

# **UNIVERSIDAD DE SONORA**

## **DIVISIÓN DE INGENIERÍA**



### **POSGRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

DESARROLLO DE APTITUDES METROLÓGICAS EN UN TALLER DE  
MAQUINADO INDUSTRIAL UBICADO EN LA CIUDAD DE NAVOJOA, SONORA.

# **T E S I S**

PRESENTADA POR

**RAFAEL VERDUGO MIRANDA**

Desarrollada para cumplir con uno de los  
requerimientos parciales para obtener  
el grado de Maestría en Ingeniería

DIRECTOR DE TESIS. M.I. LUIS MANUEL LOZANO COTA

HERMOSILLO, SONORA, MEXICO    SEPTIEMBRE DE 2012

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

## RESUMEN

Este documento expone de manera cronológica la implementación de una estrategia de gestión de la calidad en el sistema de mediciones en un taller de maquinado industrial localizado en Navojoa, Sonora, con el objetivo de propiciar el desarrollo de competencias metrológicas en el personal de manera tal, que el negocio tenga posibilidades de evidenciar interna y externamente suficiente capacidad y competencia en sus procesos de medición. A fin de desarrollar la mejor estrategia posible se revisaron otros casos de aplicación de proyectos similares algunos por parte del Centro Nacional de Metrología. La estrategia desarrollada descrita en el capítulo 3, consta de 5 etapas sin embargo su desarrollo podría sintetizarse en lo siguiente: 1) programa de concientización sobre calidad en las mediciones. 2) Diagnóstico de capacidades metrológicas y 3) Programa de capacitaciones y acciones para generar mejores aptitudes metrológicas en el personal.

Es importante aclarar que no se ha hecho un estudio exhaustivamente cuantitativo del sistema de medición (personal, instrumentos, métodos) ello responde a los objetivos de desarrollar al personal. Sin embargo sí se hace un análisis a un nivel que corresponde a los objetivos de presente trabajo.

Estudios sobre el sesgo de los instrumentos exponen algunos problemas. Estudios de Repetividad y reproducibilidad al inicio y final del trabajo evidencian una disminución en el aporte de variación por parte de los operadores. Evaluaciones posteriores a capacitaciones evidencian conocimiento y capacidad de detección de los principales problemas con instrumentos de medición (lubricación, sesgo, linealidad, entre otros.). La elaboración de un manual de mantenimiento y verificación sienta las bases para la estandarización de las actividades de medición. El acceso a nuevos y más beneficiosos contratos del taller ha sido posible (entre otras causas) por evidenciar la actual competencia metrológica de sus operadores a juicio de los propietarios.

## ABSTRACT

This document presents, in chronological order, the implementation of a strategy of quality management in the measurement system of a machine shop industry, located in Navojoa, Sonora, México. The objective of this work is to foster the development of metrological skills on staff, so that the business has a chance to demonstrate sufficient capacity and competence in their measurement processes, both internally and externally. In order to develop the best possible strategy, other cases of application of similar projects were reviewed, some by the National Metrology Center (CENAM). The developed strategy described in chapter 3, consist of 5 stages, but their development could be summarized as follows: I awareness program about quality on measurements, II Metrological capacity assessment and III Training program and actions to generate better metrological skills on staff.

It is important to note that a fully quantitative study of the measurement system (personnel, tools, methods) has not been made; this is because of the objectives of personnel development.

Applied studies on the bias of the instruments allow detecting some problems. Repeatability an Reproducibility assays applied at the beginning and end of the study show a decrease in the in the contribution of variation operators. Evaluations conducted after the training allowed obtaining evidence of knowledge and ability to detect the main problems with measurement instruments (lubrication, bias, linearity, among others).

The development of the Manual of Maintenance and Verification provides de basis for standardization of measurement activities, allowing access to new and more beneficial contracts for the shop, since it demonstrate the metrological competence of its operators.

## DEDICATORIAS

El presente trabajo constituye no solo la culminación de un trabajo de investigación sino la culminación de una etapa en la vida de una familia, la familia Verdugo Ramírez, por ello quiero dedicar este trabajo de tesis a la familia que Dios me ha confiado y a la que pertenezco con amor entrañable...

A Enedina (mi amada esposa)

A Sharon (mi bebé) y ...

A Camila (mi bebezón).

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco antes de todo mi Dios, gracias que contigo un pequeño logro como éste sabe a gloria, mas sin ti aun ganar el mundo no tendría sabor, GRACIAS DIOS POR DARLE SENTIDO Y PROPOSITO A MI VIDAD.

Agradezco a mi familia muy especialmente a mi mamá, gracias por dar ejemplo de fortaleza e integridad.

Agradezco a todos los maestros del Posgrado en Ingeniería Industrial, especialmente a Dr. Mario Barceló y Dr. Alonso Pérez, gracias por impulsar a hacer lo que no creía que podía hacer, gracias por su profesionalismo y gracias por presionar.

Agradezco a los sinodales y revisores de Tesis especialmente al M.I. Luis Manuel Lozano Cota por su amistad y gracias por comprometerse conmigo en este proyecto.

Agradezco a los compañeros de clases especialmente a ahora M.I. Rolando Flores Ochoa por su amistad y por no dejarme claudicar en este proyecto.

Agradezco las asesorías y palabras de ánimo del M.I. Juan José García Ochoa.

Agradezco a la Universidad de Sonora especialmente a la Dirección de Desarrollo Académico e Innovación Educativa por su solícito apoyo en distintas etapas de este proyecto.

Agradezco a Pedro Ponce y Laura Velarde propietarios del Torno Industrial Navojoa por su apoyo y amistad.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Programa Integral de Fortalecimiento Institucional (PIFI, 2011) por su apoyo económico.

# CONTENIDO

|  |      |
|--|------|
| RESUMEN.....   | i    |
| ABSTRACT.....  | ii   |
| DEDICATORIAS .....   | iii  |
| AGRADECIMIENTOS.....   | iv   |
| CONTENIDO.....   | v    |
| LISTA DE TABLAS .....  | vii  |
| LISTA DE FIGURAS.....  | viii |
| 1. INTRODUCCIÓN.....   | 1    |
| 1.1 Antecedentes .....   | 1    |
| 1.2 Planteamiento del Problema.....                                | 3    |
| 1.3 Objetivo General .....   | 4    |
| 1.3.1 Objetivos Específicos .....                                  | 4    |
| 1.4 Hipótesis .....  | 4    |
| 1.5 Alcances y Delimitaciones .....                                | 4    |
| 1.6 Justificación.....   | 5    |
| 2. MARCO DE REFERENCIA .....                                       | 7    |
| 2.1 Fundamentos de maquinado .....                                 | 7    |
| 2.1.1 Diseño para la manufactura.....                              | 10   |
| 2.2 Normas y normalización.....                                    | 11   |
| 2.2.1. Evaluación y Selección de Proveedores según NORMA ISO ..... | 13   |
| 2.3 Fundamentos de metrología .....                                | 14   |
| 2.3.1 Metrología dimensional .....                                 | 14   |
| 2.3.2 Evaluación a los sistemas de medición .....                  | 16   |
| 2.3.3 Tolerancias Geométricas .....                                | 22   |
| 2.4 Experiencias en el desarrollo de proveedores .....             | 23   |
| 2.5 Indicadores de desempeño.....                                  | 24   |
| 2.6 Solid Works en el diseño de partes a maquinar.....             | 26   |

|  |    |
|--|----|
| 2.7 Software de apoyo en el análisis estadístico de datos..... | 26 |
| 3. METODOLOGÍA .....   | 28 |
| 3.1 Primera etapa.....   | 28 |
| 3.1 Segunda etapa.....   | 30 |
| 3.3 Tercera etapa.....   | 31 |
| 3.4 Cuarta etapa.....  | 32 |
| 3.5 Quinta etapa.....  | 34 |
| 4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....                           | 35 |
| 4.1 Obtención de datos.....                                    | 35 |
| 4.1.1 Aplicación de la primera etapa .....                     | 35 |
| 4.1.2 Aplicación de la segunda etapa.....                      | 37 |
| 4.1.3 Aplicación de la tercera etapa .....                     | 44 |
| 4.1.4 Aplicación de la cuarta etapa.....                       | 47 |
| 4.1.5 Aplicación de la quinta etapa.....                       | 53 |
| 4.2 Análisis y discusión de resultados.....                    | 55 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                         | 59 |
| 5.1 Conclusiones.....  | 59 |
| 5.2 Recomendaciones .....                                      | 60 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA .....  | 62 |
| 7. ANEXOS.....   | 66 |

## LISTA DE TABLAS

| Número    | Nombre  | Página |
|-----------|---|--------|
| Tabla 2.1 | Símbolos para características con tolerancias geométricas.                            | 22     |
| Tabla 2.2 | Criterios para evaluar la salud del sistema de medición.                              | 25     |
| Tabla 4.1 | Relación de equipo utilizado en Taller de Torno Industrial NAVOJOA.                   | 37     |
| Tabla 4.2 | Registro de características del sesgo en instrumentos de medición.                    | 40     |
| Tabla 4.3 | Registro de características del linealidad en instrumentos de medición.               | 41     |
| Tabla 4.4 | Análisis cualitativo de las habilidades del personal en ensayos de diámetro interior. | 44     |
| Tabla 4.5 | Análisis cualitativo habilidades del personal en ensayos de diámetro exterior.        | 46     |
| Tabla 4.6 | Habilidades de operadores en ensayos críticos por instrumento.                        | 46     |

## LISTA DE FIGURAS

| Número      | Nombre  | Página |
|-------------|---|--------|
| Figura 2.1  | Errores inherentes a los procesos de maquinado.   | 9      |
| Figura 2.2  | Geometría Perfecta (ideal) e Imperfecta (Real) de un cilindro.  | 9      |
| Figura 2.3  | Clasificación de instrumentos y aparatos de medición en metrología dimensional.                                 | 15     |
| Figura 2.4  | Diferencia entre precisión y exactitud.   | 18     |
| Figura 3.1  | Modelo conceptual para la generación de aptitudes metrológicas.   | 29     |
| Figura 4.1  | Formato de Evaluación aplicado al personal del Taller de Torno Industrial NAVOJOA.                              | 36     |
| Figura 4.2  | Kit de limpieza y lubricación.  | 38     |
| Figura 4.3  | Juego de Bloques patrón.  | 38     |
| Figura 4.4a | Formato para cálculo de sesgo.  | 39     |
| Figura 4.4b | Formato para cálculo de linealidad.   | 39     |
| Figura 4.4c | Formato para estudio R&R.   | 39     |
| Figura 4.5  | Resultados del estudio R&R realizado para los ensayos de diámetro interior.                                     | 42     |
| Figura 4.6  | Resultados del estudio R&R realizado para los ensayos de diámetro exterior.                                     | 43     |
| Figura 4.7  | Plan Anual de limpieza y lubricación para equipo incluido en el inventario.                                     | 43     |
| Figura 4.8  | Reconocimiento entregado a participantes del curso "Introducción a la Metrología".                              | 48     |
| Figura 4.9  | Formato de práctica para corregir deficiencias detectadas en estudios R&R.                                      | 49     |
| Figura 4.10 | Reconocimientos entregados a personal que participó en el curso "Evaluación a los Sistemas de Medición".        | 50     |
| Figura 4.11 | Personal técnico de TMI en ejercicios de práctica de ensayos de diámetro interior y diámetro exterior.          | 50     |
| Figura 4.12 | Estudio R&R con Calibrador Vernier para diámetro interior con operadores 3-4-5, previo a las capacitaciones.    | 51     |
| Figura 4.13 | Estudio R&R con Calibrador Vernier para diámetro interior con operadores 3-4-5, posterior a las capacitaciones. | 52     |
| Figura 4.14 | Estudio R&R con Micrómetro para diámetro exterior con operadores 3-4-5, previo a las capacitaciones.            | 52     |
| Figura 4.15 | Estudio R&R con Micrómetro para diámetro exterior con operadores 3-4-5, posterior a las capacitaciones.         | 53     |
| Figura 4.16 | Portada e índice de manual para el Programa de Mantenimiento y Verificación de Instrumentos.                    | 54     |

# 1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo consiste en la aplicación de herramientas de diversas ciencias y disciplinas en un Taller de Maquinado Industrial (TMI) con la finalidad de mejorar las habilidades del personal en materia metrológica lo que permitirá incrementar la competitividad del mencionado taller, toda vez que se han observado deficiencias significativas en el personal y sistema metrológico.

En este apartado se presentan las razones y condiciones que dan lugar a la problemática, los aspectos teóricos que dan sustento a las herramientas con que se pretende atacarla, así como la delimitación y alcance del estudio.

## 1.1 Antecedentes

La carrera por la calidad y competitividad ha venido evolucionando y revolucionándose continuamente, en sus inicios las empresas encargaban a los mismos responsables de producción la supervisión de los estándares de calidad de los productos, posteriormente rompiendo un paradigma, se concibió la existencia de un departamento autónomo que de manera imparcial inspeccionara y calificara la calidad, luego como resultado de la globalización de los mercados surgió el concepto de la certificación por organismos totalmente externos a las empresas. Actualmente han surgido muchas corrientes para mejorar la calidad y en función de alguna de ellas, las empresas que se han mantenido en los mercados lo deben en gran medida a su adopción e implementación. Hoy en día las actividades en pro de la mejora de la calidad y productividad rebasan los límites físicos de la empresa, es decir, ya no es suficiente monitorear, controlar y mejorar los procesos dentro de las compañías, ahora es indispensable que la administración de las organizaciones se cercioren de la calidad y capacidad de los procesos de sus proveedores. Lo anterior es efecto “de la creciente tendencia de las empresas de clase mundial de adquirir cada vez más sub-ensambles y componentes de proveedores externos” (Trent y Monczka, 2005). También para las empresas certificadas por la norma ISO se exige que: “La

organización debe evaluar y seleccionar los proveedores en función a su capacidad para suministrar productos de acuerdo con los requisitos de la organización. Debe establecer criterios para la selección, evaluación y re-evaluación". (Norma ISO 9001:2008).

El desarrollo de proveedores puede incluir una gran variedad de actividades para alcanzar el fin planteado teniendo éstas distintos resultados, por ejemplo Arrollo y Sánchez (2009) concluyen que la evaluación y certificación influyen sobre el desempeño financiero del proveedor en tanto que la participación en actividades de transferencia de conocimiento contribuyen a mejorar sus capacidades de innovación y mejora continua.

"A través de la historia se comprueba que el progreso de los pueblos siempre estuvo relacionado con su progreso en las mediciones. La Metrología es la ciencia de las mediciones y éstas son una parte permanente e integrada de nuestro diario vivir que a menudo perdemos de vista." Marbán y Pellecer (2002).

Por lo anterior, en este trabajo se buscará el desarrollo de proveedores locales emprendiendo acciones de transferencia de conocimientos en materia metrológica siendo la fuente de dichos conocimientos el Centro Nacional de Metrología (CENAM), La Entidad Mexicana de Acreditación (EMA) y la Universidad de Sonora.

Lograr la garantía de las calibraciones, los procedimientos y la capacitación del personal constituye el soporte metrológico de la calidad de los procesos y productos. La solidez de dicho soporte metrológico está determinada por las aptitudes metrológicas de cada empresa, las cuales se definen como: la capacidad de cualquier empresa de garantizar sistemáticamente su competencia oficial en tres ejes principales del sistema metrológico: Instrumentos de medición, Procedimientos y Competencia del Personal.

En este sentido el trabajo se enfocará a emprender acciones para el desarrollo de aptitudes metrológicas en un TMI proveedor de la planta industrial de la región del Mayo, pues su participación en la cadena productiva de la industria local es clave, al proveer productos que deben integrarse a otras partes para el funcionamiento de mecanismos, herramientas, maquinarias, etc. En la mayoría de los casos dichas partes son refacciones para la maquinaria de los procesos de los clientes los cuales complementan la ejecución de mantenimiento preventivo y correctivo, en este último la urgencia en el tiempo de entrega suele ser mayor y la necesidad de que la parte se fabrique bien a la primera vez es imprescindible.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

La oferta de proveeduría de servicios acorde a las necesidades de la industria certificada ante ISO, es en muchos ámbitos mejorable en la región del Mayo, prueba de ello es la gran diferencia existente entre la mencionada base de proveedores y la industria local en relación a la adopción y utilización de herramientas y estrategias en pro de la calidad y productividad. Lo anterior impide que el soporte que dichos proveedores proporcionan a sus clientes sea siempre efectivo y con mejora continua, por lo que en algunos casos a los clientes les es necesario buscar proveedores foráneos, como ha ocurrido con los talleres locales de maquinado. Los cuales a diferencia de sus clientes, presentan deficiencias en conocimiento y capacidades en materia metrológica. Esto como resultado de que:

No existe una estrategia de gestión en los talleres de maquinado industrial que sirva como una base sólida para garantizar que los componentes de su sistema metrológico armonicen con la confiabilidad y precisión requerida por los clientes con certificaciones de calidad.

El desarrollo e implementación de una estrategia de este tipo, podría verse afectada por el bajo grado de escolaridad del personal, la capacidad y disposición de los dueños en invertir en las recomendaciones propuestas.

### **1.3 Objetivo General**

Desarrollar una estrategia de gestión de calidad para el sistema de mediciones en un Taller de Maquinado Industrial de la ciudad de Navojoa, Sonora, para propiciar el desarrollo de aptitudes metrológicas.

#### **1.3.1 Objetivos Específicos**

Diseñar e implementar un programa de capacitación teórico y práctico dirigido al personal técnico para incrementar la cultura metrológica y posibilitar el desarrollo de competencias metrológicas.

Elaborar un programa de mantenimiento y verificación de instrumentos de medición dirigida al personal responsable de su uso y manejo, con la finalidad de generar capacidad de evaluar internamente la calidad de las mediciones.

### **1.4 Hipótesis**

El desarrollo de una estrategia de gestión de calidad en el sistema de medición del taller de maquinado industrial bajo estudio permitirá el desarrollo de aptitudes metrológicas en el personal.

### **1.5 Alcances y Delimitaciones**

El taller seleccionado para la realización del estudio se enfoca en el maquinado industrial, cubre gran parte de la demanda de la industria minera regional, los niveles

de escolaridad del personal varían y en general se observa que el jefe de taller cuenta con estudios a nivel bachillerato y la mayoría de los operadores poseen estudios a nivel medio (secundaria). Respecto a la tecnología instalada el taller no cuenta con equipo con control numérico por computadora CNC y se reciben pedidos no complejos vía planos sin tolerancias geométricas, vía telefónica o según muestra. El taller cuenta con una certificación regional de calidad titulada “Calidad Sonora”. Sin embargo dicha certificación requirió una re-certificación en 2009 la cual no se realizó, tampoco se observa apego a los procedimientos de operación allí impresos. Respecto a los instrumentos de medición no se observa una cultura de calibraciones trazables, solo cuentan con juegos de bloques patrón, de los cuales no se encontró registro de la última calibración. Estos hechos dan evidencia de la ausencia de cultura metrológica y dan luz a los retos que se tienen que librar para lograr el efectivo desarrollo del trabajo planteado.

## **1.6 Justificación**

Las PyMES (pequeñas y medianas empresas) en México, representan la mayor actividad económica y la mayor fuente de empleos para el país, sin embargo su dinámica de trabajo ofrece numerosas áreas de oportunidad como las evidenciadas en las estadísticas que el INEGI da a conocer mediante el documento titulado “Observatorio de la PyME en México”. En este trabajo se pretende atender algunas áreas de oportunidad detectadas en un grupo de PyMES, específicamente un TMI. Los TMI juegan un papel protagónico en el funcionamiento de la planta industrial regional, al proveer servicios de fabricación de partes con geometrías y propiedades específicas que deben ser ensambladas para complementar el proceso productivo. Sin embargo debido a diversas causas (entre ellos la baja profesionalización del personal) las industrias clientes se ven obligadas a demandar estos servicios a proveedores foráneos (Obregón, Hermosillo, etc.), sobre todo si las piezas presentan geometrías complejas o las tolerancias en las dimensiones son muy estrictas.

En cuanto a los trabajos que si son demandados a los TMI locales, un gran porcentaje se trata de piezas para dar soporte al mantenimiento preventivo, en este caso los tiempos de entrega no son un problema, sin embargo cuando las piezas son para la ejecución de mantenimientos correctivos, el tiempo de entrega se vuelve crítico y la confiabilidad en el apego a las dimensiones del diseño aún más. Considerando estos hechos, este trabajo pretende desarrollar aptitudes metrológicas en el mencionado taller, con la finalidad de que sea posible evaluar internamente los elementos del sistema de medición y participar objetivamente en la resolución de dudas, mejoras y/o controversias respecto del dimensionado de algún producto.

Al final del trabajo se pretende que el TMI en estudio cuente con un sistema de gestión metrológica que le permita ser más competitivo y efectivo al brindar soporte a las necesidades de la industria local.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

En este apartado se presentan una serie de conceptos teóricos, sin los cuales sería difícil entender el motivo, desarrollo y aportación de este trabajo de tesis. En general se trata de revisar fundamentos del procesos de maquinado, fundamentos generales y particulares de metrología, herramientas de apoyo al diseño del producto, conceptos sobre normalización, criterios normados para la evaluación de proveedores, entre otros.

