

**EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD DEL  
ENSAYO DE CALIBRACIÓN DE SENSORES DE VIBRACIÓN BAJO LA NORMA  
ISO 16063-21 EN EL LABORATORIO DE VIBRACIONES**

**VÍCTOR HUGO CUÉLLAR CARRENO**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
BUCARAMANGA**

**2013**

**EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD DEL  
ENSAYO DE CALIBRACIÓN DE SENSORES DE VIBRACIÓN BAJO LA NORMA  
ISO 16063-21 EN EL LABORATORIO DE VIBRACIONES**

**VÍCTOR HUGO CUÉLLAR CARREÑO**

**Trabajo de grado para optar por el título de  
Ingeniero Mecánico  
Msc. Sonido y Vibraciones**

**Director: Gilberto Carlos Fontecha Dulcey  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
BUCARAMANGA**

**2013**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Bucaramanga, Diciembre 6 de 2013

Dedicado a ...

mis padres y hermanos, por su apoyo incondicional

A mi esposa, por su amor y comprensión infinita

y a mis preciosos hijos Víctor Daniel y Laura Sofía, por ser mi fuente de inspiración

Víctor Hugo Cuéllar Carreño

Agradezco a Dios por proporcionarme los dones necesarios para emprender grandes retos.

A mi familia porque el gran esfuerzo realizado fué compartido y así fué mas liviana la carga.

Al cuerpo docente de las Ingenierías Industrial y Electrónica por su disposición a colaborar, pero muy especialmente a toda la facultad de Ingeniería Mecánica por su apoyo y comprensión durante todo el proceso de formación.

Al ingeniero Gilberto Fontecha por sus asesorías y por confiar en mí para el desarrollo de este proyecto.

Un agradecimiento especial a Ludwing Casas y a Elizabeth.

A mis amigos por sus palabras de ánimo.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	11
OBJETIVOS .....	12
Objetivo general .....	12
Objetivos específicos .....	12
1. MARCO TEÓRICO .....	13
1.1. Repetibilidad .....	14
1.2. Reproducibilidad .....	15
1.3. Norma ISO 16063-21 .....	15
1.4. Calibraciones .....	16
1.5. Estado del arte .....	17
2. METODOLOGÍA .....	19
2.1. Definición y parametrización de la metodología .....	19
2.2. Revisión de la literatura .....	19
2.3. Diseño de pruebas .....	19
2.4. Realización de las pruebas .....	20
2.5. Entrega de datos para la evaluación estadística .....	20
2.6. Rediseño de pruebas .....	20
2.7. Realización de las pruebas .....	20
2.8. Elaboración de procedimientos, instructivos y formatos .....	20
2.9. Presentación de resultados .....	20
3. RESULTADOS .....	20
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	59
4.1. CONCLUSIONES .....	59
4.2. RECOMENDACIONES .....	59
5. BIBLIOGRAFÍA .....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Representación gráfica del concepto de repetibilidad .....	14
Fig. 2 Representación gráfica del concepto de reproducibilidad .....	14
Fig. 3 Area Técnica del Laboratorio de Vibraciones de la UPB Bucaramanga.....	18
Fig. 4 Equipos empleados para la Calibración de Sensores Laboratorio de Vibraciones de la UPB según Norma ISO 16063-21 .....	18

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Sensibilidad sensor patrón secundario variando la ganancia.....	24
Gráfica 2. Sensibilidad sensor patrón secundario variando distorsión armónica..	25
Gráfica 3. Sensibilidad sensor patrón secundario variando no linealidad .....	26
Gráfica 4. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando software.....	27
Gráfica 5. Sensibilidad sensor patrón secundario variando equipo de cómputo..	28
Gráfica 6. Sensibilidad sensor patrón secundario variando nivel de ruido.....	29
Gráfica 7. Sensibilidad sensor patrón secundario variando efecto vibratorio.....	30
Gráfica 8. Sensibilidad sensor patrón secundario variando tensión externa.....	31
Gráfica 9. Sensibilidad sensor patrón secundario variando temperatura.....	32
Gráfica10. Sensibilidad sensor patrón secundario variando la gravedad.....	33
Gráfica11. Sensibilidad sensor patrón secundario variando efecto magnético.....	34
Gráfica12. Sensibilidad sensor patrón secundario variando humedad.....	35
Gráfica 13. Sensibilidad sensor patrón secundario variando el torque.....	36
Gráfica 14. Sensibilidad sensor patrón secundario variando el cable.....	37
Gráfica 15. Sensibilidad sensor patrón secundario variando equipo de medición..	38
Gráfica 16. Sensibilidad sensor patrón secundario variando la frecuencia.....	39
Gráfica 17. Sensibilidad sensor patrón secundario variando no linealidad.....	40
Gráfica 18. Sensibilidad sensor patrón secundario variando efecto residual.....	41
Gráfica 19. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando incertidumbre....	42
Gráfica 20. Sensibilidad sensor patrón secundario variando medida del voltaje..	45
Gráfica 21. Sensibilidad sensor patrón secundario variando el torque.....	46
Gráfica 22. Sensibilidad sensor patrón secundario variando temperatura.....	47
Gráfica 23. Sensibilidad sensor patrón secundario variando humedad.....	48



Gráfica 24. Sensibilidad sensor patrón secundario variando efecto magnético....	49
Gráfica 25. Sensibilidad sensor patrón secundario variando efecto vibratorio.....	50
Gráfica 26. Sensibilidad sensor patrón secundario variando efecto residual.....	51
Gráfica 27. Sensibilidad sensor patrón secundario variando extensión del cable..	52
Gráfica 28. Sensibilidad sensor patrón secundario variando el cable.....	53
Gráfica 29. Sensibilidad sensor patrón secundario variando equipo de cómputo..	54
Gráfica 30. Sensibilidad sensor patrón secundario variando la ganancia.....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sensibilidad sensor patrón secundario variando la ganancia.....	22
Tabla 2. Sensibilidad sensor patrón secundario variando distorsión armónica..	23
Tabla 3. Sensibilidad sensor patrón secundario variando no linealidad .....	24
Tabla 4. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando software.....	25
Tabla 5. Sensibilidad sensor patrón secundario variando equipo de cómputo..	26
Tabla 6. Sensibilidad sensor patrón secundario variando nivel de ruido.....	27
Tabla 7. Sensibilidad sensor patrón secundario variando efecto vibratorio.....	28
Tabla 8. Sensibilidad sensor patrón secundario variando tensión externa.....	29
Tabla 9. Sensibilidad sensor patrón secundario variando temperatura.....	30
Tabla 10. Sensibilidad sensor patrón secundario variando la gravedad.....	31
Tabla 11. Sensibilidad sensor patrón secundario variando efecto magnético.....	32
Tabla 12. Sensibilidad sensor patrón secundario variando humedad.....	33
Tabla 13. Sensibilidad sensor patrón secundario variando el torque.....	34
Tabla 14. Sensibilidad sensor patrón secundario variando el cable.....	35
Tabla 15. Sensibilidad sensor patrón secundario variando equipo de medición..	36
Tabla 16. Sensibilidad sensor patrón secundario variando la frecuencia.....	37
Tabla 17. Sensibilidad sensor patrón secundario variando no linealidad.....	38
Tabla 18. Sensibilidad sensor patrón secundario variando efecto residual.....	39
Tabla 19. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando incertidumbre....	40
Tabla 20. Sensibilidad sensor patrón secundario variando medida del voltaje..	41
Tabla 21. Sensibilidad sensor patrón secundario variando el torque.....	42
Tabla 22. Sensibilidad sensor patrón secundario variando temperatura.....	43
Tabla 23. Sensibilidad sensor patrón secundario variando humedad.....	43
Tabla 24. Sensibilidad sensor patrón secundario variando efecto magnético....	44
Tabla 25. Sensibilidad sensor patrón secundario variando efecto vibratorio....	44
Tabla 26. Sensibilidad sensor patrón secundario variando efecto residual.....	45

Tabla 27. Sensibilidad sensor patrón secundario variando extensión del cable..	46
Tabla 28. Sensibilidad sensor patrón secundario variando el cable.....	47
Tabla 29. Sensibilidad sensor patrón secundario variando equipo de cómputo..	48
Tabla 30. Sensibilidad sensor patrón secundario variando la ganancia.....	49
Tabla 31. Sensibilidad sensor patrón secundario variando distorsión armónica..	50
Tabla 32. Sensibilidad sensor patrón secundario variando no linealidad .....	51
Tabla 33. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando software.....	52
Tabla 34. Sensibilidad sensor patrón secundario variando equipo de cómputo..	53
Tabla 35. Sensibilidad sensor patrón secundario variando nivel de ruido.....	54
Tabla 36. Sensibilidad sensor patrón secundario variando efecto vibratorio.....	55
Tabla 37. Sensibilidad sensor patrón secundario variando tensión externa.....	56
Tabla 38. Sensibilidad sensor patrón secundario variando temperatura.....	57
Tabla 39. Sensibilidad sensor patrón secundario variando la gravedad.....	57

## **RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TÍTULO:** EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD DEL ENSAYO DE CALIBRACIÓN DE SENSORES DE VIBRACIÓN BAJO LA NORMA ISO 16063-21 EN EL LABORATORIO DE VIBRACIONES

**AUTOR:** VÍCTOR HUGO CUÉLLAR CARREÑO

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR:** GILBERTO CARLOS FONTECHA DULCEY

### **RESUMEN**

Este proyecto tiene como propósito determinar los factores reales de incidencia sobre la Repetibilidad y la Reproducibilidad de las pruebas de calibración realizadas en el Laboratorio de Vibraciones de la universidad. Para lograrlo, se requiere el diseño de una metodología acorde con la Norma ISO 16063-21 para Calibración de Sensores por comparación de transductores, y amparados bajo el marco de gestión de calidad de laboratorios contemplado en la Norma ISO 17025.

**PALABRAS CLAVES:** calibración, sensores, acelerómetros, repetibilidad, reproducibilidad, vibraciones, ISO 17025, ISO 16063-21

---

**Vo Bo DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

**Gilberto Carlos Fontecha Dulcey**

## **GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** PERFORMANCE TEST REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY FOR CALIBRATION SENSOR VIBRATION UNDER THE ISO 16063-21 IN THE VIBRATION LABORATORY.

**AUTHOR:** VÍCTOR HUGO CUÉLLAR CARREÑO

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR:** GILBERTO CARLOS FONTECHA DULCEY

### **ABSTRACT**

This project aims to determine the real factors bearing on the repeatability and reproducibility of the calibration tests developed in the Laboratory of Vibrations from college. To do this requires the design of a methodology consistent with ISO 16063-21 for the Calibration of sensors by comparison of transducers, which are covered under the framework of laboratory quality management provided in ISO 17025.

**KEYWORDS:** calibration, sensors, accelerometers, repeatability, reproducibility, vibrations, ISO 17025, ISO 16063-21

---

**Vo Bo DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

**Gilberto Carlos Fontecha Dulcey**

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad hay una tendencia marcada hacia la automatización de los procesos debido a la gran demanda de productos y servicios para satisfacer necesidades propias de las personas de cada región. Lo anterior ha conllevado a una gran competencia entre las empresas hasta el punto de extenderse a otras regiones e incluso otros países con el fin de buscar nuevos clientes. Esta apertura a derivado en choques multiculturales, que enmarcan la necesidad de estandarizar algunos parámetros para poder conversar en el mismo idioma tecnológico y que las mediciones obtenidas sean válidas y equivalentes para cada una de las partes.

También empiezan a tomar una importancia al grado de imprescindible, el tema de las tolerancias, los porcentajes de error y la incertidumbre en las mediciones; razón por la cual estos ítems traen asociado el tema de la calibración de los equipos encargados de las mediciones de las variables importantes de cada proceso, llámense básculas, sensores, medidores de flujo, medidores de volumen o nivel, entre otros.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Ejecutar ensayos de calibración de sensores de vibración según la Norma ISO 16063-21 identificando factores de incidencia, que puedan afectar la repetibilidad y la reproducibilidad con el propósito de suministrar datos para su análisis estadístico.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar posibles factores de incidencia sobre la repetibilidad y reproducibilidad, mediante el entrenamiento en la ejecución de calibraciones. **Resultado:** Listado de posibles factores de incidencia. **Indicador:** El entrenamiento debe realizarse de acuerdo a lo establecido en el sistema de gestión de calidad del laboratorio de vibraciones.
- Planear ensayos y generar datos para análisis, de acuerdo a las necesidades de la evaluación estadística. **Resultado:** Los datos. **Indicador:** Según lo especificado por la evaluación estadística.
- Planear nuevos ensayos de acuerdo a los resultados de la evaluación estadística. **Resultado:** Los datos. **Indicador:** Según las especificaciones por la evaluación estadística.
- Identificar los factores de incidencia reales, estableciendo su frecuencia y metodología de evaluación. **Resultado:** Informe. **Indicador:** El informe debe reflejar los resultados de los análisis estadísticos y ajustarse a los requerimientos del sistema de gestión de calidad del laboratorio.

## 1. MARCO TEORICO

Desde la Revolución Industrial a principios del siglo XIX, el ser humano ha creado máquinas que permitan fabricar productos y también ha desarrollado diferentes técnicas para el mantenimiento de las mismas. Inicialmente solo se hacían reparaciones a las piezas que se iban deteriorando, pero hacia 1925 y debido a las constantes paradas de la producción, se involucra el concepto de Mantenimiento Preventivo, alcanzando su mayor desarrollo durante la Segunda Guerra Mundial. En los años 60 surgen desarrollos tecnológicos orientados a fines militares y espaciales, con lo que a su vez se da origen a la creación de Sensores y otros dispositivos que serían empleados para hacer Mantenimientos Predictivos y así anticiparse a las fallas en las máquinas y realizar paradas programadas, minimizando los sobrecostos en la producción.

A la par con la evolución de las técnicas de mantenimiento, va ligado el desarrollo de tecnología, software y la aparición de nuevos conceptos como el de la **Calibración** de los aparatos usados para obtener información acerca del estado de los equipos de producción y surge también la necesidad de establecer estándares internacionales que regulen los resultados y la forma de obtenerlos.

La norma técnica NTC-ISO/IEC 17025 “Requisitos generales de competencia de laboratorios de ensayos y calibración.”, establece en el numeral 5.9 “Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo y de calibración”, que todo laboratorio de calibración/ensayo debe tener procedimientos de control de la calidad para realizar el seguimiento de la validez de los ensayos y las calibraciones llevados a cabo; uno de estos métodos es el estudio de **Repetibilidad** y **Reproducibilidad** amparándose en el cumplimiento estricto de la **NORMA ISO 16063-21** para transductores por comparación.[1]



El estudio de repetibilidad y reproducibilidad se aplica en:

- La evaluación de ensayos de aptitud.
- La validación de métodos de calibración.
- El análisis de comparaciones interlaboratorio.
- La evaluación de la incertidumbre de medición.
- La evaluación de cartas de control.
- La variabilidad de mediciones e instrumentos.
- La evaluación de la deriva (estabilidad) de instrumentos.

### 1.1. Repetibilidad

La repetibilidad puede ser expresada cuantitativamente en términos de la dispersión característica de los resultados. La misma se define, de acuerdo con el VIM (Vocabulario Internacional de Metrología), como la cercanía de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando bajo las mismas condiciones de medición, llamadas “condiciones de repetibilidad” y entre otras se destacan: el mismo procedimiento de medición, el mismo observador, el mismo instrumento de medición utilizado bajo las mismas condiciones, el mismo lugar, repetición en un período corto de tiempo (el mismo día), y condiciones ambientales similares.[2][3]

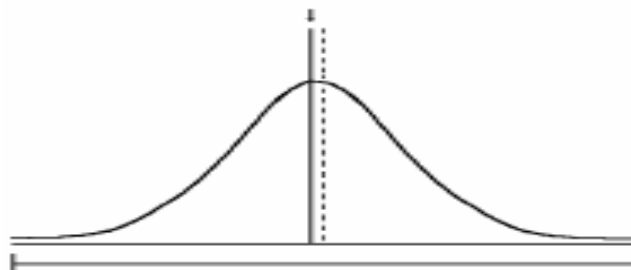


Fig. 1 Representación gráfica del concepto de repetibilidad

## 1.2. Reproducibilidad

La reproducibilidad se define como la cercanía de concordancia entre los valores resultantes de mediciones repetitivas del mismo elemento cambiando las condiciones de medición. Es importante dejar constancia de cuál es la condición que cambia cuando se realizan los ensayos o calibraciones. Estas pueden ser: principio de medición, método de medición, observador, instrumento de medición, patrón de referencia, lugar, condiciones de uso, tiempo en el que se realiza la prueba, condiciones ambientales, entre otras.[2][3]

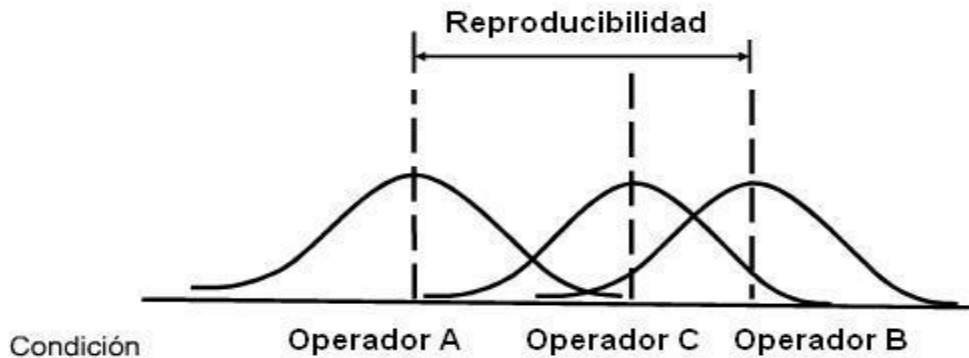


Fig. 2 Representación gráfica del concepto de reproducibilidad

Para asegurar que los resultados son confiables se establecieron unos requerimientos de gestión de la calidad y otros requerimientos técnicos. En los primeros, se contemplan procedimientos que garanticen que las muestras tengan una secuencia segura y los datos correspondan a la verdad; además hay unos requerimientos técnicos para que las mediciones sean lo más confiables posibles.[4]

## 1.3. Norma ISO 16063-21

“Calibración de vibración por comparación con un transductor de referencia”. La norma describe la calibración por comparación de transductores de vibración en el

rango de frecuencias de 0,4 Hz a 10 kHz, haciendo énfasis en cuatro aspectos fundamentales:

- Estimación de la incertidumbre del laboratorio.
- Requerimientos de Equipos y Condiciones Ambientales para validar la calibración.
- Procedimiento de montaje de sensores y el procedimiento de calibración.
- Recopilación y Presentación de los resultados obtenidos.

Dos aplicaciones diferentes de la norma se hacen referencia aquí. El ejemplo 1 es aplicable para casos en los que el transductor de referencia es calibrado por la herramienta principal. El ejemplo 2 es aplicable para casos en los que el transductor de referencia no está calibrado por la herramienta principal, pero tiene una calibración trazable.[5]

#### **1.4. Calibración**

Existen tres términos que tienden a ser mal empleados: Calibrar, Ajustar y Reparar. **Calibrar** es registrar y procesar información de salida de un elemento medida en varios puntos, para luego contrastarla con los “valores confiables” obtenidos en un patrón que tiene trazabilidad certificada, es decir que ha tenido una cadena ininterrumpida de calibraciones registradas por institutos competentes a nivel mundial, que avalan su uso y compatibilidad con el elemento medido.[6] **Ajustar** es realizar una acción de mejora mediante componentes físicos o tecnológicos con el fin de modificar la información de salida y compensar la curva de calibración. **Reparar** es remplazar o reprocesar componentes de un elemento para que pueda ejercer la labor que realizaba; después de reparar es necesario ajustar y luego calibrar.

