Modificaciones (explique clara mente la modificación realizada en cada prueba)	CON 1 CIFRA DECIMAL HORA: 1:52 PM TEMPERAT: 21,9°C HUMEDAD: 72,0 %	CON 2 CIFRAS DECIMALES HORA: 1:56 PM TEMPERAT: 21,9°C HUMEDAD: 72,0 %	CON 3 CIFRAS DECIMALES HORA: 2:07 PM TEMPERAT: 22,0°C HUMEDAD: 71,9 %	CON 4 CIFRAS DECIMALES DESPUÉS DE 15 MINUTOS FUÉ NECESARIO SUBIR LA GANANCIA HASTA 150° PORQUE SE DEMORABA MUCHO LA PRUEBA HORA: 2:19 PM TEMPERAT: 21,9°C HUMEDAD: 71,9 %	CON 5 CIFRAS DECIMALES DESPUÉS DE 15 MINUTOS FUÉ NECESARIO SUBIR LA GANANCIA HASTA 150° PORQUE SE DEMORABA MUCHO LA PRUEBA Y AUN ASÍ TARDÓ 30 MINUTOS Y NO PASÓ DE 30 Hz. HORA: 2:38 PM TEMPERAT: 21,9°C HUMEDAD: 71,8 %

Frecuencia (Hz)	N pruebas					X(q)	S ² (q)	U(q)	X(U)	% des
	1	2	3	4	5					
10	0,000	0,000	9,870	9,865		4,9	32,4550373	2,8485	8,7052037	79,1352%
15	41,006	9,882	9,882	9,873		17,7	242,2218934	7,7817		
30	20,570	9,905	9,904	9,899		12,6	28,4453391	2,6667		
50	9,922	9,922	9,916	9,916		9,9	0,000012072	0,0017		
100	9,920	9,919	9,918	9,918		9,9	0,000001510	0,0006		
160	9,927	9,926	9,924	9,924		9,9	0,000001780	0,0007	0,0020649	0,0208%
300	9,924	9,923	9,921	9,920		9,9	0,000002207	0,0007		
500	9,930	9,923	9,923	9,922		9,9	0,000012114	0,0017		
1000	9,956	9,958	9,958	9,958		10,0	0,000000954	0,0005		
1500	9,955	9,957	9,957	9,956		10,0	0,000000739	0,0004	0,0075098	0,075098%
2000	9,964	9,965	9,964	9,964		10,0	0,000000170	0,0002		
3000	9,979	9,995	9,995	9,995		10,0	0,000068292	0,0041		
4000	10,012	10,021	10,020	10,020		10,0	0,000019312	0,0022		
5000	10,053	10,076	10,076	10,076		10,1	0,000137076	0,0059		
6000	10,111	10,143	10,142	10,142		10,1	0,000245067	0,0078	0,0185288	0,179966%

7000	10,170	10,197	10,197	10,197		10,2	0,000179118	0,0067		
8000	10,255	10,299	10,298	10,299		10,3	0,000467682	0,0108		
9000	10,369	10,407	10,407	10,407		10,4	0,000372060	0,0096		
10000	10,453	10,474	10,474	10,474		10,5	0,000109341	0,0052		



Universidad
Pontificia
Bolivariana
SECCIONAL BUCARAMANGA

FORMATO INCERTIDUMBRE ORIGINAL EVALUACIÓN TIPO A

CÓDIGO: FO - 401 - 007

VERSIÓN: 2

Fecha:	19/12/2013
Fuente de incertidumbre (Xi)	FRECUENCIA DE MUESTREO
Método	ISO 16063-21

Características del conjunto Base			
TEMPERATURA	Entre 21 y 25 °C	SENSOR	patrón secundario
HUMEDAD	Entre 67 y 72 %	CABLE	Tipo 003C10 serial CN32840
TORQUE	200 N*cm	LONGITUD DEL CABLE	300 cm
GANANCIA	90°	POSICIÓN CABLE	20 cm/7 vueltas/65 cm
EFEECTO MAGNÉTICO	0°	OTROS	condiciones del operario

	prueba 1	prueba 2	prueba 3	prueba 4	prueba 5
Modificaciones (explique clara mente la modificación realizada en cada prueba)	FRECUENCIA DE MUESTREO 20000 Hz HORA: 2:56 PM TEMPERAT: 21,9°C HUMEDAD: 72,0 %	FRECUENCIA DE MUESTREO 25000 Hz HORA: 3:08 PM TEMPERAT: 21,8°C HUMEDAD: 72,0 %	FRECUENCIA DE MUESTREO 30000 Hz HORA: 3:18 PM TEMPERAT: 21,8°C HUMEDAD: 72,0 %	FRECUENCIA DE MUESTREO 40000 Hz HORA: 3:31 PM TEMPERAT: 21,8°C HUMEDAD: 71,9 %	FRECUENCIA DE MUESTREO 50000 Hz HORA: 3:41 PM TEMPERAT: 21,9°C HUMEDAD: 72,0 %