### 2.1 Fundamentos de maquinado

En un sentido muy concreto se puede definir al término manufactura como el proceso de transformar materias primas en productos, para lo cual es necesario la aplicación de diversos procesos a dicha materia prima. Dentro de la gama de distintos procesos de manufactura se encuentra que: *las partes manufacturadas mediante los procesos de fundición, formado y moldeado requieren con frecuencia operaciones adicionales antes de que el producto pueda utilizarse (Kalpakjian, 2008)*, pues existen una gama de características de productos, los cuales no pueden ser producidas por los procesos mencionados y para ello se complementan con el proceso de maquinado, por ejemplo: superficies lisas y brillantes, orificios de precisión con diámetros pequeños, partes con detalles agudos, secciones roscadas, tolerancias dimensionales cerradas, orificios roscados, texturas superficiales, etc.

El maquinado es un término general que describe un grupo especial de procesos cuyo propósito es la remoción de material y la modificación de la forma y/o superficie de una pieza de trabajo, después de haber sido producida por diversos métodos. Por ende el maquinado comprende operaciones secundarias y de acabado.

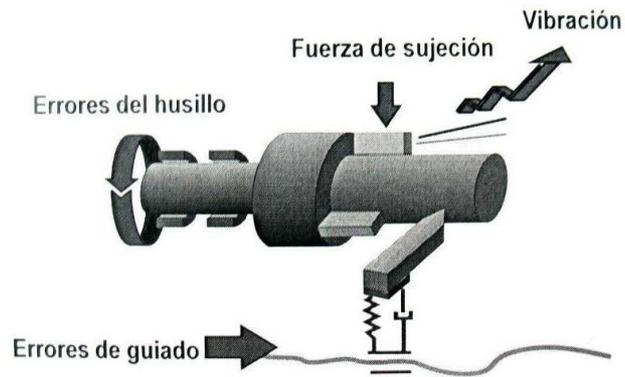
La amplísima gama de formas producidas por medio del maquinado se puede apreciar claramente en un automóvil (llaves, cilindro maestro, monobloque, cigüeñal,

pistones, tornillos y tuercas, bielas, cuerpos de válvulas, seguros de puertas, rotor del freno, orificios roscados, etc.). Debe reconocerse que algunos de estos procesos pueden producirse en grandes cantidades mediante procesos de moldeado y formado. Sin embargo, el maquinado suele ser más económico, cuando el número de partes requeridas es relativamente pequeño, o el material y la forma de la parte permiten maquinaarla a altas velocidades con una alta precisión dimensional. Sin embargo, en general, acudir al maquinado sugiere que una parte podría no haberse producido hasta las especificaciones finales deseadas mediante los procesos fundamentales que se utilizaron para fabricarla.

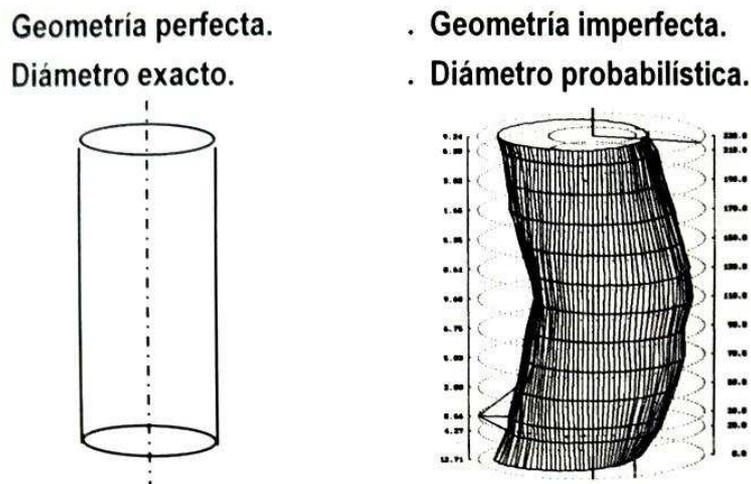
Según Kalpakjian y Schmid (2008), los procesos básicos que comprende el maquinado son:

- **Corte**, que por lo común comprende herramientas de corte de un solo filo o de filos múltiples, cada una con una forma definida.
- **Procesos abrasivos**, como el rectificado y procesos relacionados con éste.
- **Procesos avanzados de maquinado**, que utilizan métodos eléctricos, químicos, hidrodinámicos y láser para cumplir su tarea.

Es común tener una la falsa percepción que los trabajos de torno garantizan una fabricación de partes perfectas, sin embargo como muestra la Figura 2.1, los procesos de maquinado están sujetos a errores atribuibles a los mecanismos de la maquinaria, una baja fuerza de sujeción de la pieza puede causar vibraciones, el paso del mecanismo de guiado del buril lo cual contribuye a obtener piezas no perfectas, pero posiblemente si dentro del error permitido; esto permite saber que la geometría obtenida a través del proceso de maquinado no es perfecta, por lo que el proveedor del maquinado debe generar la certeza de que, aunque imperfecta la parte, cumple con las especificaciones solicitadas. Ver Figura 2.2.



**Figura 2.1.** Errores inherentes a los procesos de maquinado



**Figura 2.2.** Geometría Perfecta (ideal) e Imperfecta (Real) de un cilindro.

Los procesos de corte retiran material de la superficie de una pieza de trabajo mediante la producción de virutas.

- **Cilindrado**, en el que se gira la pieza de trabajo y una herramienta de corte retira una capa de material al moverse hacia la izquierda.
- **Tronzado**, donde una herramienta de corte se desplaza radialmente hacia dentro y separa la pieza de la derecha de la masa de la pieza en bruto.

- **La operación de fresado de careado**, en la que una herramienta de corte retira una capa de material de la superficie de la pieza de trabajo.
- **La operación de fresado frontal**, en la que un cortado giratorio se desplaza con cierta profundidad a lo largo de la pieza de trabajo y produce una cavidad.

Las máquinas en las que se realizan estas operaciones se llaman máquinas herramientas. Como en otras operaciones de manufactura, es importante ver las operaciones de maquinado como un sistema, que consta de: pieza de trabajo, herramienta de corte, máquina herramienta, sistema de mediciones y personal que la produce.

El maquinado no se puede realizar eficiente o económicamente ni satisfacer especificaciones estrictas sin un conocimiento profundo de las interacciones entre estos cinco elementos.

### **2.1.1 Diseño para la manufactura**

Como se mencionó anteriormente el TMI bajo estudio ofrece sus servicios básicamente en el apoyo a mantenimientos correctivos y preventivos en la industria regional, por ello no tiene una participación en el diseño de piezas, sin embargo debido a que si participan en la reconstrucción o sustitución de partes, es necesario entender el proceso de diseño para que el TMI esté en condiciones de llegar el dimensionado original de la pieza.

Debe considerarse que el diseño del producto es una actividad crítica, pues se estima que el 70% u 80% del costo de desarrollo y manufactura de productos está determinado por las decisiones tomadas en etapas iniciales del diseño. El diseño de un producto requiere el entendimiento completo de sus funciones y de su desempeño esperado. En el caso del TMI el conocimiento pleno del diseño de partes puede traducirse en ahorro de material y evitar re-trabajos.

El Diseño para la Manufactura (DFM) es un método completo de producción de bienes e integra el proceso de diseño de materiales, métodos de manufactura, planeación de procesos, ensamble, prueba y aseguramiento de la calidad. Esta metodología requiere que los diseñadores entiendan cabalmente las características, capacidades y limitaciones de los materiales, los procesos y operaciones de manufactura, la maquinaria y el equipo relativos. Este conocimiento incluye características como variabilidad en el desempeño de las máquinas, precisión dimensional, y acabado superficial de la pieza de trabajo, tiempo de proceso y el efecto del método de procesamiento en la calidad de la parte.

El ensamble es una parte importante de la operación de manufactura y requiere que se considere la facilidad, la rapidez y el costo de juntar las partes. Además los productos también deben diseñarse para que sea posible el desensamble a fin de desarmar el producto con facilidad para mantenimiento, servicio y sustitución de la parte.

## **2.2 Normas y normalización**

Debido a que la cartera de clientes del TMI en su mayoría cuenta con certificación ISO en sus procesos y a que esta norma exige que la organización certificada corrobore y lleve registro de la capacidad de sus proveedores para garantizar un suministro de productos con calidad sostenida, se decidió documentar la aportación del presente trabajo de tal forma que sirva al TMI como un mecanismo para garantizar a sus clientes su competencia en el sistema de mediciones.

Concretamente el presente trabajo considera la adopción de formas de trabajo normalizadas y documentadas al menos para las actividades de medición en el TMI bajo estudio. Para ello se debe recordar que la normalización es un fenómeno que cada vez va cobrando mayor fuerza y presencia en todo el mundo, es el proceso de

elaboración y aplicación de normas; son herramientas de organización y dirección de las organizaciones. En este contexto se buscará organizar y direccionar las actividades relacionadas con el sistema de medición del TMI.

La asociación estadounidense para prueba de materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) define la normalización como *“el proceso de formular y aplicar reglas para una aproximación ordenada a una actividad específica para el beneficio y con la cooperación de todos los involucrados”*.

### **Definiciones:**

#### **Norma**

La norma es la misma solución que se adopta para resolver un problema repetitivo, es una referencia respecto a la cual se juzgará un producto o una función y en esencia es el resultado de una elección colectiva y razonada.

Prácticamente, la norma es un documento resultado del trabajo de numerosas personas durante mucho tiempo y normalización es la actividad conducente a la elaboración, aplicación y mejoramiento de las normas.

#### **Especificación**

Una especificación es una exigencia o requisito que debe cumplir un producto, un proceso o un servicio, ya que es el elemento por medio del cual puede determinarse si el requisito exigido es satisfactorio. Una especificación puede ser una norma pero generalmente es parte de una norma, por ejemplo: el contenido de humedad de un producto es una exigencia que cumplir, pero la norma puede tener más exigencias.

#### **Objeto de la normalización**

Todo aquello que pueda normalizarse o merezca serlo, es objeto de normalización; abarca desde conceptos abstractos hasta cosas materiales, por ejemplo: unidades,

símbolos, términos, tornillos, leche, agua, equipos, telas, procedimientos, funciones, bases para el diseño de estructuras, sistemas para designar medidas, listas, dibujo técnico, documentación, etc.

### **Principios básicos de la normalización**

La normalización técnica como cualquier actividad razonada cuenta con principios básicos, los cuales son producto, en parte, de la actividad de la STACO, organismo creado por la organización internacional para la normalización (ISO) que se dedica a estudiar y establecer los principios básicos para la normalización.

#### **2.2.1. Evaluación y Selección de Proveedores según NORMA ISO**

Los procesos de normalización hoy en día, rebasan los límites físicos de las organizaciones que pretenden normar sus procesos, así se observa que en la norma ISO 9001:2008 se dedica la fracción 7.4 a establecer la relación que debe tener la organización con sus proveedores, en ella se demanda a la organización el asegurarse de la competencia de sus proveedores tanto en calidad de sus procesos como en su sistema de gestión de calidad, en síntesis toda organización con certificaciones de ISO debe:

*Evaluar y seleccionar los proveedores en función de su capacidad para suministrar productos de acuerdo con los requisitos de la organización. Debe establecerse los criterios para la selección, la evaluación y la re-evaluación (ISO 9001:2008).*

En este sentido toda organización que provea algún producto o servicio a una empresa certificada por ISO, como es el caso del TMI en estudio, debe tener presente esta fracción de la norma e implementar algún sistema de gestión de calidad que ayude a que su cliente cumpla con lo demandado.

## 2.3 Fundamentos de metrología

El título y objetivos de éste trabajo mencionan los términos “*aptitudes metrológicas y sistema de mediciones*”, lo anterior hace necesario la importancia de entender la metrología como una ciencia con objetivos y alcances definidos, los cuales darán fundamento para alcanzar las metas planteadas para el TMI bajo estudio.

La palabra metrología es una palabra compuesta por dos proposiciones: *metro* que significa medición y *logos* que significa tratado o estudio, de esta manera podemos definir que:

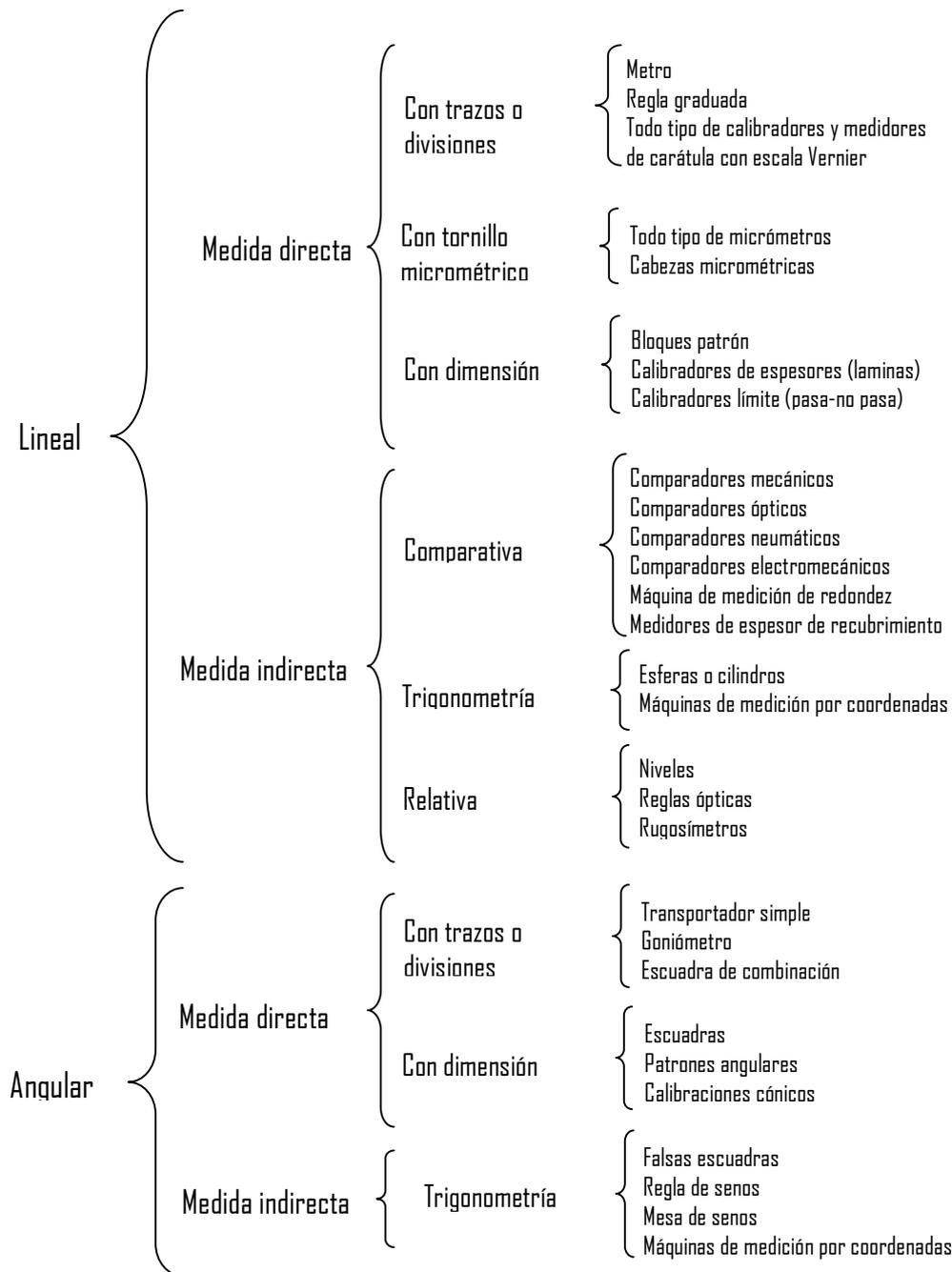
*Metrología es la ciencia que trata de las medidas, de los sistemas de unidades adoptados y los instrumentos usados para efectuarlas e interpretarlas. Abarca varios campos tales como metrología térmica, eléctrica, acústica, dimensional, etc.*

**Medida** es la evaluación de una magnitud hecha según su relación con otra magnitud de la misma especie adoptada como unidad, tomar la medida de una magnitud es compararla con la unidad de su misma especie para determinar cuántas veces ésta se halla contenida en aquella (González y Zeleny, 1998).

### 2.3.1 Metrología dimensional

Las actividades de verificación del dimensionado de las piezas fabricadas en el TMI bajo estudio se limitan al campo de la metrología dimensional, si es necesario medir alguna magnitud fuera de este campo se solicita el servicio externamente.

La metrología dimensional se aplica en la medición de longitudes (exteriores, interiores, profundidades, alturas) y ángulos, así como de la evaluación del acabado superficial.



**Figura 2.3.** Clasificación de instrumentos y aparatos de medición en metrología dimensional.

La medición se puede dividir en directa (cuando el valor de la medida se obtiene directamente de los trazos o divisiones de los instrumentos) o indirecta (para obtener

el valor de la medida necesitamos compararla con alguna referencia). La Figura 2.3 muestra una relación de las medidas y los instrumentos.

### **2.3.2 Evaluación a los sistemas de medición**

Dentro de cualquier organización, para garantizar calidad del producto o servicio, se deben verificar las características del producto, de la materia prima, del proceso, del ambiente, etc. Esa verificación (evaluación) se realiza mediante Procesos de Medición (PM) y son ellos quienes dictaminan el cumplimiento o no de calidad. En todo Proceso de Medición intervienen algunos componentes como: Instrumento de medición, persona que mide, el método con que se mide, medio ambiente, etc. Estos afectan el resultado de la medición (positiva o negativamente) independientemente de si se les pone atención o no. Los PM son vitales para calificar la calidad del proceso, la calidad de los proveedores, etc. por ello se les debe tener bajo una evaluación que garantice las características de calidad con la mayor veracidad posible. *Para avanzar en un programa de calidad es necesario contar, entre otras cosas, con un Sistema de Medición confiable* (Portuondo, Y. y Portuondo J., 2010).

Al conjunto de elementos que intervienen en los procesos de medición se les llama Sistemas de Medición. Una definición oficial de Sistema de Medición dada por el Measurement Systems Analysis (MSA) es: *La colección de operaciones, procedimientos, instrumentos de medición y otro equipo, software y personal definido, para asignar un número a la característica que está siendo medida* (Escalante, E. J., 2008).

Al definir a los elementos que intervienen en los Procesos de Medición como un sistema (Sistema de Medición), es necesario definir las características para medir la salud de dicho sistema lo cual según la MSA se resume a dos propiedades estadísticas: insesgada y de varianza cero (idealmente), para contribuir a que un Sistema de Medición cumpla esas dos propiedades se debe procurar que:

1. El Proceso de Medición (PM) debe estar en control estadístico
2. La variabilidad del PM debe ser pequeña comparada con las especificaciones y con la variación del proceso.
3. Los incrementos de medida no deben ser mayores a 1/10 de las especificaciones y la variación del proceso (discriminación o resolución).
4. Los PM deben tener poco sesgo.

**Los objetivos de la evaluación a los Sistemas de Medición son:**

- Aceptar un nuevo equipo.
- Comparar dos equipos entre sí.
- Evaluar un Instrumento sospechoso.
- Evaluar un Instrumento antes y después de repararlo.
- Antes de implantar gráficos de control en los procesos.
- Cuando disminuya la variación del proceso.
- Garantizar la calidad sostenida en las mediciones.

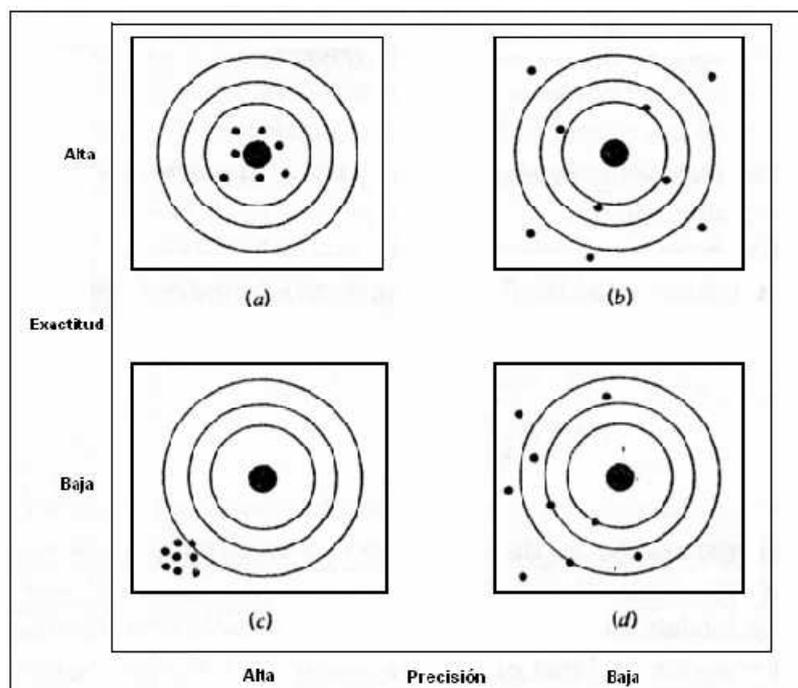
La evaluación de estas dos propiedades (insesgada y varianza cero) de los Sistemas de Medición (SM) se efectúa por un lado a través de: estudios de repetibilidad y reproducibilidad, los cuales miden la variabilidad o precisión del SM, y por otro lado a través de estudios de: exactitud, estabilidad y linealidad, se mide el sesgo o exactitud del SM, (Escalante, E. J., 2008).

En general, al considerarse los procesos de medición como un proceso se puede concluir que las fuentes que afectan a dicho proceso están dictadas por las 6 M del diagrama de Ishikawa (Materiales, Medio ambiente, Mano de Obra, Métodos, Máquinas y Mediciones), sin embargo según *Gutiérrez, H. (2009)*, en particular las fuentes principales que contribuyen a los errores en las mediciones son el equipo de medición, los operadores (reproducibilidad) y la variación dentro de la muestra.