La calibración de sensores de vibración tiene como objeto indicar la sensibilidad, [7] el error y la incertidumbre en la medición, es decir el grado de confiabilidad de la información suministrada por éste a diferentes frecuencias de operación, dejando

la responsabilidad de decisión sobre su uso directamente al usuario, quien puede elegir entre seguir utilizándolo o desecharlo según los criterios de exactitud que su empresa requiera, teniendo en cuenta que en este medio no existe la posibilidad de ajuste o reparación.

### **1.5. Estado del arte**

En la actualidad empresas a nivel mundial se dedican a realizar calibraciones acreditadas de sensores como The National Instrument, Vibrasens, Grupo Alava y The Modal Shop, entre otras; casi todas con más de 25 años de experiencia.

En Colombia hasta 1998 era la Superintendencia de Industria y Comercio SIC, quien realizaba todo tipo de acreditaciones, pero a partir de esa fecha es el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia ONAC, quien se encarga de esta labor. A-MAQ es una empresa que realiza calibraciones trazables al National Institute of Standards and Technology (NIST),[8], sin embargo ni su laboratorio ni sus métodos se encuentran validados.

La Universidad Pontificia Bolivariana se ha preocupado por apoyar la investigación en el campo de las vibraciones contando con un laboratorio (figuras 3 y 4), donde han participado las facultades de Ingenierías Mecánica, Industrial y Electrónica. Desde el año 2011 en este Laboratorio de Vibraciones se ha venido gestando el proyecto de lograr ser el primer laboratorio de calibración de sensores acreditado en Colombia por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia ONAC, autorizados para expedir Certificados de Calibración y con resultados trazables al National Institute of Standards and Technology (NIST). Esto con la cofinanciación de COLCIENCIAS mediante convocatoria 508 de 2010.



Fig. 3 Area Técnica del Laboratorio de Vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional\_Bucaramanga.



Fig. 4 Equipos empleados para la Calibración de Sensores en el Laboratorio de Vibraciones de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional\_Bucaramanga, según Norma ISO 16063-21

## **2. METODOLOGÍA**

La metodología seguida para realizar este proyecto se describe a continuación:

### **2.1. Definición y parametrización de la metodología**

Reunión con los integrantes del Laboratorio de Vibraciones para coordinar el tipo de pruebas a realizar, cumpliendo con los parámetros de calidad estipulados por los organismos de regulación. A dicha reunión se llevó toda la información recogida acerca de los posibles factores de influencia sobre los resultados de las pruebas de repetibilidad y reproducibilidad en las calibraciones de acelerómetros. Los factores están registrados en la Tabla 1.

### **2.2. Revisión de literatura**

Búsqueda y clasificación de información sobre procedimientos de Calibración de vibración por comparación con un transductor de referencia (ISO 16063-21); además de información referente a la Normatividad sobre los laboratorios que realizan ensayos y calibraciones (ISO 17025). Búsqueda de información sobre los factores que afectan la Repetibilidad y Reproducibilidad de los ensayos y calibraciones de sensores de vibración.

### **2.3. Diseño de las pruebas**

Proponer el procedimiento a seguir para la realización de pruebas y la forma de recolección de datos tendientes a medir la variabilidad en los resultados, según lo requerido para la evaluación estadística. La documentación de esta parte fue un poco demorada debido a que no se cuenta con procedimientos claros acerca de la forma como se pueden hacer variar algunas condiciones sin que se alteren las demás. En algunos de estos casos diseñamos los instructivos basados en experiencias de otros laboratorios para pruebas afines a la que se realiza con acelerómetros.

## **2.4. Realización de las pruebas**

Desarrollar mínimo cien pruebas, registrando y documentando los resultados de la forma que lo requiere la evaluación estadística. Por cada factor a tener en cuenta, realizamos cuatro pruebas según la norma ISO 16063-21, haciendo el barrido completo en el rango de frecuencias desde 5 hasta 10.000 Hz. Los datos recogidos se guardaron en archivos y carpetas tal como lo establece la Norma ISO 17025.

## **2.5. Entrega de datos para la evaluación estadística**

La evaluación estadística no es un alcance del proyecto, pero la siguiente fase depende del desarrollo de la misma. Estos datos se le extendieron al Ingeniero Sergio Gómez (Coordinador de calidad del laboratorio de vibraciones), quien realizó una evaluación estadística para determinar los factores que realmente incidían de manera significativa en la estimación del valor de incertidumbre de la prueba.

## **2.6. Rediseño de pruebas**

Basados en la evaluación estadística se elaboraron nuevas pruebas, concentrándonos ahora solo en los factores que nos arrojaron una incidencia significativamente mayor con respecto a otras. Nuevamente se estipuló que se hicieran cuatro calibraciones por cada factor de incidencia.

## **2.7. Realización de las pruebas**

Desarrollar mínimo otras cien pruebas, registrando y documentando los resultados según las orientaciones dadas por la evaluación estadística. Esta vez nos concentramos en los 12 factores mas dominantes.

## **2.8. Elaboración de procedimientos, instructivos y formatos**

Con la información obtenida, se elaboran todos los documentos tendientes a registrar la metodología empleada en la realización de las pruebas, cumpliendo siempre con las políticas de calidad del Laboratorio de Vibraciones.

## **2.9. Presentación de resultados**

Sustentación y redacción del libro mostrando los resultados obtenidos con sus respectivas gráficas.

## **3. RESULTADOS**

Se realizaron modificaciones a los procedimientos e instructivos ya existentes del laboratorio, debido a la cantidad de nueva información obtenida a partir de las pruebas realizadas. Algunos de estos documentos fueron los siguientes:

- Procedimiento de manipulación de ítems de calibración y ensayo PC-401-008.
- Procedimiento de calibración de sensores PC-401-001
- Instructivo de Montaje de Equipos IN-401-001
- Instructivo de Encendido de Equipos IN-401-005
- Instructivo de Montaje de Sensores a Calibrar IN-401-003

A continuación se muestran los documentos generados durante el cumplimiento de cada uno de los pasos contemplados en LA METODOLOGÍA, y que enmarcan el proceso de identificación de cada uno de los factores y la magnitud de su influencia sobre los procesos de repetibilidad y reproducibilidad en las pruebas de calibración de sensores. Estos son:

- Listado de posibles factores de incidencia.
- Tablas con los valores de sensibilidad para cada una de las frecuencias solicitadas.
- Gráficas generadas con los valores de sensibilidad.
- Resultado macro del estudio estadístico de los datos obtenidos
- Listado de factores que arrojaron mayor incidencia en los valores de sensibilidad.
- Tablas y gráficas con los valores de sensibilidad de los factores de mayor incidencia.

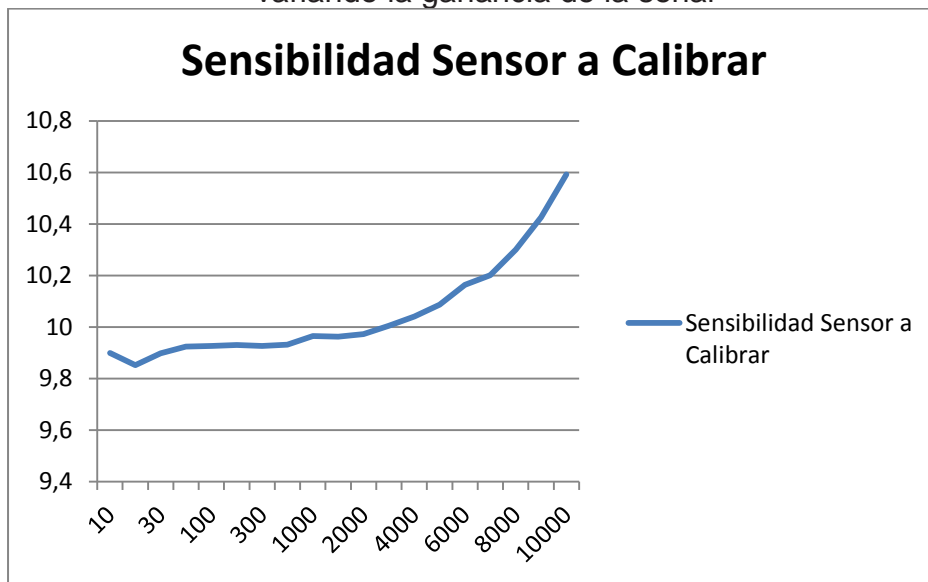


<b>LISTADO DE POSIBLES FACTORES QUE AFECTEN LA REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD EN LA CALIBRACIÓN DE SENSORES DE VIBRACIÓN</b>			
#	NOMBRE DEL FACTOR	FORMA COMO SE MIDIÓ	TIPO DE FACTOR
1	INCERTIDUMBRE SENSOR PATRÓN	tomada de su certificado de calibración	CONJUNTO SHAKER-AMPLIFICADOR
2	GANANCIA DE LA SENAL	manipulando la perilla del amplificador	
3	MEDIDA DEL VOLTAJE	cambiando cifras significativas en el software	SOFTWARE
4	EFFECTO DISTORSIÓN ARMÓNICA SOBRE LA MEDIDA DE VOLTAJE	cambio en la frecuencia de muestreo	
5	EFFECTO DE LA NO LINEALIDAD DEL AMPLIFICADOR	NO APLICA (cambiar las rampas de las gravedades)	
6	MEJORA DEL SOFTWARE	PRIMERA VERSIÓN el software hace un escaneo y luego realiza la calibración. SEGUNDA VERSIÓN el software hace un barrido al mismo tiempo que realiza la calibración)	
7	CAMBIO DE EQUIPO DE CÓMPUTO	el mismo software pero instalado en otro equipo	
8	EFFECTO DEL RUIDO SOBRE LA MEDIDA DE VOLTAJE	cambiando decibeles de ruido externo	AGENTES EXTERNOS
9	EFFECTO VIBRATORIO EXTERNO	por medio de otro shaker aplicamos vibración al pedestal	
10	EFFECTO DE LA TENSIÓN EXTERNA SOBRE EL VOLTAJE	pasar corriente eléctrica por cables cercanos al amplificador	
11	TEMPERATURA	llevándolo a temperaturas fuera del rango permitido	
12	EFFECTO DE LA ACCIÓN DE LA GRAVEDAD	NO APLICA (cambiar el sitio de la prueba)	
13	EFFECTO DEL CAMPO MAGNÉTICO DEL PLANETA	cambiando la ubicación (orientación) del shaker	
14	EFFECTO DE OTRAS CONDICIONES AMBIENTALES (HUMEDAD)	variando el porcentaje de humedad del sitio	
15	TORQUE	ajustar el apriete de los sensores con el torquímetro	DE MONTAJE
16	CABLE	cambiando el tipo de cable y su longitud	
17	ESTABILIDAD DEL EQUIPO DE CALIBRACIÓN EN EL TIEMPO	comparación entre certificados	INTER-INSTITUCIONAL
18	FRECUENCIA DE VIBRACIÓN	haciendo pruebas de repetibilidad	REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD
19	NO LINEALIDAD DEL SENSOR PATRÓN	hacer pruebas de reproducibilidad con varios sensores del mismo tipo	
20	EFFECTOS RESIDUALES SOBRE LA SENSIBILIDAD MEDIDA PATRÓN	analizando efectos de la media aritmética, desviación estandar, aleatoriedad	CÁLCULOS

Tabla 1. Posibles factores que afecten la Repetibilidad y la Reproducibilidad en la calibración de sensores de vibración

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00978986	0,00989963	9,898861478
15	1	9,8014	0,00979648	0,0098472	9,852145473
30	2	9,8303	0,01966109	0,01979606	9,897783318
50	2	9,8579	0,01971524	0,01984819	9,924376888
100	2	9,8632	0,0196971	0,01982251	9,925998275
160	2	9,8729	0,0197546	0,01986979	9,930469343
300	2	9,8717	0,01973756	0,0198472	9,92653622
500	2	9,88	0,01975847	0,01986076	9,93114896
1000	2	9,9111	0,01981715	0,01992448	9,964778675
1500	2	9,9041	0,01980652	0,01992246	9,962074917
2000	2	9,9102	0,0198156	0,01994094	9,972885181
3000	2	9,9196	0,01983541	0,02000553	10,00467625
4000	2	9,9327	0,01986576	0,02008209	10,04086304
5000	2	9,9582	0,01991519	0,02017177	10,08649779
6000	2	9,9857	0,019965	0,02031977	10,16314186
7000	2	9,9992	0,01999585	0,02039986	10,20123076
8000	2	10,038	0,02008375	0,02060972	10,30088352
9000	2	10,0916	0,02018495	0,02085219	10,42519108
10000	2	10,1299	0,02026449	0,02118955	10,59232295
					9,980216778

Tabla 2. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la ganancia de la señal

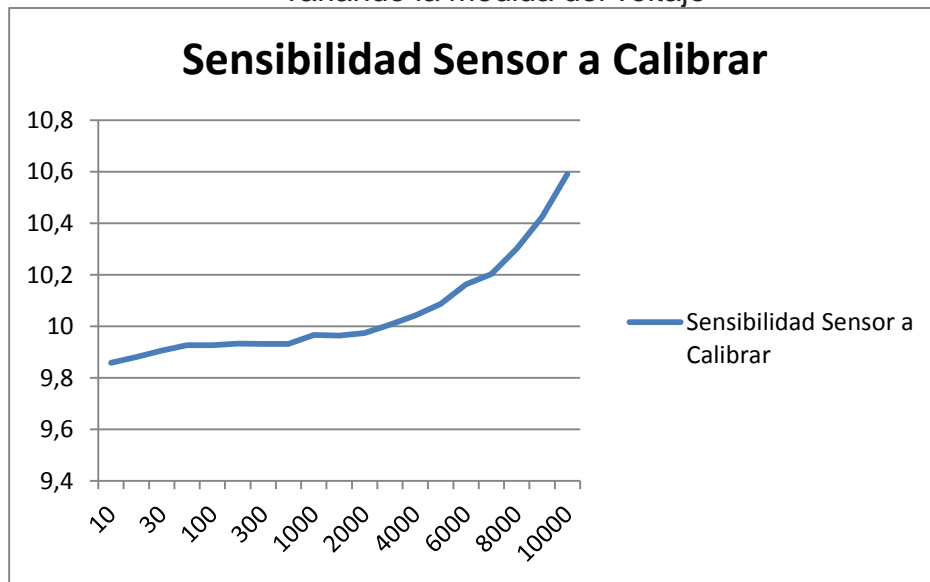


Gráfica 1. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la ganancia de la señal

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00979462	0,00986376	9,858201034
15	1	9,8014	0,0098013	0,00988037	9,880470807
30	2	9,8303	0,01965536	0,0198058	9,905540053
50	2	9,8579	0,01971953	0,01985651	9,926377045
100	2	9,8632	0,01970367	0,01982958	9,926227624
160	2	9,8729	0,01974965	0,01986856	9,93234341
300	2	9,8717	0,01974304	0,01986226	9,931311087
500	2	9,88	0,01975503	0,01985784	9,931417933
1000	2	9,9111	0,01981667	0,01992609	9,965825267
1500	2	9,9041	0,01980723	0,01992635	9,963662917
2000	2	9,9102	0,01981702	0,01994321	9,973305762
3000	2	9,9196	0,01983612	0,02000891	10,00600841
4000	2	9,9327	0,01986573	0,02008444	10,04205318
5000	2	9,9582	0,01991516	0,02017283	10,08704302
6000	2	9,9857	0,01996539	0,02031973	10,16292333
7000	2	9,9992	0,01999578	0,02040185	10,2022616
8000	2	10,038	0,02008478	0,02061089	10,30094001
9000	2	10,0916	0,02018438	0,02085115	10,42496551
10000	2	10,1299	0,02026423	0,02118553	10,5904493

9,980935781

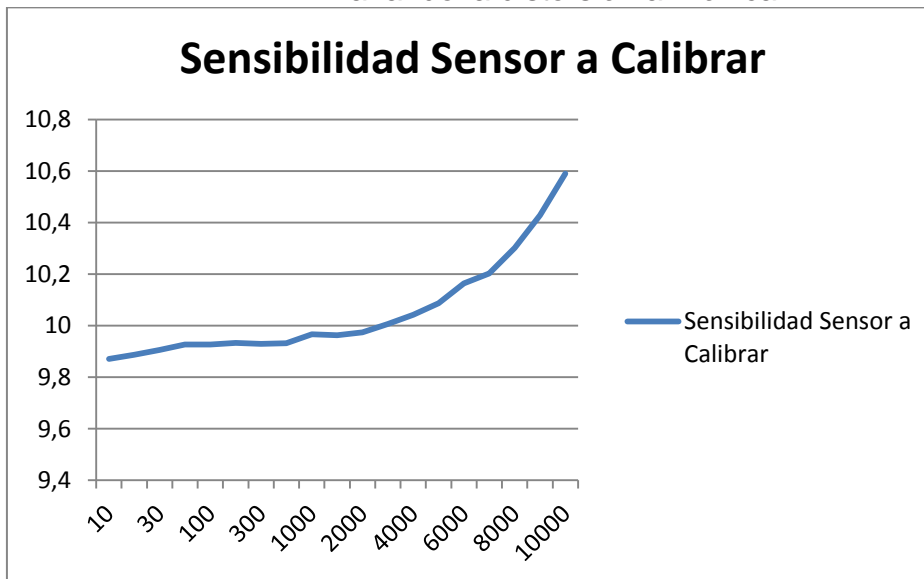
Tabla 3. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la medida del voltaje



Gráfica 1. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la medida del voltaje

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00978939	0,00987028	9,869987604
15	1	9,8014	0,00980227	0,00988761	9,886732426
30	2	9,8303	0,01965757	0,01980736	9,905206544
50	2	9,8579	0,01971883	0,01985691	9,926929391
100	2	9,8632	0,01970422	0,0198295	9,925910511
160	2	9,8729	0,01974887	0,01986733	9,932120793
300	2	9,8717	0,01973665	0,01984997	9,928379378
500	2	9,88	0,0197562	0,01985976	9,93178996
1000	2	9,9111	0,01981593	0,01992533	9,965817308
1500	2	9,9041	0,01980589	0,01992333	9,962826849
2000	2	9,9102	0,0198153	0,01994213	9,973631322
3000	2	9,9196	0,01983555	0,02000872	10,00620093
4000	2	9,9327	0,01986552	0,02008365	10,04176434
5000	2	9,9582	0,01991538	0,02017156	10,08629656
6000	2	9,9857	0,01996526	0,02031992	10,16308454
7000	2	9,9992	0,01999532	0,02040082	10,20198123
8000	2	10,038	0,02008484	0,02061276	10,30184382
9000	2	10,0916	0,02018463	0,02085704	10,42778118
10000	2	10,1299	0,02026368	0,02118285	10,589397

Tabla 4. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la distorsión armónica

