

**DOCUMENTACIÓN Y VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN DE SENSORES DE
VIBRACIÓN INSTALADOS EN SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO DE
VIBRACIONES BENTLY NEVADA Y A-CONDITIONER SEGÚN NORMA**

API 670.

NELSON DANIEL BALLESTEROS LEÓN



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

2013

**DOCUMENTACIÓN Y VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN DE SENSORES DE
VIBRACIÓN INSTALADOS EN SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO DE
VIBRACIONES BENTLY NEVADA Y A-CONDITIONER SEGÚN NORMA**

API 670.

NELSON DANIEL BALLESTEROS LEÓN

**Informe final de práctica empresarial para optar por el título de
INGENIERO MECÁNICO**

Director

**Ing. Jorge Marcel Rueda Forero
Gerente General
A-MAQ S.A.**

Supervisor

**Ing. Gilberto Carlos Fontecha Dulcey
Docente de Ing. Mecánica
UPB-Bucaramanga**

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

2013

Nota de aceptación:

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga 18 de Marzo de 2013

DEDICATORIA

A Dios, por darme fortaleza y sabiduría en momentos difíciles. A mi familia, y especialmente a mis padres, quienes me han aconsejado y escuchado incansablemente. A mi hermana, por ser esa persona con la que he compartido incondicionalmente mis triunfos y fracasos. Y a una de mis mejores amigas, Lorena.

Nelson Daniel Ballesteros León

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Gilberto Fontecha, por haberme transmitido su conocimiento en el mundo de las vibraciones de máquinas, por haberme dado la oportunidad de trabajar en el semillero de vibraciones y desde ahí aprender a discernir con sabiduría en decisiones profesionales. Y al excelente grupo de docentes quienes en toda la carrera inculcaron en mí, las bases para iniciar un aprendizaje autónomo.

A A-MAQ S.A, por abrirme las puertas de esa gran empresa y darme la oportunidad de aprender acerca de las soluciones innovadoras que allí se desarrollan.

Nelson Daniel Ballesteros León

GLOSARIO

Acción Correctiva: acción tomada para eliminar las causa de una no conformidad detectada u otra situación no deseable.¹

Acción Preventiva: acción tomada para eliminar la causa de una no conformidad potencial u otra situación potencialmente no deseable.²

Auditoria: proceso sistemático, independiente y documentado para obtener evidencias objetivas con el fin de determinar que se cumplen los criterios establecidos.³

Calidad: grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos.⁴

Procedimiento: forma específica de llevar a cabo una actividad o un proceso.⁵

Proceso: conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados.⁶

Prueba de Lazo: La Prueba General del Sistema, o prueba de Lazo determina el funcionamiento integral del sistema de vibraciones. Esta es la prueba más concluyente, ya que se puede determinar con una sola medición la validez de los datos de vibraciones. En esta se incluye la continuidad de los datos entre: Sensor, Extensión, Acondicionador, Cable de Instrumentación, Módulo de Vibraciones, Monitor de Vibraciones, Sistema de comunicaciones, y correcta programación del sistema DCS - SCADA.⁷

¹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN- ICONTEC- Sistemas de Gestión de la Calidad. Fundamentos y vocabulario. NTC 9000. Bogotá D.C.: El instituto, 2005. 17 p.

² *Ibíd.*, p. 17

³ *Ibíd.*, p. 20

⁴ *Ibíd.*, p. 20

⁵ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN- ICONTEC- Sistemas de Gestión de la Calidad. Fundamentos y vocabulario. NTC 9000. Bogotá D.C.: El instituto, 2005. 15p.

⁶ *Ibíd.*, p. 14.

⁷ Entrevista con Ing Marcel Rueda, Gerente general A-MAQ S.A , 27 de Noviembre de 2012

Acelerómetro: Sensor piezo eléctrico que contiene un amplificador integral con una salida proporcional a la aceleración.⁸

Cable de Acelerómetro: Conjunto de piezas que consiste en un cable con una longitud determinada y un conector. (El conector y el cable deben ser compatibles con el sensor).⁹

Dirección Normal de empuje: Dirección axial del rotor debido a una carga de empuje, el fabricante de la máquina determina el sentido normal o inverso de la dirección normal de empuje del sensor.¹⁰

Bench Test: Test de fábrica desarrollado dentro de los parámetros de operación del equipo y/o instrumento.¹¹

Salida Bufereada: Replica de la señal análoga de la salida del transductor que mantiene la magnitud de la amplitud, fase, frecuencia y polaridad de la señal. Está diseñada para prevenir un corto circuito de la salida del sistema de monitoreo que pueda llegar a afectar la operación de la máquina.

El propósito de esta salida es permitir la conexión de analizadores de vibración, osciloscopios y otros instrumentos para probar las señales de los transductores.¹²

Canal: Componente del sistema de monitoreo asociado con un solo transductor, el número de canales en un sistema de monitoreo está ligado al número de transductores instalados en la máquina.¹³

Rango Dinámico: Rango útil de amplitud de una señal, usualmente expresado en decibles.¹⁴

Cable de extensión: Cable de interconexión entre el sensor o sonda y el transmisor de señal.¹⁵

Proximito®: Es un demodulador de oscilaciones o transmisor de señal con factor de escala normalmente de 7,87 V/mm.¹⁶

⁸ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE-Machinery Protection Systems. API 670. EEUU-Noviembre de 2003.

⁹ *Ibíd.*,p2

¹⁰ *Ibíd.*,p2

¹¹ *Ibíd.*,p3

¹² *Ibíd.*,p3

¹³ *Ibíd.*,p5

¹⁴ *Ibíd.*,p5

¹⁵ *Ibíd.*,p3

¹⁶ 3300 8 mm Transducer System-Bently Nevada Corporation 1989,1994 CopyRight and Trademark reserved.

Intercambiable en Campo: Característica de diseño de los sistemas de protección de maquinaria que permite la alteración de una función después de que el sistema ha sido instalado.¹⁷

Rango lineal: Porción de la salida de un transductor donde la razón de cambio entre la salida y la entrada es lineal dentro de una tolerancia específica.¹⁸

Set de Alarma o alerta: Es un valor predefinido en los monitores de sistemas de protección de maquinaria en los cuales una alarma es activada para advertir de una condición que requiere una acción correctiva.¹⁹

¹⁷ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE-Machinery Protection Systems. API 670. EEUU-Noviembre de 2003.

¹⁸ *Ibíd.*, p 3

¹⁹ *Ibíd.*, p 3

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. OBJETIVOS	17
1.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
2. GENERALIDADES DE LA EMPRESA	18
2.1. RESEÑA HISTORICA	18
2.2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	18
2.3. INFRAESTRUCTURA	18
3. MARCO TEORICO	20
3.1. SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE MAQUINARIA	20
3.1.1. Sistema de transducción	21
3.1.2. Sistema de monitoreo	21
3.2. NORMA API 670:2003	21
3.3. REQUERIMIENTOS PRESENTADOS EN LA NORMA API 670 QUE ESTÁN RELACIONADOS CON LAS LABORES DE LA PRACTICA EMPRESARIAL.	23
4. ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL	26
4.1 METODOLOGÍA	26
4.2 DIAGNOSTICO DE LA METODOLOGIA EMPLEADA PARA VERIFICAR CALIBRACIÓN DE SENSORES DE VIBRACIÓN.	27
4.3 DOCUMENTACIÓN DE CALIBRACIÓN DE SENSORES DE VIBRACIÓN.	30

4.4	CHECK LIST DE AVANCE DEL PROCESO	30
5	ACTIVIDADES DE CAMPO	32
5.1	I ETAPA 32	
5.1.1	Reconocimiento general de planta y maquinas	33
5.1.2	Información preliminar	33
5.1.3	Resumen de incidencias	35
5.2	II ETAPA	38
5.3	SOCIALIZACION DE LA DOCUMENTACION	39
6.	CONCLUSIONES	40
	BIBLIOGRAFIA	41
	ANEXOS	42

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Cuadro comparativo entre las sedes de la organización.	19
Tabla 2. Requerimientos de exactitud de sistemas de protección de maquinaria.	23
Tabla 3. Diagnóstico y planificación del sistema de gestión de calidad.	27
Tabla 4. Cronograma general de actividades del Proyecto EPO	32
Tabla 5. Cronograma Específico de actividades del Proyecto EPO.	32
Tabla 6. Estado de incidencias por máquina.	35
Tabla 7. Resumen general de incidencias	36

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 Diagrama de Sistema de Protección de Maquinaria	22
Figura 2. Resumen general de incidencias	37
Figura 3 Esquema general de rehabilitación de Maquinaria, proyecto Salaco.	38

ANEXOS

	pág.
Anexo 1. METODOLOGIA DE LA PRACTICA EMPRESARIAL	26
Anexo 2. CHECK LIST DE AVANCE DE PROCESO	44
Anexo 3. RELACIÓN DE INSTRUMENTOS DE VIBRACIÓN PLANTA EPO	33
Anexo 4. FORMATO DE ANALISIS DE TRABAJO SEGURO	46
Anexo 5. MATRIZ DE VALORACIÓN DE RIESGOS RAM	49
Anexo 6. MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN DE SENSORES DE VIBRACIÓN	50

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TÍTULO: DOCUMENTACIÓN Y VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN DE SENSORES DE VIBRACIÓN INSTALADOS EN SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO DE VIBRACIONES BENTLY NEVADA Y A-CONDITIONER SEGÚN NORMA API 670

AUTOR: NELSON DANIEL BALLESTEROS LEON

FACULTAD: INGENIERÍA MECÁNICA

SUPERVISOR: GILBERTO C. FONTECHA DULCEY

RESUMEN

En el desarrollo de esta práctica empresarial se llevó a cabo un diagnóstico sobre el cumplimiento de la Norma API 670 (Sistemas de protección de maquinaria), enfocado a los procedimientos de prueba, aceptación y verificación de sensores de vibración; a partir de la cual se planearon actividades relacionadas con el campo de acción de la Ingeniería Mecánica para dar cumplimiento con los requisitos de la norma y a su vez se planificaron actividades para solucionar algunas necesidades específicas relacionadas con la documentación y medición de la condición de instrumentación de sistemas de monitoreo continuo de vibración. Siguiendo las actividades planeadas se realizaron procedimientos, se elaboraron y mejoraron formatos de registro de actividades (Puntos de control) propios de los procesos de verificación de calibración de sensores, con el fin de estandarizar el proceso en la empresa y hacerlo repetible y reproducible con la misma metodología. Adicionalmente se realizaron actividades que ayudaron a dar cumplimiento a las fechas de entrega de proyectos propuestos por contratación directa con empresas de generación de energía y transporte de crudo.