### Diferencia entre precisión y exactitud

La Figura 2.3 muestra cuatro casos de disparos a un blanco fijo, en ella se detalla la evaluación de los disparos en cada caso desde el punto de vista de su precisión y exactitud.

Precisión se refiere a la variación o dispersión de los disparos. Poca variación significa un buen grado de precisión. Exactitud se define como la cercanía del promedio de los disparos con el centro del blanco. Mayor cercanía implica un buen grado de exactitud.



**Figura 2.4.** Diferencia entre precisión y exactitud. Nota: (a) el sistema es exacto y preciso. (b) El sistema es exacto pero no preciso. (c) El sistema es preciso pero no exacto. (d) El sistema no es preciso ni exacto.

**La precisión** de un sistema de medición hace referencia a la variabilidad que se observa cuando se mide la misma unidad del producto con la misma herramienta de medición, repetidas veces. Entonces, un sistema de medición será preciso si es

capaz de producir los mismos resultados cuando se mide repetidamente la unidad en condiciones uniformes.

**La exactitud** del SM se refiere a la diferencia que se observa entre el verdadero valor de la característica que se mide y el valor de la medición que se obtiene al aplicar el procedimiento de medición. Por lo tanto, un sistema de medición será exacto si posee la habilidad de producir mediciones que, en promedio coincidan con el verdadero valor de la característica que se está midiendo.

### **Estudios sobre media de las mediciones**

(Estabilidad/Adecuación/Sesgo/Linealidad)

Este tipo de estudios son de suma importancia para mantener asegurado el SM debido a que una pequeña desviación del valor convencionalmente verdadero puede convertirse en serios problemas de calidad, una anomalía detectada por estos estudios puede llevar a ajustar inmediatamente el instrumento de medición, restringir o eliminar su uso y en ocasiones hasta cambiar la periodicidad de calibraciones y/o verificaciones. Los estudios más básicos sobre la media de las mediciones son: Estudios de exactitud (mide la diferencia entre el valor leído por el instrumento y un patrón con un valor convencionalmente verdadero), estabilidad (mide el comportamiento de la exactitud del instrumento con respecto al tiempo) y linealidad (mide la exactitud del instrumento en una selección de puntos de su rango de medición).

**Estabilidad:** se dice que un sistema de medición es estable cuando no está afectado por causas especiales de variación, es decir, cuando la variabilidad observada es puramente aleatoria, indicando que se debe sólo a la precisión del sistema de medición y no a su exactitud. La estabilidad de un sistema de medición se juzga por un gráfico de control de mediciones repetidas de un mismo estándar a través de un período de tiempo. Si los gráficos de control resultantes (de promedios y rangos, o de

observaciones individuales y rangos) están bajo control, se dice que el sistema es estable. No es necesario disponer de un estándar para evaluar estabilidad, puede utilizarse como estándar un producto para el cual sea seguro que la medición no varía a través del tiempo.

**Adecuación de la unidad de medición:** es la habilidad del SM de medir la característica de interés en un número adecuado de posiciones decimales. Este número adecuado de posiciones decimales dependerá de la característica particular que se esté midiendo. A su vez, la cantidad de posiciones decimales con las que se obtengan las mediciones, dependerá del poder de discriminación del sistema, lo cual está asociado a la graduación más pequeña que el instrumento es capaz de medir en su escala. Esta propiedad hace referencia a la habilidad de la herramienta para detectar e indicar consistentemente cambios en la característica medida.

**Sesgo:** el sesgo o imprecisión en el SM es la diferencia sistemática entre los resultados que arroja el SM y el verdadero valor de la característica o estándar. Para poder determinar el sesgo es necesario conocer el verdadero valor de la característica. Si esta se desconoce, una alternativa consiste en medir varias veces el mismo producto utilizando el mejor método de medición que se disponga y tomar el valor promedio de tales mediciones como estándar.

**Linealidad y variancia constante:** Esta propiedad se refiere a si el sesgo y la variabilidad del SM, son constantes a través del rango en el que opera el sistema de medición. Si el sesgo es constante durante ese rango de operación, se dice que el sistema es lineal. Similarmente, si la variabilidad en las mediciones se mantiene constante, se dice que el sistema tiene variancia constante.

### **Estudios sobre la variabilidad de las mediciones (Repetibilidad/Reproducibilidad)**

Concretamente para el estudio de la variabilidad de las mediciones se utilizarán estudios R&R para variables según las recomendaciones de la MSA (1990).

**Un estudio R&R** consiste en un diseño de experimento controlado en el que se evalúa el grado de aportación de la varianza de una medición por parte de los componentes: instrumento de medición, persona que mide, pieza medida, son sumamente prácticos y efectivos para detectar debilidades en los componentes del sistema metrológico, Pince (1990).

**Repetibilidad:** es la variabilidad en mediciones repetidas del mismo producto bajo condiciones exactamente idénticas, es decir, usando la misma herramienta de medición, el mismo operario y las mismas condiciones ambientales. No es necesario tener un valor estándar para estimar la repetibilidad. Cuando la repetibilidad del sistema de medición es pobre, significa que algún factor está afectando al instrumento de medición.

**Reproducibilidad:** es la variabilidad en el promedio de las mediciones hechas por diferentes operarios usando la misma herramienta y midiendo el mismo producto. La variabilidad introducida por los diferentes operarios es una medida de la reproducibilidad del sistema de medición y para medirla no es necesario disponer de un estándar.

***El propósito de un estudio de capacidad del sistema de medición, más conocido como estudio de repetibilidad y reproducibilidad (o estudio R&R) es evaluar cuánta variación está asociada al sistema y compararla con la variación total del proceso, decidiendo luego si el sistema de medición es capaz o no, de cumplir con la tarea para la cual se utiliza. (Quaglino, et. al., 2007).***

### 2.3.3 Tolerancias Geométricas

Aun cuando, los márgenes de tolerancias que los clientes demandan al TMI en las piezas terminadas no son muy estrictos, es necesario abordar una leve introducción al tema de tolerancias geométricas con la finalidad de mejorar la cultura metrológica, entender las demandas y beneficios del maquinado de precisión.

A demás de ser un lenguaje técnico en el diseño de partes, se podría definir la tolerancia geométrica de un elemento de una pieza (superficie, eje, plano de simetría, etc.) como la zona de tolerancia dentro de la cual debe estar contenido dicho elemento. Dentro de la zona de tolerancia el elemento puede tener cualquier forma u orientación, salvo si se da alguna indicación más restrictiva.

| TIPO DE TOLERANCIA | CARACTERÍSTICAS              | SIMBOLO |
|--------------------|------------------------------|---------|
| Forma              | Rectitud                     | —       |
|                    | Planicidad                   |         |
|                    | Redondez                     |         |
|                    | Cilindricidad                |         |
|                    | Forma de una línea           |         |
|                    | Forma de una superficie      |         |
| Orientación        | Paralelismo                  | //      |
|                    | Perpendicularidad            | ⊥       |
|                    | Inclinación                  | ∠       |
| Situación          | Posición                     | ⊕       |
|                    | Concentricidad y Coaxialidad | ⊙       |
|                    | Simetría                     | ≡       |
| Oscilación         | Circular                     |         |
|                    | Total                        |         |

**Tabla 2.1.** Símbolos para características con tolerancias geométricas.

El uso de tolerancias geométricas evita la aparición en los dibujos de observaciones tales como “superficies planas y paralelas”, con la evidente dificultad de interpretación cuantitativa que conllevan; aún más, a partir de los acuerdos internacionales sobre símbolos para las tolerancias geométricas, los problemas de lenguaje están siendo superados. La Tabla 2.1 muestra la simbología más común en el tolerado dimensional (González y Zeleny, 1998).

## 2.4 Experiencias en el desarrollo de proveedores

La región en la que se encuentra inmerso el TMI bajo estudio se considera en vías de industrialización, es evidente que la falta de una política de desarrollo de micro y pequeñas empresas obstaculiza la instalación de medianas y grandes empresas, debido a que las primeras serían la base de proveedores de las segundas. Según Albuquerque (2004):

*“Una iniciativa de desarrollo económico local no es únicamente un proyecto exitoso en un territorio. Se requiere una concertación institucionalizada de los actores públicos y privados locales más relevantes con una estrategia de desarrollo común”.*

Comúnmente los gobiernos tanto locales como federales enfocan su apoyo a la industria regional en forma de subsidios o beneficios fiscales, lo cual históricamente no ha impactado la profesionalización y desarrollo. Recientemente se han instrumentado programas por medio de los cuales se ha intentado imponer programas (de certificación, capacitación, etc.) que a juicio del funcionario en turno, es útil para la industria regional, erogando recursos a un tercero que funge como asesor en la micro o pequeña empresa apoyada, esto tampoco ha contribuido sustancialmente al mejoramiento de la industria local. Este tipo de acciones gubernamentales según Albuquerque (2004), se debe a:

“La existencia de una percepción básicamente asistencial frente a las microempresas y pequeñas empresas en casi todos los países de América, los cuales no poseen aún un diseño territorial de las políticas de fomento de este tipo de empresas, a

pesar de su importancia numérica, su presencia difusa en el territorio y su trascendencia desde el punto de vista de la generación de empleo e ingresos”.

Debido a los hechos antes mencionados, con el desarrollo de este trabajo se pretende no fungir como una estrategia asistencialista en la que los investigadores realicen una serie de actividades o estudios que pudieran considerarse esenciales, sino en el desarrollo del personal para que por conclusión propia encuentren y exploten áreas de oportunidad en materia metrológica, sea individualmente o con asesoría.

## **2.5 Indicadores de desempeño**

Es evidente que una mejora en el sistema y prácticas metrológicas de cualquier organización puede impactar de manera positiva los índices de calidad, sin embargo para evaluar de manera ampliada la evolución del SM es deseable otro tipo de mecanismo de medición.

Para medir la efectividad de un sistema de medición es necesario hacer dos tipos de estudio: por un lado están los estudios sobre la medida de tendencia central de las mediciones que consiste en estudios sobre la exactitud, estabilidad y linealidad del instrumento y por otro, los estudios sobre la variabilidad de las mediciones que consiste en estudios para determinar la reproducibilidad (variación de persona que mide) y sobre la repetibilidad (variación asociada al instrumento de medición).

Al término de este trabajo se espera que el TMI bajo estudio oferte sus productos y servicios con mayor efectividad, para ello es necesario establecer el mecanismo y patrón mediante el cual se medirá esta mejora.

En el Anexo1 se incluyen algunos formatos guías para evaluar los estudios de Sesgo, Linealidad, Repetibilidad y Reproducibilidad utilizados en el presente trabajo.

En la Tabla 2.2 se muestran los criterios de evaluación recomendados por la MSA en su Manual de Referencia (1990) en lo que refiere a los estudios antes mencionados.

| ESTUDIO    | RESULTADO                                   | CRITERIO  |
|------------|---|---|
| %Sesgo     | Menor a 5%                                  | Instrumento en buen estado  |
|            | Entre 5% y 10 %                             | Instrumento aceptable solo para trabajos de aproximación, no de acabado.  |
|            | Mayor a 10 %                                | Instrumento en mal estado, enviar a calibración y posible ajuste.   |
|            |   |   |
| Linealidad | "r" debe de ser mayor a 0,8 y menor de -0,8 | El sesgo del instrumento es lineal en el rango de medición estudiado.   |
|            |   |   |
| % R&R      | Menor de 10%                                | Sistema de medición Aceptable.  |
|            | Entre 10% y el 30%                          | Sistema de medición para aplicaciones de bajo costo y/o tolerancias poco estrictas.                             |
|            | Mayor a 30%                                 | El Sistema de medición necesita mejorar. Haga todo lo posible para identificar los problemas y que se corrijan. |

**Tabla 2.2.** Criterios para evaluar la salud del sistema de medición.

## **2.6 Solid Works en el diseño de partes a maquinar**

Como se ha mencionado anteriormente, existe un TMI bajo estudio con la necesidad de aceptar órdenes de trabajo de piezas con diseños geométricos significativamente más complejos que los comúnmente aceptados, para lograrlo será necesario el desarrollo del personal, pero también el uso de herramientas como el software SolidWorks que den soporte al rápido diseño de la pieza e incluso la simulación de su futuro ensamble. La adopción de SolidWorks puede también propiciar la adopción de sistemas y maquinarias con tecnología de punta (Diseño Asistido por Computadora (CAD), Manufactura Asistida por Computadora (CAM), Máquinas de Medición por Coordenadas (CMM), máquinas de Control Numérico por Computadora (CNC), etc.) lo cual es una idea muy lejana para el mencionado taller pero una necesidad inmediata para sus clientes.

Los costos de oportunidad en que se incurre por no apoyarse en una herramienta de diseño, simulación y fabricación de partes como SolidWorks queda exhibida en un informe elaborado por Elizabeth B. Ames (2007), producto de una encuesta aplicada a 1000 usuarios SolidWorks (SW). En dicho informe el 95% de los encuestados afirmaron haber experimentado un incremento en la productividad atribuible a SW, el 69% afirmo que SW permite el diseño y fabricación de mejores productos y el 54% un menor tiempo en la entrega de nuevos productos.

## **2.7 Software de apoyo en el análisis estadístico de datos**

Durante el desarrollo de la investigación se recabarán datos para determinar la salud del sistema de medición respecto de su Sesgo, Linealidad, Repetitividad y Reproducibilidad- Para procesarse adecuadamente y con la finalidad de presentar los resúmenes para un análisis claro y entendible se utilizaron los software Excel de Microsoft Office y Minitab<sup>®</sup>, esto debido a su probada capacidad y a la existencia de licencias dentro de la Universidad de Sonora. Específicamente los estudios R&R se realizaran en Minitab 15 aplicando Diseños Cruzados (DC), esto en virtud de que la

naturaleza de las mediciones es no destructiva. Los DC son aquellos en los que todos los operarios miden varias veces todas las piezas. Son los más utilizados, especialmente cuando se trata de medir características dimensionales, (Grima, P., 2004).

### 3. METODOLOGÍA

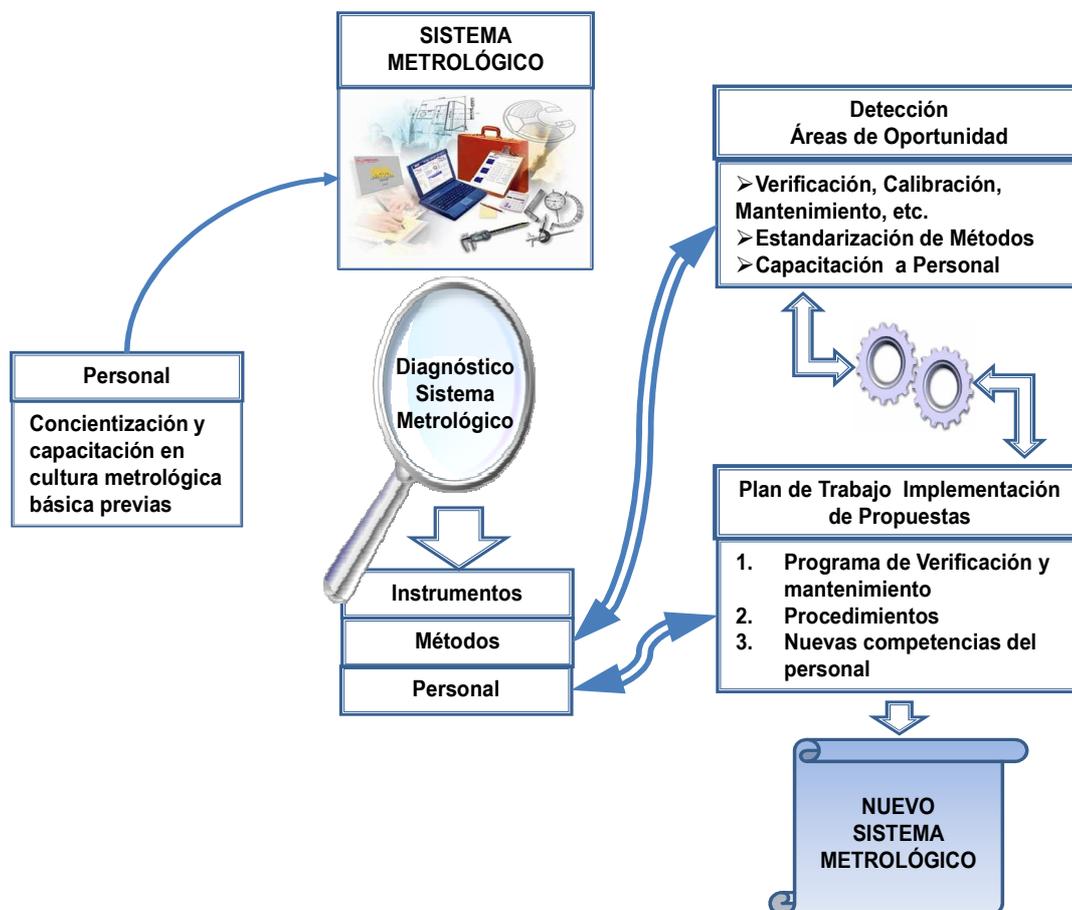
Según registros de la Coordinación de Fomento Económico, en la ciudad de Navojoa, Sonora la población de talleres de torno asciende a 13 de los cuales solo 5 son proveedores de industrias con certificaciones de calidad. Al inicio de este trabajo se entrevistaron a los propietarios de los cinco talleres y en su momento manifestaron estar interesados en participar en esta investigación, sin embargo, ha sido solo uno de ellos el que ha asignado recursos, tiempo de propietarios y personal para capacitaciones y/o inspecciones, así como toda la disposición para proporcionar información necesaria para la ejecución de las etapas del trabajo. **Por lo anterior y debido al horizonte de tiempo previsto para la culminación de la investigación se trabajará con el Taller de Torno Industrial NAVOJOA esperando que una vez alcanzados los objetivos establecidos para este trabajo, sirva para motivar la participación de los demás talleres en réplicas futuras del proyecto.**

Con la finalidad de conocer la metodología implementada en el trabajo, en este apartado se describe de manera clara y concisa los procesos durante su ejecución. En la Figura 3.1 se ilustra el modelo de la metodología implementada en la que se incluyen las etapas, herramientas y procesos involucrados.

#### 3.1 Primera etapa

Capacitación previa a personal técnico sobre cultura metrológica básica

Objetivo: Asegurar la comprensión de terminología y problemas comunes de los sistemas de medición por parte del personal del TMI, con la finalidad de comunicarse eficazmente en etapas posteriores.



*Figura 3.1. Modelo conceptual para la generación de aptitudes metrológicas.*

### Acción 1

Será necesario entrevistar personalmente a los operadores del taller, preguntando su punto de vista sobre el sistema de medición actual, instrumentos, métodos, problemas comunes con los clientes, ensayos complicados, etc.

Durante la entrevista es recomendable utilizar la terminología necesaria para comprender aspectos metrológicos como: precisión, exactitud, repetible, linealidad, estabilidad, etc. Lo anterior a manera de diagnóstico previo en cultura metrológica. Si bien es cierto que el desconocimiento de estos términos podría intimidar al personal, sin embargo, para el personal resultará indispensable el manejo cotidiano de los mismos.

## **Acción 2**

Impartir sesiones informativas a todo el personal relativas a los objetivos del proyecto y sobre cultura metrológica básica.

### **Producto:**

- Al final es conveniente realizar una pequeña evaluación para asegurar el objetivo planteado en esta etapa.

## **3.1 Segunda etapa**

Evaluación y diagnóstico a los instrumentos de medición

Objetivo: Detectar áreas de oportunidad inmediatas y de mediano plazo en los instrumentos de medición, con la finalidad de fundamentar su mantenimiento, verificación, calibración y/o sustitución.

### **Acción 1**

Realizar un inventario del instrumental de medición, así como de herramientas internas de verificación, como bloques patrón, anillos patrón, etc. En dicho inventario se debe especificar marca, resolución, alcance, usos en el taller, entre otros.

### **Acción 2**

Disponer del instrumental y equipos calificados para realizar, al menos, mantenimiento y verificación de los instrumentos registrados en el inventario realizado. Para el caso de talleres de maquinado es indispensable contar con:

- kit de limpieza y lubricación para equipos de metrología dimensional,
- Kit de bloques patrón calibrados y con precisión superior a la indicada por los instrumentos a evaluar.
- Espacio con temperatura controlada, libre de vibraciones, polvos excesivos y con buena iluminación.

- Formatos debidamente diseñados para el registro de datos, que podrán utilizarse para el cálculo de características críticas como: sesgo, linealidad, repetibilidad y reproducibilidad. Dichos formatos se encuentran disponibles en el Anexo 1.

### **Acción3**

Definir en base a las funciones desempeñadas por cada trabajador, los instrumentos y ensayos más utilizados, lo cual servirá de referencia al momento de aplicar los estudios de repetibilidad y reproducibilidad, es decir, no se debe aplicar un estudio R&R con un instrumento que nos interesa mucho y con un operador que habitualmente no utiliza dicho instrumento, más bien se deben realizar con instrumentos, operadores y piezas que forman parte habitual del sistema de medición (SM) del taller.

### **Acción 4**

Ejecución de estudios de características críticas de instrumentos de medición dimensional como: sesgo, linealidad, repetibilidad y reproducibilidad. Debe buscarse no solo el hecho de que el investigador realice los estudios sino que a la par se debe involucrar al personal técnico y/o propietarios para que en un futuro próximo dichos estudios se realicen autónomamente.

### **Producto:**

- Diseño de plan anual de limpieza y lubricación a instrumentos de medición.
- Cálculo y documentación del estado de los instrumentos de medición en relación a las características críticas de medición dimensional.