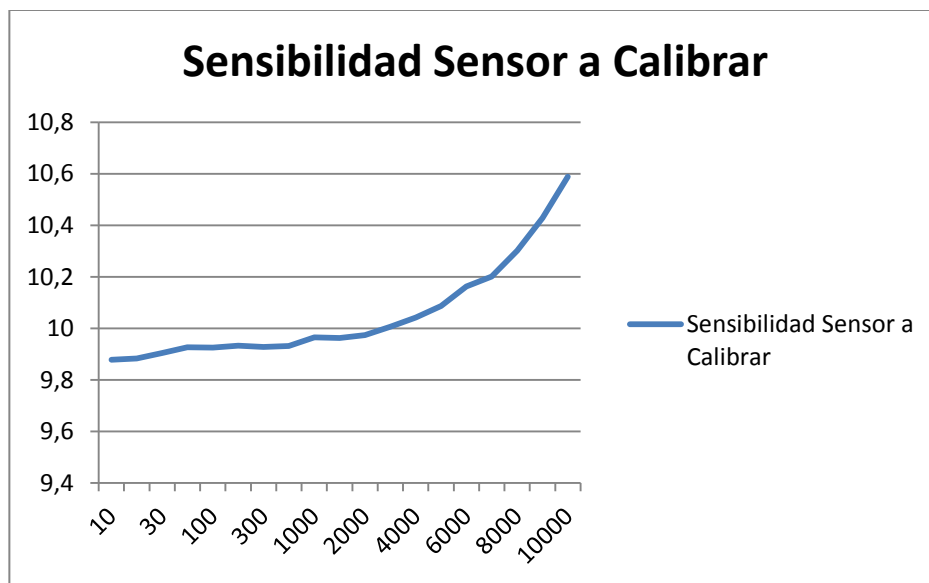


Gráfica 2. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la distorsión armónica

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00978738	0,00987667	9,878405692
15	1	9,8014	0,00979627	0,00987796	9,883132778
30	2	9,8303	0,01965544	0,01980403	9,904614504
50	2	9,8579	0,01971993	0,01985795	9,926895547
100	2	9,8632	0,01970172	0,01982539	9,92511246
160	2	9,8729	0,01975166	0,01987116	9,932632273
300	2	9,8717	0,01973709	0,01984957	9,92795798
500	2	9,88	0,01975527	0,01985879	9,931772393
1000	2	9,9111	0,01981565	0,01992383	9,965207879
1500	2	9,9041	0,01980501	0,01992256	9,962884467
2000	2	9,9102	0,01981516	0,01994153	9,973401709
3000	2	9,9196	0,0198352	0,02000724	10,00563735
4000	2	9,9327	0,01986502	0,02008435	10,0423671
5000	2	9,9582	0,01991553	0,02017229	10,08658561
6000	2	9,9857	0,01996655	0,02031999	10,16246293
7000	2	9,9992	0,01999527	0,0203989	10,20104659
8000	2	10,038	0,02008377	0,02061123	10,30162797
9000	2	10,0916	0,02018474	0,02085873	10,42856929
10000	2	10,1299	0,0202641	0,021181	10,58825272

9,981882328

Tabla 5. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la no linealidad del amplificador

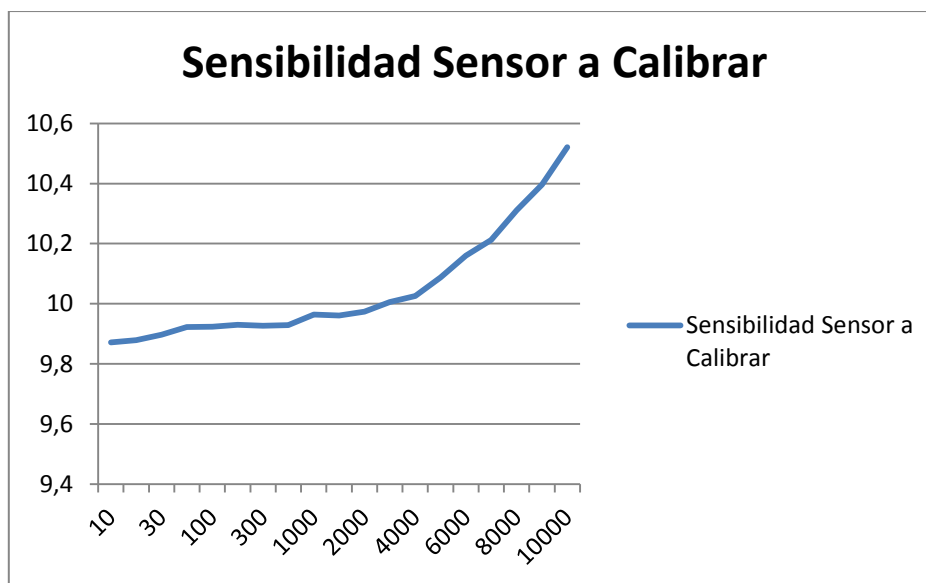


Gráfica 3. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la no linealidad del amplificador

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00978711	0,00986962	9,871626777
15	1	9,8014	0,00979598	0,00987394	9,879403134
30	2	9,8303	0,01965773	0,01979159	9,897239772
50	2	9,8579	0,01972135	0,01984987	9,922141916
100	2	9,8632	0,01970129	0,01982103	9,923146306
160	2	9,8729	0,01975387	0,01986713	9,929506865
300	2	9,8717	0,01974167	0,01985283	9,927284871
500	2	9,88	0,01975593	0,01985382	9,928955083
1000	2	9,9111	0,01981544	0,01992038	9,9635879
1500	2	9,9041	0,01980629	0,01991947	9,960695457
2000	2	9,9102	0,01981556	0,01994146	9,973165376
3000	2	9,9196	0,01983661	0,02000909	10,00585126
4000	2	9,9327	0,019865	0,02005038	10,02539187
5000	2	9,9582	0,0199154	0,02017327	10,08714147
6000	2	9,9857	0,01996505	0,02031345	10,15995541
7000	2	9,9992	0,01999572	0,020422	10,21236857
8000	2	10,038	0,02008431	0,02063014	10,31080208
9000	2	10,0916	0,02018387	0,02079252	10,3959149
10000	2	10,1299	0,02026451	0,02104573	10,52041921

9,979216377

Tabla 6. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el software

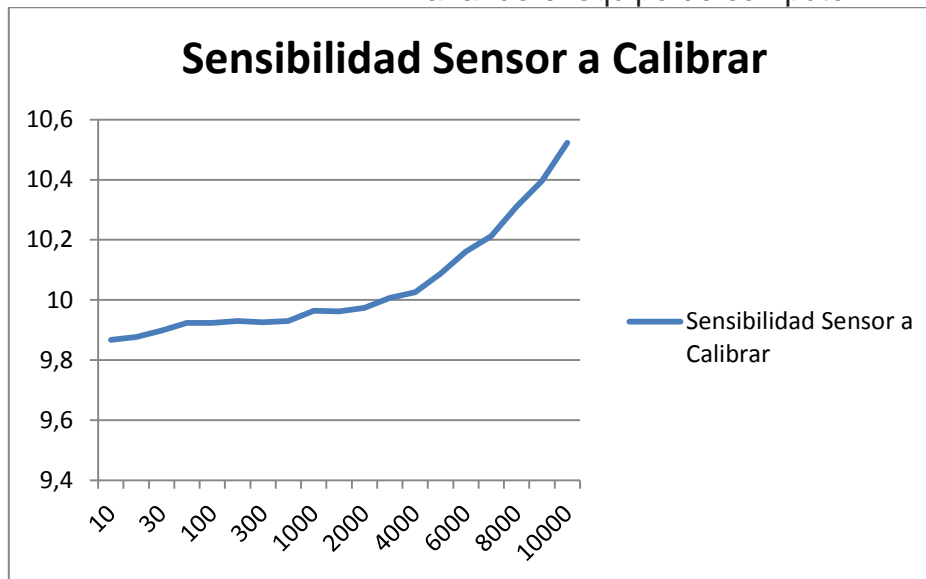


Gráfica 4. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el software

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00979486	0,0098732	9,867393931
15	1	9,8014	0,00980115	0,00987609	9,876341912
30	2	9,8303	0,01966039	0,01979652	9,898365727
50	2	9,8579	0,01971647	0,01984713	9,92322778
100	2	9,8632	0,01969545	0,0198161	9,923619796
160	2	9,8729	0,01975159	0,0198654	9,929788319
300	2	9,8717	0,0197404	0,0198487	9,925858229
500	2	9,88	0,01975929	0,01985898	9,929846791
1000	2	9,9111	0,01981716	0,01992235	9,963708376
1500	2	9,9041	0,01980528	0,01992065	9,961793505
2000	2	9,9102	0,01981718	0,01994345	9,973345259
3000	2	9,9196	0,01983596	0,02001049	10,00687925
4000	2	9,9327	0,01986532	0,02005106	10,02557037
5000	2	9,9582	0,01991542	0,02017397	10,08748136
6000	2	9,9857	0,01996702	0,02031692	10,16068838
7000	2	9,9992	0,01999552	0,02042234	10,21264074
8000	2	10,038	0,02008469	0,02063143	10,31125172
9000	2	10,0916	0,02018475	0,02079471	10,39655658
10000	2	10,1299	0,0202621	0,02104938	10,52349532

9,979159358

Tabla 7. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el equipo de cómputo

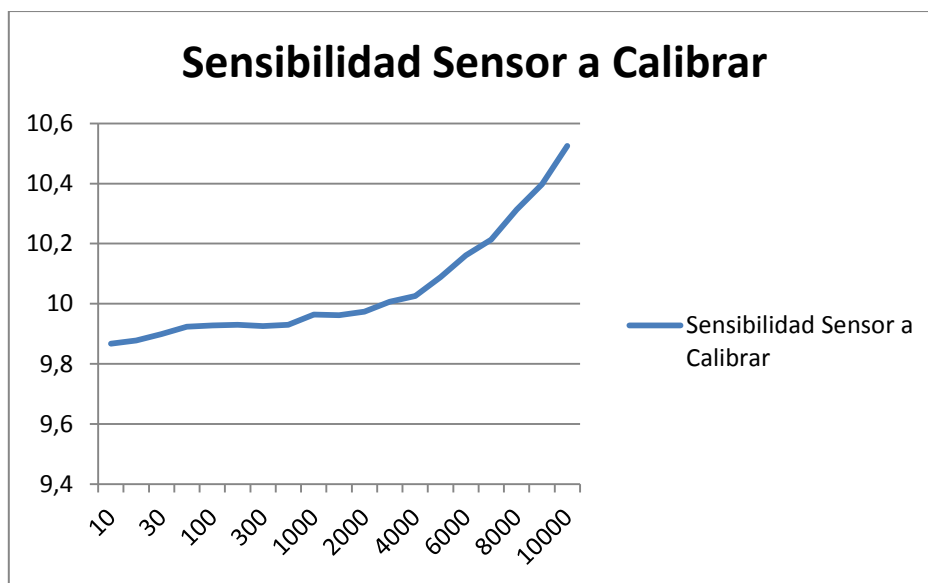


Gráfica 5. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el equipo de cómputo

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00979381	0,00987234	9,867592234
15	1	9,8014	0,00979702	0,00987364	9,878054255
30	2	9,8303	0,01965861	0,01979577	9,898886942
50	2	9,8579	0,01971513	0,01984591	9,923292222
100	2	9,8632	0,01970161	0,01983127	9,928111574
160	2	9,8729	0,01974991	0,01986392	9,929893137
300	2	9,8717	0,01973778	0,01984633	9,925990454
500	2	9,88	0,01975516	0,01985471	9,929787195
1000	2	9,9111	0,01981684	0,01992233	9,963859266
1500	2	9,9041	0,01980522	0,01992037	9,961683663
2000	2	9,9102	0,01981766	0,01994426	9,973508752
3000	2	9,9196	0,01983531	0,02000941	10,00666707
4000	2	9,9327	0,01986527	0,02005143	10,02578061
5000	2	9,9582	0,0199154	0,02017531	10,08816153
6000	2	9,9857	0,01996636	0,02031774	10,16143435
7000	2	9,9992	0,01999588	0,02042359	10,21308195
8000	2	10,038	0,02008454	0,02063425	10,31273813
9000	2	10,0916	0,02017581	0,02078816	10,39788715
10000	2	10,1299	0,02026485	0,02105514	10,52494653

9,979736575

Tabla 8. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el nivel de ruido



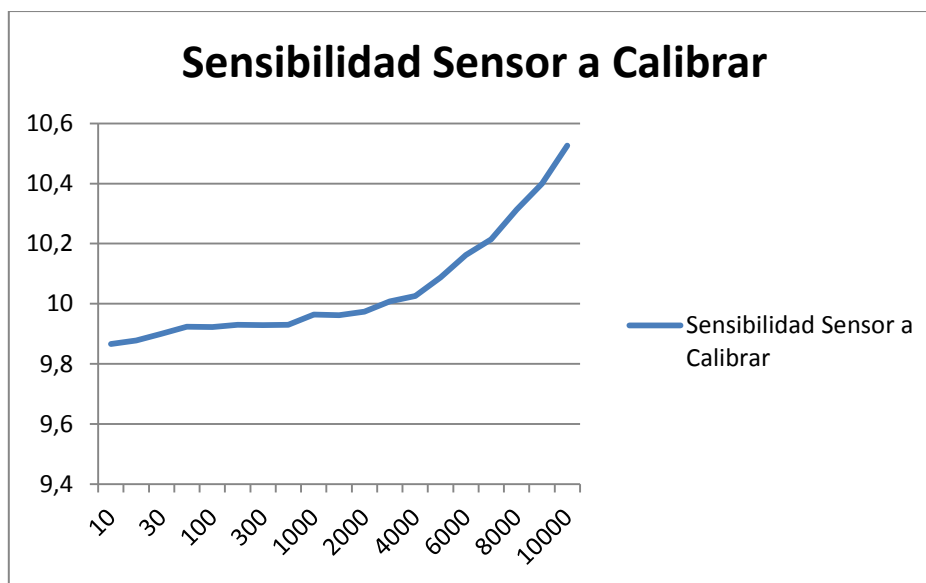
Gráfica 6. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el nivel de ruido



Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00979242	0,00986939	9,866043904
15	1	9,8014	0,00979888	0,00987506	9,877599591
30	2	9,8303	0,01965917	0,01979929	9,900365096
50	2	9,8579	0,01972268	0,01985493	9,924001933
100	2	9,8632	0,01970022	0,01981982	9,923079469
160	2	9,8729	0,01974707	0,01986028	9,92950136
300	2	9,8717	0,01973803	0,01985161	9,92850545
500	2	9,88	0,01975712	0,01985696	9,929927277
1000	2	9,9111	0,01981544	0,01992155	9,9641731
1500	2	9,9041	0,01980553	0,01992095	9,96181778
2000	2	9,9102	0,01981503	0,01994248	9,97394227
3000	2	9,9196	0,01983534	0,02001129	10,00759212
4000	2	9,9327	0,01986529	0,02005098	10,02554551
5000	2	9,9582	0,01991526	0,0201746	10,08787742
6000	2	9,9857	0,01996518	0,02031684	10,16158478
7000	2	9,9992	0,01999538	0,02042549	10,21428748
8000	2	10,038	0,02008482	0,02063541	10,31317411
9000	2	10,0916	0,02018495	0,02080026	10,39922833
10000	2	10,1299	0,02026163	0,02105492	10,52650918

9,979740284

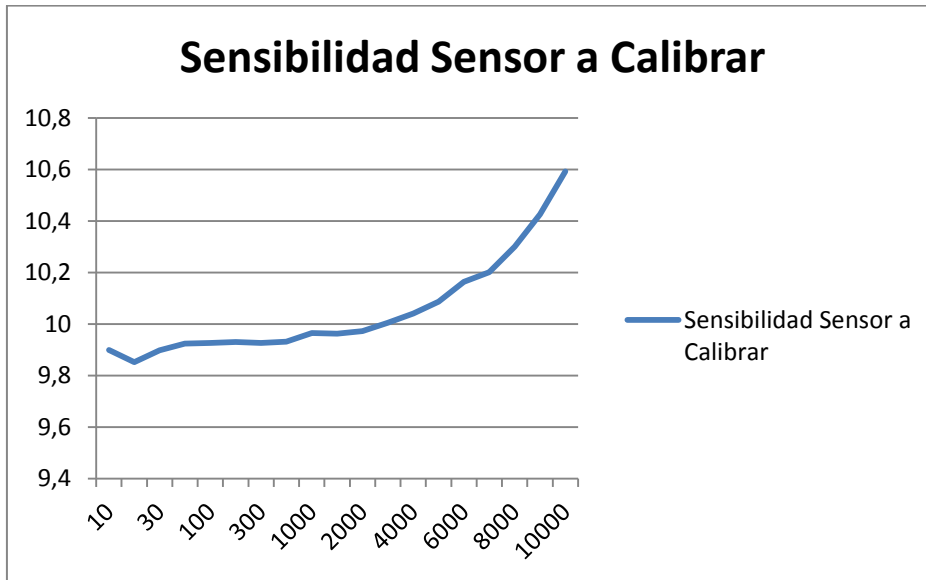
Tabla 9. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el efecto vibratorio externo



Gráfica 7. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el efecto vibratorio externo

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00978986	0,00989963	9,898861478
15	1	9,8014	0,00979648	0,0098472	9,852145473
30	2	9,8303	0,01966109	0,01979606	9,897783318
50	2	9,8579	0,01971524	0,01984819	9,924376888
100	2	9,8632	0,0196971	0,01982251	9,925998275
160	2	9,8729	0,0197546	0,01986979	9,930469343
300	2	9,8717	0,01973756	0,0198472	9,92653622
500	2	9,88	0,01975847	0,01986076	9,93114896
1000	2	9,9111	0,01981715	0,01992448	9,964778675
1500	2	9,9041	0,01980652	0,01992246	9,962074917
2000	2	9,9102	0,0198156	0,01994094	9,972885181
3000	2	9,9196	0,01983541	0,02000553	10,00467625
4000	2	9,9327	0,01986576	0,02008209	10,04086304
5000	2	9,9582	0,01991519	0,02017177	10,08649779
6000	2	9,9857	0,019965	0,02031977	10,16314186
7000	2	9,9992	0,01999585	0,02039986	10,20123076
8000	2	10,038	0,02008375	0,02060972	10,30088352
9000	2	10,0916	0,02018495	0,02085219	10,42519108
10000	2	10,1299	0,02026449	0,02118955	10,59232295
					9,980216778

Tabla 10. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la tensión externa

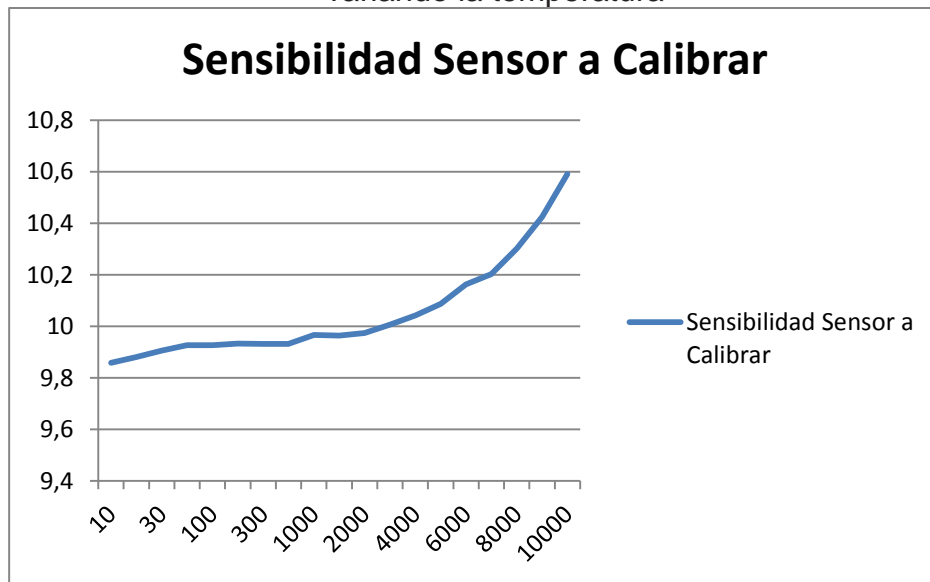


Gráfica 8. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la tensión externa