PALABRAS CLAVES: API 670, verificación de calibración, sensores de vibración, monitoreo de vibración.

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: DOCUMENTACIÓN Y VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN DE SENSORES DE VIBRACIÓN INSTALADOS EN SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO DE VIBRACIONES BENTLY NEVADA Y A-COONITIONER SEGÚN NORMA API 670

AUTHOR: NELSON DANIEL BALLESTEROS LEON

FACULTY: MECHANICAL ENGINEERING

SUPERVISOR: GILBERTO C. FONTECHA DULCEY

ABSTRACT

In developing this engineering practice was carried out an diagnostic about compliance of the Standard API 670 (Machinery protection systems) specifically in the test procedures and acceptance verification of vibration probes, from which were planned activities related to the scope of Mechanical Engineering to comply with the requirements of this standard and its activities were planned time to solve some specific needs related to the documentation and measurement of instrumentation systems that provided continuous vibration monitoring. Following the planned activities were performed procedures, were developed and improved activity own processes log formats (checkpoints) of verification of vibration probes in order to standardize the process in the company and do repeatable and reproducible using the same methodology. In addition to the planned activities, others were performed in order to help comply with delivery dates of projects proposed by private treaty with power generation companies and oil transport.

KEYWORDS: API 670, verification of vibration probes, system monitoring.

INTRODUCCIÓN

A-MAQ S.A. con sede principal en Medellín-Antioquia ofrece dentro de su portafolio de proyectos y servicios, procesos de desarrollo, montaje, capacitación, mantenimiento y puesta en servicio de sistemas de monitoreo de vibración los cuales son utilizados para valorar la condición de operación de maquinaria rotativa y establecer criterios de mantenimiento predictivo con el fin de estimar la confiabilidad de los diferentes procesos en los cuales las máquinas están involucradas.

En el primer periodo de la práctica empresarial, se representó a la empresa prestando los servicios de calibración de sensores de vibración y mantenimiento del sistema continuo de vibraciones intrínsecamente seguro Bently Nevada 3300 en la planta el Porvenir EPO (Monterrey- Casanare) de OCENSA S.A. que es operada por ECOPETROL S.A ejecutándose el contrato proveniente de la solicitud privada de ofertas N° 3000004870 de OCENSA S.A, posteriormente se prestaron servicios de acompañamiento, instalación, verificación y mantenimiento en la rehabilitación de sistemas de monitoreo de vibración de las Centrales San Antonio, Limonar y Colegio de EMGESA S.A ejecutándose el contrato proveniente de la solicitud privada N° BCS-100287912-L02.

Estas actividades se realizan con el fin de verificar la condición de funcionamiento de los sensores instalados en las máquinas y determinar su estado; también permiten asegurar la continuidad e integridad del sistema completo, sistema de transducción y monitoreo en DCS por medio de la prueba de lazo, actividad que sirve de soporte en el área de instrumentación y control para complementar el mantenimiento preventivo programado para cada una de las máquinas haciendo uso de buenas prácticas de ingeniería.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Verificar la calibración de sensores de vibración en los sistemas de monitoreo continuo de vibraciones de las marcas Bently Nevada y A-Conditioner bajo los lineamientos de la norma API 670 en la empresa A-MAQ S.A. con el fin de mejorar la oferta de servicios técnicos con buenas prácticas de ingeniería.

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar un diagnóstico del proceso de calibración de sensores de vibración conforme a lo mencionado en la norma API 670 mediante la recopilación de información presente en la empresa. Resultado: registros del diagnóstico. Indicador: Se realiza siguiendo las técnicas de entrevista y análisis de procedimientos.
- Documentar la calibración de sensores de vibraciones bajo los lineamientos de la norma API 670. Resultado: registros del proceso de documentación. Indicador: Se realiza siguiendo los requisitos estipulados por dicha norma.
- Verificar la calibración de sensores de vibraciones bajo los lineamientos de las norma API 670. Resultado: Veredicto de las condiciones de operación del sensor. Indicador: Se realiza siguiendo los requisitos estipulados en la norma.
- Implementar metodologías que ayuden a reducir el tiempo de mantenimiento de los sistemas de monitoreo continuo de vibraciones Bently Nevada 3300. Resultado: Documento con la variante de metodología a utilizar. Indicador: Es imprescindible la correcta comprensión del fenómeno vibratorio presente en las máquinas para ajustar la configuración del sistema.

2. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

2.1. RESEÑA HISTORICA

Desde 1996, AMAQ S.A. se ha caracterizado por crear soluciones para la detección anticipada de fallas mediante el análisis de vibraciones. Sus productos y servicios impactan directamente en la confiabilidad de procesos industriales, los cuales permiten una operación más confiable y segura de máquinas, a través de soluciones tecnológicas de excelente calidad con el personal de ingeniería más calificado. [1]

2.2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La División de Proyectos de **A-MAQ S.A.** se especializa en el diseño, programación, construcción y puesta en operación de equipos de medición y software avanzados para análisis de vibraciones y análisis acústicos.

La División de Proyectos brinda a la industria soluciones tecnológicas de excelente calidad y desempeño como la línea de sistemas **A-PREDICTOR®**, **A-BALANCE®** y **A-SPECTROGRAM®**.

La División de Servicios de **A-MAQ S.A.** realiza análisis especiales en maquinaria rotativa y alternante, análisis en estado transitorio, balanceo dinámico especial, control de vibraciones, aumento de velocidad en líneas de producción a través de análisis de vibraciones y montaje de programas de análisis de vibraciones orientados a gestión de confiabilidad para la gran industria. [1]

2.3. INFRAESTRUCTURA

La organización cuenta con una sucursal en la ciudad de Bogotá y una sede principal ubicada en la ciudad de Medellín.

Tabla 1. Cuadro comparativo entre las sedes de la organización.

	MEDELLIN	BOGOTÁ
Tipo de Sede	Principal	Alternativa
Servicios	Balaceo de rotores Alineación de máquinas Caracterización dinámica de rotores. Monitoreo de Vibraciones	Monitoreo de Vibraciones Mercadeo en sector de petróleo y generación de energía
Tipo de Taller	Mantenimiento, ajuste mecánico.	Alistamientos de Equipos
Laboratorio	Verificación de Calibración de sensores de vibración	No existe
Bodega	Partes y equipos	Partes

Fuente: Ing. Marcel Rueda, Gerente de servicio. A-MAQ S.A. Medellín.

3. MARCO TEORICO

En el presente marco teórico se enuncian las diferentes secciones en las que están divididos los sistemas de protección de maquinaria convencionales y sus principales funciones, es de resaltar que para el caso de esta práctica se trabajó en las dos subdivisiones principales de protección (sistema de transducción y sistema de monitoreo) de forma directa; seguido a esto se presenta el diagrama de los elementos mínimo requeridos que componen los sistemas de protección de maquinaria mínimos requeridos para cumplir con los estándares internacionales descritos en la norma API 670. Se agrega la definición de la norma y su aporte al procedimiento de verificación de calibración de sensores de vibración y la forma como se deben realizar los diferentes procedimientos con el fin de utilizar buenas prácticas de ingeniería.

3.1. SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE MAQUINARIA

GERENCIA DE MAQUINARIA

Es el uso de elementos para proveer datos o información que son interpretados y aplicados por humanos para evaluar la condición de maquinaria y definir su caracterización normal de operación, mantenimiento y por consiguiente mejorar su funcionamiento.²⁰

PROTECCIÓN DE MAQUINARIA

Conjunto de elementos que miden la condición de funcionamiento de máquinas y/o partes de máquinas; consiste básicamente en un sistema de transducción, cable de señal, sistema de monitoreo, acoples o dados de sujeción de los sensores y la respectiva documentación.²¹

²⁰ BENTLY D. E.,2002,USA Fundamentals of Rotating Machinery Diagnostics

²¹ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE-Machinery Protection Systems. API 670. EEUU-Noviembre de 2003.

El uso de estos productos provee un apagado automático de la máquina con el fin de retornarla a una condición de seguridad o a un modo de operación no destructivo sin la intervención de operación por parte de seres humanos.²²

3.1.1. Sistema de transducción

Está conformado por un sensor de vibración (sensor de proximidad, acelerómetro, velocímetro), cable de extensión, y acondicionador de señal (cuando es requerido); son los dispositivos encargados de convertir una magnitud física de una cantidad (aceleración, velocidad o distancia) en otra cantidad (generalmente en mV) para un propósito de medición. La segunda cantidad siempre tiene unidades de medición diferentes de la primera. El sistema de transducción genera una señal que es proporcional a la variable medida.

3.1.2. Sistema de monitoreo

Es un procesador de señal que tiene la capacidad de determinar estados de alarma (alerta) y disparo (peligro) de la máquina por medio de procesamiento lógico, posee alimentación de energía, indicadores visuales, entradas-salidas, y relés de protección.²³

3.2. NORMA API 670:2003

Estándar que generaliza los requerimientos mínimos de instrumentación para proteger una máquina con sistemas de monitoreo de vibraciones, basado en buenas prácticas de ingeniería.