## **3.3 Tercera etapa**

Evaluación y diagnóstico de las capacidades metrológicas del personal

Objetivo: Conocer el grado de competencia y conciencia del personal respecto de los quehaceres en materia de metrología, con la finalidad de proponer acciones que coadyuven a mejorar las capacidades metrológicas del personal.

#### **Acción 1**

Analizar los resultados de los estudios R&R realizados en la Segunda Etapa (Acción 4), enfocándose específicamente en los porcentajes de reproducibilidad que corresponde a la aportación de variabilidad por parte de los operadores.

#### **Producto:**

- Informe específico que explicará la competencia de cada operador con cada instrumento, por ejemplo: el operador x1, x2 y x3 son aptos para realizar ensayos de medición con los instrumentos y1 y y2 pero no lo son para los instrumentos y3 y y4. Este informe nutrirá el programa de capacitación específica que contempla la siguiente etapa.

### **3.4 Cuarta etapa**

Generación y ejecución de un programa de capacitación específica y especializada en materia metrológica dirigido al personal técnico.

Objetivo: Transmitir conocimientos especializados y pertinentes al personal técnico de los talleres con la finalidad de incrementar la competencia y conciencia durante los procesos de medición.

#### **Acción 1**

Informar al personal los resultados de los estudios respecto de los instrumentos y de sus propias fortalezas y debilidades en los procesos de medición.

## **Acción 2**

Con base al informe de la etapa anterior implementar una primera parte del programa de capacitación, la cual buscará corregir y estandarizar las prácticas involucradas en la realización de los ensayos más críticos, es decir, aquellos ensayos relacionados con las características de calidad más importantes o en las que exista una tendencia de alto porcentaje de reproducibilidad en los estudios R&R.

Una estrategia para la capacitación podría ser seleccionar a los operadores con menor porcentaje de reproducibilidad en estudios R&R y pedirles que capaciten a los operadores con deficiencias en ensayos específicos.

## **Acción 3**

En colaboración con los propietarios determinar el posicionamiento deseado para el taller a mediano plazo, con el objetivo de diseñar y ejecutar una segunda parte del programa de capacitación, en la cual se abordarán temas más especializados que contribuyan a mejorar el posicionamiento del negocio, por ejemplo: programación CNC, dibujo técnico, diseño en Solid Works, tolerancias geométricas, etc. El contenido debe desarrollarse considerando los niveles de escolaridad y formación técnica, también será indispensable acompañar la explicación de algunos términos con videos y/o talleres que se relacionen estrechamente con los quehaceres del personal.

## **Acción 4**

Reevaluación por medio de estudios R&R, cuidando de mantener los mismos elementos de la evaluación inicial (instrumentos, personal y piezas).

## **Producto:**

- Informe conteniendo los resultados y/o evolución de las capacidades del personal involucrado en los procesos de medición del taller.

### 3.5 Quinta etapa

Elaboración del “Manual” para dar soporte al Programa de Mantenimiento y Verificación de Instrumentos (PMV) de Medición.

Objetivo: Poner a disposición del administrador del taller un manual que facilite y de soporte a las órdenes de trabajo: limpieza, lubricación y verificación emanadas del “Plan Anual de Limpieza y Lubricación a Instrumentos de Medición”, el cual se genera como producto de la Segunda etapa de esta metodología.

#### **Acción 1**

Redacción de la parte introductoria del manual PMV, la cual deberá explicitar la operatividad del mismo.

#### **Acción 2**

Generar procedimientos con ayudas visuales que sirvan como guías técnicas para las actividades de limpieza y lubricación propuestas en el “plan anual de limpieza y lubricación a instrumentos de medición”. Para las actividades de verificación rápida de los instrumentos se deberán generar los procedimientos y ayudas visuales respectivos por tipo de instrumento.

#### **Producto:**

Al final de las acciones de esta etapa se integrará un documento que se llamará **Programa de Mantenimiento y Verificación de Instrumentos (PMV)** que contendrá la calendarización de actividades de mantenimiento y verificación para cada instrumento de medición, indicando el responsable de tales actividades, así como las ayudas visuales para los procedimientos utilizados.

## **4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA**

En esta sección se expone de manera sistemática la aplicación de la metodología propuesta en el presente trabajo para la generación de aptitudes metrológicas en el TMI bajo estudio, como es, a saber, la metodología en cuestión consta de cinco etapas, además se hace un apartado para el análisis de datos obtenidos y uno más para la discusión de los mismos.

### **4.1 Obtención de datos**

Con la finalidad de explicitar la obtención de los datos se decidió hacer una crónica de lo aplicado en cada una de las cinco etapas de la metodología al final cada etapa hace mención a un producto obtenido de la aplicación de la respectiva etapa, esos productos serán objeto de análisis y discusión en este mismo capítulo.

#### **4.1.1 Aplicación de la primera etapa**

Capacitación previa al personal técnico del TMI sobre cultura metrológica básica

Objetivo:

Asegurar la comprensión de terminología y problemas comunes de los sistemas de medición por parte del personal de los tornos, con la finalidad de comunicarse eficazmente en etapas posteriores.

##### **Acción 1**

Atendiendo a lo solicitado en la acción 1, se realizaron entrevistas con el personal del TMI bajo estudio, con el objetivo de ganar confianza entre el personal y como resultado de esta acción se obtuvo lo siguiente:

- El personal está consciente de la importancia de obtener buenas mediciones en las distintas fases de su trabajo.

- Admiten desconocer cómo evaluar al instrumento con el que miden y desconocen también como medir su propia habilidad para utilizar distintos instrumentos.
- Reconocen no estar familiarizados con terminología en materia metroológica
- Admiten tener discusiones serias en cuanto a dimensiones de un producto con los clientes, por lo que hay que reprocesar o remplazar las piezas.

## Acción 2

Se prepararon materiales didácticos en software PowerPoint sobre dos tópicos básicos: Introducción a la metrología y propuesta de anteproyecto de tesis, dichos materiales fueron presentados a los propietarios y al personal del taller en estudio.

### Producto:

Se aplicó un examen al personal bajo capacitación, observándose un notorio avance en la cultura y conciencia metroológicas además de relacionar problemas recurrentes a errores pasados en su sistema de medición. A solicitud de los propietarios no se publicaran los resultados, sin embargo el formato de evaluación se puede apreciar en la Figura 4.1 y de manera más amplia en el Anexo 3.

| <b>TALLER DE TORNO INDUSTRIAL<br/>NAVOJOA</b>  |                          |
|--|--------------------------|
| <b>EXAMEN DE EVALUACIÓN INTRODUCCIÓN A LA METROLOGÍA</b>   |                          |
| Nombre: _____  | Fecha: _____             |
| Puesto: _____  |                          |
| <b>PARTE I</b>   |                          |
| <b>Instrucciones: Responda correctamente</b>   |                          |
| Escriba lo que entiende por metrología   |                          |
| _____  |                          |
| _____  |                          |
| Explique la diferencia entre medir y calibrar  |                          |
| _____  |                          |
| _____  |                          |
| ¿Que es el CENAM y cual es su función?   |                          |
| _____  |                          |
| _____  |                          |
| Explique que es trazabilidad   |                          |
| _____  |                          |
| _____  |                          |
| Liste las 7 unidades base y su símbolo oficial del Sistema Internacional de Unidades   |                          |
| _____  |                          |
| _____  |                          |
| <b>PARTE II</b>  |                          |
| <b>Instrucciones: Responda Verdadero o Falso según sea el caso</b>   |                          |
|  | <b>Falso / Verdadero</b> |
| La naturaleza nos impide conocer con certeza absoluta el valor verdadero de una magnitud, es decir, siempre se asociará una incertidumbre.   | ( )                      |
| Toda medición debe estar respaldada por un procedimiento, un método y un principio (base científica).  | ( )                      |
| Mientras más larga sea la cadena de comparaciones, la incertidumbre se incrementa.   | ( )                      |
| Un instrumento nuevo nos garantiza mediciones más exactas que uno usado  | ( )                      |
| <b>PARTE III</b>   |                          |
| <b>Relacione según corresponda</b>   |                          |
| Es el error absoluto entre el valor convencionalmente verdadero.   | ( )                      |
| Son los errores que se presentan en los sistemas de medición y provoca que los resultados sean erróneos.   | ( )                      |
| Es la diferencia entre el valor leído y el valor convencionalmente verdadero.  | ( )                      |
| Son errores tan graves que no queda otra alternativa que abandonar la medición. Por ejemplo, cuando se avería el instrumento con el cual se esta midiendo por causa de una caída.                  | ( )                      |
| Son errores inherentes a cualquier proceso de medición y provoca que las mediciones sean distintas.  | ( )                      |
| Son pruebas básicas de los sistemas de medición sobre el promedio de las mediciones  | ( )                      |
| Son pruebas básicas de los sistemas de medición sobre la variabilidad de las mediciones  | ( )                      |
| Consiste en la comparación de una medida de referencia o patrón contra el valor leído en un instrumento.   | ( )                      |
| Es un estudio a los instrumentos de medición que busca medir la exactitud de un instrumento a lo largo de la escala de medición.   | ( )                      |
| Es un estudio a los sistemas de medición que busca medir su exactitud a través del tiempo.   | ( )                      |
| (1) Error absoluto (2) Estabilidad (3) Error relativo (4) Errores aleatorios (5) Linealidad (6) Errores sistemáticos (7) Sesgo (8) Errores crasos (9) Estudios R&R (10) Sesgo/Exactitud/Linealidad |                          |

Figura 4.1. Formato de Evaluación aplicado al personal del Taller de Torno Industrial NAVOJOA.

### 4.1.2 Aplicación de la segunda etapa

Evaluación y diagnóstico a los instrumentos de medición

Objetivo: Detectar áreas de oportunidad inmediatas y de mediano plazo en los instrumentos de medición con la finalidad de fundamentar su mantenimiento, verificación, calibración y/o sustitución.

#### Acción 1

Para realizar el inventario del instrumental de medición disponible, se acordó no incluir: equipos dañados, equipos en desuso por desgastes en la escala de medición y aquellos instrumentos que no serán sujeto de estudio en el presente trabajo tales como: flexómetros, reglas, entre otros.

En la Tabla 4.1 se muestra el instrumental de uso diario y que tiene un impacto directo en el aseguramiento de la calidad de los productos maquinados. En dicha Tabla, además de describir características de los instrumentos, se asigna una clave a cada instrumento para referencia en este trabajo.

| Clave | Equipo                   | Tipo        | Marca     | Serie     | Alcance     | Resolución |
|-------|--------------------------|-------------|-----------|-----------|-------------|------------|
| MEA01 | Micrómetro Exteriores    | Analógico   | INSIZE    | 110277942 | 0-1 in      | 0.001 in   |
| MEA02 | Micrómetro Exteriores    | Analógico   | INSIZE    | 101277094 | 1-2 in      | 0.001 in   |
| MEA03 | Micrómetro Exteriores    | Analógico   | INSIZE    | 110386971 | 2-3 in      | 0.001 in   |
| MEA04 | Micrómetro Exteriores    | Analógico   | INSIZE    | 110342276 | 3-4 in      | 0.001 in   |
| MEA05 | Micrómetro Exteriores    | Analógico   | INSIZE    | 110532349 | 4-5 in      | 0.001 in   |
| MEA06 | Micrómetro Exteriores    | Analógico   | INSIZE    | 110376110 | 5-6 in      | 0.001 in   |
| CVD01 | Calibrador Vernier       | Digital     | Mitutoyo  | 10394889  | 0-8 in      | 0.0005 in  |
| CVA01 | Calibrador Vernier       | Analógico   | WM        | 03CA083   | 0-8 in      | 0.001 in   |
| CVA02 | Calibrador Vernier       | Analógico   | Mitutoyo  | 6908012   | 150 mm      | 0.02 mm    |
| MIA01 | Micrómetro Interior      | Analógico   | ST. James | 165       | 2-6 in      | 0.001 in   |
| MIA02 | Micrómetro Interior      | Analógico   | ST. James | 253       | 2-6 in      | 0.001 in   |
| MED01 | Micrómetro Exteriores    | Digital     | Mitutoyo  | 65136423  | 0-1 in      | 0.0005 in  |
| CEA01 | Compas Interior          | Comparación | Mitutoyo  | S/N       | 0.5 - 4 in  | N/A        |
| LCA01 | Lainas de cuanta cuerdas | Analógico   | Mitutoyo  | 188-101   | 4 a 42 v/in |            |
| LCA02 | Lainas de cuanta cuerdas | Analógico   | Mitutoyo  | 188-121   | 4 a 42 v/in |            |

**Tabla 4.1.** Relación de equipo utilizado en Taller de Torno Industrial NAVOJOA.

## Acción 2

Para dar cumplimiento a la acción 2 de esta etapa se dispuso de materiales y equipos del Laboratorio de Metrología de la Universidad de Sonora Unidad Regional Sur: se utilizó el kit de limpieza y lubricación marca Mitutoyo mostrado en la Figura 4.2, juego de bloques patrones clase 0, marca Mitutoyo de la Figura 4.3 y se diseñaron los formatos que se muestran en las Figuras 4.4a, 4.4b y 4.4c diseñados para el estudios de sesgo, linealidad y repetibilidad/reproducibilidad respectivamente. Dichos formatos junto con su instructivo de uso, se encuentran disponibles en el Anexo 1.

Estos formatos fueron entregados y quedarán en el TMI bajo estudio como un instrumento para llevar registros de calidad en las mediciones.



**Figura 4.2.** Kit de limpieza y lubricación.



**Figura 4.3.** Juego de Bloques patrón.

### Formato para estudio de Sesgo Taller de torno PONCE

Patrón: \_\_\_\_\_ Valor ref.: 1: \_\_\_\_\_ tolerancia: \_\_\_\_\_  
 Instrumento: \_\_\_\_\_ Serie: \_\_\_\_\_ Rango de medición \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
 Operador: \_\_\_\_\_ Elaboró: \_\_\_\_\_

| Ref.                                   | Medición |
|--|----------|
| 1                                      |          |
| 2                                      |          |
| 3                                      |          |
| 4                                      |          |
| 5                                      |          |
| 6                                      |          |
| 7                                      |          |
| 8                                      |          |
| 9                                      |          |
| 10                                     |          |
| Promedio =                             |          |
| VALOR REFERENCIA Patrón                |          |
| Tolerancia = (LSE - LIE)               |          |
| Sesgo = Valor de Referencia - Promedio |          |
| % Sesgo = (Sesgo / Tolerancia) * 100   |          |

| Calificación de exactitud de Instrumento |             |             |
|--|-------------|-------------|
| ≤ 5%                                     | >5% y ≤ 10% | > 10%       |
| Aceptable                                | Precaución  | Inaceptable |

Figura 4.4a. Formato para cálculo de sesgo.

### Formato para estudio de Linealidad Taller de torno PONCE

Patrón: \_\_\_\_\_ Valor ref.: 1: \_\_\_\_\_ 2: \_\_\_\_\_ 3: \_\_\_\_\_ 4: \_\_\_\_\_ 5: \_\_\_\_\_  
 Instrumento: \_\_\_\_\_ Serie: \_\_\_\_\_ Rango de medición \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
 Operador: \_\_\_\_\_ Elaboró: \_\_\_\_\_

| Medición                        | VALORES DE REFERENCIA (PATRONES) |   |   |   |   |
|---------------------------------|----------------------------------|---|---|---|---|
|                                 | 1                                | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1                               |                                  |   |   |   |   |
| 2                               |                                  |   |   |   |   |
| 3                               |                                  |   |   |   |   |
| 4                               |                                  |   |   |   |   |
| 5                               |                                  |   |   |   |   |
| 6                               |                                  |   |   |   |   |
| 7                               |                                  |   |   |   |   |
| 8                               |                                  |   |   |   |   |
| 9                               |                                  |   |   |   |   |
| 10                              |                                  |   |   |   |   |
| 11                              |                                  |   |   |   |   |
| 12                              |                                  |   |   |   |   |
| Promedio =                      |                                  |   |   |   |   |
| VALOR REFERENCIA (VAL DE REF.)  |                                  |   |   |   |   |
| SESGO = PROMEDIO - VAL. DE REF. |                                  |   |   |   |   |

Recta de regresión

Calcular valor r

| Calificación de linealidad de Instrumento |               |        |
|---|---------------|--------|
| ≤ 0.8                                     | 0.8 < r < 0.9 | ≥ 0.9  |
| Lineal                                    | No lineal     | Lineal |

Figura 4.4b. Formato para cálculo de linealidad.

### Formato para estudio de R&R Taller de torno PONCE

ESTUDIO DE CAPACIDAD DEL INSTRUMENTO (MÉTODO LARGO)

Persona responsable: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
 Especificaciones: El + \_\_\_\_\_ El - \_\_\_\_\_ Estado: \_\_\_\_\_  
 Tolerancia: \_\_\_\_\_ Tipo de agua: \_\_\_\_\_ Departamento: \_\_\_\_\_  
 Num. de grupo: \_\_\_\_\_

Reproducibilidad

| Número de partes | Operador A |          |       | Operador B |          |       | Operador C |          |       |
|------------------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|
|                  | Ensayo 1   | Ensayo 2 | Rango | Ensayo 1   | Ensayo 2 | Rango | Ensayo 1   | Ensayo 2 | Rango |
| 1                |            |          |       |            |          |       |            |          |       |
| 2                |            |          |       |            |          |       |            |          |       |
| 3                |            |          |       |            |          |       |            |          |       |
| 4                |            |          |       |            |          |       |            |          |       |
| 5                |            |          |       |            |          |       |            |          |       |
| 6                |            |          |       |            |          |       |            |          |       |
| 7                |            |          |       |            |          |       |            |          |       |
| 8                |            |          |       |            |          |       |            |          |       |
| 9                |            |          |       |            |          |       |            |          |       |
| 10               |            |          |       |            |          |       |            |          |       |
| Total            |            |          |       |            |          |       |            |          |       |

| Calificación de R&R de Sistema de Medición |               |   |
|--|---------------|---|
| ≤ 10%                                      | ≥ 10% y < 20% | ≥ 20% y < 30%                             |
| Excecente                                  | Bueno         | Marginalmente aceptable y debe corregirse |

Figura 4.4c. Formato para estudio R&R.

### Acción 3

En relación a lo recomendado en la acción 3 de esta etapa se decidió, de manera conjunta con los propietarios, que en los estudios de repetibilidad y reproducibilidad (R&R) se evaluarían a 5 operadores realizando los dos ensayos más críticos del proceso: medición de diámetro interior con calibrador vernier digital y medición de diámetro exterior con micrómetro digital.

### Acción 4

En la ejecución de los estudios de sesgo y linealidad a los instrumentos de medición a que hace referencia la acción 4 de esta etapa, es preciso mencionar que no fue posible realizar dichos estudios a la totalidad de los instrumentos registrados en el inventario, debido principalmente a la falta de disponibilidad de equipo para determinar un valor de referencia válido, sin embargo las Tablas 4.2 y 4.3 muestran los estudios realizados y los parámetros encontrados para las características de sesgo y linealidad.

| Clave | Equipo                   | ¿Se evaluó Sesgo? | Patrón | Sesgo   | % sesgo encontrado | Calificación                      |
|-------|--------------------------|-------------------|--------|---------|--------------------|-----------------------------------|
| MEA01 | Micrómetro Exteriores    | Si                | 10 mm  | 0.0001  | 5.0%               | Aceptable                         |
| MEA02 | Micrómetro Exteriores    | Si                | 40 mm  | -0.0011 | -27.4%             | Indispensable corregir la lectura |
|       |                          | Si                | 30 mm  | -0.0007 | -17.4%             | Indispensable corregir la lectura |
| MEA03 | Micrómetro Exteriores    | Si                | 60 mm  | -0.0008 | -13%               | Indispensable corregir la lectura |
|       |                          | Si                | 70 mm  | -0.0010 | -17%               | Indispensable corregir la lectura |
| MEA04 | Micrómetro Exteriores    | Si                | 80 mm  | -0.0006 | -9%                | Precaución                        |
|       |                          | Si                | 90 mm  | -0.0007 | -10%               | Precaución                        |
| MEA05 | Micrómetro Exteriores    | Si                | 110 mm | -0.0001 | -1%                | Aceptable                         |
| MEA06 | Micrómetro Exteriores    | Si                | 140 mm | -0.0022 | -27%               | Indispensable corregir la lectura |
| CVD01 | Calibrador Vernier       | Si                | 60 mm  | -0.0019 | -63%               | Indispensable corregir la lectura |
| CVA01 | Calibrador Vernier       | No                |        |         |                    |                                   |
| CVA02 | Calibrador Vernier       | No                |        |         |                    |                                   |
| MIA01 | Micrómetro Interior      | No                |        |         |                    |                                   |
| MIA02 | Micrómetro Interior      | No                |        |         |                    |                                   |
| MED01 | Micrómetro Exteriores    | Si                | 40 mm  | -0.0012 | -38%               | Indispensable corregir la lectura |
| CEA01 | Compas Interior          | No                |        |         |                    |                                   |
| LCA01 | Lainas de cuanta cuerdas | No                |        |         |                    |                                   |
| LCA02 | Lainas de cuanta cuerdas | No                |        |         |                    |                                   |

**Tabla 4.2.** Registro de características del sesgo en instrumentos de medición.

| Clave | Equipo                   | ¿Se evaluó Linealidad? | Valor r encontrado | Calificación   | Alcance     |
|-------|--------------------------|------------------------|--------------------|--|-------------|
| MEA01 | Micrómetro Exteriores    | Si                     | 0.49               | El sesgo del instrumento tiene un comportamiento no lineal en la escala evaluada | 0-1 in      |
| MEA02 | Micrómetro Exteriores    |                        |                    |  | 1-2 in      |
| MEA03 | Micrómetro Exteriores    |                        |                    |  | 2-3 in      |
| MEA04 | Micrómetro Exteriores    |                        |                    |  | 3-4 in      |
| MEA05 | Micrómetro Exteriores    |                        |                    |  | 4-5 in      |
| MEA06 | Micrómetro Exteriores    |                        |                    |  | 5-6 in      |
| CVD01 | Calibrador Vernier       | Si                     | 0.801              | El sesgo del instrumento tiene un comportamiento lineal en la escala evaluada    | 0-8 in      |
| CVA01 | Calibrador Vernier       |                        |                    |  | 0-8 in      |
| CVA02 | Calibrador Vernier       |                        |                    |  | 150 mm      |
| MIA01 | Micrómetro Interior      |                        |                    |  | 2-6 in      |
| MIA02 | Micrómetro Interior      |                        |                    |  | 2-6 in      |
| MED01 | Micrómetro Exteriores    | Si                     | 0.087              | El sesgo del instrumento tiene un comportamiento no lineal en la escala evaluada | 0-1 in      |
| CEA01 | Compas Interior          |                        |                    |  | 0.5 - 4 in  |
| LCA01 | Lainas de cuanta cuerdas |                        |                    |  | 4 a 42 v/in |
| LCA02 | Lainas de cuanta cuerdas |                        |                    |  | 4 a 42 v/in |

**Tabla 4.3.** Registro de características de la linealidad en instrumentos de medición.

Como se mencionó anteriormente los estudios de repetibilidad y de reproducibilidad (R&R) se realizaron a 5 operadores con dos ensayos; diámetro interior con calibrador vernier digital marca Mitutoyo con número de serie 10394889 con clave interna en taller "CVD01" y diámetro exterior con micrómetro digital marca Mitutoyo con número de serie 35112350y con clave interna en taller "MED01". La captura de datos y su proceso, para los estudios anteriores, se realizó con el software Minitab versión 15.