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00979462	0,00986376	9,858201034
15	1	9,8014	0,0098013	0,00988037	9,880470807
30	2	9,8303	0,01965536	0,0198058	9,905540053
50	2	9,8579	0,01971953	0,01985651	9,926377045
100	2	9,8632	0,01970367	0,01982958	9,926227624
160	2	9,8729	0,01974965	0,01986856	9,93234341
300	2	9,8717	0,01974304	0,01986226	9,931311087
500	2	9,88	0,01975503	0,01985784	9,931417933
1000	2	9,9111	0,01981667	0,01992609	9,965825267
1500	2	9,9041	0,01980723	0,01992635	9,963662917
2000	2	9,9102	0,01981702	0,01994321	9,973305762
3000	2	9,9196	0,01983612	0,02000891	10,00600841
4000	2	9,9327	0,01986573	0,02008444	10,04205318
5000	2	9,9582	0,01991516	0,02017283	10,08704302
6000	2	9,9857	0,01996539	0,02031973	10,16292333
7000	2	9,9992	0,01999578	0,02040185	10,2022616
8000	2	10,038	0,02008478	0,02061089	10,30094001
9000	2	10,0916	0,02018438	0,02085115	10,42496551
10000	2	10,1299	0,02026423	0,02118553	10,5904493

9,980935781

Tabla 11. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la temperatura

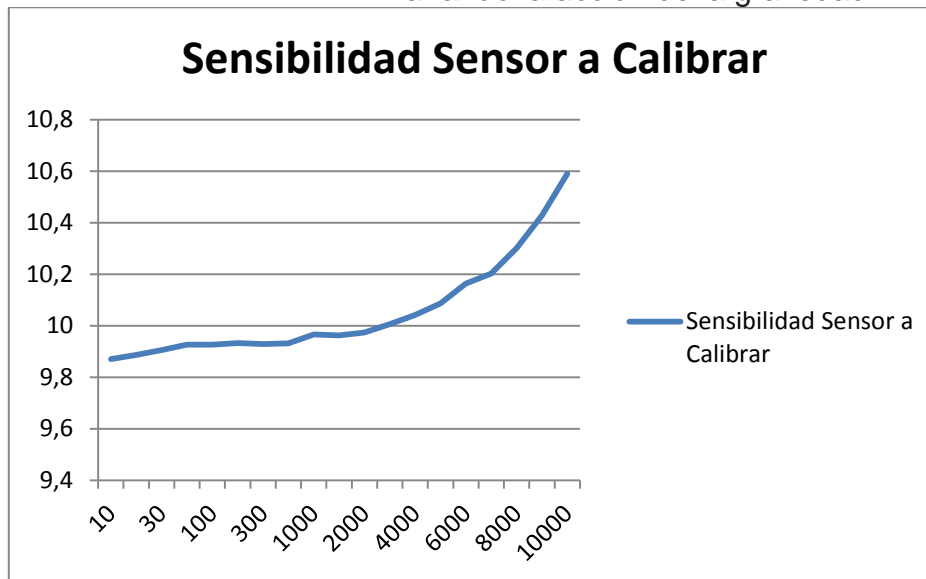


Gráfica 9. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la temperatura

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00978939	0,00987028	9,869987604
15	1	9,8014	0,00980227	0,00988761	9,886732426
30	2	9,8303	0,01965757	0,01980736	9,905206544
50	2	9,8579	0,01971883	0,01985691	9,926929391
100	2	9,8632	0,01970422	0,0198295	9,925910511
160	2	9,8729	0,01974887	0,01986733	9,932120793
300	2	9,8717	0,01973665	0,01984997	9,928379378
500	2	9,88	0,0197562	0,01985976	9,93178996
1000	2	9,9111	0,01981593	0,01992533	9,965817308
1500	2	9,9041	0,01980589	0,01992333	9,962826849
2000	2	9,9102	0,0198153	0,01994213	9,973631322
3000	2	9,9196	0,01983555	0,02000872	10,00620093
4000	2	9,9327	0,01986552	0,02008365	10,04176434
5000	2	9,9582	0,01991538	0,02017156	10,08629656
6000	2	9,9857	0,01996526	0,02031992	10,16308454
7000	2	9,9992	0,01999532	0,02040082	10,20198123
8000	2	10,038	0,02008484	0,02061276	10,30184382
9000	2	10,0916	0,02018463	0,02085704	10,42778118
10000	2	10,1299	0,02026368	0,02118285	10,589397

9,98179123

Tabla 12. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la acción de la gravedad

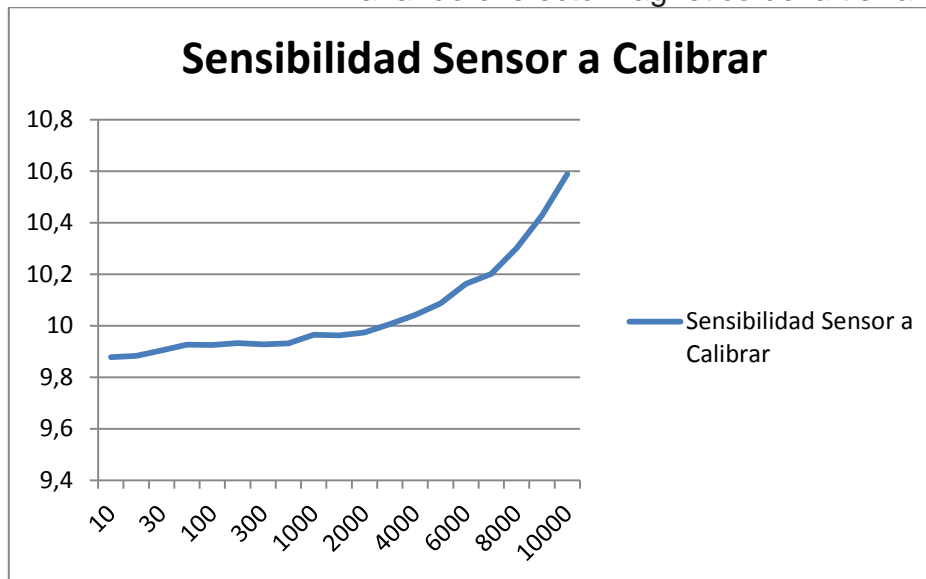


Gráfica 10. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la acción de gravedad

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00978738	0,00987667	9,878405692
15	1	9,8014	0,00979627	0,00987796	9,883132778
30	2	9,8303	0,01965544	0,01980403	9,904614504
50	2	9,8579	0,01971993	0,01985795	9,926895547
100	2	9,8632	0,01970172	0,01982539	9,92511246
160	2	9,8729	0,01975166	0,01987116	9,932632273
300	2	9,8717	0,01973709	0,01984957	9,92795798
500	2	9,88	0,01975527	0,01985879	9,931772393
1000	2	9,9111	0,01981565	0,01992383	9,965207879
1500	2	9,9041	0,01980501	0,01992256	9,962884467
2000	2	9,9102	0,01981516	0,01994153	9,973401709
3000	2	9,9196	0,0198352	0,02000724	10,00563735
4000	2	9,9327	0,01986502	0,02008435	10,0423671
5000	2	9,9582	0,01991553	0,02017229	10,08658561
6000	2	9,9857	0,01996655	0,02031999	10,16246293
7000	2	9,9992	0,01999527	0,0203989	10,20104659
8000	2	10,038	0,02008377	0,02061123	10,30162797
9000	2	10,0916	0,02018474	0,02085873	10,42856929
10000	2	10,1299	0,0202641	0,021181	10,58825272

9,981882328

Tabla 13. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el efecto magnético de la tierra

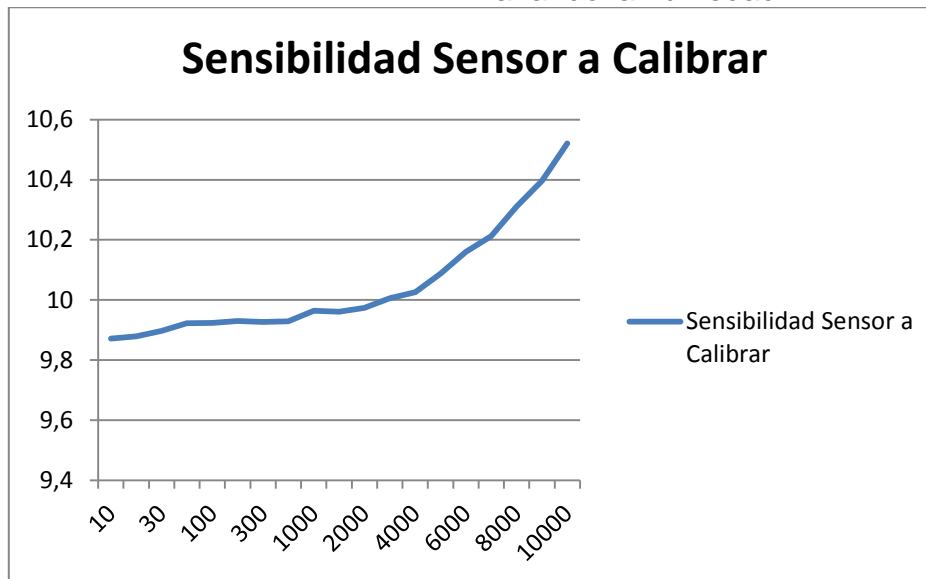


Gráfica 11. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el efecto magnético de la tierra

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00978711	0,00986962	9,871626777
15	1	9,8014	0,00979598	0,00987394	9,879403134
30	2	9,8303	0,01965773	0,01979159	9,897239772
50	2	9,8579	0,01972135	0,01984987	9,922141916
100	2	9,8632	0,01970129	0,01982103	9,923146306
160	2	9,8729	0,01975387	0,01986713	9,929506865
300	2	9,8717	0,01974167	0,01985283	9,927284871
500	2	9,88	0,01975593	0,01985382	9,928955083
1000	2	9,9111	0,01981544	0,01992038	9,9635879
1500	2	9,9041	0,01980629	0,01991947	9,960695457
2000	2	9,9102	0,01981556	0,01994146	9,973165376
3000	2	9,9196	0,01983661	0,02000909	10,00585126
4000	2	9,9327	0,019865	0,02005038	10,02539187
5000	2	9,9582	0,0199154	0,02017327	10,08714147
6000	2	9,9857	0,01996505	0,02031345	10,15995541
7000	2	9,9992	0,01999572	0,020422	10,21236857
8000	2	10,038	0,02008431	0,02063014	10,31080208
9000	2	10,0916	0,02018387	0,02079252	10,3959149
10000	2	10,1299	0,02026451	0,02104573	10,52041921

9,979216377

Tabla 14. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la humedad

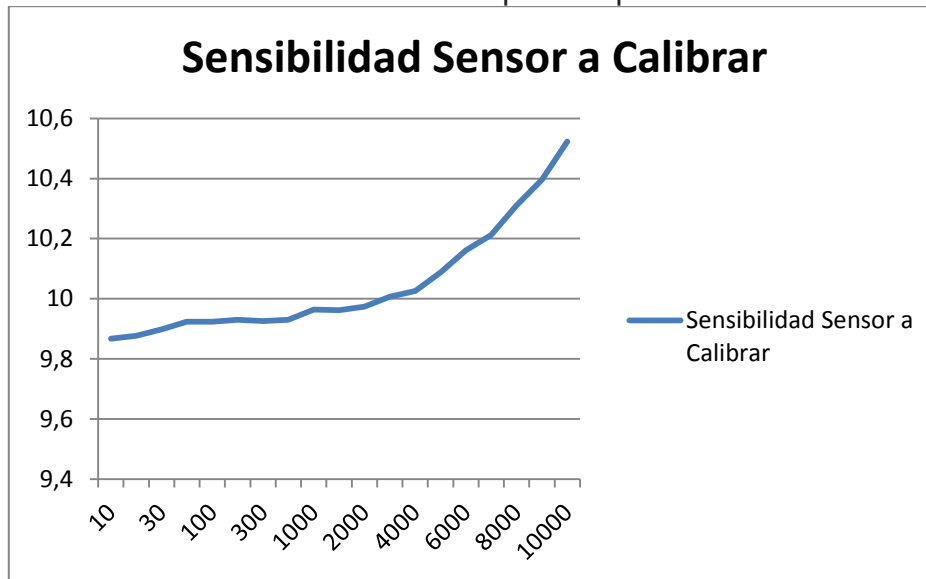


Gráfica 12. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la humedad

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00979486	0,0098732	9,867393931
15	1	9,8014	0,00980115	0,00987609	9,876341912
30	2	9,8303	0,01966039	0,01979652	9,898365727
50	2	9,8579	0,01971647	0,01984713	9,92322778
100	2	9,8632	0,01969545	0,0198161	9,923619796
160	2	9,8729	0,01975159	0,0198654	9,929788319
300	2	9,8717	0,0197404	0,0198487	9,925858229
500	2	9,88	0,01975929	0,01985898	9,929846791
1000	2	9,9111	0,01981716	0,01992235	9,963708376
1500	2	9,9041	0,01980528	0,01992065	9,961793505
2000	2	9,9102	0,01981718	0,01994345	9,973345259
3000	2	9,9196	0,01983596	0,02001049	10,00687925
4000	2	9,9327	0,01986532	0,02005106	10,02557037
5000	2	9,9582	0,01991542	0,02017397	10,08748136
6000	2	9,9857	0,01996702	0,02031692	10,16068838
7000	2	9,9992	0,01999552	0,02042234	10,21264074
8000	2	10,038	0,02008469	0,02063143	10,31125172
9000	2	10,0916	0,02018475	0,02079471	10,39655658
10000	2	10,1299	0,0202621	0,02104938	10,52349532

9,979159358

Tabla 15. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el torque de apriete del sensor a medir

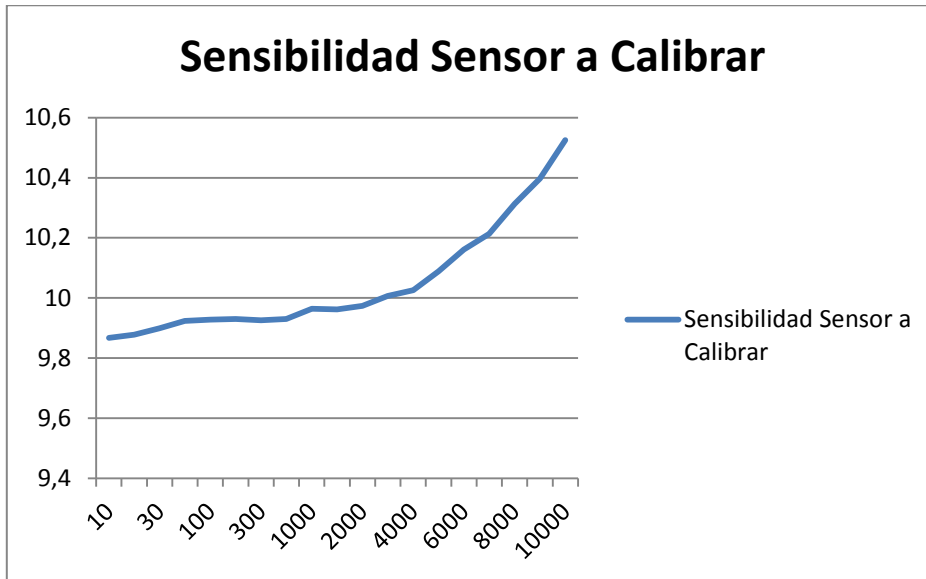


Gráfica 13. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el torque de apriete del sensor a medir

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00979381	0,00987234	9,867592234
15	1	9,8014	0,00979702	0,00987364	9,878054255
30	2	9,8303	0,01965861	0,01979577	9,898886942
50	2	9,8579	0,01971513	0,01984591	9,923292222
100	2	9,8632	0,01970161	0,01983127	9,928111574
160	2	9,8729	0,01974991	0,01986392	9,929893137
300	2	9,8717	0,01973778	0,01984633	9,925990454
500	2	9,88	0,01975516	0,01985471	9,929787195
1000	2	9,9111	0,01981684	0,01992233	9,963859266
1500	2	9,9041	0,01980522	0,01992037	9,961683663
2000	2	9,9102	0,01981766	0,01994426	9,973508752
3000	2	9,9196	0,01983531	0,02000941	10,00666707
4000	2	9,9327	0,01986527	0,02005143	10,02578061
5000	2	9,9582	0,0199154	0,02017531	10,08816153
6000	2	9,9857	0,01996636	0,02031774	10,16143435
7000	2	9,9992	0,01999588	0,02042359	10,21308195
8000	2	10,038	0,02008454	0,02063425	10,31273813
9000	2	10,0916	0,02017581	0,02078816	10,39788715
10000	2	10,1299	0,02026485	0,02105514	10,52494653

9,979736575

Tabla 16. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el cable de señal



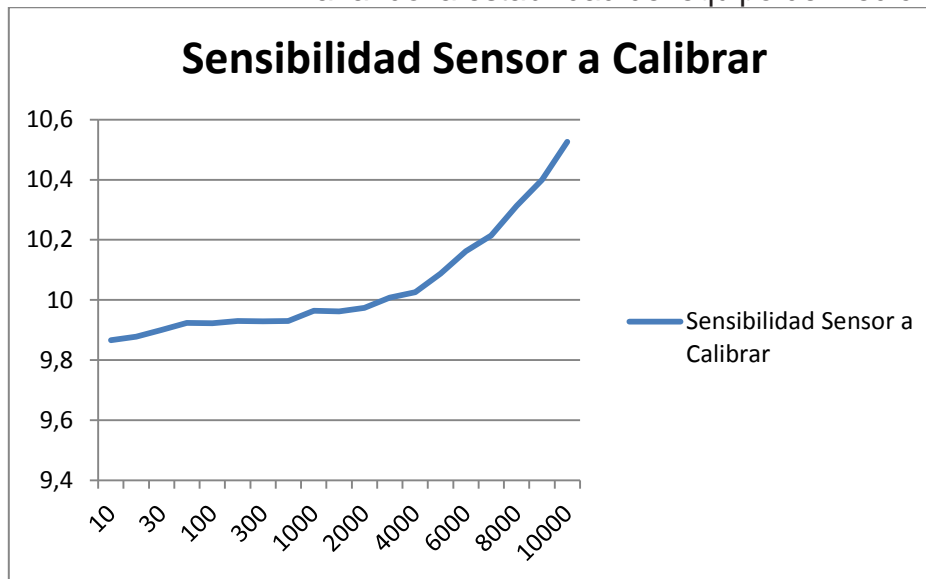
Gráfica 14. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el cable de señal



Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00979242	0,00986939	9,866043904
15	1	9,8014	0,00979888	0,00987506	9,877599591
30	2	9,8303	0,01965917	0,01979929	9,900365096
50	2	9,8579	0,01972268	0,01985493	9,924001933
100	2	9,8632	0,01970022	0,01981982	9,923079469
160	2	9,8729	0,01974707	0,01986028	9,92950136
300	2	9,8717	0,01973803	0,01985161	9,92850545
500	2	9,88	0,01975712	0,01985696	9,929927277
1000	2	9,9111	0,01981544	0,01992155	9,9641731
1500	2	9,9041	0,01980553	0,01992095	9,96181778
2000	2	9,9102	0,01981503	0,01994248	9,97394227
3000	2	9,9196	0,01983534	0,02001129	10,00759212
4000	2	9,9327	0,01986529	0,02005098	10,02554551
5000	2	9,9582	0,01991526	0,0201746	10,08787742
6000	2	9,9857	0,01996518	0,02031684	10,16158478
7000	2	9,9992	0,01999538	0,02042549	10,21428748
8000	2	10,038	0,02008482	0,02063541	10,31317411
9000	2	10,0916	0,02018495	0,02080026	10,39922833
10000	2	10,1299	0,02026163	0,02105492	10,52650918