Frecuencia (Hz)	N pruebas					X(q)	S²(q)	U(q)	X(U)	% des
	1	2	3	4	5					
10	9,857	9,864	9,864	9,868	9,868	9,9	0,000021433	0,0021	0,0033463	0,0338%
15	9,867	9,869	9,875	9,873	9,871	9,9	0,000010624	0,0015		
30	9,891	9,888	9,899	9,897	9,897	9,9	0,000021817	0,0021		
50	9,914	9,913	9,915	9,915	9,915	9,9	0,000001331	0,0005		
100	9,914	9,915	9,916	9,916	9,916	9,9	0,000000783	0,0004		
160	9,921	9,922	9,923	9,923	9,923	9,9	0,000000436	0,0003	0,0005998	0,0060%
300	9,919	9,918	9,920	9,920	9,919	9,9	0,000000500	0,0003		
500	9,921	9,921	9,922	9,922	9,922	9,9	0,000000450	0,0003		
1000	9,957	9,957	9,958	9,957	9,958	10,0	0,000000413	0,0003		
1500	9,954	9,955	9,956	9,956	9,955	10,0	0,000000521	0,0003	0,0006806	0,006806%
2000	9,962	9,963	9,964	9,964	9,963	10,0	0,000000418	0,0003		
3000	9,993	9,993	9,995	9,995	9,994	10,0	0,000000495	0,0003		
4000	10,018	10,018	10,019	10,019	10,019	10,0	0,000000407	0,0003		
5000	10,074	10,074	10,076	10,075	10,075	10,1	0,000000476	0,0003		
6000	10,141	10,141	10,142	10,142	10,142	10,1	0,000000407	0,0003	0,0007856	0,007625%

7000	10,195	10,195	10,196	10,197	10,196	10,2	0,000000436	0,0003		
8000	10,295	10,296	10,298	10,297	10,298	10,3	0,000001320	0,0005		
9000	10,405	10,406	10,406	10,406	10,406	10,4	0,000000478	0,0003		
10000	10,472	10,473	10,474	10,474	10,473	10,5	0,000000444	0,0003		



Universidad
Pontificia
Bolivariana
SECCIONAL BUCARAMANGA

FORMATO INCERTIDUMBRE ORIGINAL EVALUACIÓN TIPO A

CÓDIGO: FO - 401 - 007

VERSIÓN: 2

Fecha:	19/12/2013
Fuente de incertidumbre (X_i)	NO LINEALIDADES (amplitud)
Método	ISO 16063-21

Características del conjunto Base			
TEMPERATURA	Entre 21 y 25 °C	SENSOR	patrón secundario
HUMEDAD	Entre 67 y 72 %	CABLE	Tipo 003C10 serial CN32840
TORQUE	200 N*cm	LONGITUD DEL CABLE	300 cm
GANANCIA	90°	POSICIÓN CABLE	20 cm/7 vueltas/65 cm
EFECTO MAGNÉTICO	0°	OTROS	condiciones del operario

	prueba 1	prueba 2	prueba 3	prueba 4	prueba 5
Modificaciones (explique clara mente la modificación realizada en cada prueba)	GRAVEDADES: (de 10 a 30 Hz: 0,5 G) y (de 50 a 10 KHz: 1,0 G) HORA: 10:25 AM TEMPERAT: 21,6°C HUMEDAD: 70,1 %	GRAVEDADES: (de 10 a 30 Hz: 0,6 G) y (de 50 a 10 KHz: 1,5 G) HORA: 10:40 AM TEMPERAT: 21,7°C HUMEDAD: 71,6 %	GRAVEDADES: (de 10 a 30 Hz: 0,7 G) y (de 50 a 10 KHz: 2,0 G) HORA: 10:53 AM TEMPERAT: 21,9°C HUMEDAD: 71,8 %		