Las Figuras 4.5 y 4.6 muestran los resultados generados por el estudio R&R para los ensayos de diámetro interior y exterior, respectivamente.

#### **Productos de la segunda etapa:**

En atención a los productos esperados para esta etapa, se presentó a los propietarios un Plan Anual (Figura 4.7) que calendariza las actividades de limpieza y lubricación a los instrumentos de medición contemplados en el inventario. Para su cumplimiento se generarán órdenes de trabajo que serán ejecutadas por el jefe de

taller, quien dispondrá de los formatos que contienen la relación de actividades a realizar, ayudas visuales, instructivo y los materiales requeridos para el caso.

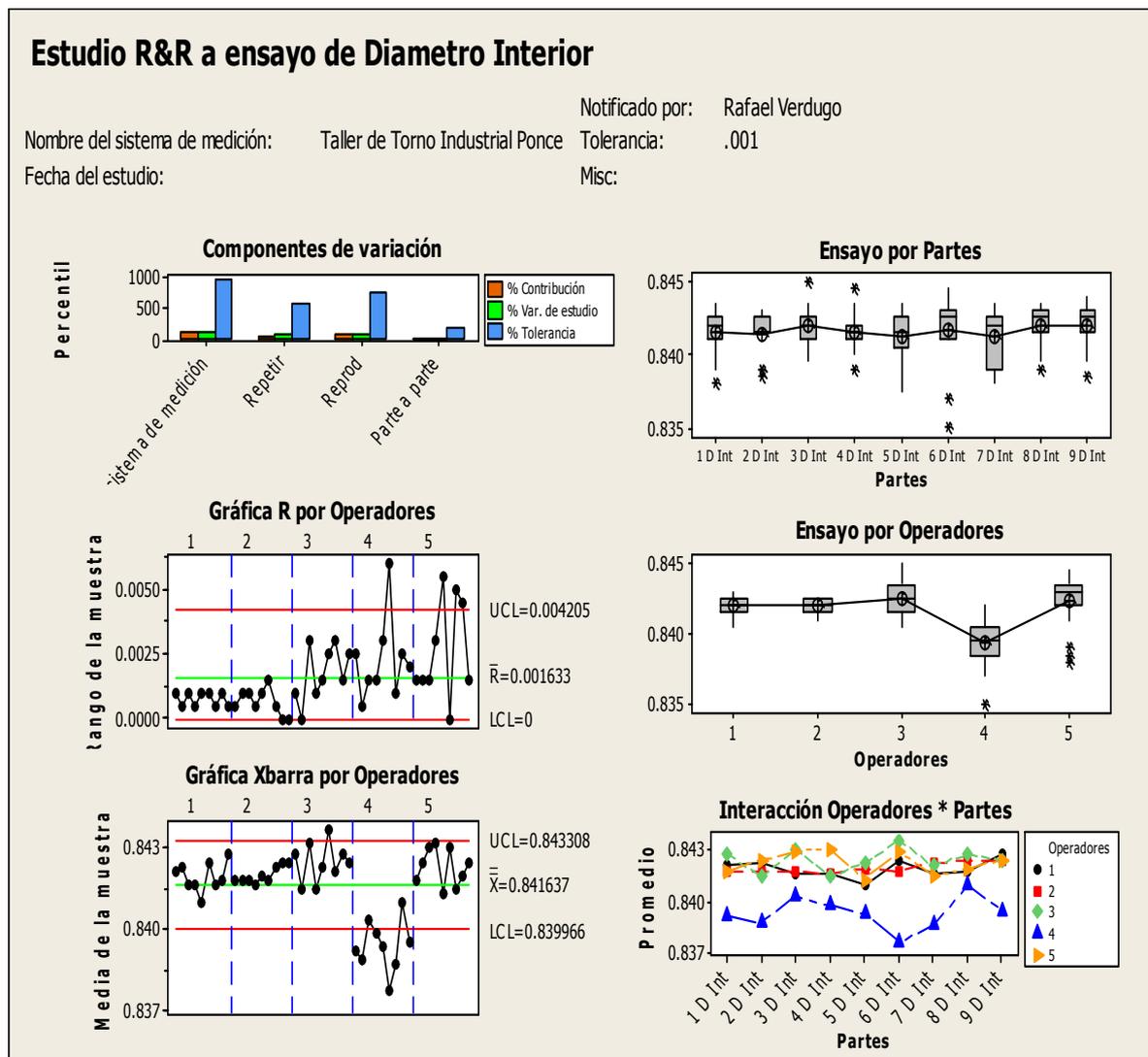


Figura 4.5. Resultados del estudio R&R realizado para los ensayos de diámetro interior.



### 4.1.3 Aplicación de la tercera etapa

Evaluación y diagnóstico de las capacidades metrológicas del personal

Objetivo: Conocer el grado de competencia y conciencia del personal en relación a los quehaceres en materia metrológica, con la finalidad de proponer acciones que lleven a mejorar las capacidades del personal.

#### Acción 1

Considerando el nivel de escolaridad y disponibilidad de tiempo del personal, se decidió no presentar los resultados cuantitativos y el análisis emanados de los estudios R&R, en su lugar, se presentó un análisis cualitativo basado en las gráficas obtenidas de los estudios de diámetro interior y exterior, respectivamente. Dicho análisis se muestra en la Tabla 4.4 para los resultados de ensayo de diámetro interior y en la tabla 4.5 para los resultados de ensayo de diámetro exterior.

| Operador | # Datos atípicos | Rango               | Media          |
|----------|------------------|---------------------|----------------|
| 1        | 0                | Bajo $\bar{R}$      | En $\bar{X}$   |
| 2        | 0                | Bajo $\bar{R}$      | En $\bar{X}$   |
| 3        | 0                | En $\bar{R}$        | Dentro UCL/LCL |
| 4        | 1                | Arriba de $\bar{R}$ | Fuera UCL/LCL  |
| 5        | 3                | Arriba de $\bar{R}$ | Dentro UCL/LCL |

|  |             |
|--|-------------|
|  | Óptimo      |
|  | Aceptable   |
|  | Inaceptable |

**Tabla 4.4.** Análisis cualitativo de las habilidades del personal en ensayos de diámetro interior.

Las variables consideradas en el análisis fueron:

1.- La presencia de datos atípicos en las gráficas de bigotes tituladas “Ensayos por operador”, contenidas en las Figuras 4.6 y 4.7.

Criterio:

- Cero datos atípicos es **óptimo**
- Un dato atípico es **acceptable**
- Dos o más datos atípicos son **inacceptables**

2.- La dispersión de las medias de los rangos por operador respecto del rango medio, ilustrados también en las Figuras 4.6 y 4.7 (en Gráfica R por operador).

Criterio:

- Datos por abajo del línea de rango medio son **óptimos**
- Datos en (o sobre) la línea de rango medio son **acceptables**
- Datos por arriba de la línea del rango medio son **inacceptables**

3.- La dispersión de los promedios de las medidas de las partes por operador respecto a la media de medias de las partes, mostrados en las Figuras 4.6 y 4.7 en Gráfica  $\bar{x}$  por Operador).

Criterio:

- Datos en (o sobre) la línea de la media de medias son **óptimos**
- Datos entre los Límites superior e inferior de control (UCL y LCL) son **acceptables**
- Datos fuera de los Límites superior e inferior de control (UCL y LCL) son **inacceptables**

Considerando los mismos criterios se procedió a analizar, de manera cualitativa, la gráfica arrojada por Minitab del estudio R&R realizado con ensayos de diámetro exterior (Figura 4.6) y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.5.

La Tabla 4.6 muestra las conclusiones obtenidas en relación a las habilidades mostradas por los 5 operadores bajo estudio, durante la realización de los ensayos.

| Operador | # Datos atípicos | Rango            | Media          |
|----------|------------------|------------------|----------------|
| 1        | 1                | Bajo $\bar{R}$   | Dentro UCL/LCL |
| 2        | 0                | Bajo $\bar{R}$   | Dentro UCL/LCL |
| 3        | 0                | Bajo $\bar{R}$   | En $\bar{x}$   |
| 4        | 0                | En $\bar{R}$     | Dentro UCL/LCL |
| 5        | 1                | Arriba $\bar{R}$ | Fuera UCL/LCL  |

|  |             |
|--|-------------|
|  | óptimo      |
|  | aceptable   |
|  | inaceptable |

**Tabla 4.5.** Análisis cualitativo habilidades del personal en ensayos de diámetro exterior.

| Operador | Diámetro interior<br>Calibrador Vernier | Diámetro exterior<br>Micrómetro |
|----------|---|---------------------------------|
| 1        | óptimo                                  | con reservas                    |
| 2        | óptimo                                  | óptimo                          |
| 3        | con reservas                            | con reservas                    |
| 4        | supervisar                              | con reservas                    |
| 5        | supervisar                              | supervisar                      |

**Tabla 4.6.** Habilidades de operadores en ensayos críticos por instrumento.

En síntesis, se puede decir que los mejores operadores para realizar ensayos de diámetro interior con calibrador vernier son el operador 1 y 2, pudiéndose dar una leve capacitación al 3; sin embargo es indispensable supervisar la realización de estos ensayos por parte de los operadores 4 y 5 hasta que reciban una capacitación al respecto.

En cuanto a los ensayos de diámetro exterior con micrómetro los mejor operadores son de los 2 y 3 seguidos del 1 y 4 sin embargo es indispensable supervisar los ensayos de este tipo al operador 5 hasta recibir la capacitación correspondiente.

#### **4.1.4 Aplicación de la cuarta etapa**

Generación y ejecución de un programa de capacitación específica y especializada en materia metrológica al personal técnico.

Objetivo: Transmitir conocimientos especializados y pertinentes al personal técnico de los talleres para incrementar la competencia y conciencia durante los procesos de medición.

##### **Acción 1**

En reunión con personal del taller se expuso lo encontrado en los estudios de sesgo y linealidad de los instrumentos, se explicó la posibilidad de corregir las lecturas obtenidas en los instrumentos dado que se tiene conocimiento de los errores cometidos (sesgos) durante los ensayos realizados. También se expusieron los resultados de los estudios R&R, los cuales fueron recibidos con escepticismo, sobre todo por parte de los participantes con más experiencia, que son los operadores 1 y 2; sin embargo, al explicar las posibles causas (ausencia de método principalmente), se generó una buena expectativa por ser reevaluados una vez acordado un mismo método para todos los participantes del estudio.

##### **Acción 2**

Buscando que el personal entendiera a cabalidad los problemas detectados en cuanto a los estudios de sesgo y linealidad, se impartió un primer curso titulado: "Introducción a la Metrología" con duración de 20 horas y que fue impartido en las instalaciones de la Universidad de Sonora Unidad Regional Sur.

En la Figura 4.8 se muestran los Reconocimientos entregados a personal del TMI que participó en el curso antes mencionado.



**Figura 4.8.** Reconocimiento entregado a participantes del curso “Introducción a la Metrología”.

Respecto a las deficiencias del personal detectadas en los estudios R&R, se elaboró el formato mostrado en la Figura 4.9, para la repetición de los ensayos pero esta vez con patrones de referencia, de esta manera los operadores pudieron comprobar y evaluar los resultados obtenidos con los valores de referencias oficiales.

Además se pidió a los operadores que mostraran mejor desempeño en sus actividades, que ejecutaran ensayos de diámetro interior y exterior en presencia de los demás operadores y que compartieran con ellos lo que a su juicio les permitió alcanzar buen desempeño en sus mediciones.

### **Acción 3**

En pláticas con los propietarios respecto del posicionamiento planeado para el TMI a mediano plazo, se pudo detectar que no incluye la adquisición de equipos de Control Numérico por Computadora (CNC), pues relacionan estos con características de producción en serie y el soporte que se brinda actualmente a las distintas industrias es casi de tipo artesanal. Sin embargo sí manifestaron su interés en la capacitación del personal en temas más especializados tales como: Evaluación a los Sistemas de Medición, Tolerancias Geométricas y Diseño en Solid Works.

| Formato de ejercicios de ensayos con bloques lineales<br>Taller de torno PONCE |        |              |                 |             |
|--|--------|--------------|-----------------|-------------|
| Instrumento: _____ Serie: _____ Rango de medición _____                        |        |              |                 |             |
| Fecha: _____   |        |              |                 |             |
| Operador: _____ Elaboró: _____   |        |              |                 |             |
| <i>Doblar</i>  |        |              |                 |             |
| Patrón   |        | Ejercicio de | Conversion      | Diferencias |
| Medida milímetro   | Codigo | Medición     | Medida pulgadas |             |
| 0.5  | 090214 |              | 0.0197          |             |
| 1  | 090027 |              | 0.0394          |             |
| 2  | 090678 |              | 0.0787          |             |
| 3  | 090626 |              | 0.1181          |             |
| 4  | 090573 |              | 0.1575          |             |
| 5  | 080266 |              | 0.1969          |             |
| 6  | 091259 |              | 0.2362          |             |
| 7  | 091442 |              | 0.2756          |             |
| 8  | 091084 |              | 0.3150          |             |
| 9  | 084140 |              | 0.3543          |             |
| 10   | 091929 |              | 0.3937          |             |
| 20   | 092287 |              | 0.7874          |             |
| 30   | 091246 |              | 1.1811          |             |
| 40   | 090865 |              | 1.5748          |             |
| 50   | 086787 |              | 1.9685          |             |
| 60   | 090064 |              | 2.3622          |             |
| 70   | 080350 |              | 2.7559          |             |
| 80   | 081493 |              | 3.1496          |             |
| 90   | 081475 |              | 3.5433          |             |
| 100  | 085783 |              | 3.9370          |             |

**Figura 4.9.** Formato de práctica para corregir deficiencias detectadas en estudios R&R.

Los temas: Evaluación a los Sistemas de Medición y Tolerancias Geométricas se impartieron al personal técnico del TMI en las instalaciones de la Universidad de Sonora Unidad Regional Sur y tuvieron una duración de 20 horas, la Figura 4.10 muestra los reconocimientos extendidos a los participantes.



**Figura 4.10.** Reconocimientos entregados a personal que participó en el curso “Evaluación a los Sistemas de Medición”.



**Figura 4.11.** Personal técnico de TMI en ejercicios de práctica de ensayos de diámetro interior y diámetro exterior.

### Acción 4

#### Reevaluación por medio de estudios R&R.

Para la realización de la reevaluación de los estudios R&R se realizó solo con los operadores 3-4-5 que, si se recuerda, fueron los que presentaron más deficiencias al inicio del presente trabajo, los operadores 1 y 2 fue imposible retenerlos para evaluación debido a alta carga de trabajo, sin embargo si participaron de los cursos impartidos.

Con el fin de hacer más efectivo el análisis comparativo de los estudios R&R antes y después de las capacitaciones se excluyó del primer estudio los ensayos de los operadores 1 y 2, las figuras 4.12 y 4.14 muestran la síntesis del análisis a los ensayos realizados antes de las acciones de capacitación dirigidas al personal, así mismo las figuras 4.13 y 4.15 muestran los resultados del análisis a los ensayos realizados después de las acciones de capacitación.

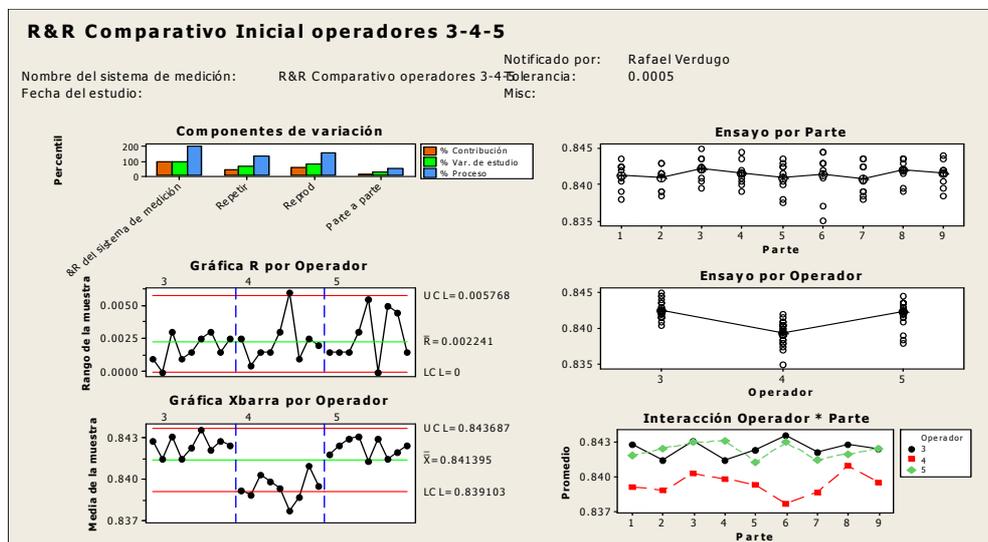


Figura 4.12. Estudio R&R con Calibrador Vernier para diámetro interior con operadores 3-4-5, previo a las capacitaciones.

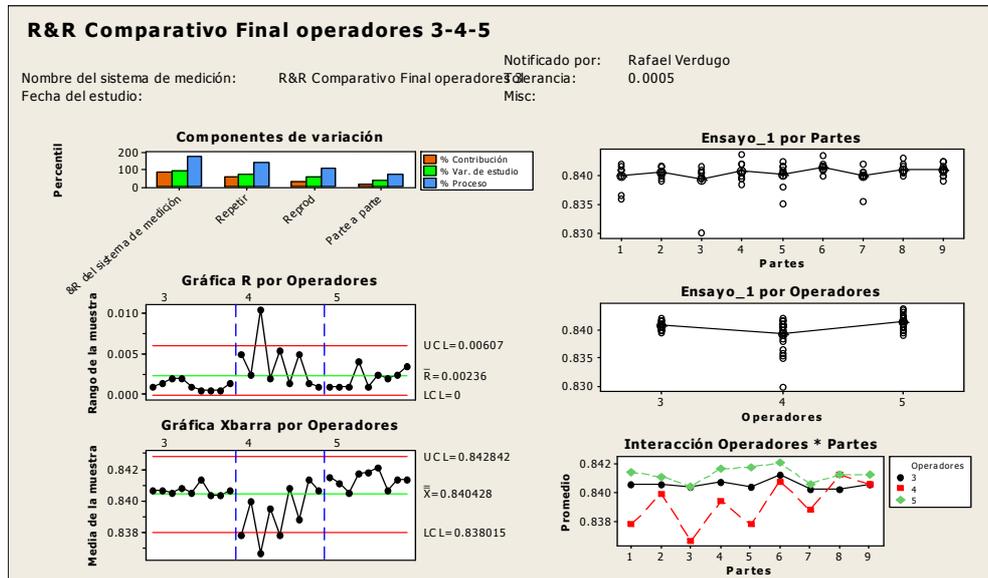


Figura 4.13. Estudio R&R con Calibrador Vernier para diámetro interior con operadores 3-4-5, posterior a las capacitaciones.