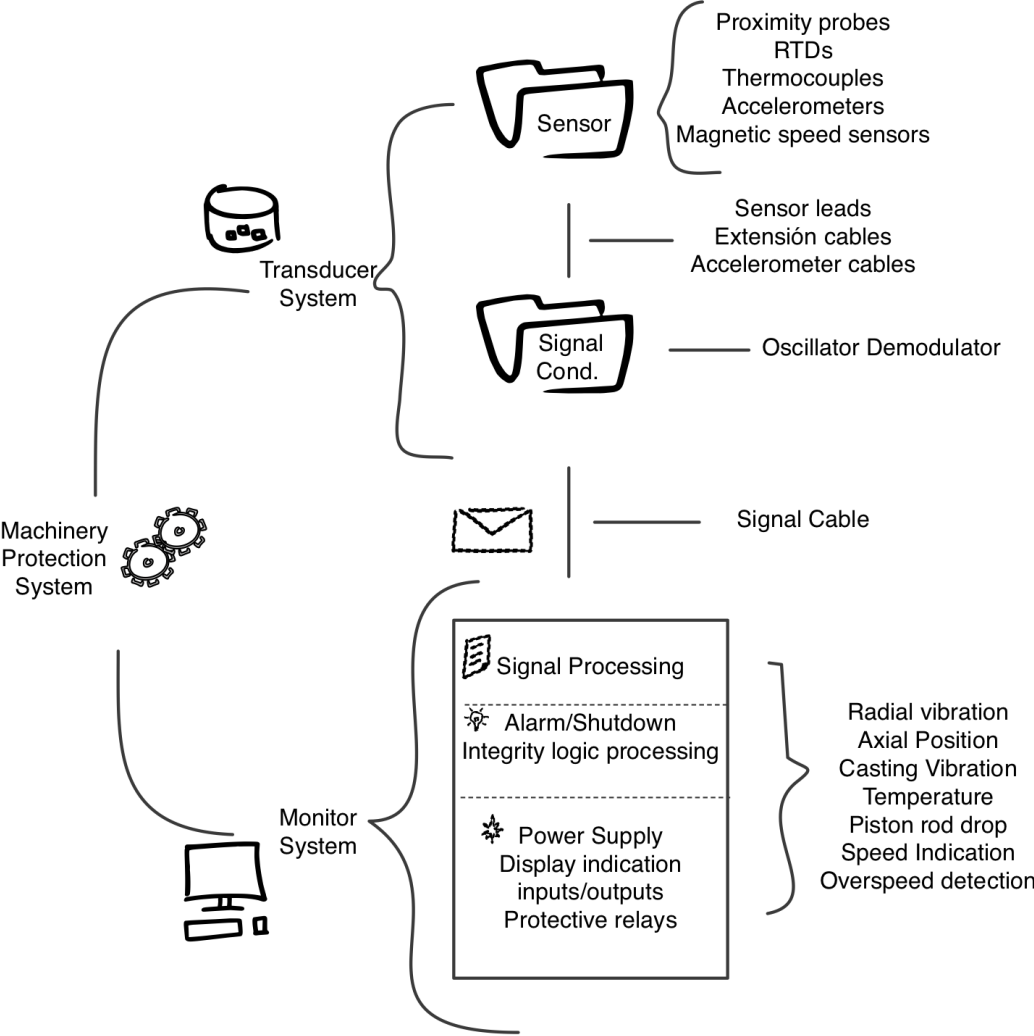
Entre los requerimientos mínimos se encuentra la medición de vibración radial en ejes, vibración de carcasas, posición axial de ejes, velocidad rotacional de ejes, posición de biela dentro del cilindro, referencia de fase, y temperaturas críticas.

²² BENTLY D. E.,2002,USA Fundamentals of Rotating Machinery Diagnostics

²³ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE-Machinery Protection Systems. API 670. EEUU-Noviembre de 2003.

También cubre los mínimos requerimientos de Hardware (Transductores y sistemas de monitoreo), instalación, documentación y pruebas.

Figura 1 Diagrama de Sistema de Protección de Maquinaria



Fuente: Autor del proyecto

3.3. REQUERIMIENTOS PRESENTADOS EN LA NORMA API 670 QUE ESTÁN RELACIONADOS CON LAS LABORES DE LA PRACTICA EMPRESARIAL.

Según las especificaciones generales de diseño las pruebas de hardware de sistemas de protección de maquinaria se deben realizar dentro de unas condiciones especiales para evaluar la precisión, exactitud, sensibilidad y repetitividad de las mediciones entregadas por los transductores. Los componentes de estos sistemas tienen dos rangos de temperatura (ver Tabla 2), el rango de pruebas y el rango de operaciones sobre los cuales la exactitud debe ser medida y dentro de los cuales tiene que operar.

Tabla 2. Requerimientos de exactitud de sistemas de protección de maquinaria.

<i>Componentes</i>	Temperatura	Requerimientos de Exactitud en f(T)
	<i>Rango de pruebas</i>	<i>Dentro de Rango de Prueba</i>
Sondas de Proximidad	0°C a 45°C (32°F a 110°F)	Incremental Scale Factor: $\pm 5\%$ de 7,87 mV/ μm (200 mV/mil) Deviation from Straight Line: dentro de $\pm 25,4 \mu\text{m}$ de la mejor línea recta que se adecue a 7,87 mV/ μm (200 mV/mil) Minimum Linear range: 2mm (80 mils)
Cables de extensión	0°C a 45°C (32°F a 110°F)	
Oscilador-Demodulador	0°C a 45°C (32°F a 110°F)	
Acelerómetros y cables de extensión de acelerómetros	20°C a 30°C (68°F a 86°F)	Eje principal de sensibilidad: 100 mV/g $\pm 5\%$
		Linealidad de la amplitud: 1% de 0,1 g pk a 50 g's pk
		Respuesta en Frecuencia: ± 3 dB de 10 Hz a 10 kHz, referenciado a la medición actual de sensibilidad en el eje principal.
Sensores de temperatura	0°C a 45°C (32°F a 110°F)	± 2 °C (± 4 °F) sobre un rango de medición de -20 °C A 150 ° c (0°F to 300°F)
Vibración Radial, Posición Axial, Caída de biela de pistón, Vibración de carcasa	0°C a 45°C (32°F a 110°F)	$\pm 1\%$ del rango de full escala por cada canal.
Temperatura		± 1 °C (± 2 °F)
Velocidad y sobrevelocidad		$\pm 1\%$ of Alarm SetPoint

Fuente: Machinery Protection Systems, standard API 670. pág 8. 2003.

Notas:

1. En esta tabla se presentan solo apartes de los requisitos de la norma donde se contempla el rango de pruebas, para mayor información sobre los numerales aquí descritos o sobre los requisitos mínimos para el rango de operación, remítase a la Norma API 670.

2. El incremental Scale Factor es la máxima cantidad que puede variar el factor de escala partiendo de $7,87 \text{ mV}/\mu\text{m}$, cuando es medido en incrementos específicos a través del rango lineal. Las mediciones se hacen usualmente en intervalos de $250 \mu\text{m}$. ISF es asociado con errores en las lecturas de mediciones radiales

3. La desviación de la línea recta (DSL), por sus siglas en inglés, es el máximo error (en mils) en el GAP del sensor, leído de un voltaje comparado con $7,87 \text{ mV}/\mu\text{m}$ ($200 \text{ mV}/\text{mil}$). DSL es asociado con errores en las lecturas de posición axial o en el GAP del sensor.

4. Durante la prueba de los acelerómetros, el parámetro que está bajo prueba es el único que es variado. Los otros parámetros deben mantenerse constantes.

El contenido anteriormente presentado permite entender la importancia del trabajo mostrado en el siguiente capítulo ya que se realizó la explicación de los conceptos más representativos y necesarios sobre los cuales se sustenta el alcance del trabajo de práctica empresarial.

PRUEBAS DE CAMPO

Todos los parámetros descritos en la Norma API 670 Sección 5,4 deben ser verificados y probados, sus respectivos resultados deben ser documentados e incluidos en la información técnica que se le entrega al cliente con su compra en un tiempo no mayor a treinta (30) días hábiles después de finalizar las pruebas de campo.

Cada sistema de monitoreo debe ser probado en campo para verificar su calibración en el rango de temperatura de prueba (ver Tabla 2).

Para sistemas de transducción de proximidad, una gráfica del gap de mínimo 10 puntos en micras o mils versus la transducción de la salida en voltaje debe ser entregada por el analista de vibraciones de maquinaria.

Para sistemas de vibración de carcasas se debe usar un shaker en conjunto con el acelerómetro de trabajo y un acelerómetro calibrado de referencia para realizar la prueba. El acelerómetro debe ser probado sobre el rango de frecuencias y rangos de amplitud descritos en las Tablas 3A y 3B de la norma API 670.²⁴

²⁴ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE-Machinery Protection Systems. API 670. EEUU-Noviembre de 2003, p 37

4. ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

Las primeras semanas fueron dedicadas al conocimiento de los procesos en la empresa, el personal, las autoridades, el reglamento interno, el conducto regular a seguir en caso de inconvenientes con el equipo de trabajo entre otros aspectos importantes para el sano desarrollo de las actividades. Simultáneamente con la realización del diagnóstico del proceso de calibración de sensores de vibración y planificación-ejecución de actividades de campo se buscaron nuevas metodologías para optimizar el tiempo de parada de maquina durante estos procedimientos; en la Tabla 3 se puede apreciar el resultado del diagnóstico.

Luego de establecer y ejecutar el plan de acción se obtiene como resultado los manuales de procedimientos para mantenimiento general del rack 3300 de Bently Nevada, verificación de calibración de sensores de proximidad, verificación de calibración de sensores sísmicos, remoción e instalación de sensores, galgado de sensores de proximidad, ajuste de calibración de monitores de vibración y sus respectivos canales.