Frecuencia (Hz)	N pruebas				X(q)	S ² (q)	U(q)	X(U)	% des
	1	2	3	4					
10	9,884	9,869	9,863		9,9	0,000116251	0,0062	0,0090170	0,0911%
15	9,879	9,876	9,872		9,9	0,000013838	0,0021		
30	9,912	9,893	9,895		9,9	0,000105955	0,0059		
50	9,922	9,917	9,917		9,9	0,000007588	0,0016		
100	9,918	9,917	9,917		9,9	0,000000285	0,0003	0,0012806	0,0129%
160	9,924	9,923	9,923		9,9	0,000000150	0,0002		
300	9,922	9,920	9,919		9,9	0,000001916	0,0008		
500	9,927	9,926	9,926		9,9	0,000000572	0,0004		
1000	9,961	9,959	9,958		10,0	0,000002282	0,0009	0,0016375	0,016368%
1500	9,959	9,956	9,956		10,0	0,000002404	0,0009		
2000	9,968	9,966	9,966		10,0	0,000001744	0,0008		
3000	9,999	9,997	9,997		10,0	0,000001342	0,0007		
4000	10,024	10,023	10,022		10,0	0,000001240	0,0006	0,0018722	0,018177%
5000	10,077	10,075	10,075		10,1	0,000001314	0,0007		
6000	10,148	10,146	10,145		10,1	0,000001855	0,0008		

7000	10,198	10,197	10,197			10,2	0,000000748	0,0005		
8000	10,294	10,292	10,291			10,3	0,000002290	0,0009		
9000	10,395	10,393	10,392			10,4	0,000003351	0,0011		
10000	10,470	10,468	10,467			10,5	0,000002271	0,0009		

ANEXO C

Método promedio y rango para pruebas de repetibilidad y reproducibilidad

El método consta de los siguientes pasos

1. Determinar el número de partes, número de operadores y número de mediciones a efectuar
2. Hallar el rango de cada una de las partes utilizando la siguiente ecuación

$$R = X_{max} - X_{min}$$

Donde:

Xmax = Dato más alto de cada parte

XMin= Dato mínimo de cada parte

3. Calcular el rango promedio de los rangos obtenidos de cada parte calculado en el paso anterior

$$\bar{R} = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^b R_i$$

Donde

b= Numero de partes.

Ri= Rango de cada parte

4. calcular el rango promedio de los rangos

$$\bar{\bar{R}} = \frac{1}{a} \sum_{l=1}^a \bar{R}_l$$

Donde

a= Número de operadores.

Ri= Rango promedio

5. Se calcula la medición promedio por operador

$$\bar{X}_i = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^{bn} X_i$$

b= Numero de partes

n= Numero de medidas para cada parte por operador

X_i= Cada una de las medidas por operador

6. Calcular la diferencia entre el promedio mayor o el promedio menor de los operadores

$$\overline{XD} = \overline{X_{i \max}} - \overline{X_{i \min}}$$

Donde:

X_i max es el promedio mayor

X_i min es el promedio menor

7. calcular el valor de la repetibilidad de las mediciones según

$$\text{Repetibilidad} = \frac{5,15 * \bar{R}}{d_2}$$

Donde:

d₂= constante que depende de partes por operador (z=a*b) y el número de medias por operador (w=n) **Ver anexo E**

\bar{R} = rango promedio de todos los rangos

8. calcular el porcentaje de la repetibilidad empleando la siguiente ecuación

$$\% \text{ Repetibilidad} = \frac{\text{repetibilidad}}{T} * 100\%$$

Donde

T= Tolerancia de la característica medida

9. Se calcula el valor de reproducibilidad

$$\text{reproducibilidad} = \sqrt{\left(\frac{5,15 * \overline{XD}}{D2}\right)^2 - \frac{\text{Repetibilidad}^2}{bn}}$$

b = es el número de partes medidas

n= es el número de medidas para cada parte por cada operador

D2= Constante que depende de z=1 y del número de operadores (W=a), **Ver anexo E**

10. Se calcula el porcentaje de reproducibilidad

$$\% \text{reproducibilidad} = \frac{\text{reproducibilidad}}{T} * 100\%$$

Donde

T: es la tolerancia

Se calcula el porcentaje de relación entre la repetibilidad y la reproducibilidad

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

Se analiza si $\%r\&R < 10\%$ el sistema de medición es aceptable

Se analiza si $10\% < \%r\&R < 30\%$ el sistema de medición es aceptable según su uso, aplicación y costo.

$\%r\&R > 30\%$ El sistema de medición se considera no aceptable.