9,979740284

Tabla 17. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la estabilidad del equipo de medición

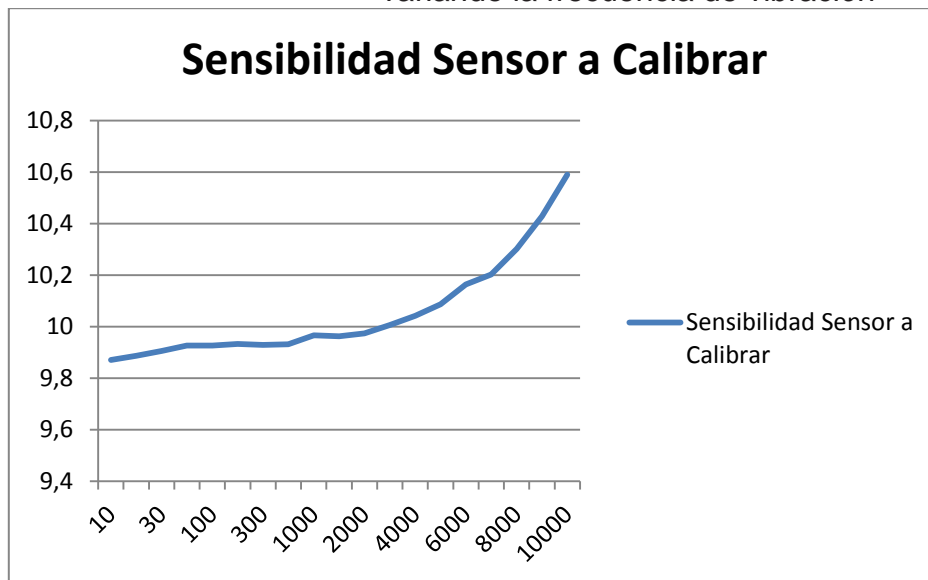


Gráfica 15. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la estabilidad del equipo de medición

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00978939	0,00987028	9,869987604
15	1	9,8014	0,00980227	0,00988761	9,886732426
30	2	9,8303	0,01965757	0,01980736	9,905206544
50	2	9,8579	0,01971883	0,01985691	9,926929391
100	2	9,8632	0,01970422	0,0198295	9,925910511
160	2	9,8729	0,01974887	0,01986733	9,932120793
300	2	9,8717	0,01973665	0,01984997	9,928379378
500	2	9,88	0,0197562	0,01985976	9,93178996
1000	2	9,9111	0,01981593	0,01992533	9,965817308
1500	2	9,9041	0,01980589	0,01992333	9,962826849
2000	2	9,9102	0,0198153	0,01994213	9,973631322
3000	2	9,9196	0,01983555	0,02000872	10,00620093
4000	2	9,9327	0,01986552	0,02008365	10,04176434
5000	2	9,9582	0,01991538	0,02017156	10,08629656
6000	2	9,9857	0,01996526	0,02031992	10,16308454
7000	2	9,9992	0,01999532	0,02040082	10,20198123
8000	2	10,038	0,02008484	0,02061276	10,30184382
9000	2	10,0916	0,02018463	0,02085704	10,42778118
10000	2	10,1299	0,02026368	0,02118285	10,589397

9,98179123

Tabla 18. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la frecuencia de vibración

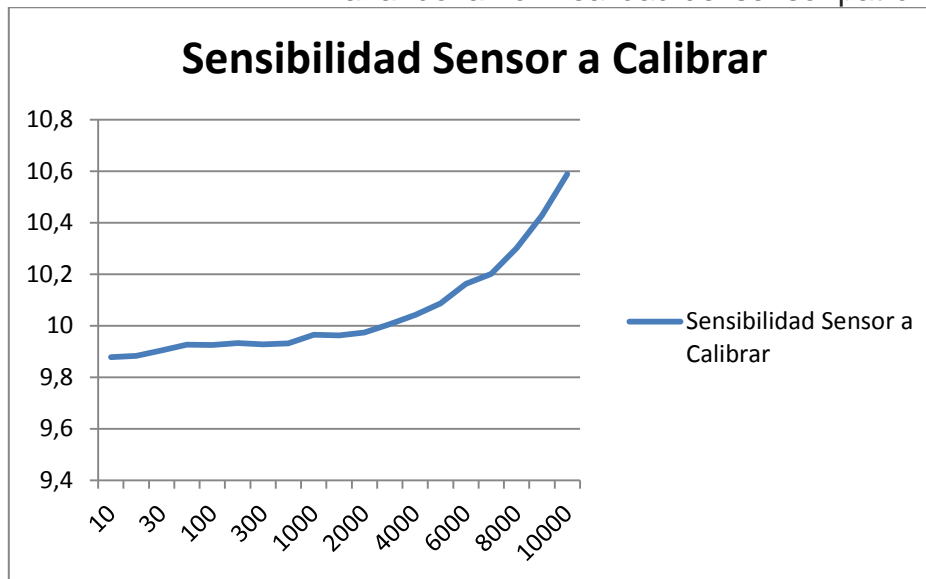


Gráfica 16. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la frecuencia de vibración

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00978738	0,00987667	9,878405692
15	1	9,8014	0,00979627	0,00987796	9,883132778
30	2	9,8303	0,01965544	0,01980403	9,904614504
50	2	9,8579	0,01971993	0,01985795	9,926895547
100	2	9,8632	0,01970172	0,01982539	9,92511246
160	2	9,8729	0,01975166	0,01987116	9,932632273
300	2	9,8717	0,01973709	0,01984957	9,92795798
500	2	9,88	0,01975527	0,01985879	9,931772393
1000	2	9,9111	0,01981565	0,01992383	9,965207879
1500	2	9,9041	0,01980501	0,01992256	9,962884467
2000	2	9,9102	0,01981516	0,01994153	9,973401709
3000	2	9,9196	0,0198352	0,02000724	10,00563735
4000	2	9,9327	0,01986502	0,02008435	10,0423671
5000	2	9,9582	0,01991553	0,02017229	10,08658561
6000	2	9,9857	0,01996655	0,02031999	10,16246293
7000	2	9,9992	0,01999527	0,0203989	10,20104659
8000	2	10,038	0,02008377	0,02061123	10,30162797
9000	2	10,0916	0,02018474	0,02085873	10,42856929
10000	2	10,1299	0,0202641	0,021181	10,58825272

9,981882328

Tabla 19. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la no linealidad del sensor patrón

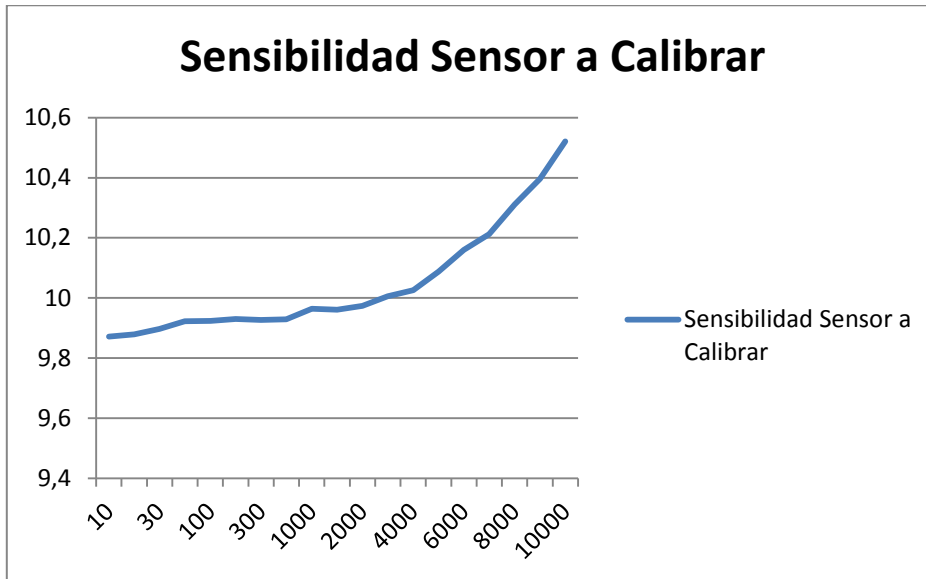


Gráfica 17. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la no linealidad del sensor patrón

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00978711	0,00986962	9,871626777
15	1	9,8014	0,00979598	0,00987394	9,879403134
30	2	9,8303	0,01965773	0,01979159	9,897239772
50	2	9,8579	0,01972135	0,01984987	9,922141916
100	2	9,8632	0,01970129	0,01982103	9,923146306
160	2	9,8729	0,01975387	0,01986713	9,929506865
300	2	9,8717	0,01974167	0,01985283	9,927284871
500	2	9,88	0,01975593	0,01985382	9,928955083
1000	2	9,9111	0,01981544	0,01992038	9,9635879
1500	2	9,9041	0,01980629	0,01991947	9,960695457
2000	2	9,9102	0,01981556	0,01994146	9,973165376
3000	2	9,9196	0,01983661	0,02000909	10,00585126
4000	2	9,9327	0,019865	0,02005038	10,02539187
5000	2	9,9582	0,0199154	0,02017327	10,08714147
6000	2	9,9857	0,01996505	0,02031345	10,15995541
7000	2	9,9992	0,01999572	0,020422	10,21236857
8000	2	10,038	0,02008431	0,02063014	10,31080208
9000	2	10,0916	0,02018387	0,02079252	10,3959149
10000	2	10,1299	0,02026451	0,02104573	10,52041921

9,979216377

Tabla 20. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando efectos residuales

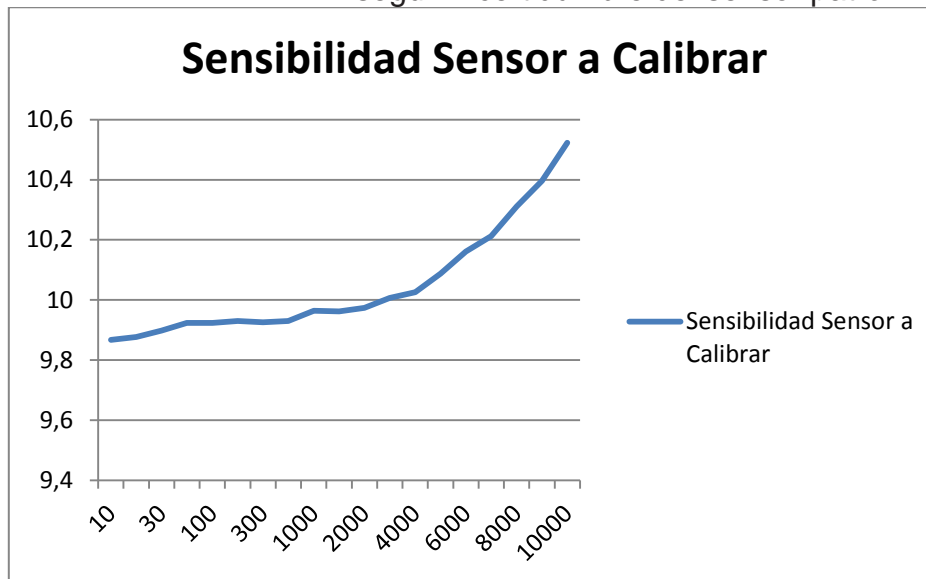


Gráfica 18. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando efectos residuales

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00979486	0,0098732	9,867393931
15	1	9,8014	0,00980115	0,00987609	9,876341912
30	2	9,8303	0,01966039	0,01979652	9,898365727
50	2	9,8579	0,01971647	0,01984713	9,92322778
100	2	9,8632	0,01969545	0,0198161	9,923619796
160	2	9,8729	0,01975159	0,0198654	9,929788319
300	2	9,8717	0,0197404	0,0198487	9,925858229
500	2	9,88	0,01975929	0,01985898	9,929846791
1000	2	9,9111	0,01981716	0,01992235	9,963708376
1500	2	9,9041	0,01980528	0,01992065	9,961793505
2000	2	9,9102	0,01981718	0,01994345	9,973345259
3000	2	9,9196	0,01983596	0,02001049	10,00687925
4000	2	9,9327	0,01986532	0,02005106	10,02557037
5000	2	9,9582	0,01991542	0,02017397	10,08748136
6000	2	9,9857	0,01996702	0,02031692	10,16068838
7000	2	9,9992	0,01999552	0,02042234	10,21264074
8000	2	10,038	0,02008469	0,02063143	10,31125172
9000	2	10,0916	0,02018475	0,02079471	10,39655658
10000	2	10,1299	0,0202621	0,02104938	10,52349532

9,979159358

Tabla 21. Sensibilidad del sensor patrón secundario según incertidumbre del sensor patrón



Gráfica 19. Sensibilidad del sensor patrón secundario según incertidumbre del sensor patrón

## RANGO DE FRECUENCIA: 10 a 100 Hz

xi	Descripción	Tipo eval.	Incertidumbre original	Tipo de distribución	Divisor	Incertidumbre estándar (u(xi))	Coefficiente de sensibilidad (Ci)	Contribución (ui (y))	% de contribución
S1	Incertidumbre de la calibración del sensor patrón	B	1,2%	Normal (k=2)	1/2	0,60000%	1	0,60000%	54,85%
S1.1	Incertidumbre de la tarjeta de adquisición	B	0,475%	Normal (k=2)	1/2	0,23750%	1	0,23750%	8,59%
URA	Ganancia del amplificador	A	0,0473%	Rectangular	4/7	0,02731%	1	0,02731%	0,11%
UR	Medida del voltaje	A	0,0562%	Rectangular	4/7	0,03245%	1	0,03245%	0,16%
Urd	Cambio de la frecuencia del muestreo	A	0,0457%	Rectangular	4/7	0,02638%	1	0,02638%	0,11%
Urv	Efecto por vibración externa	B	0,27%	Especial	1/4	0,06750%	1	0,06750%	0,69%
Urn	Efecto del parámetro de montaje (torque)	A	0,0533%	Rectangular	4/7	0,03077%	1	0,03077%	0,14%
Urn1	Efecto del parámetro de montaje (cable)	A	0,0562%	Rectangular	4/7	0,03245%	1	0,03245%	0,16%
S1.s	Estabilidad del sensor de referencia	A	0,3620%	Rectangular	4/7	0,20871%	1	0,20871%	6,64%
UrT	Efecto de la temperatura	A	0,0598%	Rectangular	4/7	0,03453%	1	0,03453%	0,18%
f	Medida de la frecuencia de vibración	A	0,0270%	Rectangular	4/7	0,01559%	1	0,01559%	0,04%
UR,L	Influencia causada por no linealidades inherentes a los sensores	B	0,7425%	Rectangular	4/7	0,42886%	1	0,42886%	26,02%
UR,I	Influencia causada por no linealidades inherentes en los amplificadores de señal	B	0,03%	Rectangular	4/7	0,01732%	1	0,01732%	0,05%
UR,G	Influencia de la fuerza de gravedad	B	0,00%	Rectangular	4/7	0,00000%	1	0,00000%	0,00%
I(VR,B)	Influencia del campo magnético del shaker inducido sobre los sensores	A	0,0617%	Rectangular	4/7	0,03562%	1	0,03562%	0,19%
uR,E	Influencia de otros factores ambientales	A	0,0332%	Rectangular	4/7	0,01917%	1	0,01917%	0,06%
(SRE)	Influencia de efectos residuales medida de ensayos de repetibilidad, estimada por su desviación estándar del promedio aritmético	A	0,0353%	Rectangular	4/7	0,02038%	1	0,02038%	0,06%
Incertidumbre estándar combinada (uc(y))								0,81038%	
Incertidumbre expandida (U)								1,6208%	

Tabla 22. Porcentaje de incidencia en el rango de frecuencia entre 10 y 100 Hz.

## RANGO DE FRECUENCIA: 100 a 1000 Hz

x	Descripción	Tipo eval.	Incertidumbre original	Tipo de distribución	Divisor	Incertidumbre estándar (u(xi))	Coefficiente de sensibilidad (Ci)	Contribución (ui (y))	% de contribución
S1	Incertidumbre de la calibración del sensor patrón	B	1,0%	Normal (k=2)	1/2	0,50000%	1	0,50000%	61,30%
S1.1	Incertidumbre de la tarjeta de adquisición	B	0,327%	Normal (k=2)	1/2	0,16350%	1	0,16350%	6,55%
U <sub>sA</sub>	Ganancia del amplificador	A	0,0092%	Rectangular	4/7	0,00531%	1	0,00531%	0,01%
U <sub>s</sub>	Medida del voltaje	A	0,1223%	Rectangular	4/7	0,07061%	1	0,07061%	1,22%
U <sub>s</sub>	Cambio de la frecuencia del muestreo	A	0,0116%	Rectangular	4/7	0,00670%	1	0,00670%	0,01%
U <sub>v</sub>	Efecto por vibración externa	B	0,06%	Especial	1/4	0,01591%	1	0,01591%	0,06%
U <sub>m</sub>	Efecto del parámetro de montaje (torque)	A	0,0171%	Rectangular	4/7	0,00987%	1	0,00987%	0,02%
U <sub>m1</sub>	Efecto del parámetro de montaje (cable)	A	0,0095%	Rectangular	4/7	0,00548%	1	0,00548%	0,01%
S1.s	Estabilidad del sensor de referencia	A	0,1489%	Rectangular	4/7	0,08597%	1	0,08597%	1,81%
UrT	Efecto de la temperatura	A	0,0243%	Rectangular	4/7	0,01403%	1	0,01403%	0,05%
f	Medida de la frecuencia de vibración	A	0,0230%	Rectangular	4/7	0,01328%	1	0,01328%	0,04%
U <sub>s,L</sub>	Influencia causada por no linealidades inherentes a los sensores	B	0,5937%	Rectangular	4/7	0,34277%	1	0,34277%	28,81%
U <sub>s,I</sub>	Influencia causada por no linealidades inherentes en los amplificadores de señal	B	0,03%	Rectangular	4/7	0,01732%	1	0,01732%	0,07%
U <sub>s,G</sub>	Influencia de la fuerza de gravedad	B	0,00%	Rectangular	4/7	0,00000%	1	0,00000%	0,00%
I(V <sub>s,B</sub> )	Influencia del campo magnético del shaker inducido sobre los sensores	A	0,0103%	Rectangular	4/7	0,00595%	1	0,00595%	0,01%
U <sub>s,E</sub>	Influencia de otros factores ambientales	A	0,0143%	Rectangular	4/7	0,00826%	1	0,00826%	0,02%
(S <sub>sE</sub> )	Influencia de efectos residuales medida de ensayos de repetibilidad, estimada por su desviación estándar del promedio aritmético	A	0,0116%	Rectangular	4/7	0,00670%	1	0,00670%	0,01%
Incertidumbre estándar combinada (uc(y))								0,63865%	
Incertidumbre expandida (U)								1,2773%	

Tabla 23. Porcentaje de incidencia en el rango de frecuencia entre 100 y 1000 Hz.