Al final de la práctica se realiza una labor de socialización de las nuevas pautas para verificar la calibración de sensores de vibración con el personal a cargo del área de proyectos y servicios.

4.1 METODOLOGÍA

La metodología propuesta para el desarrollo de las actividades se encuentra en el Anexo 1.

4.2 DIAGNOSTICO DE LA METODOLOGIA EMPLEADA PARA VERIFICAR CALIBRACIÓN DE SENSORES DE VIBRACIÓN.

Tabla 3. Diagnóstico y planificación del sistema de gestión de calidad.

<p>Nota: en la siguiente tabla se observa el estado de cumplimiento de la empresa en los procedimientos de verificación de calibración de sensores de vibración. Cabe resaltar que solo se especifica en el plan de acción los requisitos en los cuales están relacionadas las actividades de práctica empresarial (Ver tabla 1). Este documento fue realizado con base a entrevistas con la Ingeniera Sandra Paulina Valencia, coordinadora de proyectos y HSEQ, Jorge Armando Osorio, director de proyectos y el Ingeniero Marcel Rueda, gerente de servicios. Dichas entrevistas fueron realizadas entre el 1 de Marzo y 11 de Marzo de 2013.</p>		
REQUISITO	DIAGNÓSTICO	PLAN DE ACCIÓN
Metodología para verificación de calibración de sensores de vibración		
i. REQUISITOS GENERALES	a) Es necesario definir cuáles son los procedimientos requeridos para cumplir con lo especificado en la norma, para nuestro caso la organización quiere implementar buenas prácticas de ingeniería en sus nuevos proyectos, sin embargo como el Sistema de protección de maquinaria es un dispositivo integral, se puede decir que si un elemento dentro del lazo falla este muy probablemente pueda hacer que falle todo el sistema. Por tanto se requiere que todos los procedimientos de verificación de calibración de sensores y monitores de vibración se encuentren muy bien	a) Hacer el mapa de procedimiento de toda la actividad en general, especificando cada uno de las herramientas y equipos a utilizar y las variables que se quieren medir.

	<p>documentados.</p> <p>b) Los procesos en la empresa funcionan de manera adecuada, los grupos de trabajo por proceso saben sus responsabilidades, el alcance de sus labores y las limitaciones de las mismas, sin embargo es necesario establecer la secuencia y la interacción que siguen dichos procesos así como el alcance de los mismos y plasmar esto en un documento.</p> <p>c) Los empleados cuentan con todos los recursos e información necesarios para que puedan solucionar inconvenientes en campo de manera adecuada.</p> <p>d) No existe documentación de actividades de retroalimentación después de finalizado un proyecto de verificación de calibración.</p>	<p>b) Realizar mapas (Esquema) de los procesos realizados en las diferentes etapas de ingeniería (básica, detalle y concepto).</p> <p>c) Fortalecer y establecer puntos de control para verificar la correcta ejecución de los trabajos realizados. (Check Point y Check List).</p> <p>d) Planificar y hacer acciones de mejora continua con base a la información recopilada por los ingenieros.</p>
REQUISITOS DE LA DOCUMENTACIÓN TÉCNICA		
Generalidades	<p>a) Existe un formato de verificación de calibración de sensores para realizar pruebas en campo y otro en Laboratorio.</p>	<p>a) Revisar los formatos encontrados en la empresa e identificar los parámetros</p>

	<p>b) No existe un formato para verificar la configuración de los monitores de vibración para posterior ajuste de calibración.</p> <p>c) No existen procedimientos para calibración de sensores de proximidad, sensores sísmicos, remoción e instalación de sensores, galgado de sensores de proximidad, ajuste de calibración de monitores de vibración y mantenimiento general del rack de Bently Nevada 3300.</p> <p>d) Existen formatos en los que está registrado el cableado eléctrico del A-Conditioner.</p> <p>e) No existen formatos técnicos del montaje de sistema de protección de vibraciones.</p>	<p>tenidos en cuenta para realizar las mediciones.</p> <p>Unificar el sistema de unidades empleado en los formatos encontrados y/o implementar doble lectura de unidades.</p> <p>b) Elaborar formato inteligente que determine mediante parametrización de hardware la configuración instalada en el monitor.</p> <p>c) Elaborar manual de Procedimientos de servicio y procedimientos que exige la norma y los que la organización considere necesarios.</p> <p>d) Verificar el formato de cableado eléctrico del A-Conditioner a formato dwg.</p> <p>e) Elaborar formatos de layout y planimetría para optimizar tiempo.</p>
--	---	--

4.3 DOCUMENTACIÓN DE CALIBRACIÓN DE SENSORES DE VIBRACIÓN.

Se realizaron documentos generales de los procedimientos comúnmente utilizados para prestar el servicio de verificación de calibración de sensores y monitores de vibración. Estos procedimientos establecen la metodología idónea para realizar las diferentes etapas del proceso de calibración e intervención de una máquina, en caso de requerir información específica sobre los sistema de transducción o monitoreo es imprescindible recurrir al manual entregado por el fabricante.

Contenido del Manual General de Procedimientos.

- Calibración de sensores de proximidad
- Calibración Sensores sísmicos
- Remoción e instalación de sensores
- Galgado de sensores de proximidad
- Ajuste de calibración de canales

En ellos se podrá encontrar una descripción general de las actividades a realizar así como la secuencia de estas y los criterios de evaluación que se deben tener en cuenta para la aprobación del correcto funcionamiento del sensor de vibración.

Además se estableció un formato único para documentar la verificación de la calibración de sensores de vibración tipo proximidad conforme a lo especificado en la norma API 670.

4.4 CHECK LIST DE AVANCE DEL PROCESO

Con el ánimo mejorar el servicio de verificación se optó por establecer puntos de control, ya que las necesidades de los clientes y del personal a cargo de las reparaciones y/o mantenimiento así lo demandaba.

En el check list (Ver Anexo 2) se evidencia el avance del proceso de mantenimiento y calibración de sensores por maquina; con la ayuda de este sistema de ordenamiento de actividades se programaron tareas en conjunto con el

personal de instrumentación de planta para dar un orden claro y específico de las funciones que cada uno de los integrantes del equipo de trabajo realizó durante las actividades diarias.

5 ACTIVIDADES DE CAMPO

La verificación de calibración de sensores de vibración se realizó en dos etapas, la primera etapa (proyecto EPO) fortaleció y alimento de información el diagnóstico inicial y en la segunda etapa (proyecto SALACO) se tuvo en cuenta las recomendaciones y ajustes de acuerdo a la norma para mejorar los formatos y metodología.

5.11 ETAPA

Tabla 4. Cronograma general de actividades del Proyecto EPO

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES		MES		Nov				Dic					
ACTIVIDAD		SEMANA				1	2	3	4	1	2	3	4
1. Capacitación teórica con pruebas de Laboratorio en A-MAQ S.A.													
2. Reconocimiento general de la Planta y de las máquinas.													
3. Pruebas del sistema Bently Nevada 3300, Calibración de sensores y Pruebas integrales de todo el sistema de monitoreo de vibraciones para las unidades principales y rebooster.													

Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 5. Cronograma Específico de actividades del Proyecto EPO.

CRONOGRAMA EJECUTADO	ACTIVIDAD	NOVIEMBRE											DICIEMBRE																	
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
		M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M
	Revisión de documentos y elaboración de permisos																													
	Curso de Seguridad OCENSA																													
	Bomba BPC 42040																													
	Bomba BPC 42030																													
	Bomba BPC 42050																													
	Bomba BPC 42060																													
	Bomba BPC 42010																													
	Bomba BPC 42070																													
	Bomba BRE 41120																													
	Bomba BPC 42020																													
	Bomba BRE 41140																													
	Bomba BRE 41110																													
	Bomba BRE 41130																													
	Bomba BPC 42080																													
	Revisiones finales y cierre																													

Fuente: Autor del proyecto.

5.1.1 Reconocimiento general de planta y maquinas

La planta El Porvenir (EPO) consta de diez unidades principales y 4 rebooster cada una es un sistema de Bombeo en el que se encuentran tres subsistemas que son: Motor, Incrementador y Bomba; el primero es un Motor CATERPILLAR de 14 Cilindros en V que gira a una velocidad de 900 RPM y tiene instalados tres transductores de vibración(dos de aceleración, Marca Bently Nevada con sensibilidad de 100 mV/G y un Keyphasor), el segundo es un Incrementador marca KUFKIN que tiene instalados once (11) transductores de vibración Bently, (nueve (9) sensores de proximidad con sensibilidad de 200mV/mil y dos (2) sensores de aceleración con sensibilidad de 100 mV/G)y la bomba SULZER con capacidad para 3226 GPM que opera a 3820 RPM tiene instalados 5 transductores de vibración (cinco (5) sensores de proximidad, de a dos sensores por plano y un sensor axial)

Para mayor información sobre la relación de instrumentos instalados en cada una de las máquinas consultar el Anexo 3.

5.1.2 Información preliminar

En la primera etapa se realizaron las actividades correspondientes al *“SERVICIO ESPECIALIZADO PARA EL MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN DE SENSORES DEL SISTEMA DE MONITOREO DE VIBRACIONES BENTLY NEVADA 3300 EN PLANTA PORVENIR”*. Los trabajos se realizaron siguiendo la normatividad implementada por la empresa en cuestión de HSE aplicando el Análisis de trabajo seguro (Anexo 4) y teniendo en cuenta la matriz de valoración de riesgos RAM (Anexo 5); inicialmente sobre las unidades principales disponibles, y posteriormente sobre las unidades rebooster disponibles. Al principio se trabajaba una sola unidad, y no se intervenía otra hasta no terminar la anterior. Luego, por la baja disponibilidad que tienen las unidades Rebooster, se probó a trabajar primero los monitores Bently Nevada, y luego los sensores y pruebas de lazo. Esta nueva metodología dio muy buenos resultados y al final de los trabajos se hicieron varias máquinas al mismo tiempo.