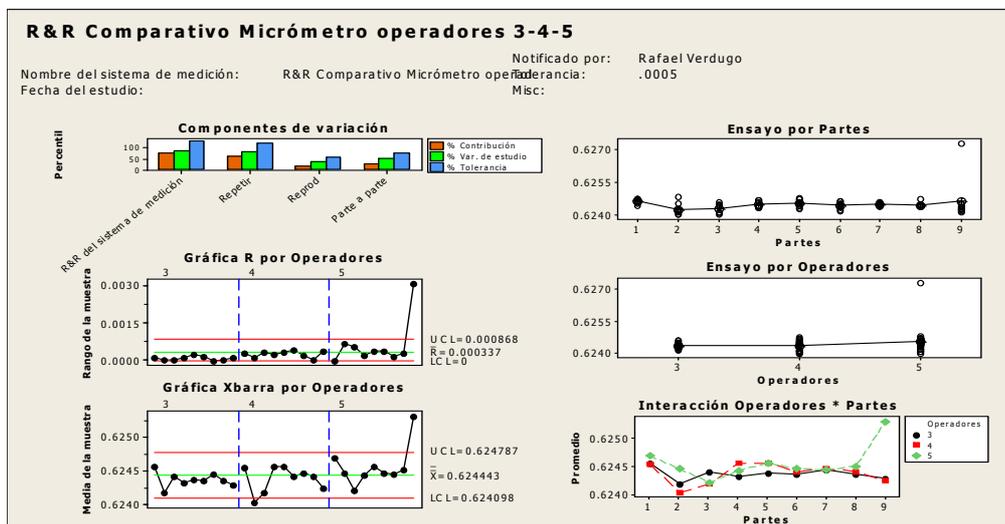


Figura 4.14. Estudio R&R con Micrómetro para diámetro exterior con operadores 3-4-5, previo a las capacitaciones.

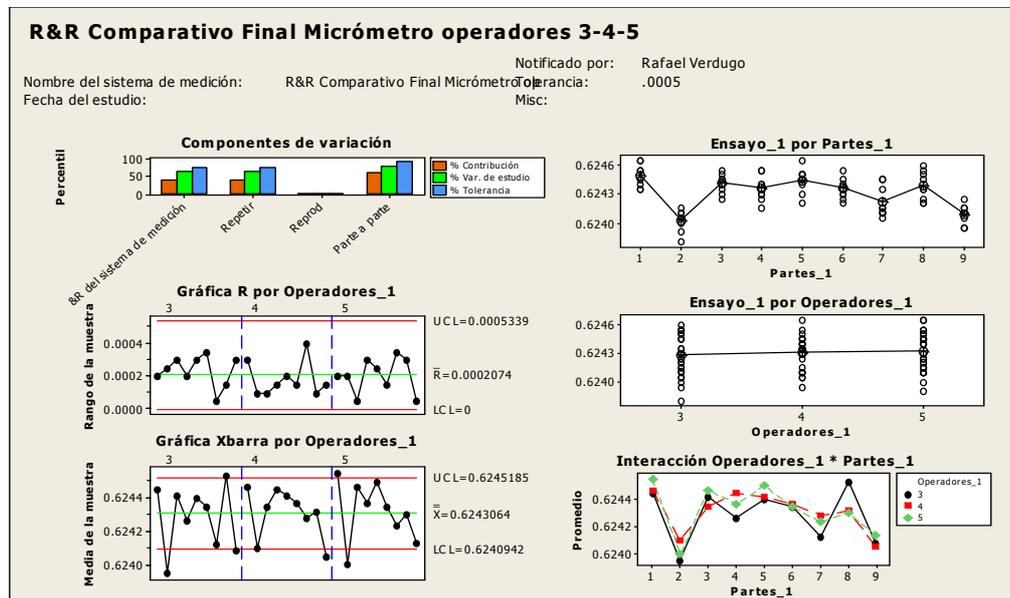


Figura 4.15. Estudio R&R con Micrómetro para diámetro exterior con operadores 3-4-5, posterior a las capacitaciones.

#### 4.1.5 Aplicación de la quinta etapa

Elaboración del “Manual” para dar soporte al Programa de mantenimiento y verificación de instrumentos (PMV) de medición.

Objetivo: Poner a disposición del administrador del taller un manual que facilite y de soporte a las órdenes de trabajo limpieza, lubricación y verificación emanadas del “plan anual de limpieza y lubricación a instrumentos de medición” producto demandado en la Segunda etapa de esta metodología.

#### Acciones 1 y 2

Respecto a lo demandado en las acciones 1 y 2 de esta etapa puede apreciarse más ampliamente en el Anexo 3. Es preciso mencionar que en el diseño del manual PMV se consideró la adquisición (por parte del TMI bajo estudio) de un kit de

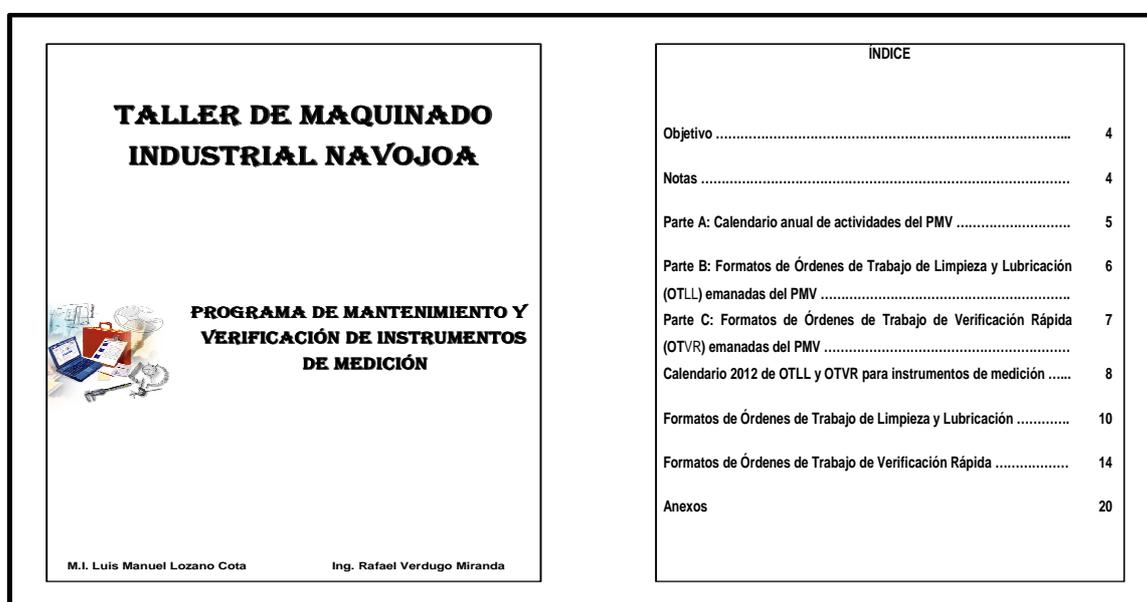
mantenimiento para equipo de medición dimensional similar al existente en la UNISON URS, también se recomendó la adquisición de bloques patrón básico.

Los procedimientos diseñados tanto de limpieza y lubricación se apegan a recomendaciones de los fabricantes de equipos tanto en periodicidad como en materiales a utilizarse.

Los procedimientos de verificación rápida diseñados no son un instrumento decisivo que pueda calificar el sesgo o linealidad por si solos, son más bien instrumentos para monitorear y en su caso de encontrar alguna anomalía sustentar el envío del instrumento a una verificación y/o calibración externa.

**Producto:**

La figura 4.16 muestra parte del producto demandado en la quinta etapa de la metodología del presente trabajo, el manual para el Programa de Mantenimiento y Verificación de Instrumentos de Medición se encuentra íntegro en el Anexo 3, también ha quedado físicamente dicho manual en las instalaciones del TMI.



**Figura 4.16.** Portada e índice de manual para el Programa de Mantenimiento y Verificación de Instrumentos.

## 4.2 Análisis y discusión de resultados

El Sistema Metrológico propuesto para el TMI bajo estudio está integrado por tres fases: **La fase de diagnóstico inicial, Fase de implementación de propuestas y Fase de diagnóstico final.** Durante su aplicación se obtuvieron los siguientes resultados:

### Fase de diagnóstico inicial

De los resultados obtenidos para los estudios de sesgo y linealidad mostrados en las Tablas 4.2 y 4.3, se destacan los siguientes aspectos:

Después de analizar las condiciones de operación de los ocho instrumentos disponibles en el inventario, se observó que sólo dos de ellos resultaron aceptables (MEA01/MEA05), uno aceptable con reservas (MEA04) y cinco pueden ser aceptable (MEA02/MEA03/MEA06/CVD01/MED01) sólo si se corrige el resultado obtenido.

Se realizaron también estudios de linealidad a tres instrumentos, de los cuales sólo uno (CVD01) presentó un sesgo con comportamiento lineal en la escala de medición estudiada y dos de ellos presentaron sesgo no lineal (MEA01/MED01).

Por lo que respecta a los estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad, se realizaron solo dos ensayos, con dos instrumentos diferentes: un vernier digital clave CVD01 y un micrómetro digital clave MED01. Los resultados obtenidos muestran una aportación de variación del instrumento CVD01 de 36 puntos porcentuales (ver Figura 4.5 y Anexo 4) y una de aportación de 24 puntos porcentuales por parte del instrumento MED01 (ver Figura 4.6 y Anexo 5). Tales resultados en comparación con los criterios de evaluación del Sistema de Medición, mostrados en la Tabla 2.2, indican que se debe inhabilitar al vernier y mantener en operación al micrómetro.

En los mismos estudios a que hace referencia el párrafo anterior se pueden observar que los porcentaje de variación aportada por los operadores, en las mediciones de diámetro interior y exterior, son del orden de 60 y 53 puntos porcentuales, respectivamente (ver Anexos 4 y 5).

También es importante notar el comportamiento anormal de los ensayos realizados por el operador número 4 (Figura 4.5 Ensayo por Operador), el cual muestra una tendencia a la obtención de resultados notoriamente más bajos que el resto del grupo; asimismo, por otro lado, se puede observar notorio que los operadores 3, 4 y 5 son los que presentan mayor variación en sus ensayos (Figura 4.6).

### **En la Fase de implementación de propuestas**

Se pueden observar dos iniciativas: una enfocada al mantenimiento y verificación de los instrumentos y otra enfocada al desarrollo de habilidades del saber y habilidades del saber hacer en los operadores del TMI bajo estudio.

Las actividades enfocadas a los instrumentos se cristalizan en el Plan Anual de Mantenimiento y Verificación, el cual generará órdenes de trabajo periódicamente y las actividades incluidas se realizarán con apego a los formatos establecidos en el manual diseñado para facilitar y estandarizar las actividades emanadas del mencionado plan. Para el caso particular dicho Plan se denomina: “Programa de Mantenimiento y Verificación de Instrumentos de Medición” (Anexo 3).

Las actividades enfocadas al desarrollo de aptitudes del personal consistieron en capacitaciones y evaluaciones teóricas realizadas en instalaciones de la Universidad de Sonora Unidad Regional Sur (ver Figuras 4.8, 4.10 y Anexo 1) y las capacitaciones prácticas y sus evaluaciones se efectuaron en las instalaciones del TMI (ver Figuras 4.9, 4.11, y de la 4.12 a la 4.15).

### **En la Fase de diagnóstico final**

En relación a los problemas de sesgo encontrados se considera una ventaja conocer su magnitud ya que esto brinda la posibilidad de establecer condiciones que permitan corregir dichas lecturas sin necesidad de sustituir el instrumento.

Atendiendo a que se puso en operación el Programa de Mantenimiento y Verificación, ahora se cuenta con instrumentos en mejores condiciones que las iniciales y con una mayor esperanza de vida útil para el equipo e instrumental.

En referencia al desarrollo del personal se pueden separar los avances en dos aspectos: los referentes a habilidades del saber y las del saber hacer.

Las Habilidades del saber evaluadas, aunque parcialmente, mediante el instrumento presentado en el Anexo 1, recibieron comentarios muy positivos por parte de los dueños del TMI, en virtud de que las actividades enfocadas a generar cultura metrológica están rindiendo resultados positivos toda vez que al interior de las áreas de trabajo se maneja nuevo lenguaje y las constancias de capacitación de sus operadores se ha traducido en una mayor aceptación del TMI por parte de sus clientes.

Habilidades del saber hacer. Las primeras habilidades de este tipo desarrolladas por el personal fueron las referentes a las actividades de limpieza, lubricación y verificación de los instrumentos de medición emanadas del manual PMV. La segunda fue la capacidad de apegarse a un método de medición al realizar ensayos de diámetro interior y diámetro exterior, con el objetivo de reducir la aportación de reproducibilidad reportada al inicio del presente trabajo.

Los resultados pueden observarse al comparar las Figuras 4.12 y 4.13, correspondientes a estudios R&R sin método y con un método, respectivamente. Se aprecia una reducción en la aportación reproducibilidad (variación atribuible al

operador) del 57% al 31% (reducción de 26 puntos porcentuales). En este caso particular, la mayor evolución la obtuvo el operador 3 y existe una gran oportunidad de mejora para el operador 4. También en los estudios R&R expuestos en las figuras 4.14 y 4.15 para diámetro exterior muestra una reducción significativa en los porcentajes de reproducibilidad (13 puntos porcentuales) y además se observa una evolución muy positiva en los tres operadores. En este caso particular y en el caso de querer mejorar este ensayo, los esfuerzos deberán estar enfocados al instrumento, el cual presenta una aportación 39% a la variabilidad del Sistema de Medición.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En éste capítulo se expone la de manera sintetizada las conclusiones del autor respecto de la aportación del presente trabajo en el TMI seleccionado, lo pertinente de replicar una estrategia similar otras micro y pequeñas empresas también se ofrecen algunas recomendaciones para postergar e incrementar los logros alcanzados.

### 5.1 Conclusiones

A partir del análisis de los resultados obtenidos se concluye que:

Es adecuado emprender acciones orientadas a incrementar la cultura y competencia en materia de metrología en los proveedores de la industria de la región del Mayo.

La aplicación de la metodología propuesta en el Taller de Maquinado Industrial Navjoa presenta evidencias de que fue posible mejorar las competencias metrológicas del personal sujeto a las acciones aquí emprendidas. También fue posible calificar el sesgo y variabilidad de algunos instrumentos (lo cual generó una preocupación por adquirir equipos de mayor calidad en los propietarios). La suma de la competencia alcanzada por los operadores, el conocimiento del estado de sus instrumentos y la documentación del manual Plan de Mantenimiento y Verificación de Instrumentos de Medición, dan forma a un nuevo sistema de mediciones mediante el cual el negocio puede demostrar ante sus clientes una mayor *“capacidad para suministrar productos de acuerdo a los requisitos”*. Lo anterior ha generados una mayor confianza por parte de sus principales clientes y ha abierto la posibilidad de nuevas y más provechosas formas de hacer negocio.

Las medianas y grandes empresas, debido a exigencias las normas ISO 9000 hacen un énfasis fuerte en cuanto al sistema de mediciones (instrumentos, personal,

métodos), lo anterior es importante que ocurra también en su base de proveedores generalmente micro y pequeña empresa.

## 5.2 Recomendaciones

Es necesario indicar que a causa de los horizontes de tiempo del presente trabajo, la disponibilidad de TMI estudiado, disponibilidad de recursos, entre otros, los avances en el sistema de mediciones se empiezan a generar, pero se sentaron las bases para entrar en un proceso de mejora continua a mediano y largo plazo.

Además, se debe recordar que debido a la disponibilidad de bloques patrón calibrados los estudios de sesgo y linealidad fueron aplicados solo a algunos equipos y en unos puntos de su escala de medición. Por ausencia de anillos patrón no fue posible evaluar micrómetros de diámetro interior, etc. En base a lo anterior se recomienda la construcción interna de bloques y anillos patrón, los cuales pueden ser calibrados con la ayuda y soporte del equipo disponible en el CISMA, para generar un valor de referencia válido. Aquí se recomienda la adquisición de un kit de limpieza y bloques.

Los estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad se realizaron sólo con dos equipos y con dos ensayos, se recomienda ampliamente la realización de este tipo de estudios de manera periódica y con una mayor cantidad de ensayos e instrumentos.

También y con base a los estudios R&R se recomienda la adquisición de al menos un equipo de cada tipo con resolución mayor a la disponible. Para el caso de las adquisiciones de instrumentos de medición, se recomienda migrar a una marca más reconocida y de mayor prestigio y confiabilidad en la calidad de sus productos.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por último, se recomienda emprender actividades de intercomparación con sus clientes para contribuir a la armonización de los sistemas de medición y disminuir así los desacuerdos en el dimensionado de piezas.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Marbán, R.M., Pellecer, J.A., 2002. Metrología para no-metrólogos. 2ª ed. Guatemala: OEA (Organización de los Estados Americanos).

Kalpakjian, S., Schmid, S.R., 2008. Manufactura, Ingeniería y Tecnología. 5a ed. Naucalpan, Edo. de México: Pearson Educación de México.

González, C., Zeleny, R., 1998. Metrología. 2a ed. Delegación Cuauhtémoc, México D.F.: McGraw Hill Interamericana.

Nakajima, S., 1987. Introducción al Mantenimiento Productivo Total. 3ª ed. Portland, Oregon: Productivity Press.

Pince, B.W., 1990. Measurement Systems Analysis. Troy, Michigan: American Society for Quality Control.

Trent, R.J. y Monczka, R.M., 2005. How to achieve excellence in global sourcing. MIT Sloan Management Review, Vol. 47, No. 1, pp. 24-32.

ISO (Organización Internacional de Normalización), 2008. Norma Internacional ISO 9001:2008 – 7 Realización del producto: Compras: Proceso de Compras. Ginebra: Secretaria Central ISO.

Herrera, M.F. y Osorio, J.C., 2006. Modelo para la gestión de proveedores utilizando AHP difuso, ICESI Biblioteca Digital, [online] Disponible en: <[http://bibliotecadigital.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/handle/item/810](http://bibliotecadigital.icesi.edu.co/biblioteca_digital/handle/item/810)> [accesado el 15 de febrero de 2011].

Arrollo, M. P. y Sánchez, R. A., 2009. Programas de desarrollo de proveedores como estrategia para la competitividad empresarial. *Sinnco*, Vol. 4, pp. 1-20.

Sako, M., 2004. Supplier development at Honda, Nissan and Toyota: Comparative case studies of organizational capability enhancement. *Industrial and Corporate Change*, Vol. 13, No. 2, pp. 281-297.

Martínez, S., Torres, J.C., et al, 2008. Metrología y Educación en México. En: CENAM (Centro Nacional de Metrología), Simposio de Metrología 2008. Santiago de Querétaro, México 22-24 Oct 2008. Querétaro: CENAM.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 2003. Observatorio de la PyME en México. [online] Disponible en: <<http://www.cipi.gob.mx/html/manufactureras.pdf>> [accesado el 26 de febrero de 2011].

Ames, E.B. (SolidWorks Corporation), 2007. La productividad y la rentabilidad de la inversión de SolidWorksSolidWorks®. [online] Disponible en: <[http://www.solidworks.com/sw/656\\_ENU\\_HTML.htm](http://www.solidworks.com/sw/656_ENU_HTML.htm)> [accesado el 09 de mayo de 2011].

Albuquerque, F., 2004. Desarrollo económico local y descentralización en América Latina. *Revista de la CEPAL*, Vol. 82, pp. 157-171.

Damelio, R., 1996. *The basics of Process Mapping*. 1ª ed. Portland, Oregon: Productivity Press.

De-Fuentes, C., Dutrénit, G., 2006. Vínculos entre PyMES y empresas grandes dentro de un contexto local específico: el caso de los talleres de maquinados industriales localizados en Querétaro. En: 1er Congreso Iberoamericano de Ciencia

Tecnología Sociedad e Innovación CTS+I. Palacio de Minería, UNAM 19-23 jun 2006. Ciudad de México: Organización de los Estados Iberoamericanos (OEI).

Boisier, S., 2005. ¿Hay espacio para el desarrollo local en la globalización?. Revista de la CEPAL, Vol. 86, pp. 47-62.

Echeverría-Villagómez, S., 2003. Evolutionary Mechanisms for Structured Growth of Metrological Systems in Developing Economies. In: IMEKO (International Measurement Confederation), XVII IMEKO World Congress on Metrology in the 3rd Millennium. Dubrovnik, Croatia 22-27 jun 2003. Dubrovnik: Proceedings Press.

Centro Nacional de Metrología, <http://www.cenam.mx/mesura/>

Echeverría-Villagómez, S., Stahley, S.R., Smith, M., 2007. Experiences on Metrology, Standardization and reditation for the Automotive Industry. In: IMEKO (International Measurement Confederation), XVIII IMEKO World Congress. Rio de Janeiro, Brasil 17-22 sep 2006. Rio de Janeiro: IMEKO.

INEGI ( Instituto Nacional de Estadística y Geografía ), 2003. Observatorio de la PyME en México. [online] Disponible en: <<http://www.cipi.gob.mx/html/manufactureras.pdf>> [accesado el 26 de febrero de 2011].

MetAs (Metrólogos Asociados AC), 2007. Estudios previos para el conocimiento de la metrología. [online] Disponible en: <<http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-07-02-Estudios-Previos.pdf>> [accesado el 09 de enero de 2012].

MetAs (Metrólogos Asociados AC), 2005. Gestión de la calidad en formación de personal. [online] Disponible en: <<http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-05-05-capacitacion.pdf>> [accesado el 09 de enero de 2012].

Escalante, E. J., 2008. Seis-Sigma: Metodología y Técnicas. 3ª ed. México D.F.: Limusa.

Gutiérrez, H., 2009. Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma. 2ª ed. México D.F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.

Grima, P., Almagro, L. M., Tort-Martorell, X., 2004. Estadística Práctica con Minitab. 1ª ed. Madrid, España: Pearson Educación S.A. de C.V.

Quaglino, M., et. a.l., 2007. Estudio Estadístico de Sistemas de Medida en ensayos destructivos. En: Doceavas Jornadas "Investigaciones en la Facultad" de Ciencias Económicas y Estadística. Universidad Nacional de Rosario. Santa Fe, Argentina. Noviembre de 2007. Santa Fe: Instituto de Investigaciones Teóricas y Aplicadas de la Escuela de Estadística.