## RANGO DE FRECUENCIA: 1000 a 5000 Hz

$x_i$	Descripción	Tipo eval.	Incertidumbre original	Tipo de distribución	Divisor	Incertidumbre estándar (u(xi))	Coefficiente de sensibilidad (Ci)	Contribución (ui (y))	% de contribución
$S_{1,1}$	Incertidumbre de la calibración del sensor patrón	B	1,4%	Normal (k=2)	1/2	0,70000%	1	0,70000%	66,85%
$S_{1,1}$	Incertidumbre de la tarjeta de adquisición	B	0,540%	Normal (k=2)	1/2	0,27000%	1	0,27000%	9,95%
$U_{SA}$	Ganancia del amplificador	A	0,0113%	Rectangular	4/7	0,00652%	1	0,00652%	0,01%
$U_A$	Medida del voltaje	A	0,0144%	Rectangular	4/7	0,00831%	1	0,00831%	0,01%
$U_{\Delta}$	Cambio de la frecuencia del muestreo	A	0,0130%	Rectangular	4/7	0,00751%	1	0,00751%	0,01%
$U_{V_1}$	Efecto por vibración externa	B	0,27%	Especial	1/4	0,06750%	1	0,06750%	0,62%
$U_{\tau}$	Efecto del parámetro de montaje (torque)	A	0,0127%	Rectangular	4/7	0,00733%	1	0,00733%	0,01%
$U_{m1}$	Efecto del parámetro de montaje (cable)	A	0,0149%	Rectangular	4/7	0,00860%	1	0,00860%	0,01%
$S_{1,2}$	Estabilidad del sensor de referencia	A	0,5282%	Rectangular	4/7	0,30496%	1	0,30496%	12,69%
$U_{T_1}$	Efecto de la temperatura	A	0,0219%	Rectangular	4/7	0,01264%	1	0,01264%	0,02%
f	Medida de la frecuencia de vibración	A	0,0431%	Rectangular	4/7	0,02488%	1	0,02488%	0,08%
$U_{e,L}$	Influencia causada por no linealidades inherentes a los sensores	B	0,4616%	Rectangular	4/7	0,26650%	1	0,26650%	9,69%
$U_{e,I}$	Influencia causada por no linealidades inherentes en los amplificadores de señal	B	0,03%	Rectangular	4/7	0,01732%	1	0,01732%	0,04%
$U_{e,G}$	Influencia de la fuerza de gravedad	B	0,00%	Rectangular	4/7	0,00000%	1	0,00000%	0,00%
I(V <sub>S,B</sub> )	Influencia del campo magnético del shaker inducido sobre los sensores	A	0,0099%	Rectangular	4/7	0,00572%	1	0,00572%	0,00%
$u_{e,E}$	Influencia de otros factores ambientales	A	0,0127%	Rectangular	4/7	0,00733%	1	0,00733%	0,01%
(S <sub>RE</sub> )	Influencia de efectos residuales medida de ensayos de repetibilidad, estimada por su desviación estándar del promedio aritmético	A	0,0098%	Rectangular	4/7	0,00566%	1	0,00566%	0,00%
Incertidumbre estándar combinada (uc(y))								0,85614%	
Incertidumbre expandida (U)								1,71233%	

Tabla 24. Porcentaje de incidencia en el rango de frecuencia entre 1000 y 5000 Hz.

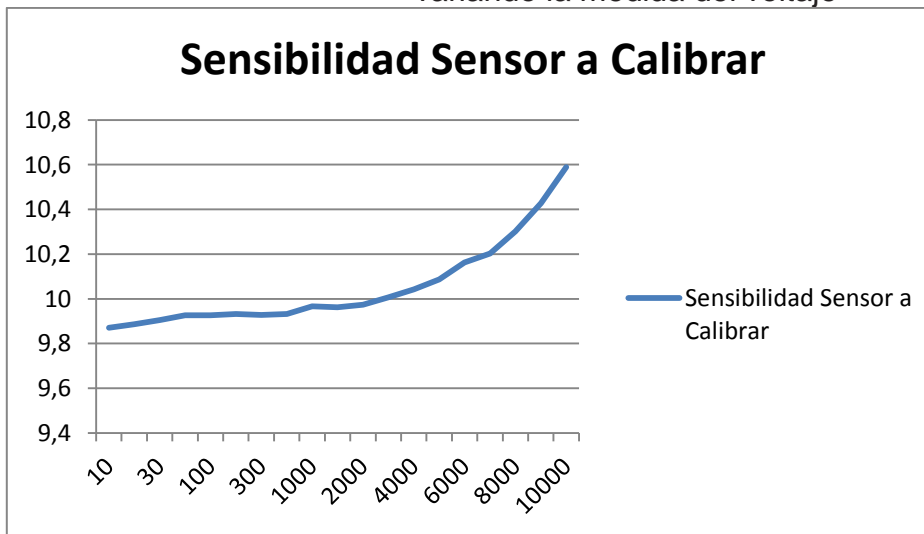
## RANGO DE FRECUENCIA: 5000 a 10000 Hz

$x_i$	Descripción	Tipo eval.	Incertidumbre original	Tipo de distribución	Divisor	Incertidumbre estándar (u(xi))	Coefficiente de sensibilidad (Ci)	Contribución (ui (y))	% de contribución
$S_1$	Incertidumbre de la calibración del sensor patrón	B	1,9%	Normal (k=2)	1/2	0,95000%	1	0,95000%	53,39%
$S_{1,1}$	Incertidumbre de la tarjeta de adquisición	B	0,540%	Normal (k=2)	1/2	0,27000%	1	0,27000%	4,31%
$U_{RA}$	Ganancia del amplificador	A	0,0108%	Rectangular	4/7	0,00624%	1	0,00624%	0,00%
$U_R$	Medida del voltaje	A	0,0348%	Rectangular	4/7	0,02009%	1	0,02009%	0,02%
$U_{rd}$	Cambio de la frecuencia del muestreo	A	0,0101%	Rectangular	4/7	0,00583%	1	0,00583%	0,00%
$U_{rv}$	Efecto por vibración externa	B	0,27%	Especial	1/4	0,06750%	1	0,06750%	0,27%
$U_{rn}$	Efecto del parámetro de montaje (torque)	A	0,0183%	Rectangular	4/7	0,01057%	1	0,01057%	0,01%
$U_{rn1}$	Efecto del parámetro de montaje (cable)	A	0,0099%	Rectangular	4/7	0,00572%	1	0,00572%	0,00%
$S_{1,2}$	Estabilidad del sensor de referencia	A	1,4000%	Rectangular	4/7	0,80829%	1	0,80829%	38,65%
$U_{rT}$	Efecto de la temperatura	A	0,0233%	Rectangular	4/7	0,01345%	1	0,01345%	0,01%
f	Medida de la frecuencia de vibración	A	0,0389%	Rectangular	4/7	0,02246%	1	0,02246%	0,03%
$U_{R,L}$	Influencia causada por no linealidades inherentes a los sensores	B	0,4080%	Rectangular	4/7	0,23556%	1	0,23556%	3,28%
$U_{R,I}$	Influencia causada por no linealidades inherentes en los amplificadores de señal	B	0,03%	Rectangular	4/7	0,01732%	1	0,01732%	0,02%
$U_{R,G}$	Influencia de la fuerza de gravedad	B	0,00%	Rectangular	4/7	0,00000%	1	0,00000%	0,00%
I(V <sub>R,B</sub> )	Influencia del campo magnético del shaker inducido sobre los sensores	A	0,0151%	Rectangular	4/7	0,00872%	1	0,00872%	0,00%
$u_{R,E}$	Influencia de otros factores ambientales	A	0,0073%	Rectangular	4/7	0,00421%	1	0,00421%	0,00%
(S <sub>RE</sub> )	Influencia de efectos residuales medida de ensayos de repetibilidad, estimada por su desviación estándar del promedio aritmético	A	0,0137%	Rectangular	4/7	0,00791%	1	0,00791%	0,00%
Incertidumbre estándar combinada (uc(y))								1,30021%	
Incertidumbre expandida (U)								2,60044%	

Tabla 25. Porcentaje de incidencia en el rango de frecuencia entre 5000 y 10000 Hz.

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00978939	0,00987028	9,869987604
15	1	9,8014	0,00980227	0,00988761	9,886732426
30	2	9,8303	0,01965757	0,01980736	9,905206544
50	2	9,8579	0,01971883	0,01985691	9,926929391
100	2	9,8632	0,01970422	0,0198295	9,925910511
160	2	9,8729	0,01974887	0,01986733	9,932120793
300	2	9,8717	0,01973665	0,01984997	9,928379378
500	2	9,88	0,0197562	0,01985976	9,93178996
1000	2	9,9111	0,01981593	0,01992533	9,965817308
1500	2	9,9041	0,01980589	0,01992333	9,962826849
2000	2	9,9102	0,0198153	0,01994213	9,973631322
3000	2	9,9196	0,01983555	0,02000872	10,00620093
4000	2	9,9327	0,01986552	0,02008365	10,04176434
5000	2	9,9582	0,01991538	0,02017156	10,08629656
6000	2	9,9857	0,01996526	0,02031992	10,16308454
7000	2	9,9992	0,01999532	0,02040082	10,20198123
8000	2	10,038	0,02008484	0,02061276	10,30184382
9000	2	10,0916	0,02018463	0,02085704	10,42778118
10000	2	10,1299	0,02026368	0,02118285	10,589397

Tabla 26. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la medida del voltaje



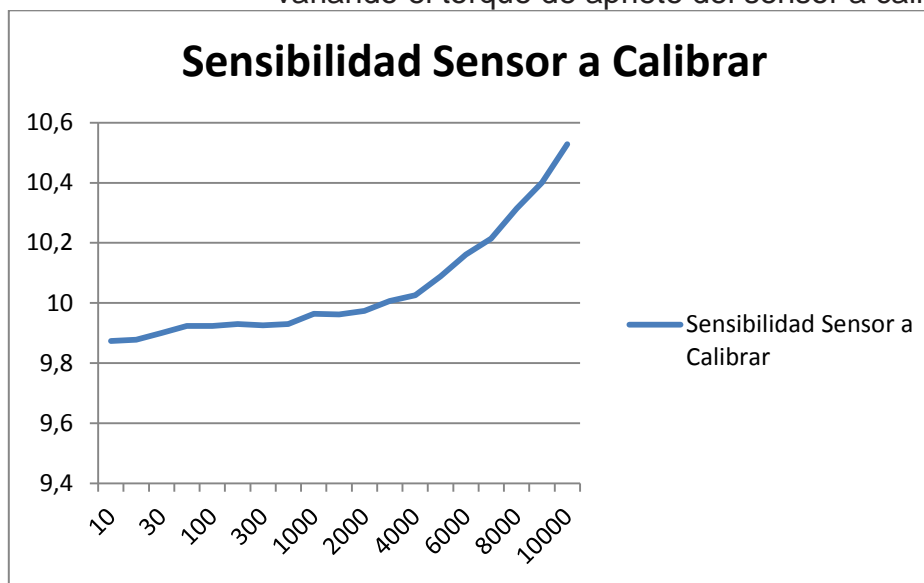
Gráfica 20. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la medida del voltaje



Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00979487	0,00987973	9,87391001
15	1	9,8014	0,00980021	0,00987678	9,877979298
30	2	9,8303	0,01965997	0,01980029	9,900462248
50	2	9,8579	0,01972394	0,01985558	9,923692836
100	2	9,8632	0,01970099	0,01982074	9,923152226
160	2	9,8729	0,01975066	0,0198657	9,930405846
300	2	9,8717	0,01973593	0,01984482	9,926165607
500	2	9,88	0,01975739	0,019857	9,929811579
1000	2	9,9111	0,01981569	0,01992141	9,963977366
1500	2	9,9041	0,0198056	0,01992183	9,962222629
2000	2	9,9102	0,01981503	0,01994236	9,973882254
3000	2	9,9196	0,01983545	0,02001048	10,00713155
4000	2	9,9327	0,01986536	0,02005191	10,02597519
5000	2	9,9582	0,01991572	0,02017595	10,08831944
6000	2	9,9857	0,01996745	0,02031908	10,16154978
7000	2	9,9992	0,01999565	0,02042603	10,2144196
8000	2	10,038	0,02008454	0,02063648	10,31385266
9000	2	10,0916	0,02018431	0,0208022	10,40052801
10000	2	10,1299	0,02026301	0,02105995	10,52830688

9,980191091

Tabla 27. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el torque de apriete del sensor a calibrar

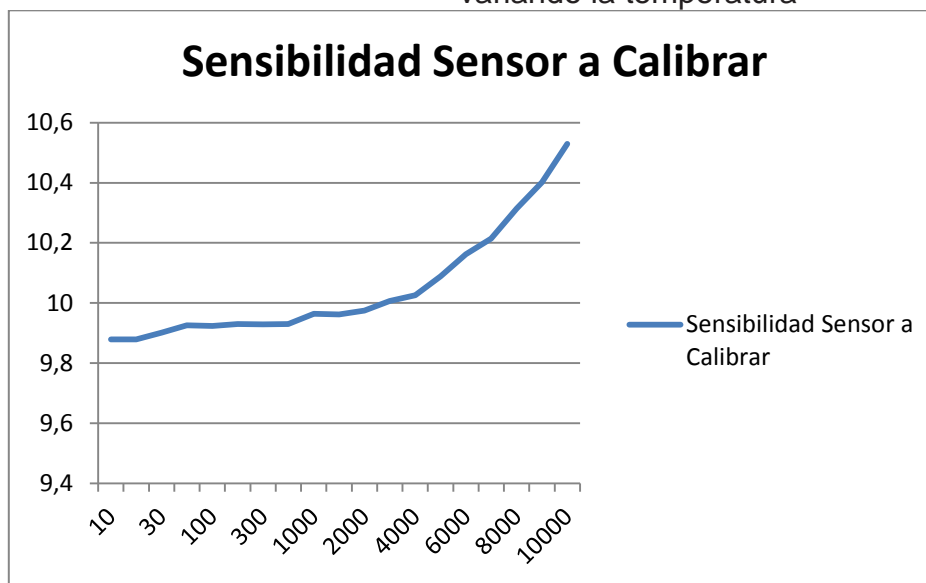


Gráfica 21. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el torque de apriete del sensor a calibrar

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,009785	0,00987432	9,878457426
15	1	9,8014	0,00980499	0,0098823	9,878681694
30	2	9,8303	0,01965746	0,01979836	9,900761253
50	2	9,8579	0,01972365	0,01985891	9,925503083
100	2	9,8632	0,01970065	0,01982154	9,923724005
160	2	9,8729	0,01974845	0,01986327	9,930302296
300	2	9,8717	0,01973922	0,01985454	9,92937221
500	2	9,88	0,01975542	0,01985579	9,930196635
1000	2	9,9111	0,01981516	0,01992115	9,964113828
1500	2	9,9041	0,01980556	0,01992221	9,962432774
2000	2	9,9102	0,01981515	0,01994363	9,97445702
3000	2	9,9196	0,01983545	0,02001056	10,00717155
4000	2	9,9327	0,01986513	0,02005159	10,02593127
5000	2	9,9582	0,01991527	0,02017579	10,08846739
6000	2	9,9857	0,01996549	0,0203173	10,16165707
7000	2	9,9992	0,01999713	0,0204281	10,21469869
8000	2	10,038	0,02008465	0,02063756	10,31433594
9000	2	10,0916	0,02018446	0,02080447	10,40158565
10000	2	10,1299	0,02026484	0,02106306	10,52891074

9,980995512

Tabla 28. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la temperatura

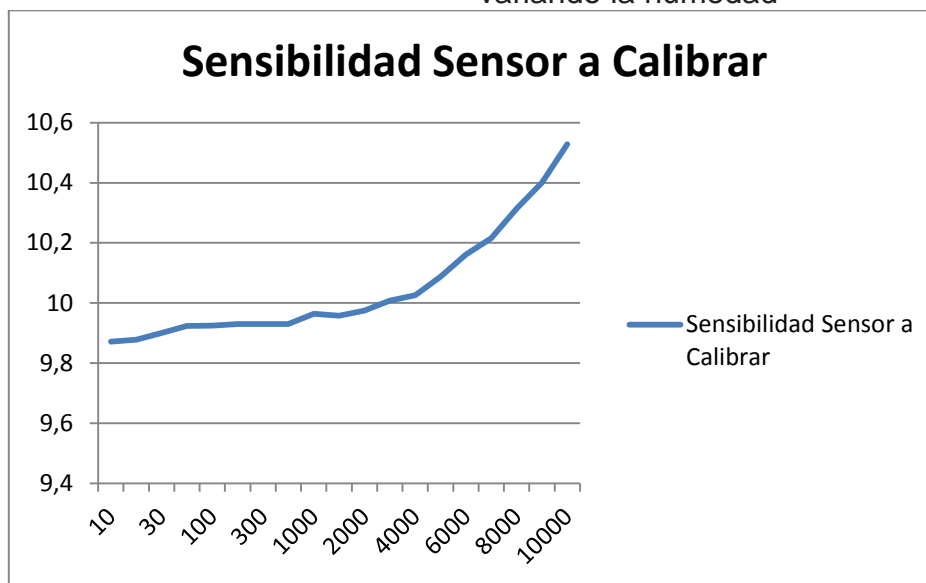


Gráfica 22. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la temperatura

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00979114	0,00987351	9,871452838
15	1	9,8014	0,00979829	0,00987455	9,877684205
30	2	9,8303	0,01965579	0,0197965	9,900672217
50	2	9,8579	0,01971793	0,01984981	9,923832877
100	2	9,8632	0,01969802	0,01982063	9,924593325
160	2	9,8729	0,01974942	0,01986403	9,930194496
300	2	9,8717	0,01974055	0,01985724	9,930053423
500	2	9,88	0,01975643	0,01985677	9,930179066
1000	2	9,9111	0,01981504	0,01992114	9,964169169
1500	2	9,9041	0,0198086	0,01991536	9,957478922
2000	2	9,9102	0,01981593	0,01994444	9,974469494
3000	2	9,9196	0,01983512	0,02001044	10,00727803
4000	2	9,9327	0,01986541	0,02005194	10,02596495
5000	2	9,9582	0,01991521	0,02017402	10,08761273
6000	2	9,9857	0,01996529	0,02031662	10,16141876
7000	2	9,9992	0,01999571	0,02042716	10,21495402
8000	2	10,038	0,020085	0,02063771	10,31423117
9000	2	10,0916	0,02018486	0,02080365	10,40096956
10000	2	10,1299	0,02026182	0,02105924	10,52857025