Este resumen recoge las incidencias encontradas durante el servicio de mantenimiento, y muestra la información en diferentes gráficos y tablas.

Las incidencias fueron clasificadas en Fallas, Advertencias y Recomendaciones. Las fallas son incidencias que deben ser reparadas inmediatamente, o lo más rápido posible. Las advertencias son incidencias que permiten el normal funcionamiento, del sistema, pero puede funcionar de manera incompleta o generar confusiones. Las recomendaciones son mejoras que se le deberían realizar al sistema.

Entre las incidencias encontradas, algunas fueron reparadas inmediatamente, y otras quedaron pendientes. Las incidencias pendientes son acciones correctivas que debe efectuar el cliente, como corrección de mapeo del sistema DCS, o cambio de componentes que funcionan, pero están en estado deteriorado, entre otras.

A continuación se describe el procedimiento general que se realizó para hacer el mantenimiento y calibración de sensores de vibración y módulos del sistema de monitoreo continuo de vibraciones de los equipos Bently Nevada 3300 instalados en las Unidades Principales y Rebooster de la planta El Porvenir de Orensa operada por Ecopetrol en Monterrey-Casanare:

Las unidades se intervinieron en tres etapas: en la etapa A, se realizó la revisión integral del monitor de vibraciones, se reconfiguraron o reemplazaron los módulos des configurados o defectuosos, y se ajustó la calibración del sistema. En la etapa B se realizó la revisión integral de los sensores, y se levantaron las curvas de caracterización estática y dinámica (según sea el caso) de los mismos, esta etapa se realizó en simultáneo con las actividades de la etapa A. Finalmente, en la etapa C se probó el sistema completo: Sensor-Extensión-Acondicionador-Cable de Instrumentación-Módulo en Monitor de Vibraciones-Comunicación serial-Datos en DCS. Esta prueba es la llamada prueba de lazo completo.

5.1.3 Resumen de incidencias

5.1.3.1 Incidencias solucionadas, modificadas o en estado normal

Tabla 6. Estado de incidencias por máquina.

ID	FECHA	INCIDENCIA	DETALLE	TIPO	CATEGORÍA	UNIDAD	PUNTO	ESTADO
1	29/11/2012	Sensor del incrementador defectuoso	El Sensor (Sonda) correspondiente al punto LOW SPEED EXTENSION SHAFT VERTICAL Y, con número de serie AUGU447995 se encontraba defectuoso .Se reemplazó por el sensor con serial 11L01JN6.	Sensor defectuoso	Falla	BPC 42040	LOW SPEED EXTENSION SHAFT VERTICAL Y	Solucionado
2	29/11/2012	Módulo 9 desconfigurado	Los módulos “Dual Thrust” instalados en los slots 9 y 13 se encontraban desconfigurados y con los valores de full rango intercambiados. Se reconfiguraron	Módulo desconfigurado	Falla	BPC 42040	HIGH SPEED BLIND SHAFT AXIAL	Módulo Reconfigurado
3	29/11/2012	Módulo 13 desconfigurado	Los módulos “Dual Thrust” instalados en los slots 9 y 13 se encontraban desconfigurados y con los valores de full rango intercambiados. Se reconfiguraron	Módulo desconfigurado	Falla	BPC 42040	THRUST COLLAR SHAFT DZMNT HORIZONTAL	Módulo Reconfigurado
4	29/11/2012	Módulo 10 desconfigurado	El módulo “Dual Accelerometer” instalado en el slot 10 se encontraba desconfigurado en tipo de sensor y full rango. Se reconfiguró.	Módulo desconfigurado	Falla	BPC 42040	HIGH SPEED EXTENSION END ACCELEROMETER	Módulo Reconfigurado
6	29/11/2012	Monitor Inhibido sin aparente causa	El positivo del inhibidor se encuentra desconectado.	Monitor Inhibido sin aparente causa	Advertencia	BPC 42040	NA	Normal
7	03/12/2012	Sensor Key Phaser defectuoso	El Sensor (Sonda) correspondiente al KEYPHASER, con número de serie SEPW469117 se encontraba defectuoso .Se reemplazó por el sensor con serial 12G00DK6.	Sensor defectuoso	Falla	BPC 42050	KEY PHASER	Solucionado
8	03/12/2012	Módulo 2 desconfigurado	El módulo de comunicaciones SDI, se encontraba desconfigurados. Su dirección MODBUS era 22, cuando debía ser 5, y por tal motivo no había comunicación con el DCS. Se reconfiguró el módulo	Módulo desconfigurado	Falla	BPC 42050	NA	Solucionado
9	03/12/2012	Sensor del motor inhabilitado	Los acelerómetros correspondientes a los puntos VERTICAL ACCELEROMETER y HIGH SPEED GEAR MESH EXTENSION ACCELEROMETER, con números de serial: G10E02Y9 y AUGW374544 respectivamente, fueron reemplazados por los sensores con números de serial G09L01P8 y G09C03P0, porque se despegó el acople mientras se reinstalaban	Sensor inhabilitado	Falla	BPC 42050	VERTICAL ACCELEROMETER Y	Solucionado

Fuente: Informe Final Ocenca, A-MAQ S.A

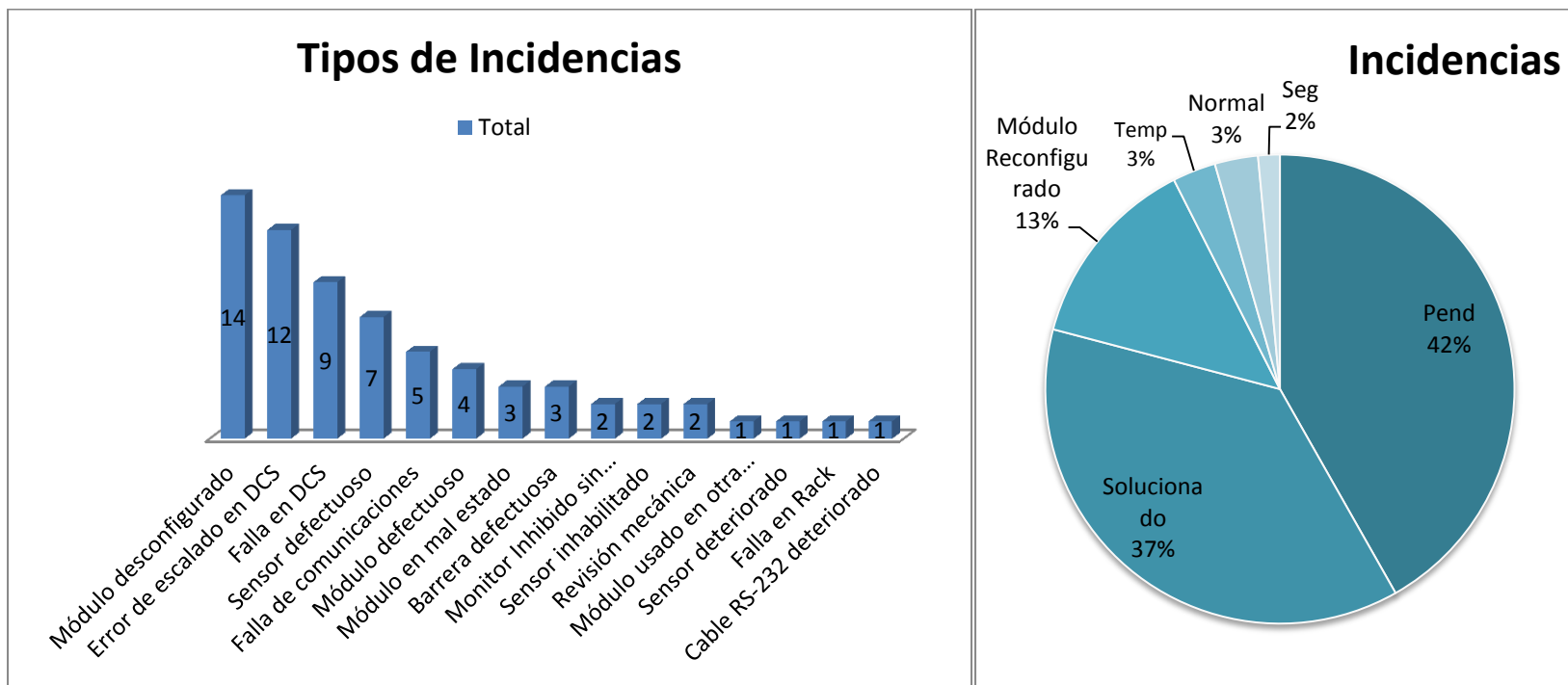
5.1.3.2 RESUMEN DE INCIDENCIAS POR TIPO

Tabla 7. Resumen general de incidencias

TIPO DE INCIDENCIA	MAQUINAS												TOTAL
	BPC10	BPC20	BPC30	BPC40	BPC50	BPC60	BPC70	BPC80	BRE10	BRE20	BRE30	BRE40	
Módulo des configurado	4	2		3	1			1	2		1		14
Error de escalado en DCS	7	3		1					1				12
Falla en DCS	1	1				3	1	1	1	1			9
Sensor defectuoso		1	1	1	1						1	2	7
Falla de comunicaciones		1	1			1					1	1	5
Módulo defectuoso	1						1		1		1		4
Módulo en mal estado		1						2					3
Barrera defectuosa						1		2					3
Monitor Inhibido sin aparente causa		1		1									2
Sensor inhabilitado					2								2
Revisión mecánica		1					1						2
Falla en Rack									1				1
Módulo usado en otra máquina			1										1
Sensor deteriorado						1							1
Cable RS-232 deteriorado						1							1
TOTAL	13	11	3	6	4	7	3	6	6	1	4	3	67