Portuondo, Y. y Portuondo, J., 2010. La Repetibilidad y Reproducibilidad en el Aseguramiento de la Calidad de los Procesos de Medición. Tecnología Química, Vol. XXX, No. 2, pp. 117-121.

ISO (Organización Internacional de Normalización), 2008. Norma Internacional ISO 9001:2008 – 7 Realización del producto: Compras: Proceso de Compras. Ginebra: Secretaria Central ISO.

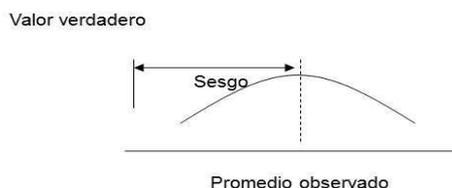
AIAG (Automotive Industry Action Group), 1990. Measurement Systems Analysis Reference Manual. Troy Michigan: Bruce W. Prince/Sandy Corporation.

## 7. ANEXOS

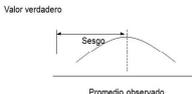
### Anexo 1a. Formato e instructivo para la captura de datos y cálculo de Sesgo

#### Introducción

Sesgo es la diferencia entre el promedio *observado* de las mediciones y el valor de referencia. El valor de referencia puede ser determinado promediando varias mediciones con un instrumento de medición de mayor nivel. Al sesgo también se le llama exactitud. (¿Está calibrado el instrumento?)



#### Formato



Valor verdadero

Sesgo

Promedio observado

### Formato para estudio de Sesgo

### Taller de torno PONCE

Patrón: \_\_\_\_\_ Valor ref.: 1: \_\_\_\_\_ tolerancia: \_\_\_\_\_  
 Instrumento: \_\_\_\_\_ Serie: \_\_\_\_\_ Rango de medición \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
 Operador: \_\_\_\_\_ Elaboró: \_\_\_\_\_

|                  | Ref.                                  | Medición |
|------------------|---------------------------------------|----------|
|                  | 1                                     |          |
|                  | 2                                     |          |
|                  | 3                                     |          |
|                  | 4                                     |          |
|                  | 5                                     |          |
|                  | 6                                     |          |
|                  | 7                                     |          |
|                  | 8                                     |          |
|                  | 9                                     |          |
|                  | 10                                    |          |
|                  | <b>Promedio =</b>                     |          |
|                  | <b>VALOR REFERENCIA Patrón</b>        |          |
|                  | <b>Tolerancia = (LSE - LIE)</b>       |          |
| <b>Sesgo =</b>   | <b>Valor de Referencia - Promedio</b> |          |
| <b>% Sesgo =</b> | <b>(Sesgo / Tolerancia) * 100</b>     |          |

| Calificación de exactitud de Instrumento |             |             |
|--|-------------|-------------|
| <= 5%                                    | >5% y <=10% | >10%        |
| Aceptable                                | Precaución  | Inaceptable |

## Instrucciones

1. **Obtener una muestra y establecer un valor de referencia por medio de un patrón trazable y anótelo en el formato (columna 2 – renglón 13).** Si no se tiene disponible, seleccionar una parte que quede en el rango medio de las mediciones de producción y designarla como la muestra maestra para fines de análisis de sesgo. Medir la parte 10 veces y calcular el promedio utilizando un instrumento de mayor precisión al que se pretende estudiar. Utilizar el promedio como el valor de referencia. Puede ser conveniente, tener muestras maestras de la parte baja y alta de las mediciones esperadas y hacer el análisis para cada una de ellas.
  
2. **Investigue y anote la tolerancia dada por el cliente para la dimensión bajo estudio.** Por ejemplo si estudiará exactitud en 2 in. Investigue la tolerancia permitida la cual podría ser +/- 0.010 in.
  
3. **Hacer que un evaluador mida la muestra 10 veces de manera normal y anotar los 10 valores en el formato (columna 2, renglones del 2 al 11).**
  
4. **Calcular el promedio de las 10 lecturas y anotarlo en formato (columna 2, renglón 12).**
  
5. **Calcular el sesgo restando el valor de referencia al promedio(columna 2, renglón y anótelo en el formato .**  
 Sesgo = Promedio – Valor de referencia
  
6. **Calcular el porcentaje de sesgo**  
 $\% \text{ sesgo} = [\text{Sesgo} / \text{Variación del proceso}] \times 100$     ó  
 $\% \text{ de Sesgo} = [\text{Sesgo} / \text{Rango de Tol.}] \times 100.$

(Variación del proceso =  $6\sigma$  /

Rango de tolerancias = LSE – LIE)

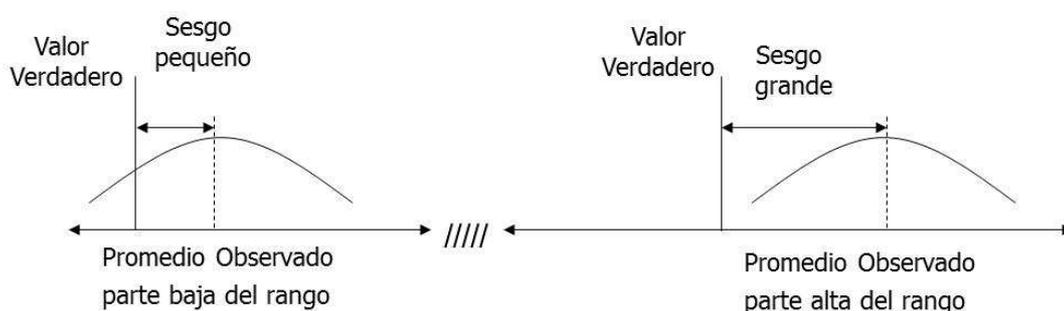
**7. Calificar el instrumento según el siguiente criterio:**

- Menos del 5% instrumento aceptable
- Del 5 al 10 % quizá aceptable según el uso
- Más del 10% se considera no aceptable. (Identificar el problema y corregirlo)

## Anexo 1b. Formato e instructivo para la captura de datos y cálculo de linealidad

### Introducción

Linealidad es la diferencia en los valores del sesgo a través del rango de operación esperado del instrumento. (¿El instrumento es más exacto a valores bajos que a valores altos?)

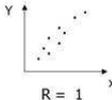


- Para determinar la linealidad se deben seleccionar partes que cubran todo el rango del instrumento de medición o al menos el rango de trabajo usual.
- La pendiente de la línea de regresión que mejor ajuste el sesgo contra los valores de referencia multiplicado por la variación del proceso (o la tolerancia) es un índice que representa la linealidad del instrumento.
- Para juzgar la linealidad del instrumento de medición se debe analizar a través de la bondad de ajuste ( $R^2$ ) que tan buena es la relación lineal entre el sesgo y el valor de referencia. Puede ser posible que la relación no sea lineal y se requiera mayor análisis para juzgar la linealidad del instrumento.

## Formato

### Formato para estudio de Linealidad

### Taller de torno PONCE



Patrón: \_\_\_\_\_ Valor ref.: 1: \_\_\_\_\_ 2: \_\_\_\_\_ 3: \_\_\_\_\_ 4: \_\_\_\_\_ 5: \_\_\_\_\_

Instrumento: \_\_\_\_\_ Serie: \_\_\_\_\_ Rango de medición \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Operador: \_\_\_\_\_ Elaboró: \_\_\_\_\_

| Medición                           | VALORES DE REFERENCIA (PATRONES) |   |   |   |   |
|------------------------------------|----------------------------------|---|---|---|---|
|                                    | 1                                | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1                                  |                                  |   |   |   |   |
| 2                                  |                                  |   |   |   |   |
| 3                                  |                                  |   |   |   |   |
| 4                                  |                                  |   |   |   |   |
| 5                                  |                                  |   |   |   |   |
| 6                                  |                                  |   |   |   |   |
| 7                                  |                                  |   |   |   |   |
| 8                                  |                                  |   |   |   |   |
| 9                                  |                                  |   |   |   |   |
| 10                                 |                                  |   |   |   |   |
| 11                                 |                                  |   |   |   |   |
| 12                                 |                                  |   |   |   |   |
| Promedio =                         |                                  |   |   |   |   |
| VALOR REFERENCIA<br>(VAL. DE REF.) |                                  |   |   |   |   |
| SESGO = PROMEDIO -<br>VAL. DE REF. |                                  |   |   |   |   |

Recta de regresión

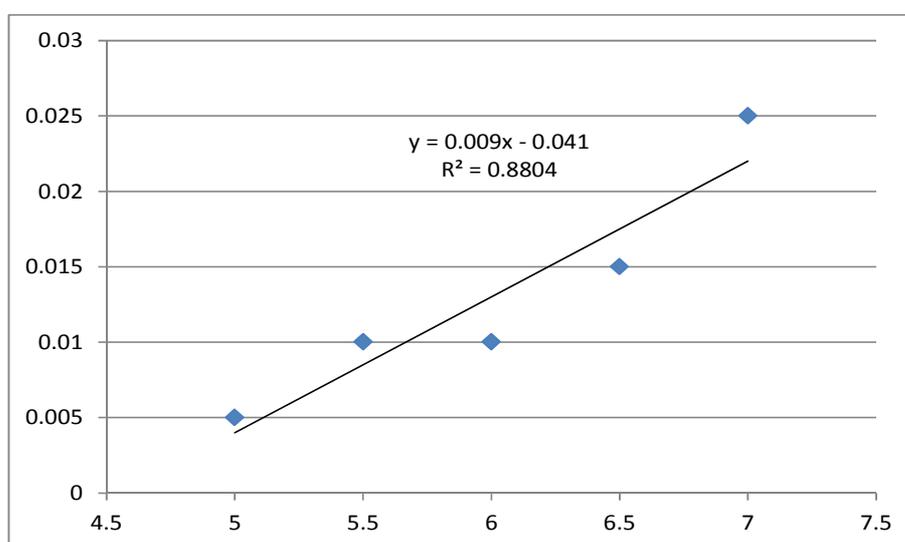
Calcular valor r

| Calificación de linealidad de Instrumento |              |        |
|---|--------------|--------|
| ≤ -0,8                                    | >-0,8 y <0,8 | ≥+0,8  |
| Lineal                                    | No lineal    | Lineal |

## Instrucciones

1. Seleccionar 5 partes cuyas medidas, debido a la variación del proceso, cubran el rango de operación del instrumento.
2. Determinar el valor de referencia de cada parte y confirmar que se cubra el rango del instrumento.
3. Medir cada parte 12 veces con el instrumento bajo análisis, por un operador. Seleccionar la parte al azar para minimizar el sesgo del instrumento.
4. Calcular el promedio y el sesgo contra el valor de referencia

5. Graficar el sesgo contra el valor de referencia, utilice Microsoft Excel seleccione datos de sesgo contra valores de referencia insertando gráfico de dispersión.
6. Calcular la línea de regresión y la bondad de ajuste de la línea utilizando las siguientes ecuaciones (utilice Microsoft Excel dando clic en los puntos del gráfico de clic en botón izquierdo de mouse, seleccione la opción “agregar línea de tendencia de datos”, seleccione la opción “lineal”, seleccione la opción de mostrar ecuación de la recta y valor “R”).



7. Concluir si existe linealidad con base en el criterio de “r” debe de ser mayor a 0,8 y menor de -0,8.

## **Anexo 1c.** Formato e instructivo para la captura de datos y cálculo de Repetibilidad y Reproducibilidad.

### **Introducción**

La Repetibilidad y la Reproducibilidad son los componentes de la *precisión*. La repetibilidad de un instrumento de medición se refiere a la precisión o variabilidad de sus mediciones cuando se obtienen varias mediciones del mismo objeto en condiciones similares (mismo operador); mientras que la reproducibilidad es la precisión o variabilidad de las mediciones instrumento de medición pero en condiciones variables (diferentes operadores).

En los estudios R&R se evalúa de modo experimental qué parte de la variabilidad total observada en los datos es atribuible al error de medición; además, permite cuantificar si éste error es mucho o poco en comparación con la variabilidad del producto y con las tolerancias de la característica de calidad que se mide.

Las fuentes de variabilidad que se pueden evaluar en un estudio largo de repetibilidad y reproducibilidad son: variabilidad del producto, del instrumento y de los operadores. Sea  $\alpha^2_{total}$  la variabilidad total observada;  $\alpha^2_{prod}$  la varianza atribuible al producto,  $\alpha^2_{instr}$  la variabilidad o error del instrumento de medición y  $\alpha^2_{oper}$  la variabilidad o error debido a los operadores entonces se cumple la siguiente relación:

$$\alpha^2_{total} = \alpha^2_{prod} + \alpha^2_{instr} + \alpha^2_{oper}$$

donde

$$\alpha^2_{instr} = \alpha^2_{reperibilidad} \quad \alpha^2_{oper} = \alpha^2_{reproducibilidad}$$

Por lo tanto, el error o variabilidad de las mediciones debido a repetibilidad y reproducibilidad se obtiene con

$$\alpha^2_{R\&R} = \alpha^2_{repetibilidad} + \alpha^2_{reproducibilidad}$$

### **Formato**

## Formato para estudio de R&R Taller de torno PONCE

**ESTUDIO DE CAPACIDAD DEL INSTRUMENTO**  
 (MÉTODO LARGO)

Persona responsable: \_\_\_\_\_  
 Especificaciones: El = \_\_\_\_\_ ES = \_\_\_\_\_  
 Tolerancia = \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_  
 Estudio: \_\_\_\_\_  
 Departamento: \_\_\_\_\_  
 Tipo de gage: \_\_\_\_\_  
 Núm. de gage: \_\_\_\_\_

| Número de partes | Operador A |          |          |       | Operador B |          |          |       | Operador C |          |          |       |
|------------------|------------|----------|----------|-------|------------|----------|----------|-------|------------|----------|----------|-------|
|                  | Ensayo 1   | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Rango | Ensayo 1   | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Rango | Ensayo 1   | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Rango |
| 1                |            |          |          |       |            |          |          |       |            |          |          |       |
| 2                |            |          |          |       |            |          |          |       |            |          |          |       |
| 3                |            |          |          |       |            |          |          |       |            |          |          |       |
| 4                |            |          |          |       |            |          |          |       |            |          |          |       |
| 5                |            |          |          |       |            |          |          |       |            |          |          |       |
| 6                |            |          |          |       |            |          |          |       |            |          |          |       |
| 7                |            |          |          |       |            |          |          |       |            |          |          |       |
| 8                |            |          |          |       |            |          |          |       |            |          |          |       |
| 9                |            |          |          |       |            |          |          |       |            |          |          |       |
| 10               |            |          |          |       |            |          |          |       |            |          |          |       |
| TOTAL            |            |          |          |       |            |          |          |       |            |          |          |       |

Suma  $\bar{X}_A$   
 $\bar{R}_A$   
 $\bar{R}_B$   
 $\bar{R}_C$   
 Suma  $\bar{R}$

Suma  $\bar{X}_B$   
 Máx.  $\bar{X}$   
 Mín.  $\bar{X}$   
 $\bar{X}$  Dif

LCS = ( $\bar{R}$ ) ( $D_4$ )  

| Ensayos | $D_4$ |
|---------|-------|
| 2       | 3.27  |
| 3       | 2.57  |

Suma  $\bar{X}_C$

Marque aquellos rangos que se encuentran arriba de LCS. Identifique la causa y corríjala.  
 Repita esas mediciones usando el mismo operador y la misma unidad. Recalcule  $\bar{R}$  y LCS.

Repetibilidad (variación del equipo):  
 $VE = Rk_1 = \dots$   
 $\sigma_{reps} = \frac{VE}{5.15} = \dots$

| $\bar{R}_1$ ensayos y $\bar{R}_2$ operadores | 2    | 3    |
|--|------|------|
| $R_1$  | 4.56 | 3.05 |
| $R_2$  | 3.65 | 2.70 |
| $n$ = número de partes,                      |      |      |
| $t$ = número de ensayos                      |      |      |

Análisis en % de tolerancias:  
 $\%VE = \frac{100(VE)}{\text{tolerancia}} = \dots$   
 $\%VO = \frac{100(VO)}{\text{tolerancia}} = \dots$   
 $P/T = \% R\&R = \sqrt{(\dots)^2 + (\dots)^2} = \dots$

Repetibilidad (variación de operador):  
 $VO = \sqrt{((\bar{X} \text{ Dif.}) k_2)^2 - \frac{(VE)^2}{n^2}} + \sqrt{((\dots)(\dots))^2 - (\dots)^2} = \dots$   
 $\hat{\sigma}_{reprod} = \frac{VO}{5.15} = \dots$

Repetibilidad y reproducibilidad:  
 $EM = R\&R = \sqrt{VE^2 + VO^2} = \sqrt{(\dots)^2 + (\dots)^2} = \dots$   
 $\hat{\sigma}_{R\&R} = \frac{R\&R}{5.15} = \dots$

**Criterio de aceptación:**  
 \* Abajo de 10% → Excelente proceso  
 \* De 10 a 20% → Bueno, aceptable  
 \* De 20 a 30% → Marginalmente aceptable  
 \* Arriba de 30% → Inaceptable y debe ser corregido

| Calificación de R&R de Sistema de Medición |                |                         |                               |
|--|----------------|-------------------------|-------------------------------|
| < 10%                                      | ≥ 10%, y < 20% | ≥ 20%, y < 30%          | ≥ 30%                         |
| Excelente                                  | Bueno          | Marginalmente aceptable | Inaceptable y debe corregirse |

### Instructivo

Para cada instrumento de medición que se desee evaluar es necesario plantear un estudio en el que se apliquen los siguientes pasos.

8. Seleccionar dos o más operadores para conducir el estudio acerca del instrumento de medición de interés.
9. Seleccionar en forma aleatoria un conjunto de 10 o más partes o piezas que serán medidas varias veces por cada operador. Es importante que la selección se realice a partir de piezas que reflejen las diferentes dimensiones

de las piezas que se producen. Por ejemplo, una buena estrategia de selección sería tomar una pieza de la producción de cada turno.

10. Decidir el número de ensayos o veces que el mismo operador medirá la misma pieza. En éste método se deben realizar por lo menos 2 ensayos, y tres es lo más recomendable
11. Etiquetar cada parte y aleatorizar el orden en el cual las partes se dan a los operadores. Identificar la zona o punto en la pieza donde la medición será tomada, así como el método o técnica que deberá aplicarse.
12. Obtener en orden aleatorio la primera medición del operador *A* para todas las piezas seleccionadas.
13. Volver a aleatorizar las piezas y obtener la primera medición del operador *B*.
14. Continuar hasta que todos los operadores hayan realizado la primera medición de todas las piezas.
15. Repetir los tres pasos anteriores hasta completar el número de ensayos (repeticiones) elegidos. Es preciso asegurarse de que los resultados previos de un ensayo no son conocidos por los operadores. Es decir en cada medición realizada el operador no debe conocer cual pieza está midiendo, ni cuáles fueron sus mediciones anteriores sobre ella, menos las mediciones reportadas por los demás operadores.
16. Hacer el análisis estadístico de los datos en software Minitab 15, utilizando seleccione en el menú principal *Estadísticas* seleccione *Herramientas de calidad* luego seleccione *Estudio de mediciones* por ultimo de click en la opción *Estudio R&R del sistema de Medición (cruzado)* y alimente los datos solicitados.

**Anexo 2.** Formato de Evaluación aplicado al personal del Taller de Torno Industrial Navojoa

|   |
|---|
| <p style="text-align: center;"><b>TALLER DE TORNO INDUSTRIAL<br/>NAVOJOA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>EXAMEN DE EVALUACIÓN INTRODUCCIÓN A LA METROLOGÍA</b></p> <p>Nombre: _____ Fecha: _____</p> <p>Puesto: _____</p> <p><b>PARTE I</b><br/><b>Instrucciones: Responda correctamente</b></p> <p>Escriba lo que entiende por metrología</p> <hr/> <hr/> <hr/> <p>Explique la diferencia entre medir y calibrar</p> <hr/> <hr/> <p>¿Que es el CENAM y cual es su función?</p> <hr/> <hr/> <p>Explique que es trazabilidad</p> <hr/> <hr/> <p>Liste las 7 unidades base y su símbolo oficial del Sistema Internacional de Unidades</p> <hr/> <hr/> <hr/> |
|---|

| <b>PARTE II</b>  |                          |
|--|--------------------------|
| <b>Instrucciones: Responda Verdadero o Falso según sea el caso</b>   |                          |
|  | <b>Falso / Verdadero</b> |
| La naturaleza nos impide conocer con certeza absoluta el valor verdadero de una magnitud, es decir, siempre se asociará una incertidumbre.   | ( )                      |
| Toda medición debe estar respaldada por un procedimiento, un método y un principio (base científica).  | ( )                      |
| Mientras más larga sea la cadena de comparaciones, la incertidumbre se incrementa.   | ( )                      |
| Un instrumento nuevo nos garantiza mediciones más exactas que uno usado  | ( )                      |
| <b>PARTE III</b>   |                          |
| <b>Relacione según corresponda</b>   |                          |
| Es el error absoluto entre el valor convencionalmente verdadero.   | ( )                      |
| Son los errores que se presentan en los sistemas de medición y provoca que los resultados sean erróneos.   | ( )                      |
| Es la diferencia entre el valor leído y el valor convencionalmente verdadero.  | ( )                      |
| Son errores tan graves que no queda otra alternativa que abandonar la medición. Por ejemplo, cuando se avería el instrumento con el cual se está midiendo por causa de una caída.                  | ( )                      |
| Son errores inherentes a cualquier proceso de medición y provoca que las mediciones sean distintas.  | ( )                      |
| Son pruebas básicas de los sistemas de medición sobre el promedios de las mediciones   | ( )                      |
| Son pruebas básicas de los sistemas de medición sobre la variabilidad de las mediciones  | ( )                      |
| Consiste en la comparación de una medida de referencia o patrón contra el valor leído en un instrumento.   | ( )                      |
| Es un estudio a los instrumentos de medición que busca medir la exactitud de un instrumento a lo largo de la escala de medición.   | ( )                      |
| Es un estudio a los sistemas de medición que busca medir su exactitud a través del tiempo.   | ( )                      |
| (1) Error absoluto (2) Estabilidad (3) Error relativo (4) Errores aleatorios (5) Linealidad (6) Errores sistemáticos (7) Sesgo (8) Errores crasos (9) Estudios R&R (10) Sesgo/Exactitud/Linealidad |                          |

**Anexo 3.** Manual para dar soporte al Programa de mantenimiento y verificación de instrumentos (PMV) de medición

**TALLER DE MAQUINADO  
INDUSTRIAL NAVOJOA**



**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO Y  
VERIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS  
DE MEDICIÓN**

**M.I. Luis Manuel Lozano Cota**

**Ing. Rafael Verdugo Miranda**

**Exposición de motivos:**

Durante el desarrollo de un proyecto de tesis de maestría del Sr. Rafael Verdugo Miranda dentro del programa de Maestría en Ingeniería Industrial de la Universidad de Sonora se encontró la necesidad de desarrollar e implementar el presente programa de mantenimiento y verificación como un instrumento que contribuya a mejorar la calidad de las mediciones realizadas con los instrumentos de medición más críticos e incrementar el tiempo de vida útil de los mismos. Lo anterior seguramente impactará positivamente la competencia del actual sistema de medición y las capacidades técnicas del personal involucrado, además de servir de mecanismo de documentación del monitoreo del desempeño de los instrumentos de medición.