9,980125533

Tabla 29. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la humedad

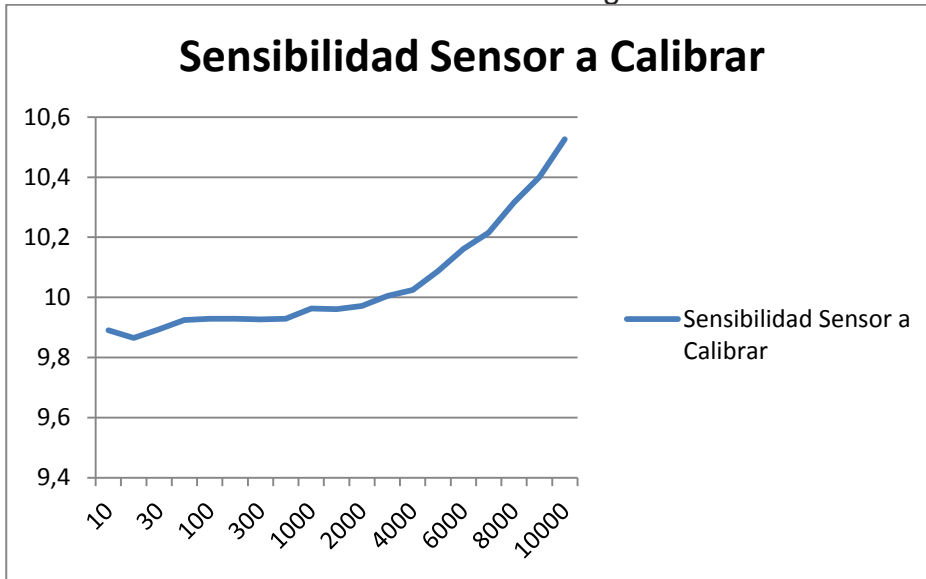


Gráfica 23. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la humedad

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00978906	0,00989062	9,890660415
15	1	9,8014	0,00980106	0,00986482	9,865162212
30	2	9,8303	0,01965794	0,01978404	9,893358532
50	2	9,8579	0,01972224	0,01985571	9,924613209
100	2	9,8632	0,01970497	0,01983566	9,928616065
160	2	9,8729	0,01974554	0,01985704	9,928650734
300	2	9,8717	0,01974495	0,01985565	9,927045655
500	2	9,88	0,01975699	0,01985419	9,928607404
1000	2	9,9111	0,01981628	0,01992078	9,963365609
1500	2	9,9041	0,01980675	0,01991975	9,960604136
2000	2	9,9102	0,01981539	0,01993853	9,971785567
3000	2	9,9196	0,01983571	0,02000633	10,00492501
4000	2	9,9327	0,01986639	0,02005149	10,02524539
5000	2	9,9582	0,01991541	0,02017492	10,08796145
6000	2	9,9857	0,01996644	0,02031694	10,16099354
7000	2	9,9992	0,01999536	0,02042719	10,21514783
8000	2	10,038	0,02008317	0,02064064	10,31663549
9000	2	10,0916	0,02018399	0,02080162	10,40040291
10000	2	10,1299	0,02026476	0,0210582	10,5265229

9,979796422

Tabla 30. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el efecto magnético de la tierra

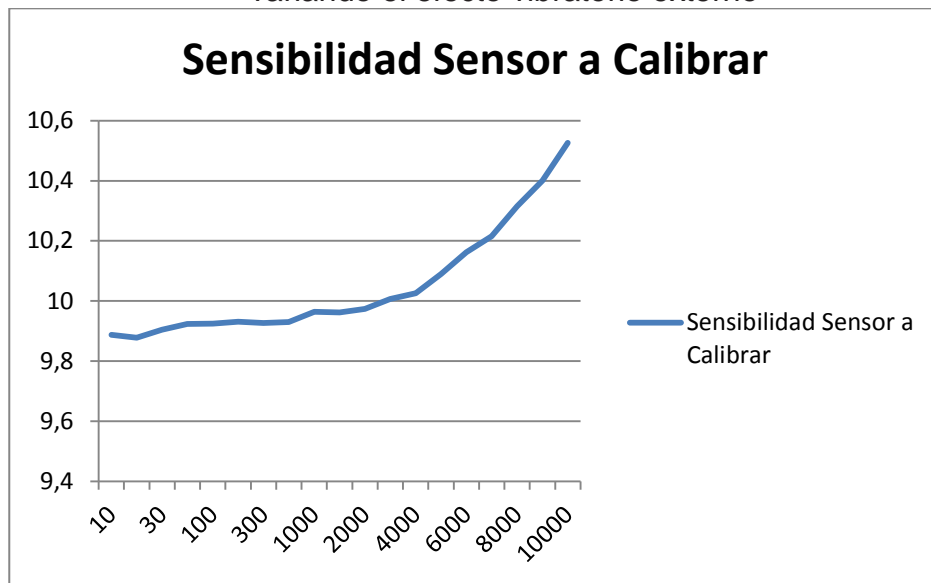


Gráfica 24. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el efecto magnético de la tierra

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00978594	0,00988475	9,887941907
15	1	9,8014	0,00979822	0,00987497	9,878174909
30	2	9,8303	0,01965674	0,01980465	9,904269523
50	2	9,8579	0,01972296	0,01985429	9,923541162
100	2	9,8632	0,0197029	0,01982623	9,924938549
160	2	9,8729	0,01974804	0,01986483	9,931288376
300	2	9,8717	0,01973502	0,01984473	9,926578293
500	2	9,88	0,01975531	0,01985463	9,92967179
1000	2	9,9111	0,01981576	0,01992217	9,964322291
1500	2	9,9041	0,01980638	0,01992272	9,962275345
2000	2	9,9102	0,01981519	0,01994207	9,97365668
3000	2	9,9196	0,01983583	0,02000945	10,00642475
4000	2	9,9327	0,01986585	0,02005292	10,02623288
5000	2	9,9582	0,01991691	0,02017899	10,08923664
6000	2	9,9857	0,01996662	0,0203185	10,16168212
7000	2	9,9992	0,01999525	0,02042809	10,21565409
8000	2	10,038	0,02008482	0,02064052	10,31572799
9000	2	10,0916	0,02018444	0,02080283	10,40077601
10000	2	10,1299	0,02026439	0,02105628	10,52575532

9,981618082

Tabla 31. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el efecto vibratorio externo

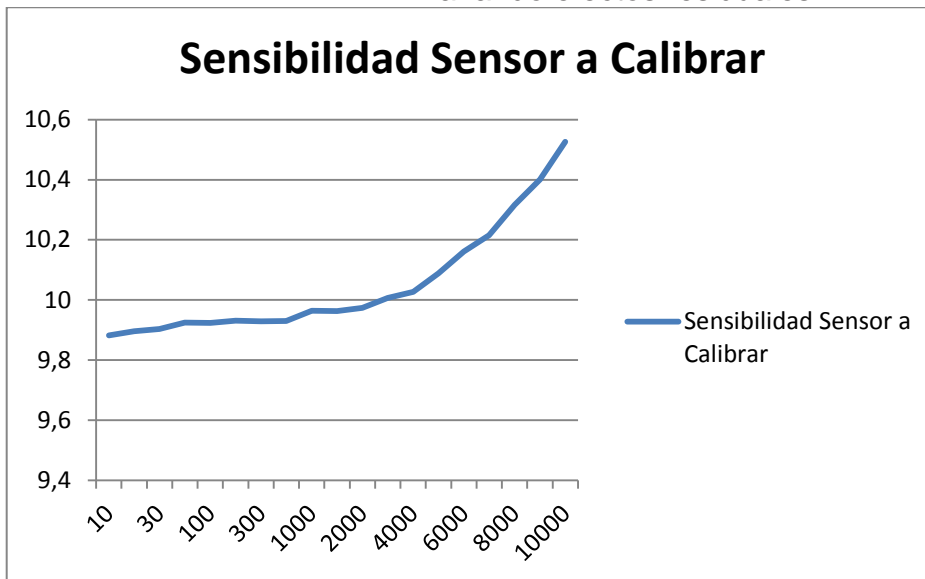


Gráfica 25. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el efecto vibratorio externo

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00978545	0,00987815	9,881834577
15	1	9,8014	0,00980288	0,00989698	9,895485793
30	2	9,8303	0,01965549	0,01980126	9,903203949
50	2	9,8579	0,01971532	0,01984907	9,924776628
100	2	9,8632	0,01970192	0,01982274	9,923685061
160	2	9,8729	0,01974582	0,01986306	9,931519941
300	2	9,8717	0,01974303	0,01985862	9,929496083
500	2	9,88	0,01975824	0,01985793	9,92984944
1000	2	9,9111	0,01981604	0,01992252	9,96435655
1500	2	9,9041	0,01980567	0,01992318	9,962862505
2000	2	9,9102	0,01981501	0,01994233	9,973877317
3000	2	9,9196	0,01983611	0,02000968	10,00639852
4000	2	9,9327	0,01986574	0,02005433	10,02699339
5000	2	9,9582	0,01991503	0,02017602	10,08870398
6000	2	9,9857	0,01996538	0,02031694	10,161533
7000	2	9,9992	0,01999658	0,02042963	10,21574471
8000	2	10,038	0,02008355	0,02063969	10,31596547
9000	2	10,0916	0,02018442	0,02080273	10,40073631
10000	2	10,1299	0,02026469	0,02105791	10,5264143

9,98252009

Tabla 32. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando efectos residuales

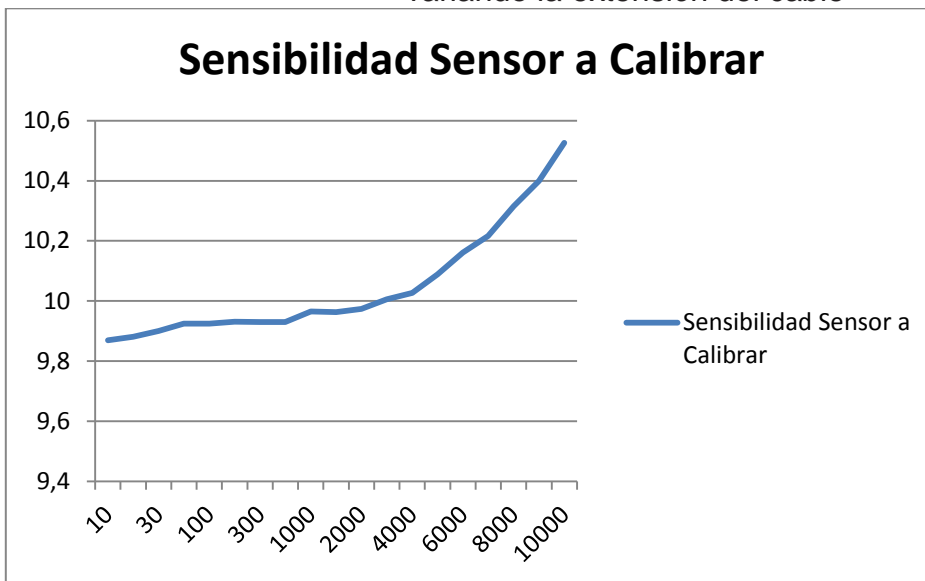


Gráfica 26. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando efectos residuales

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00979373	0,00987373	9,86906218
15	1	9,8014	0,00980278	0,0098825	9,881108777
30	2	9,8303	0,01966227	0,01980217	9,900244059
50	2	9,8579	0,01972319	0,0198572	9,924879894
100	2	9,8632	0,01970484	0,01982803	9,924862394
160	2	9,8729	0,01974524	0,01986201	9,931286656
300	2	9,8717	0,01973857	0,01985473	9,929794212
500	2	9,88	0,0197573	0,01985689	9,929801805
1000	2	9,9111	0,0198157	0,019923	9,964767598
1500	2	9,9041	0,01980559	0,0199224	9,962512697
2000	2	9,9102	0,01981538	0,01994332	9,974186206
3000	2	9,9196	0,01983512	0,02000798	10,00604778
4000	2	9,9327	0,01986518	0,02005313	10,02667604
5000	2	9,9582	0,01991536	0,02017678	10,08891683
6000	2	9,9857	0,01996762	0,02031888	10,16136325
7000	2	9,9992	0,01999509	0,02042885	10,2161159
8000	2	10,038	0,0200839	0,02063922	10,31555078
9000	2	10,0916	0,02018495	0,02080158	10,39988827
10000	2	10,1299	0,02026433	0,02105687	10,52608142

9,980726642

Tabla 33. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la extensión del cable

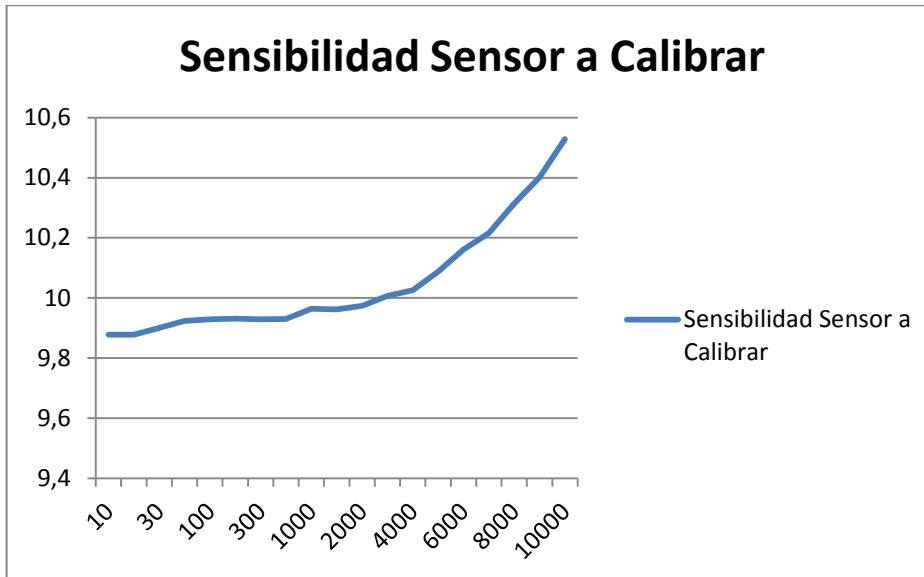


Gráfica 27. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la extensión del cable

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00979446	0,00988285	9,877441629
15	1	9,8014	0,00979647	0,00987334	9,878308684
30	2	9,8303	0,01966138	0,01980158	9,900397219
50	2	9,8579	0,01972005	0,01985084	9,923280906
100	2	9,8632	0,01969798	0,01982863	9,92861925
160	2	9,8729	0,01974562	0,01986152	9,930850528
300	2	9,8717	0,01974041	0,01985562	9,929313725
500	2	9,88	0,01975593	0,01985504	9,929565209
1000	2	9,9111	0,01981576	0,01992188	9,964177244
1500	2	9,9041	0,01980531	0,01992067	9,961788417
2000	2	9,9102	0,01981626	0,01994391	9,974038334
3000	2	9,9196	0,01983648	0,02001146	10,007102
4000	2	9,9327	0,0198663	0,02005162	10,0253558
5000	2	9,9582	0,01991558	0,02017487	10,08785034
6000	2	9,9857	0,01996528	0,02031668	10,16145386
7000	2	9,9992	0,01999519	0,0204281	10,21568975
8000	2	10,038	0,02008424	0,02063741	10,31447152
9000	2	10,0916	0,02018435	0,02080536	10,40208731
10000	2	10,1299	0,02026007	0,02105748	10,52859969

9,980952056

Tabla 34. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el cable



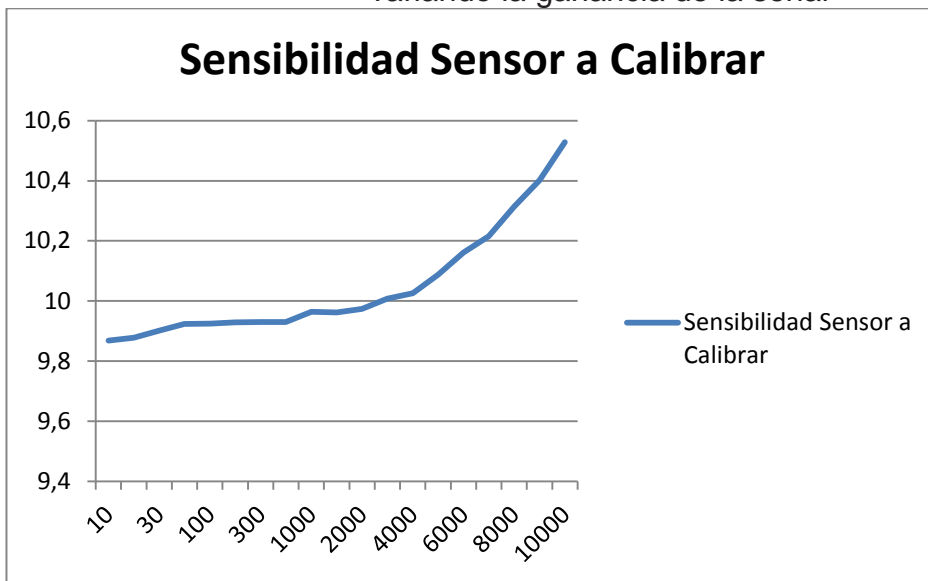
Gráfica 28. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el cable



Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00978609	0,00986529	9,86832436
15	1	9,8014	0,00980483	0,00988088	9,877423396
30	2	9,8303	0,01965642	0,01979795	9,901080048
50	2	9,8579	0,01971832	0,01984919	9,923326637
100	2	9,8632	0,01970036	0,01982289	9,92454598
160	2	9,8729	0,0197548	0,01986797	9,929459221
300	2	9,8717	0,01973787	0,01985363	9,929596216
500	2	9,88	0,01975617	0,01985537	9,929609616
1000	2	9,9111	0,0198169	0,01992273	9,964029152
1500	2	9,9041	0,0198067	0,0199223	9,961904377
2000	2	9,9102	0,01981535	0,01994275	9,973916234
3000	2	9,9196	0,01983596	0,02001182	10,00754436
4000	2	9,9327	0,01986507	0,02005064	10,02548654
5000	2	9,9582	0,01991559	0,02017431	10,08756526
6000	2	9,9857	0,01996554	0,02031621	10,16108646
7000	2	9,9992	0,0199951	0,02042725	10,21531066
8000	2	10,038	0,0200825	0,02063479	10,31405562
9000	2	10,0916	0,02018481	0,02080439	10,40136529
10000	2	10,1299	0,0202642	0,02106093	10,5281785

9,980013033

Tabla 35. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la ganancia de la señal

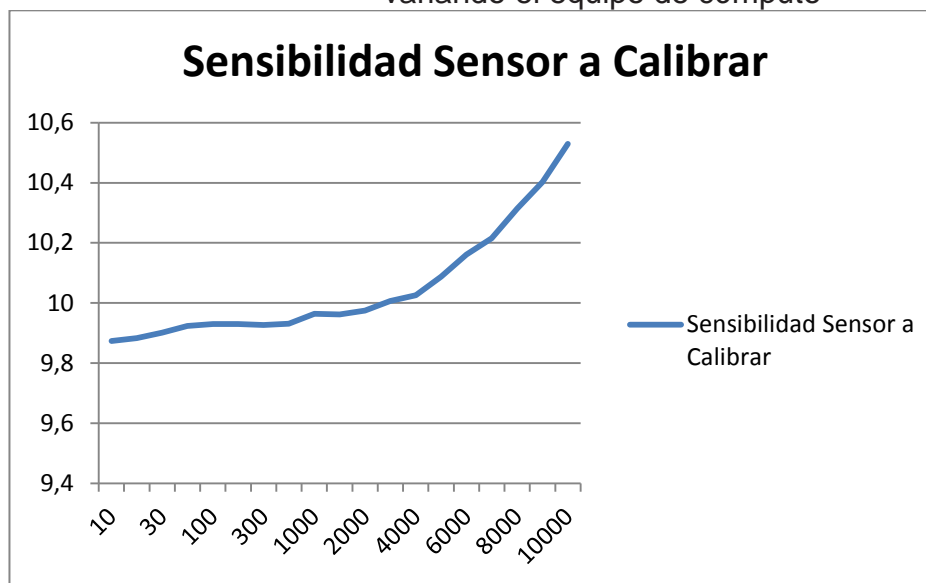


Gráfica 29. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la ganancia de la señal

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00978756	0,00987228	9,87383333
15	1	9,8014	0,00980139	0,00988354	9,883550084
30	2	9,8303	0,01965953	0,01980147	9,901273863
50	2	9,8579	0,01972493	0,01985732	9,924064361
100	2	9,8632	0,01970468	0,01983831	9,930088649
160	2	9,8729	0,0197528	0,01986778	9,930369627
300	2	9,8717	0,01973884	0,0198483	9,926442644
500	2	9,88	0,01975765	0,01985884	9,930601018
1000	2	9,9111	0,01981662	0,01992291	9,964259965
1500	2	9,9041	0,01980562	0,01992198	9,962287579
2000	2	9,9102	0,01981547	0,01994384	9,974400969
3000	2	9,9196	0,01983631	0,02001092	10,00691772
4000	2	9,9327	0,01986536	0,02005097	10,02550519
5000	2	9,9582	0,01991528	0,02017425	10,08769228
6000	2	9,9857	0,01996589	0,02031669	10,16114841
7000	2	9,9992	0,01999505	0,02042686	10,21514117
8000	2	10,038	0,02008398	0,02063729	10,31454508
9000	2	10,0916	0,02018413	0,02080565	10,40234568
10000	2	10,1299	0,02026366	0,02106311	10,52954886