ANEXO D

Método Anova pruebas de repetibilidad y reproducibilidad

Inicialmente se realiza tabla anova

La tabla Anova se relaciona a continuación:

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios
operador	SCA	b-1	MSA=SSA/(b-1)
partes	SCB	a-1	MSB=SSB/(a-1)
interacción	SCAB	(a-1)(b-1)	MSAB=SSAB/((a-1)(b-1))
error	SCE	ab(n-1)	MSE=SSE/(ab(n-1))
total	SCT	N-1	

Donde:

a número de partes

b: número de operadores

n: número de medidas para cada parte por cada operador

N: número total de datos

Para obtener cada uno de los factores de la suma de cuadrados se procede de la siguiente manera:

$$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{(\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk})^2}{N}$$

$$SSA = \frac{1}{an} \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^n y_{ik}^2 - \frac{(\sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^n y_{ik})^2}{N}$$

$$SSB = \frac{1}{bn} \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{jk}^2 - \frac{(\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk})^2}{N}$$

$$SSE = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2$$

$$SCAB = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 + \frac{(\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk})^2}{N} - \frac{1}{an} \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^n y_{ik}^2 - \frac{1}{bn} \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{jk}^2$$

Donde:

y_{ijk} = suma de todos los datos

y_{ik} = Suma de datos para cada parte

y_{jk} = Suma de datos para cada operador

Cuando se obtiene la tabla Anova se procede de la siguiente manera

Se obtiene la repetibilidad del sistema con la siguiente ecuación

$$repetibilidad = 5,15 * \sqrt{MSE}$$

Se calcula el porcentaje de repetibilidad

$$\% Repetibilidad = \frac{repetibilidad}{T} * 100\%$$

Se calcula la reproducibilidad

$$reproducibilidad = 5,15 \sqrt{\frac{MSA - MSAB}{bn}}$$

En caso que el término dentro de la raíz sea negativo se tomara como cero

Se calcula el porcentaje de reproducibilidad

$$\%reproducibilidad = \frac{reproducibilidad}{T} * 100\%$$

Se obtiene la interacción entre los operadores y las partes

$$I = 5,15 \sqrt{\frac{MSAB - MSE}{n}}$$

En caso que el término dentro de la raíz sea negativo se tomara como cero

Se calcula el porcentaje de interacción

$$\%I = \frac{I}{T} * 100$$

Se calcula el porcentaje de la relación entre la repetibilidad y la reproducibilidad

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

Se analiza si $\%r\&R < 10\%$ el sistema de medición es aceptable

Se analiza si $10\% < \%r\&R < 30\%$ el sistema de medición es aceptable según su uso, aplicación y costo.

$\%r\&R > 30\%$ El sistema de medición se considera no aceptable.

ANEXO E

Constantes de repetibilidad y reproducibilidad

<i>Z</i>	<i>W</i>														
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	1,41	1,91	2,24	2,48	2,67	2,83	2,96	3,08	3,18	3,27	3,36	3,42	3,49	3,55	
2	1,28	1,81	2,15	2,40	2,60	2,77	2,91	3,02	3,13	3,22	3,30	3,38	3,45	3,51	
3	1,23	1,77	2,12	2,38	2,58	2,75	2,89	3,01	3,11	3,21	3,29	3,37	3,43	3,50	
4	1,21	1,75	2,11	2,37	2,57	2,74	2,88	3,00	3,10	3,20	3,28	3,36	3,43	3,49	
5	1,19	1,74	2,10	2,36	2,56	2,73	2,87	2,99	3,10	3,19	3,28	3,36	3,42	3,49	
6	1,18	1,73	2,09	2,35	2,56	2,73	2,87	2,99	3,10	3,19	3,27	3,35	3,42	3,49	
7	1,17	1,73	2,09	2,35	2,55	2,72	2,87	2,99	3,10	3,19	3,27	3,35	3,42	3,48	
8	1,17	1,72	2,08	2,35	2,55	2,72	2,87	2,98	3,09	3,19	3,27	3,35	3,42	3,48	
9	1,16	1,72	2,08	2,34	2,55	2,72	2,86	2,98	3,09	3,19	3,27	3,35	3,42	3,48	
10	1,16	1,72	2,08	2,34	2,55	2,72	2,86	2,98	3,09	3,18	3,27	3,34	3,42	3,48	
11	1,15	1,71	2,08	2,34	2,55	2,72	2,86	2,98	3,09	3,18	3,27	3,34	3,41	3,48	
12	1,15	1,71	2,07	2,34	2,55	2,72	2,86	2,98	3,09	3,18	3,27	3,34	3,41	3,48	
13	1,15	1,71	2,07	2,34	2,55	2,71	2,86	2,98	3,09	3,18	3,27	3,34	3,41	3,48	
14	1,15	1,71	2,07	2,34	2,54	2,71	2,86	2,98	3,09	3,18	3,27	3,34	3,41	3,48	
15	1,15	1,71	2,07	2,34	2,54	2,71	2,86	2,98	3,08	3,18	3,26	3,34	3,41	3,48	
>15	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,97	3,078	3,173	3,258	3,336	3,407	3,472	