Fuente: Informe Final Ocenca, A-MAQ S.A

Figura 2. Resumen general de incidencias

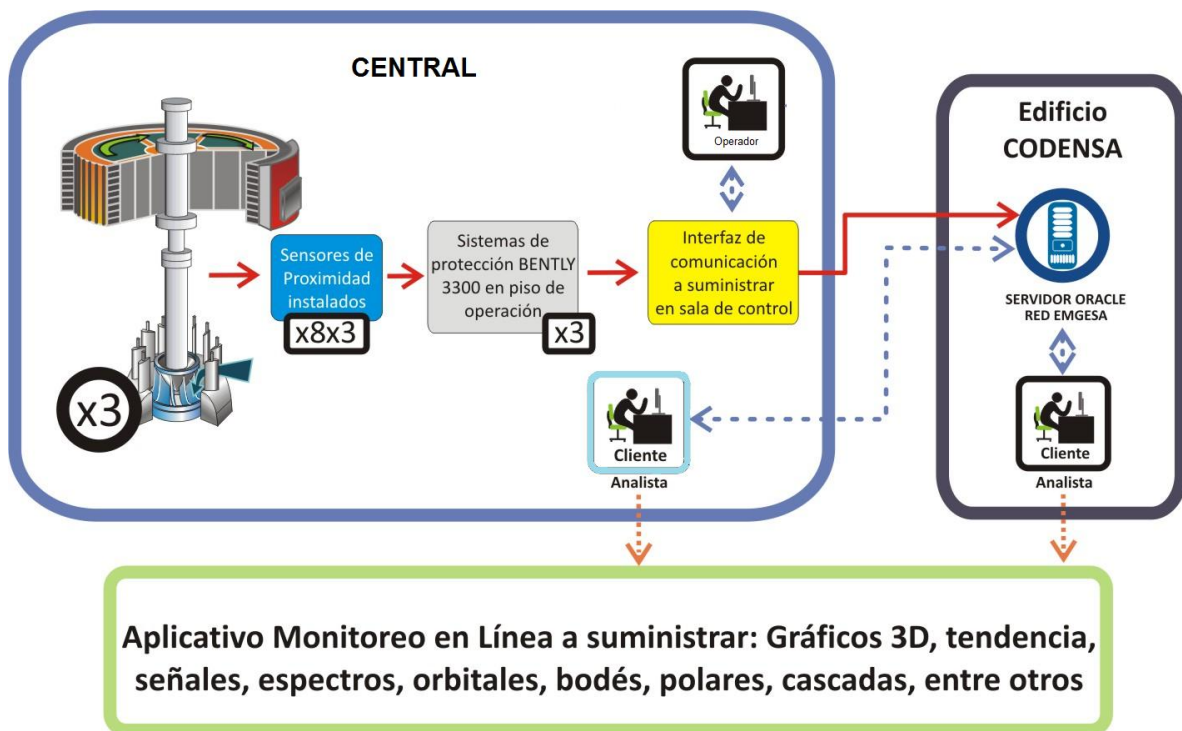


Fuente: Informe Final Ocesa, A-MAQ S.A

5.2II ETAPA

El objeto de esta fase fue efectuar la rehabilitación y puesta a punto del sistema de monitoreo de vibraciones Bently Nevada serie 3300 de las unidades de generación de las centrales San Antonio, Limonar y Colegio, incluyendo mantenimiento del sistema transductor, verificación de cableado, reacondicionamiento de tuberías y cajas de instrumentos, calibración de tarjetas monitor vibraciones, pruebas de alarmas, disparos y salidas analógicas e implementación un sistema remoto de despliegue vibraciones de las unidades de generación seleccionadas de cada central para el análisis y balanceo dinámico de las mismas; basándose para esto en fundamentos técnicos, personal calificado y procedimientos seguros, sin afectación al medio ambiente y utilizando componentes de la mejor calidad.

Figura 3 Esquema general de rehabilitación de Maquinaria, proyecto Salaco.



Fuente: Especificaciones técnicas sistema monitoreo de vibraciones Salaco-A-MAQ S.A.

Dado que las tres plantas cuentan con sistema de monitoreo de vibraciones actualmente y dentro del proyecto Salaco se tiene previsto la renovación de

instrumentos de medición, cables de conexión, cajas de paso y tubería para la rehabilitación del funcionamiento de las maquinas; por lo tanto el cliente solicitó la verificación de calibración de los sensores de vibración instalados actualmente, para almacenarlos como repuesto.

El formato (según norma API 670) en el cual se consignaron los datos de verificación de calibración y el procedimiento a seguir se encuentra en el manual general de procedimientos.

Para realizar el mantenimiento de monitores de vibración se implementó el archivo-formato inteligente de verificación de configuración de tarjetas creado después de cuantificar el tiempo empleado por el personal encargado de realizar la actividad.

5.3 SOCIALIZACION DE LA DOCUMENTACION

Se realizó una reunión con el personal involucrado de las áreas de proyectos y servicios en el proceso de verificación de calibración de sensores, en la cual se mostró gran parte del trabajo durante el periodo de práctica empresarial, también se dejó en evidencia los beneficios obtenidos al adaptar los procedimientos por lo especificado en la norma y los criterios que ahora se pueden tener al momento de leer un reporte de verificación de calibración.

Adicionalmente se dio el espacio y la oportunidad para presentar esta nueva propuesta de verificar la calibración de sensores de vibración en la capacitación dada por A-MAQ S.A. al personal del departamento de gerencia de mantenimiento de EPM-Porce III, en la cual se participó como instructor.

6. CONCLUSIONES

- La implementación de la norma API 670 requiere constante retroalimentación y verificación de sus procedimientos para asegurar la medición adecuada de los parámetros por medio de los cuales se determina la condición de la instrumentación montada en maquinaria rotativa.
- La verificación de calibración de sensores de vibración es indispensable para determinar de forma precisa y veraz la condición de funcionamiento y operación de maquinaria rotativa.
- Se demostró que un diagnóstico y una planificación acertada del estado de cumplimiento de los procesos de la organización conforme a la norma que se piensa implementar son el primer paso para dar un adecuado cumplimiento de la misma.
- El manual de procedimientos proporciona información sobre como efectuar las actividades de manera consistente, lo que permite que el profesional a cargo de cada proceso tenga material útil para entrenar a nuevos empleados, definir responsabilidades y autoridades, regular y estandarizar las actividades, ayudar a establecer mejores programas de operaciones y suministrar las bases documentales para intervenir maquinaria.
- En la implementación de la norma fue determinante adaptarse a los procesos operativos de A-MAQ S.A. para llevar a cabo exitosamente las etapas de ingeniería conceptual, básica y de detalle de la implementación de la verificación de calibración de sensores de vibración.

•

BIBLIOGRAFIA

API 670 -Machinery Protection Systems. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE.
EEUU-Noviembre de 2003.

BENTLY D. E.,2002,USA Fundamentals of Rotating Machinery Diagnostics.

ISO 16063-21: 2003 Methods for the calibration of vibration and shock
transducers-Part 21: Vibration calibration by comparison to a reference transducer.

Entrevista con Ing Marcel Rueda, Gerente general A-MAQ S.A , 27 de Noviembre
de 2012

A-MAQ S.A. [En línea]. [Citado el 27 de Noviembre de 2013]. [Disponible en línea
]: <http://www.a-maq.com/amaq.html>.

ANEXOS

ANEXO 1

METODOLOGÍA O PROCEDIMIENTO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

1. Obtener información y adquirir competencias adecuadas mediante capacitación interna dentro de la empresa sobre Equipos de monitoreo continuo de vibraciones Bently Nevada y A-conditioner.
2. Conocer de aspectos generales de la empresa tales como: planta física, distribución de los departamentos, normas de la empresa, portafolio de productos y servicios.
3. Realizar un diagnóstico inicial con el fin de conocer el estado de la calibración de sensores con respecto a la norma API 670.
4. Planificar actividades a realizar basado en el diagnóstico.
5. Recopilar la información pertinente para el establecimiento de la documentación.
6. Llevar acabo la documentación del proceso de Calibración de sensores de vibración según la norma API 670.
7. Poner a prueba el procedimiento realizado, ejecutándolo en campo con el fin de medir la eficiencia del proceso.
8. Tomar datos de voltaje vs distancia de sensores de vibración en campo.
9. Analizar las muestras tomadas y determinar la condición de cada uno de los sensores de vibración.
10. Socializar la documentación mediante reuniones con el personal a cargo de los procesos y llevar un registro de las mismas.

ANEXO 2

CHECKLIST DE AVANCE DE PROCESO

- ✓ Recopilar números de parte y serial registrados en cada uno de los kits que alimentan de información al Equipo de monitoreo de vibraciones (Bently Nevada 3300 o PT-520), Driver, Extensión, Sensor y Módulos Dual Vibration, Dual Accelerometer y Thrust Collar.
- ✓ Revisar configuración instalada en cada uno de los monitores que conforman el sistema de monitoreo continuo de vibraciones (Bently Nevada 3300 o PT-520), (Dual Vibration, Dual Accelerometer y Thrust Collar)
- ✓ Verificar configuración de cada uno de los módulos de acuerdo a las especificaciones técnicas descritas por el fabricante y las especificaciones de las máquinas instaladas en la planta.
- ✓ En caso de no corresponder la configuración descrita por las etiquetas con la implementada en las tarjetas se debe ajustar la configuración del monitor de acuerdo a los registros entregados por el fabricante.
- ✓ Ajustar la calibración de cada uno de los módulos instalados en el equipo de monitoreo de vibraciones Bently Nevada según el procedimiento de calibración descrito por el fabricante.
- ✓ Verificar y configurar trigger de sistemas de alerta y peligro de cada uno de los monitores instalados en el equipo de monitoreo de vibraciones (Bently Nevada o PT-520).
- ✓ Probar el set de alerta y peligro por medio de cada uno de los indicadores visuales de los módulos instalados en el equipo de monitoreo de vibraciones.