9,981098553

Tabla 36. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el equipo de cómputo

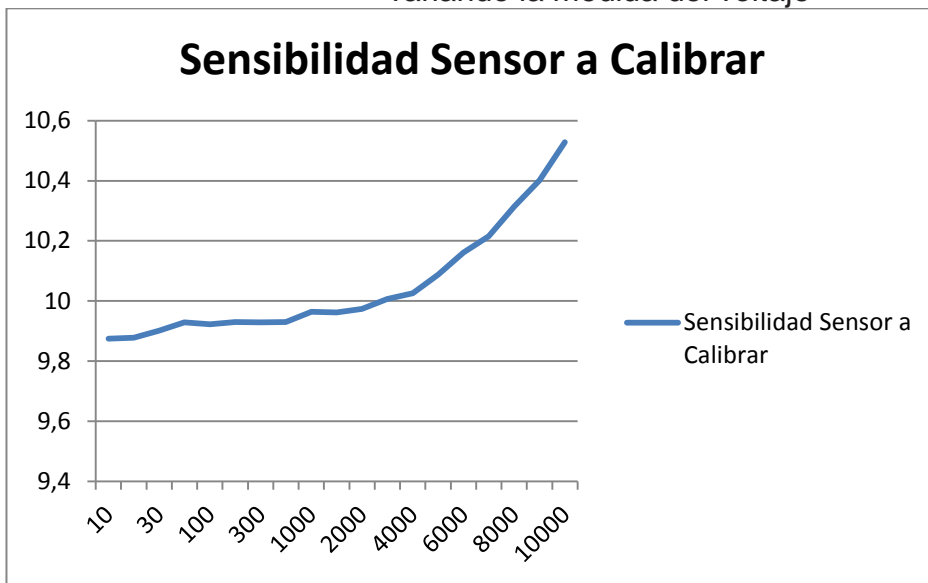


Gráfica 30. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando el equipo de cómputo

Calculo Calibracion de Sensores					
Frecuencia	Gravedades	Sensibilidad Sensor Patron	Voltaje Sensor Patron	Voltaje Sensor a Calibrar	Sensibilidad Sensor a Calibrar
10	1	9,7891	0,00978967	0,00987543	9,874855007
15	1	9,8014	0,00979696	0,0098733	9,877774597
30	2	9,8303	0,01965811	0,01979912	9,900813931
50	2	9,8579	0,01972159	0,01986379	9,928979126
100	2	9,8632	0,0197036	0,01982293	9,922934041
160	2	9,8729	0,01975098	0,01986563	9,930209966
300	2	9,8717	0,01974025	0,0198547	9,928934132
500	2	9,88	0,01975525	0,0198561	9,930437124
1000	2	9,9111	0,01981636	0,01992196	9,96391556
1500	2	9,9041	0,01980517	0,01992045	9,961748818
2000	2	9,9102	0,01981535	0,01994263	9,973856219
3000	2	9,9196	0,01983506	0,02000935	10,00676319
4000	2	9,9327	0,01986504	0,02005052	10,02544168
5000	2	9,9582	0,01991547	0,02017455	10,08774605
6000	2	9,9857	0,01996566	0,02031664	10,16124045
7000	2	9,9992	0,0199958	0,02042849	10,21557313
8000	2	10,038	0,02008436	0,02063775	10,31457983
9000	2	10,0916	0,02018382	0,02080431	10,40183547
10000	2	10,1299	0,02026453	0,02106195	10,52851694

9,980701439

Tabla 37. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la medida del voltaje



Gráfica 31. Sensibilidad del sensor patrón secundario variando la medida del voltaje

## RANGO DE FRECUENCIA: 10 a 100 Hz

$x_i$	Descripción	Tipo eval.	Incertidumbre original	Tipo de distribución	Divisor	Incertidumbre estándar ( $u(x_i)$ )	Coefficiente de sensibilidad (Ci)	Contribución ( $u_i(y)$ )	% de contribución
$S_1$	Incertidumbre de la calibración del sensor patrón	B	1,20	Normal (k=2)	1/2	0,60	1	0,60	69,10%
$S_{1,1}$	Incertidumbre de la tarjeta de adquisición	B	0,00059	Normal (k=2)	1/2	0,0002950	1	0,0002950	0,00%
$U_{SA}$	Ganancia del amplificador	B	0,0010527	Rectangular	4/7	0,00060780	1	0,00060780	0,00%
$U_k$	Medida del voltaje	B	0,0022884	Rectangular	4/7	0,00132119	1	0,0013212	0,00%
$U_d$	Cambio de la frecuencia del muestreo	B	0,0020166	Rectangular	4/7	0,00116431	1	0,001164312	0,00%
$U_v$	Efecto por vibración externa	B	0,000712358	Especial	1/4	0,00017809	1	0,00017809	0,00%
$U_m$	Efecto del parámetro de montaje (torque)	B	0,001654	Rectangular	4/7	0,00095496	1	0,00095	0,00%
$U_{m1}$	Efecto del parámetro de montaje (cable)	B	0,00181	Rectangular	4/7	0,0010474	1	0,001047	0,00%
$S_{1,1}$	Estabilidad del sensor de referencia	B	0,004	Rectangular	4/7	0,00	1	0,0025	0,00%
$U_T$	Efecto de la temperatura	B	0,0011341	Rectangular	4/7	0,00	1	0,000655	0,00%
f	Medida de la frecuencia de vibración	B	0,0032149	Rectangular	4/7	0,00	1	0,0018561	0,00%
$U_{k,1}$	Influencia causada por no linealidades inherentes a los sensores	B	0,69419	Rectangular	4/7	0,40	1	0,4007904	30,83%
$U_{k,1}$	Influencia causada por no linealidades inherentes en los amplificadores de señal	B	0,03000	Rectangular	4/7	0,02	1	0,0173205	0,06%
I(V <sub>k,s</sub> )	Influencia del campo magnético del shaker inducido sobre los sensores	B	0,000669	Rectangular	4/7	0,00	1	0,0003860	0,00%
$U_{k,t}$	Influencia de otros factores ambientales	B	0,00108	Rectangular	4/7	0,00	1	0,0006225	0,00%
(S <sub>re</sub> )	Influencia de efectos residuales medida de ensayos de repetibilidad, estimada por su desviación estándar del promedio aritmético	B	0,00080	Rectangular	4/7	0,00	1	0,0004629	0,00%
Incertidumbre estándar combinada (uc(y))								0,72	
Incertidumbre expandida (U)								1,44	

Tabla 38. Porcentaje de incidencia en el rango de frecuencia entre 10 y 100 Hz.

## RANGO DE FRECUENCIA: 100 a 1000 Hz

$x_i$	Descripción	Tipo eval.	Incertidumbre original	Tipo de distribución	Divisor	Incertidumbre estándar ( $u(x_i)$ )	Coefficiente de sensibilidad (Ci)	Contribución ( $u_i(y)$ )	% de contribución
$S_1$	Incertidumbre de la calibración del sensor patrón	B	1,00	Normal (k=2)	1/2	50,00000%	1	0,500000	67,97%
$S_{1,1}$	Incertidumbre de la tarjeta de adquisición	B	0,000054	Normal (k=2)	1/2	0,00270%	1	0,000027	0,00%
$U_{SA}$	Ganancia del amplificador	B	0,00091	Rectangular	4/7	0,05241%	1	0,000524	0,00%
$U_k$	Medida del voltaje	B	0,00229	Rectangular	4/7	0,13212%	1	0,001321	0,00%
$U_d$	Cambio de la frecuencia del muestreo	B	0,000622	Rectangular	4/7	0,03590%	1	0,000359	0,00%
$U_v$	Efecto por vibración externa	B	0,0003059	Especial	1/4	0,00765%	1	0,000076	0,00%
$U_m$	Efecto del parámetro de montaje (torque)	B	0,001654	Rectangular	4/7	0,09550%	1	0,000955	0,00%
$U_{m1}$	Efecto del parámetro de montaje (cable)	B	0,000246	Rectangular	4/7	0,01418%	1	0,000142	0,00%
$S_{1,1}$	Estabilidad del sensor de referencia	B	0,007079	Rectangular	4/7	0,40870%	1	0,004087	0,00%
$U_T$	Efecto de la temperatura	B	0,000177	Rectangular	4/7	0,01019%	1	0,000102	0,00%
f	Medida de la frecuencia de vibración	B	0,000408	Rectangular	4/7	0,2356%	1	0,000236	0,00%
$U_{k,1}$	Influencia causada por no linealidades inherentes a los sensores	B	0,594	Rectangular	4/7	34,27786%	1	0,342779	31,94%
$U_{k,1}$	Influencia causada por no linealidades inherentes en los amplificadores de señal	B	0,030	Rectangular	4/7	1,73205%	1	0,017321	0,08%
$U_{k,g}$	Influencia de la fuerza de gravedad	B	0,00000000	Rectangular	4/7	0,00000%	1	0,000000	0,00%
I(V <sub>k,s</sub> )	Influencia del campo magnético del shaker inducido sobre los sensores	B	0,0003115	Rectangular	4/7	0,01799%	1	0,000180	0,00%
$U_{k,t}$	Influencia de otros factores ambientales	B	0,00020679	Rectangular	4/7	0,01194%	1	0,000119	0,00%
(S <sub>re</sub> )	Influencia de efectos residuales medida de ensayos de repetibilidad, estimada por su desviación estándar del promedio aritmético	B	0,00014	Rectangular	4/7	0,00780%	1	0,000078	0,00%
Incertidumbre estándar combinada (uc(y))								0,61	
Incertidumbre expandida (U)								1,21	

Tabla 39. Porcentaje de incidencia en el rango de frecuencia entre 100 y 1000 Hz.

## RANGO DE FRECUENCIA: 1000 a 5000 Hz

x <sub>i</sub>	Descripción	Tipo eval.	Incertidumbre original	Tipo de distribución	Divisor	Incertidumbre estándar (u(x <sub>i</sub> ))	Coefficiente de sensibilidad (C <sub>i</sub> )	Contribución (u <sub>i</sub> (y))	% de contribución
S <sub>1</sub>	Incertidumbre de la calibración del sensor patrón	B	1,40	Normal (k=2)	1/2	0,70000	1	0,700	87,29%
S <sub>1.1</sub>	Incertidumbre de la tarjeta de adquisición	B	0,000054	Normal (k=2)	1/2	0,00003	1	0,000	0,00%
U <sub>sA</sub>	Ganancia del amplificador	B	0,001145	Rectangular	4/7	0,00066	1	0,001	0,00%
U <sub>s</sub>	Medida del voltaje	B	0,0005260	Rectangular	4/7	0,00030	1	0,000	0,00%
U <sub>sA</sub>	Cambio de la frecuencia del muestreo	B	0,00015653	Rectangular	4/7	0,00009	1	0,000	0,00%
U <sub>v</sub>	Efecto por vibración externa	B	0,0007434	Especial	1/4	0,00019	1	0,000	0,00%
U <sub>m</sub>	Efecto del parámetro de montaje (torque)	B	0,006126	Rectangular	4/7	0,00354	1	0,004	0,00%
U <sub>m1</sub>	Efecto del parámetro de montaje (cable)	B	0,001960	Rectangular	4/7	0,00113	1	0,001	0,00%
S <sub>1.1</sub>	Estabilidad del sensor de referencia	B	0,00542	Rectangular	4/7	0,00313	1	0,003	0,00%
U <sub>T</sub>	Efecto de la temperatura	B	0,000151792	Rectangular	4/7	0,00009	1	0,000	0,00%
f	Medida de la frecuencia de vibración	B	0,000735	Rectangular	4/7	0,00042	1	0,000	0,00%
U <sub>s,1</sub>	Influencia causada por no linealidades inherentes a los sensores	B	0,461619	Rectangular	4/7	0,26652	1	0,267	12,65%
U <sub>s,1</sub>	Influencia causada por no linealidades inherentes en los amplificadores de señal	B	0,03	Rectangular	4/7	0,01732	1	0,017	0,05%
U <sub>s,g</sub>	Influencia de la fuerza de gravedad	B	0,000000	Rectangular	4/7	0,00000	1	0,000	0,00%
I(V <sub>s,g</sub> )	Influencia del campo magnético del shaker inducido sobre los sensores	B	0,003153	Rectangular	4/7	0,00182	1	0,002	0,00%
U <sub>s,t</sub>	Influencia de otros factores ambientales	B	0,000098	Rectangular	4/7	0,00006	1	0,000	0,00%
(S <sub>s,e</sub> )	Influencia de efectos residuales medida de ensayos de repetibilidad, estimada por su desviación estándar del promedio aritmético	B	0,0001179	Rectangular	4/7	0,00007	1	0,000	0,00%
Incertidumbre estándar combinada (u <sub>c</sub> (y))								0,75	
Incertidumbre expandida (U)								1,50	

Tabla 40. Porcentaje de incidencia en el rango de frecuencia entre 1000 y 5000 Hz.

## RANGO DE FRECUENCIA: 5000 a 10000 Hz

x <sub>i</sub>	Descripción	Tipo eval.	Incertidumbre original	Tipo de distribución	Divisor	Incertidumbre estándar (u(x <sub>i</sub> ))	Coefficiente de sensibilidad (C <sub>i</sub> )	Contribución (u <sub>i</sub> (y))	% de contribución
S <sub>1</sub>	Incertidumbre de la calibración del sensor patrón	B	1,90	Normal (k=2)	1/2	0,95	1	0,95	94,10%
S <sub>1.1</sub>	Incertidumbre de la tarjeta de adquisición	B	0,000054	Normal (k=2)	1/2	0,00	1	0,000027	0,00%
U <sub>sA</sub>	Ganancia del amplificador	B	0,000401	Rectangular	4/7	0,00	1	0,000232	0,00%
U <sub>s</sub>	Medida del voltaje	B	0,00082	Rectangular	4/7	0,00	1	0,000476	0,00%
U <sub>sA</sub>	Cambio de la frecuencia del muestreo	B	0,0002124	Rectangular	4/7	0,00	1	0,000123	0,00%
U <sub>v</sub>	Efecto por vibración externa	B	0,00042	Especial	1/4	0,00	1	0,000105	0,00%
U <sub>m</sub>	Efecto del parámetro de montaje (torque)	B	0,01420	Rectangular	4/7	0,01	1	0,008200	0,01%
U <sub>m1</sub>	Efecto del parámetro de montaje (cable)	B	0,0147609	Rectangular	4/7	0,01	1	0,008522	0,01%
S <sub>1.1</sub>	Estabilidad del sensor de referencia	B	0,0200542	Rectangular	4/7	0,01	1	0,011578	0,01%
U <sub>T</sub>	Efecto de la temperatura	B	0,0004452	Rectangular	4/7	0,00	1	0,000257	0,00%
f	Medida de la frecuencia de vibración	B	0,000314	Rectangular	4/7	0,00	1	0,000181	0,00%
U <sub>s,1</sub>	Influencia causada por no linealidades inherentes a los sensores	B	0,4096	Rectangular	4/7	0,24	1	0,236497	5,83%
U <sub>s,1</sub>	Influencia causada por no linealidades inherentes en los amplificadores de señal	B	0,03	Rectangular	4/7	0,02	1	0,017321	0,03%
I(V <sub>s,g</sub> )	Influencia del campo magnético del shaker inducido sobre los sensores	B	0,01726	Rectangular	4/7	0,01	1	0,009965	0,01%
U <sub>s,t</sub>	Influencia de otros factores ambientales	B	0,00017	Rectangular	4/7	0,00	1	0,000099	0,00%
(S <sub>s,e</sub> )	Influencia de efectos residuales medida de ensayos de repetibilidad, estimada por su desviación estándar del promedio aritmético	B	0,00030	Rectangular	4/7	0,00	1	0,000171	0,00%
Incertidumbre estándar combinada (u <sub>c</sub> (y))								0,98	
Incertidumbre expandida (U)								1,96	

Tabla 41. Porcentaje de incidencia en el rango de frecuencia entre 5000 y 10000 Hz.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. CONCLUSIONES**

- Los factores los podemos agrupar en 3 tipos: con gran porcentaje de contribución entre 30 y 80%, con poco porcentaje de contribución entre 3 y 20 % y con casi nulo porcentaje de contribución menores al 1 %.
- Indiscutiblemente el factor que mas influye es la incertidumbre del sensor patrón con mas del 50 % de contribución, seguido de la no linealidad de los sensores cercano al 30 %.
- Al hacer el barrido de señal simultaneamente con la calibración, practicamente desaparece el efecto por la incertidumbre de la tarjeta de adquisición de datos.
- Un efecto que se destaca entre los de poca influencia es el vibratorio externo ya que se da a bajas frecuencias pero tendría que estar temblando un poco fuerte para ser percibido.
- Con excepción del efecto por cambio de torque o cambio de cable, todos los demás factores presentan influencias despreciables comparados con la incertidumbre del sensor patrón.
- El efecto generado por cambios de las condiciones ambientales del area técnica y por ende de los equipos es motivo de estudio en nuestro laboratorio.

### **4.2. RECOMENDACIONES**

- Realizar un lazo de control para las variables de temperatura y humedad con el fin de tener datos precisos durante las pruebas y además para saber el rango en el que se mueven estos valores.
- Establecer una prueba de referencia con unos valores fijos y a partir de allí se hace variar un solo factor para hacer pruebas de reproducibilidad y mantener todos los valores idénticos a los de la prueba de referencia para medir repetibilidad.

## 5. BIBLIOGRAFIA

[1] GRANADOS GÓMEZ RICARDO ANDRÉS. Elaboración y Publicación de una Guía Metrológica sobre el Cálculo de la Incertidumbre Asociada a las Medidas de los Equipos y Ensayos Realizados en el Laboratorio, 2006, Universidad Pontificia Bolivariana-Seccional Bucaramanga, pags 42 a 46.

[2] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS: ICONTEC. La Incertidumbre en los procesos de medición, 2007, asocreto, pag 46.

[3] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS: ICONTEC. Cómo Implementar un Sistema de Gestión Práctico y Eficaz en Laboratorios de Ensayo y Calibración, 2004, Icontec, pags 79 a 87

[4] NORMA TECNICA NTC/ISO 17025, REQUISITOS GENERALES PARA LA COMPETENCIA DE LABORATORIOS DE ENSAYO Y CALIBRACION, International Organization for Standardization.

[5] NORMA TECNICA ISO 16063-21, METHODS FOR THE CALIBRATION OF VIBRATION AND SHOCK TRANSDUCERS -- PART 21: VIBRATION CALIBRATION BY COMPARISON WITH A REFERENCE TRANSDUCER, International Organization for Standardization.

[6] GRANADOS GÓMEZ RICARDO ANDRÉS. Elaboración y Publicación de una Guía Metrológica sobre el Cálculo de la Incertidumbre Asociada a las Medidas de los Equipos y Ensayos Realizados en el Laboratorio, 2006, Universidad Pontificia Bolivariana-Seccional Bucaramanga, pag 56.

[7] BALACHANDRAN B. & MAGRAB E. Vibraciones, 2006, Ed. Thomson Learning, pags 195 y 437.

[8] <http://www.onac.org.co/modulos/contenido/default.asp?idmodulo=200>  
(consulta 2013-07-19)