- ✓ Probar continuidad e igualdad en los datos del conjunto completo desde el sensor hasta el sistema de control de información DCS (Prueba de Lazo).

- ✓ Tener en cuenta actividades varias como confirmación de que el sistema está correctamente puesto a tierra, ajuste de zero thrust en módulos thrust monitor, Selftest, revisión de canales ignorados (Bypass).


ANEXO 3

RELACIÓN INSTRUMENTOS DE VIBRACIÓN PLANTA EPO.

EQUIPO	CABLE No	SLOT No	PUNTO DE SENSADO EN EL EQUIPO	TAG DE CAMPO	SET DE ALARMA (ALERT)	SET DE SHUT DOWN (DANGER)	FULL SCALE RANGE
MOTOR	3	2	KEY PHASER	ZE-420*15	N.A	N.A	
	1	3	VERTICAL ACCELEROMETER Y	VE-420*13A	2.5 PK G	4.5 PK G	
	2		HORIZONTAL ACCELEROMETER X	VE-420*13B	2.5 PK G	4.5 PK G	
INCREMENTADOR	5	4	LOW SPEED EXTENSION SHAFT VERTICAL Y	VE-420*16A	3 MILS	5 MILS	0-5 mils pp
	6		LOW SPEED EXTENSION SHAFT HORIZONTAL X	VE-420*16B	3 MILS	5 MILS	0-5 mils pp
	7	5	LOW SPEED BLIND SHAFT VERTICAL Y	VE-420*14A	3 MILS	5 MILS	0-5 mils pp
	8		LOW SPEED BLIND SHAFT HORIZONTAL X	VE-420*14B	3 MILS	5 MILS	0-5 mils pp
	3	6	HIGH SPEED BLIND SHAFT VERTICAL Y	VE-420*15A	3 MILS	5 MILS	0-5 mils pp
	4		HIGH SPEED BLIND SHAFT HORIZONTAL X	VE-420*15B	3 MILS	5 MILS	0-5 mils pp
	1	7	HIGH SPEED EXTENSION SHAFT VERTICAL	VE-420*18A	3 MILS	5 MILS	0-5 mils pp
	2		HIGH SPEED EXTENSION SHAFT HORIZONTAL	VE-420*18B	3 MILS	5 MILS	0-5 mils pp

ANEXO 4

FORMATO DE ANALISIS DE TRABAJO SEGURO-ATS


	ECOPEPETROL S.A. FORMATO DE ANÁLISIS DE TRABAJO SEGURO - ATS VICEPRESIDENCIA: TRANSPORTE (VIT) GERENCIA: OLEODUCTOS Consulte el Instructivo para Análisis de Riesgos ECP-DRH-003				ECP-DRI-F-034		
					M		
					FECHA (dd/mm/aa)		
					Elaboración:		
					20-11-12		
PLANTA Y/O LUGAR: EL PORVENIR				Aplicación:			
EQUIPO OBJETO DEL TRABAJO: Sistema BENTLY NEVADA 3300 en Unidades Principales y Rebooster (12 Unidades)				Desde:			
TRABAJO A REALIZAR: Mantenimiento y calibración de sensores del sistema de monitoreo de vibraciones BENTLY NEVADA 3300				26-11-12			
				Hasta:			
HERRAMIENTAS Y/O EQUIPOS: Herramientas menores (perilleros, pinzas,etc.) , Equipos de medición (shaker, osciloscopio, generador de señales, multímetro)				26-12-12			
SECUENCIA ORDENADA DE PASOS (Procedimiento)	PELIGRO (Fuente o Situación)	CONSECUENCIAS	CONTROLES REQUERIDOS (Preventivos, Protectivos y Reactivos)		CARGO RESPONSABLE		
A REVISIÓN Y CALIBRACIÓN MÓDULOS EQUIPOS BENTLY NEVADA	RIESGO MECÁNICO						
	1	Herramientas y/o equipos en mal estado	1.1	Heridas o lesiones.	1.1.1	PREVENTIVO: Inspección preoperacional de equipos y herramientas	Todo el personal involucrado en la actividad
					1.1.2	PREVENTIVO: Divulgación del ATS y procedimientos, antes de iniciar actividades	Director de Proyectos A-MAQ
					1.1.3	PREVENTIVO: Uso de los EPP básicos para desarrollar la actividad	Todo el personal involucrado en la actividad
	2	Contacto con superficies corto punzantes	2.1	Heridas o lesiones.	2.1.1	PREVENTIVO: Uso de los EPP básicos para desarrollar la actividad	Todo el personal involucrado en la actividad
					2.1.2	PREVENTIVO: Selección de personal calificado para este tipo de actividades	Director de Proyectos A-MAQ
	3	Obstáculos o restos de sustancias sobre el piso	3.1	Caídas al mismo nivel que pueden generar heridas o lesiones.	3.1.1	PREVENTIVO: Inspección del espacio de trabajo	Todo el personal involucrado en la actividad
	4	Caída de objetos desde otros niveles	4.1	Golpes que pueden generar heridas o lesiones	4.1.1	PREVENTIVO: Inspección del espacio de trabajo	Todo el personal involucrado en la actividad
					4.1.2	PREVENTIVO: Uso de los EPP (casco, botas de seguridad)	Todo el personal involucrado en la actividad
	RIESGO ELÉCTRICO						
	1	Contacto con baja tensión	1.1	Quemaduras	1.1.1	PREVENTIVO: Uso adecuado de los equipos	Todo el personal involucrado en la actividad
					1.1.2	PREVENTIVO: Inspección preoperacional de equipos y herramientas	Todo el personal involucrado en la actividad
	RIESGO FÍSICO						
	1	Ruido	1.1	Migraña	1.1.1	PREVENTIVO: Uso de los EPP (protectores auditivos)	Todo el personal involucrado en la actividad
	2	Polvo	2.1	Alergia en vías respiratorias	2.1.1	PREVENTIVO: Uso de los EPP (Tapabocas)	Todo el personal involucrado en la actividad
RIESGO ERGONÓMICO							
1	Posiciones de pie o sentado prolongadas	1.1	Dolor en espalda y piernas	1.1.1	PREVENTIVO: Realizar pausas activas	Todo el personal involucrado en la actividad	
				1.1.2	PREVENTIVO: Promover la higiene de la postural	Director de Proyectos A-MAQ	

Continuación Anexo 4.

B	RIESGO MECÁNICO						
	1	Herramientas y/o equipos en mal estado	1.1	Heridas o lesiones.	1.1.1	PREVENTIVO: Inspección preoperacional de equipos y herramientas	Todo el personal involucrado en la actividad
					1.1.2	PREVENTIVO: Divulgación del ATS y procedimientos, antes de iniciar actividades	Director de Proyectos A-MAQ
					1.1.3	PREVENTIVO: Uso de los EPP básicos para desarrollar la actividad	Todo el personal involucrado en la actividad
	2	Contacto con superficies corto punzantes	2.1	Heridas o lesiones.	2.1.1	PREVENTIVO: Uso de los EPP básicos para desarrollar la actividad	Todo el personal involucrado en la actividad
					2.1.2	PREVENTIVO: Selección de personal calificado para este tipo de actividades	Director de Proyectos A-MAQ
	3	Obstáculos o restos de sustancias sobre el piso	3.1	Caidas al mismo nivel que pueden generar heridas o lesiones.	3.1.1	PREVENTIVO: Inspección del espacio de trabajo	Todo el personal involucrado en la actividad
	4	Caída de objetos desde otros niveles	4.1	Golpes que pueden generar heridas o lesiones	4.1.1	PREVENTIVO: Inspección del espacio de trabajo	Todo el personal involucrado en la actividad
					4.1.2	PREVENTIVO: Uso de los EPP (casco, botas de seguridad)	Todo el personal involucrado en la actividad
	RIESGO ELÉCTRICO						
	1	Contacto con baja tensión	1.1	Quemaduras	1.1.1	PREVENTIVO: Uso adecuado de los equipos	Todo el personal involucrado en la actividad
					1.1.2	PREVENTIVO: Inspección preoperacional de equipos y herramientas	Todo el personal involucrado en la actividad
	RIESGO FÍSICO						
	1	Ruido	1.1	Migraña	1.1.1	PREVENTIVO: Uso de los EPP (protectores auditivos)	Todo el personal involucrado en la actividad
2	Polvo	2.1	Alergia en vías respiratorias / Irritación de ojos	2.1.1	PREVENTIVO: Uso de los EPP (Tapabocas)	Todo el personal involucrado en la actividad	
RIESGO ERGONÓMICO							
1	Posiciones de pie o sentado prolongadas	1.1	Dolor en espalda y piernas	1.1.1	PREVENTIVO: Realizar pausas activas	Todo el personal involucrado en la actividad	
				1.1.2	PREVENTIVO: Promover la higiene de la postural	Director de Proyectos A-MAQ	
C	RIESGO BIOLÓGICO						
	1	Microorganismos, animales (insectos y ofidios) y plantas	1.1	Mordeduras, contusiones, zoonosis, irritaciones u otros	1.1.1	PREVENTIVO: Control de condiciones y practicas de trabajo. Inspecciones al área de trabajo. Atención oportuna.	Todo el personal involucrado en la actividad
					1.1.2	REACTIVO: Disponer de botiquín de primeros auxilios y de un vehiculo en caso de un traslado al centro de salud	Supervisor de campo
	RIESGO SEGURIDAD						
	1	Presencia de gases explosivos en el área	1.1	quemaduras, intoxicacion.	1.1.1	REACTIVO: En caso de haber presencia de gases en el área, se debe evacuar el área de inmediato	supervisor de campo
RIESGO AMBIENTAL							
1	No clasificacion de residuos	1.1	Contaminacion ambiental	1.1.1	REACTIVO: Verificación estado de área, orden y aseo	Todo el personal involucrado en la actividad	
				1.1.2	PREVENTIVO: Clasificar y disponer los residuos según las fichas ambientales divulgadas.	Todo el personal involucrado en la actividad	

ANEXO 5

MATRIZ DE VALORACIÓN DE RIESGOS RAM

	DIRECCIÓN DE HSE Y GESTIÓN SOCIAL		ECP-DHS-F-018	
	MATRIZ DE VALORACIÓN DE RIESGOS - RAM			
	VERSION: 3		1/1	
23 de Julio de 2008				

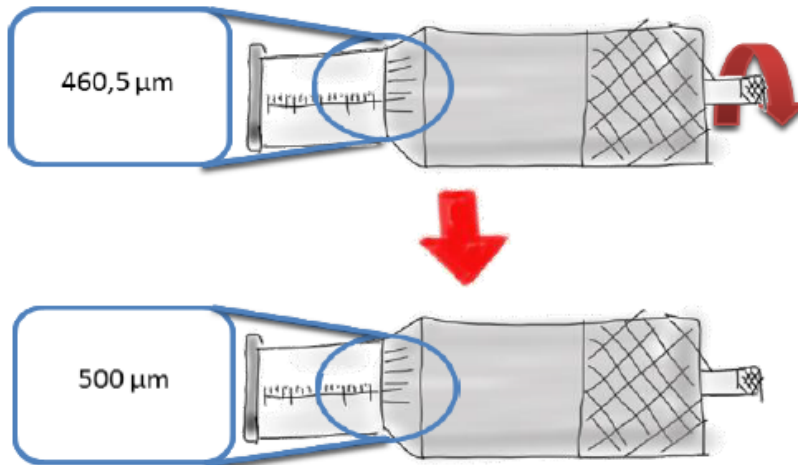
Para mayor información sobre el uso y manejo de este formato consulte instructivo ECP-DRI-I-007

CONSECUENCIAS					PROBABILIDAD					
Personas	Economica	Ambiental	Clientes	Imagen de la Empresa		A	B	C	D	E
						No ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Unidad, Superintendencia o Departamento
Una o mas fatalidades Nota 1	Catastrofica > \$10M	Contaminación Irreparable	Veto como proveedor	Internacional	5	M ●	M ●	H ●	H ●	VH ●
Incapacidad permanente (parcial o total)	Grave \$1M a \$10M	Contaminación Mayor	Pérdida de participación en el mercado	Nacional	4	L ●	M ●	M ●	H ●	H ●
Incapacidad temporal (> 1 día)	Severo \$100k a \$1M	Contaminación Localizada	Pérdida de clientes y/o desabastecimiento	Regional	3	N ●	L ●	M ●	M ●	H ●
Lesión menor (sin incapacidad)	Importante \$10k a \$100k	Efecto Menor	Quejas y/o reclamos	Local	2	N ●	N ●	L ●	L ●	M ●
Lesión leve (primeros auxilios)	Marginal <\$10k	Efecto Leve	Incumplir especificaciones	Interna	1	N ●	N ●	N ●	L ●	L ●
Ninguna lesión	Ninguna	Ningún efecto	Ningún impacto	Ningún impacto	0	N ●	N ●	N ●	N ●	N ●

ANEXO 6

A-MAQ ANÁLISIS DE MAQUINARIA	A-MAQ S.A	
	Procedimiento Verificación de Calibración	
	Ver 1.0	Marzo de 2013

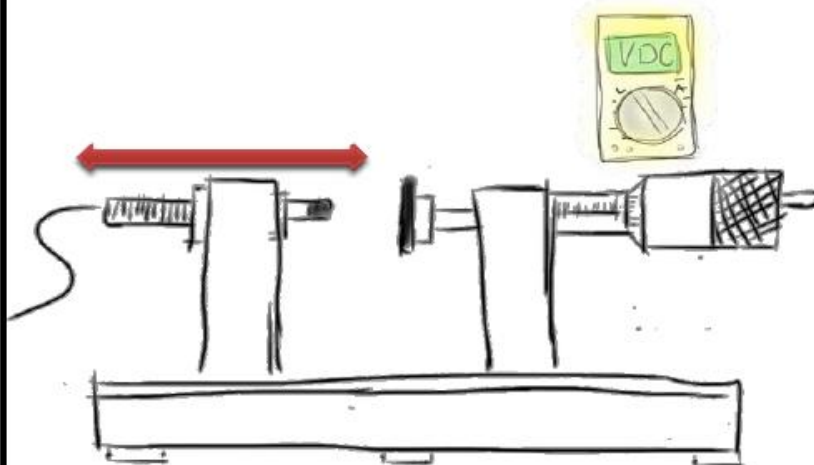
1



Compensar el micrometro hasta un valor conocido para ajustar un zero mecánico

Ajustar la rosca del micrometro para que no se deslice

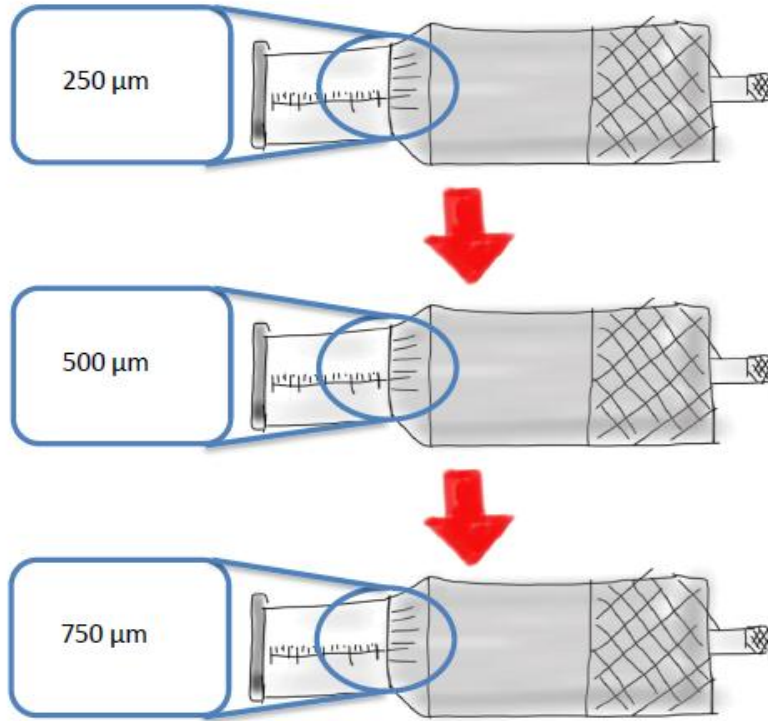
2



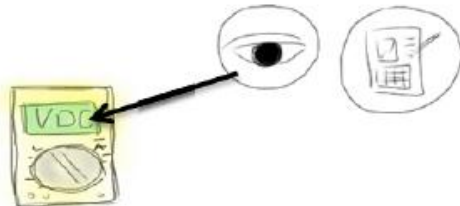
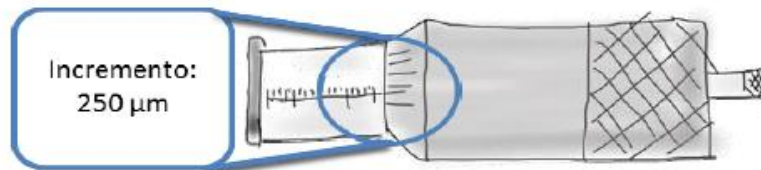
Ajustar la posición del sensor hasta que el GAP indique zero electrico

3

Variar cada 250 μm el ajuste del micrometro



4



Tomar nota de los valores de voltaje entregados por el multímetro en cada uno de los incrementos.

TRAZABILIDAD: A-MAQ S.A. certifica que en el tiempo de calibración del producto, los instrumentos utilizados para su calibración se encuentran calibrados y certificados con trazabilidad NIST (National Institute of Standards and Technology).

INSTRUMENTO DE CALIBRACIÓN: TM0540-K-M Calibrador Estático de sensores de vibración

Central:

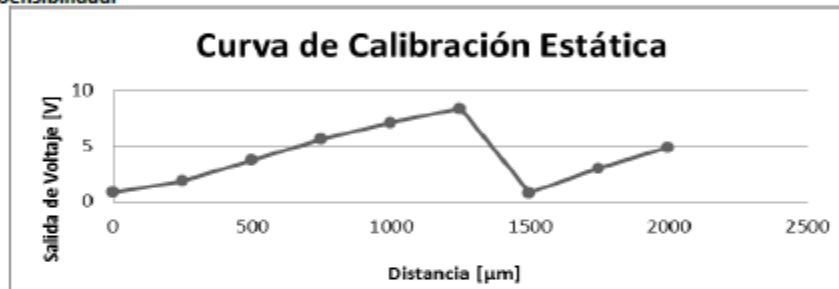
Unidad:

Sensor: PRX AX

Sn:

N° Parte:

Sensibilidad:



Distancia [µm]	Salida de Voltaje [V]	ISFn
0	0,8130	-
250	1,8760	0,004252
500	3,7230	0,007388
750	5,6080	0,00754
1000	7,1400	0,006128
1250	8,4200	0,00512
1500	0,8000	-0,03048
1750	3,0000	0,0088
2000	4,9000	0,0076

ASF: -0,001728

CERTIFICACIÓN

A-MAQ S.A. certifica que el sensor de proximidad perteneciente a la empresa _____ presenta el estado de funcionamiento descrito en el acta de calibración y su respectiva curva.

Realizó

Aprobó