**ÍNDICE**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Objetivo .....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>Notas .....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>Parte A: Calendario anual de actividades del PMV .....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>Parte B: Formatos de Órdenes de Trabajo de Limpieza y Lubricación (OTLL) emanadas del PMV .....</b> | <b>6</b>  |
| <b>Parte C: Formatos de Órdenes de Trabajo de Verificación Rápida (OTVR) emanadas del PMV .....</b>    | <b>7</b>  |
| <b>Calendario 2012 de OTLL y OTVR para instrumentos de medición .....</b>                              | <b>8</b>  |
| <b>Formatos de Órdenes de Trabajo de Limpieza y Lubricación .....</b>                                  | <b>10</b> |
| <b>Formatos de Órdenes de Trabajo de Verificación Rápida .....</b>                                     | <b>14</b> |
| <b>Anexos</b>  | <b>20</b> |

**Objetivo:**

Generar y documentar según periodicidad establecida órdenes de trabajo internas y externas para garantizar la funcionalidad óptima de los instrumentos de medición.

**Notas:**

El presente documento llamado Programa de Mantenimiento y Verificación (PMV) de Instrumentos de medición consta de dos partes (Parte A, Parte B y Parte C) cada uno con una función específica y distinta pero todas son complementarias para la búsqueda del objetivo planteado.

**Parte A: Calendario anual de actividades del PMV**

- Establece de manera específica las actividades a realizarse a cada instrumento de medición en fechas programadas.
- La frecuencia de este tipo de actividades pueden variar entre los distintos instrumentos incluso entre instrumentos del mismo tipo y marca, dependiendo de la carga de trabajo y las condiciones de operación particulares.
- La calendarización establecida puede ser modificada a juicio del jefe de taller, dependiendo de la carga de trabajo en producción pues el PVM no pretende anteponer sus actividades de manera forzada, sin embargo no deberá desfasarse las actividades de mantenimiento más de 2 semanas.
- Las actividades propuestas por el PVM además de mejorar la calidad en las mediciones y de postergar la vida útil de los instrumentos la documentación de éste programa favorecerá el que éste taller de maquinado avale ante sus clientes con certificación ISO su “capacidad para suministrar productos de acuerdo con los requisitos de la organización” según la mencionada norma exige.
- Ésta parte A del PMV tendrá dos versiones una impresa que servirá de apoyo/registro de las actividades en piso y una electrónica que se alimentará de los datos de la versión impresa la cual deberá ser debidamente respaldada para asegurar la integridad a largo plazo de los datos.

**Parte B: Formatos de Órdenes de Trabajo de Limpieza y Lubricación (OTLL) emanadas del PMV**

- Cada actividad programada en la Parte A, esto es en el calendario anual de actividades del PMV, generará una orden de trabajo de limpieza y lubricación para un instrumento de medición específico, para ello todos los instrumentos deberán estar debidamente identificados, preferentemente con una codificación simple.
- Las Órdenes de Trabajo deberán tener un formato predefinido y éste debe contener: los datos detallados del instrumento, los pasos claramente definidos para llevar a cabo la OTLL, ayudas visuales al menos para los pasos críticos, el nombre y firma del encargado de realizar la OTLL y un espacio para que el encargado anote observaciones.
- La OTLL también debe indicar el material y herramientas necesarios para su ejecución.
- Una vez realizada la OTLL debe ser primeramente digitalizada y debidamente archivada, luego debe agregarse al archivo físico del instrumento en cuestión.

**Parte C: Formatos de Órdenes de Trabajo de Verificación Rápida (OTVR) emanadas del PMV**

- Las OTVR tienen el objeto de detectar oportunamente la disfuncionalidad de los instrumentos de medición, fungirán como un test cualitativo que si bien no medirán el grado de error en los ensayos, si serán un serio indicador para mandar ajustar, calibrar o sustituir determinados instrumentos de medición.
- Cada actividad programada en la Parte A, esto es en el calendario anual de actividades del PMV, podrá generar una orden de trabajo de verificación rápida para un instrumento de medición específico, para ello todos los instrumentos deberán estar debidamente identificados, preferentemente con una codificación simple.
- Las Órdenes de Trabajo de Verificación Rápida deberán tener un formato predefinido y éste debe contener: los datos detallados del instrumento, los pasos claramente definidos para llevar a cabo la OTVR, el rango de medición, el rango de trabajo, ayudas visuales al menos para los pasos críticos, el nombre y firma del encargado de realizar la OTVR y un espacio para que el encargado anote observaciones.
- La OTVR también debe indicar el material y herramientas necesarios para su ejecución.
- Una vez realizada la OTVR debe ser primeramente digitalizada y debidamente archivada, luego debe agregarse al archivo físico del instrumento en cuestión.

### Calendario 2012 de OTLL y OTVR para instrumentos de medición Primer semestre

| IDE   | Instrumento              | 2012<br>(dividido en 24 quincenas) |   |     |     |     |   |     |   |     |     |     |    |
|-------|--------------------------|------------------------------------|---|-----|-----|-----|---|-----|---|-----|-----|-----|----|
|       |                          | Ene                                |   | Feb |     | Mar |   | Abr |   | May |     | Jun |    |
|       |                          | 1                                  | 2 | 3   | 4   | 5   | 6 | 7   | 8 | 9   | 10  | 11  | 12 |
| MEA01 | Micrómetro Exteriores    | L                                  |   |     | V/L |     |   | L   |   |     | V/L |     |    |
| MEA02 | Micrómetro Exteriores    | L                                  |   |     | V/L |     |   | L   |   |     | V/L |     |    |
| MEA03 | Micrómetro Exteriores    | L                                  |   |     | V/L |     |   | L   |   |     | V/L |     |    |
| MEA04 | Micrómetro Exteriores    | L                                  |   |     | V/L |     |   | L   |   |     | V/L |     |    |
| MEA05 | Micrómetro Exteriores    | L                                  |   |     | V/L |     |   | L   |   |     | V/L |     |    |
| MEA06 | Micrómetro Exteriores    | L                                  |   |     | V/L |     |   | L   |   |     | V/L |     |    |
| CVD01 | Calibrador Vernier       |                                    | L |     |     | V/L |   |     | L |     |     | V/L |    |
| CVA01 | Calibrador Vernier       |                                    | L |     |     | V/L |   |     | L |     |     | V/L |    |
| CVA02 | Calibrador Vernier       |                                    | L |     |     | V/L |   |     | L |     |     | V/L |    |
| MIA01 | Micrómetro Interior      | L                                  |   |     | V/L |     |   | L   |   |     | V/L |     |    |
| MIA02 | Micrómetro Interior      | L                                  |   |     | V/L |     |   | L   |   |     | V/L |     |    |
| MED01 | Micrómetro Exteriores    | L                                  |   |     | V/L |     |   | L   |   |     | V/L |     |    |
| CEA01 | Compas Interior          |                                    | L |     |     | L   |   |     | L |     |     | L   |    |
| LCA01 | Lainas de cuanta cuerdas |                                    | L |     |     | L   |   |     | L |     |     | L   |    |
| LCA02 | Lainas de cuanta cuerdas |                                    | L |     |     | L   |   |     | L |     |     | L   |    |

L genera orden de trabajo de limpieza y lubricación del instrumento respectivo

V/L genera orden de trabajo de limpieza/lubricación y orden de trabajo de verificación rápida del instrumento respectivo.

### Calendario 2012 de OTLL y OTVR para instrumentos de medición segundo semestre

| IDE   | Instrumento              | 2012<br>(dividido en 24 quincenas) |    |     |     |     |    |     |    |     |     |     |    |
|-------|--------------------------|------------------------------------|----|-----|-----|-----|----|-----|----|-----|-----|-----|----|
|       |                          | Jul                                |    | Ago |     | Sep |    | Oct |    | Nov |     | Dic |    |
|       |                          | 13                                 | 14 | 15  | 16  | 17  | 18 | 19  | 20 | 21  | 22  | 23  | 24 |
| MEA01 | Micrómetro Exteriores    | L                                  |    |     | V/L |     |    | L   |    |     | V/L |     |    |
| MEA02 | Micrómetro Exteriores    | L                                  |    |     | V/L |     |    | L   |    |     | V/L |     |    |
| MEA03 | Micrómetro Exteriores    | L                                  |    |     | V/L |     |    | L   |    |     | V/L |     |    |
| MEA04 | Micrómetro Exteriores    | L                                  |    |     | V/L |     |    | L   |    |     | V/L |     |    |
| MEA05 | Micrómetro Exteriores    | L                                  |    |     | V/L |     |    | L   |    |     | V/L |     |    |
| MEA06 | Micrómetro Exteriores    | L                                  |    |     | V/L |     |    | L   |    |     | V/L |     |    |
| CVD01 | Calibrador Vernier       |                                    | L  |     |     | V/L |    |     | L  |     |     | V/L |    |
| CVA01 | Calibrador Vernier       |                                    | L  |     |     | V/L |    |     | L  |     |     | V/L |    |
| CVA02 | Calibrador Vernier       |                                    | L  |     |     | V/L |    |     | L  |     |     | V/L |    |
| MIA01 | Micrómetro Interior      | L                                  |    |     | V/L |     |    | L   |    |     | V/L |     |    |
| MIA02 | Micrómetro Interior      | L                                  |    |     | V/L |     |    | L   |    |     | V/L |     |    |
| MED01 | Micrómetro Exteriores    | L                                  |    |     | V/L |     |    | L   |    |     | V/L |     |    |
| CEA01 | Compas Interior          |                                    | L  |     |     | L   |    |     | L  |     |     | L   |    |
| LCA01 | Lainas de cuanta cuerdas |                                    | L  |     |     | L   |    |     | L  |     |     | L   |    |
| LCA02 | Lainas de cuanta cuerdas |                                    | L  |     |     | L   |    |     | L  |     |     | L   |    |

L genera orden de trabajo de limpieza y lubricación del instrumento respectivo

V/L genera orden de trabajo de limpieza/lubricación y orden de trabajo de verificación rápida del instrumento respectivo.

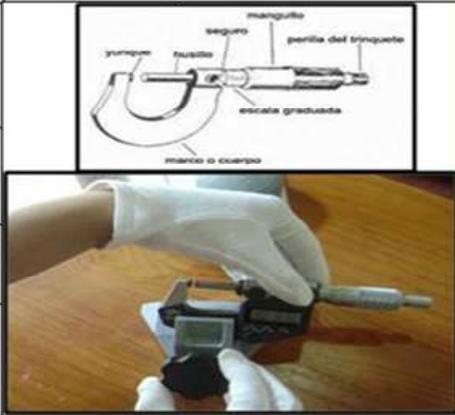
## FORMATOS DE ÓRDENES DE TRABAJO DE LIMPIEZA Y LUBRICACIÓN

### Orden de Trabajo de Limpieza y Lubricación para Calibrador Vernier

|  |  | Hoja 1 de 2  |            |
|--|--|--|------------|
|  <b>FORMATO DE LIMPIEZA Y LUBRICACIÓN</b><br><b>Taller de Torno industrial ELYON</b> |  |  |            |
| <b>INSTRUMENTO:</b>  | Calibrador Vernier                                       | <b>FECHA:</b>  | DD/MM/AAAA |
| <b>IDE. INT.</b>   | CV001  |  |            |
| <b>RESPONSABLE:</b>  | Gerson Barrón  | <b>Lugar recomendado:</b>  | ????       |
| <b>MATERIAL</b>  | Aceite mineral base keroseno preferentemente presurizado |  |            |
|  | Brocha de 1/2 pulgada                                    |  |            |
|  | Lupa   |  |            |
|  | Aire a presión (30 Bar)                                  |  |            |
|  | Sanitas sinteticas                                       |  |            |
|  | Toalla de gamusa   |  |            |
|  | Guantes  |  |            |
| <b>Actividades de Limpieza</b>   |  |  |            |
| <b>Objetivo:</b> Retirar cualquier contaminante principalmente de las partes móviles del instrumento como: polvo, limaduras de metal, mugre, etc.  |  |  |            |
| <b>Actividades de Lubricación</b>  |  |  |            |
| <b>Objetivo:</b> Asegurar un deslizamiento sin fricción excesiva entre las partes móviles del instrumento mediante la aplicación de aceite mineral a base de keroseno.   |  |  |            |
| <b>INSTRUCCIONES / PROCEDIMIENTO</b>   |  |  |            |
|  | <b>OK</b>  | <b>AYUDA VISUAL 1</b>  |            |
| 1.- Asegurése de que al recibir ésta orden de trabajo reciba junto con ella el intrumento al que se hace referencia y el material indicado en la parte superior de éste formato.                               |  |  |            |
| 2.- Busque un lugar adecuado para realizar ésta orden de trabajo con buena iluminación, alejado de vibraciones, polvos y otros contaminantes.  |  |  |            |
| 3.- Utilice guantes de tela suave, y durante el uso de aire comprimido use lentes de seguridad.  |  |  |            |
| 3.- Tome el calibrador Vernier y sostengalo firmemente mientras aplica aire a presión poniendo énfasis en toda el área entre la Carrera y la Varilla de profundidad.   |  |  |            |
| <b>10</b>  |  |  |            |

|  |                          |   |
|--|--------------------------|---|
|  |                          | Hoja 2 de 2   |
| <b>FORMATO DE LIMPIEZA Y LUBRICACIÓN</b>   |                          |   |
| <b>Taller de Torno industrial ELYON</b>  |                          |   |
| <b>INSTRUCCIONES / PROCEDIMIENTO (continuación)</b>  |                          |   |
|  | <b>OK</b>                | <b>AYUDA VISUAL 2</b>   |
| 4.- Con lupa busque y retire utilizando una brocha contaminantes persistentes.   | <input type="checkbox"/> |  |
| 5.- Utilizando sanitas sintéticas suaves ligeramente humectadas con aceite base keroseno limpie enérgicamente las caras de medición de mandíbulas y orejas, pase la sanita ligeramente por el resto del instrumento.                 | <input type="checkbox"/> |   |
| 6.- Abra a su máxima capacidad el instrumento y coloque una gota de aceite en cada extremo de la carrera ciérrelo y vuelva a abrir hasta que el aceite quede distribuido uniformemente entre la carrera y la varilla de profundidad. | <input type="checkbox"/> |   |
| 7.- Utilizando una sanita sintética quite excedentes de aceite y frote todo el instrumento con una tela de gamuza  | <input type="checkbox"/> |   |
| 8.- Entregue el instrumento y los materiales recibidos al jefe de taller y comente alguna anomalía encontrada inmediatamente.  | <input type="checkbox"/> |   |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |                          |   |
|  |                          |   |
|  |                          |   |
|  |                          |   |
|  |                          |   |
| _____  | _____                    |   |
| <b>Realizó</b>   | <b>Aprobó y Recibió</b>  |   |
| <b>11</b>  |                          |   |

**Orden de Trabajo de Lubricación y Limpieza para Micrómetro de Exteriores**

|  |  |  |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |
|--|--|--|--|-----------------------|--|------|--|-------------------------|--|--------------------|--|------------------|--|-----------------------|--|----------------------|--|--|
|   | <p><b>FORMATO DE LIMPIEZA Y LUBRICACIÓN</b><br/><b>Taller de Torno industrial PONCE</b></p>  | <p>Hoja 1 de 2</p>   |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |
| <p><b>INSTRUMENTO:</b> Micrometro</p>  | <p><b>FECHA:</b> DD/MM/AAAA</p>  |  |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |
| <p><b>IDE. INT.:</b> CV001</p>   |  |  |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |
| <p><b>RESPONSABLE:</b> Gerson Barrón</p>   | <p><b>Lugar recomendado:</b> ????</p>  |  |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |
| <p><b>MATERIAL / EQUIPO</b></p>  | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Aceite mineral base keroseno preferentemente presurizado</td><td></td></tr> <tr><td>Brocha de 1/2 pulgada</td><td></td></tr> <tr><td>Lupa</td><td></td></tr> <tr><td>Aire a presión (30 Bar)</td><td></td></tr> <tr><td>Sanitas sintéticas</td><td></td></tr> <tr><td>Toalla de gamuza</td><td></td></tr> <tr><td>Guantes de tela suave</td><td></td></tr> <tr><td>Base para micrómetro</td><td></td></tr> </table> | Aceite mineral base keroseno preferentemente presurizado                             |  | Brocha de 1/2 pulgada |  | Lupa |  | Aire a presión (30 Bar) |  | Sanitas sintéticas |  | Toalla de gamuza |  | Guantes de tela suave |  | Base para micrómetro |  |  |
| Aceite mineral base keroseno preferentemente presurizado   |  |  |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |
| Brocha de 1/2 pulgada  |  |  |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |
| Lupa   |  |  |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |
| Aire a presión (30 Bar)  |  |  |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |
| Sanitas sintéticas   |  |  |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |
| Toalla de gamuza   |  |  |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |
| Guantes de tela suave  |  |  |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |
| Base para micrómetro   |  |  |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |
| <p><b>Actividades de Limpieza</b></p> <p><b>Objetivo:</b> Retirar cualquier contaminante principalmente de las partes móviles del instrumento como: polvo, limaduras de metal, mugre, etc.</p>                         |  |  |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |
| <p><b>Actividades de Lubricación</b></p> <p><b>Objetivo:</b> Asegurar un deslizamiento sin fricción excesiva entre las partes móviles del instrumento mediante la aplicación de aceite mineral a base de keroseno.</p> |  |  |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |
| <p><b>INSTRUCCIONES / PROCEDIMIENTO</b></p>  |  |  |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |
|  | <p>OK</p>  | <p><b>Ayuda visual</b></p>   |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |
| <p>1.- Asegúrese de que al recibir ésta orden de trabajo reciba junto con ella el instrumento al que se hace referencia y el material indicado en la parte superior de éste formato.</p>                               |  |  |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |
| <p>2.- Busque un lugar adecuado para realizar ésta orden de trabajo con buena iluminación, alejado de vibraciones, polvos y otros contaminantes.</p>   |  |  |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |
| <p>3.- Utilice guantes de tela suave durante la ejecución de este procedimiento.</p>   |  |  |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |
| <p>4.- Tome el Micrómetro y sujetelo en su base, aplique aire a presión poniendo énfasis en husillo, escala de medición y yunque.</p>  |  |  |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |
| <p>12</p>  |  |  |  |                       |  |      |  |                         |  |                    |  |                  |  |                       |  |                      |  |  |

**FORMATO DE LIMPIEZA Y LUBRICACIÓN**

**Taller de Torno industrial PONCE**

**INSTRUCCIONES / PROCEDIMIENTO (continuación)**

|  | OK | Ayuda Visual   |
|--|----|--|
| 4.- Con lupa busque y retire utilizando una brocha contaminantes persistentes.   |    |   |
| 5.- Utilizando sanitas sintéticas suaves ligeramente humectadas con aceite base keroseno limpie enérgicamente las caras de medición así como las paredes de yunque y husillo.  |    |  |
| 6.- Abra a su máxima capacidad el instrumento y con una sanita ligerame humectada con aceite base keroseno limpie la escala graduada y el manguillo, al final limpie nuevamente con toalla de gamuza para eliminar residuos. |    |  |
| 7.- Cierre el intrumento (utilizando la perilla del trinquete) hasta su mínima medida, hasta obtener 5 clicks del rach, observe que el instrumento marque cero, vuelvalo a abrir a 1/2 milimetro y pongalo en su estuche.    |    |  |
| 8.- Entregue el instrumento y los materiales recibidos al jefe de taller y comente alguna anomalía encontrada inmediatamente.  |    |  |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |    |  |
| .....  |    |  |
| .....  |    |  |
| .....  |    |  |
| .....  |    |  |
| .....  |    |  |
| <p style="text-align: center;">_____</p> <p style="text-align: center;"><b>Realizó</b> <span style="float: right;"><b>Aprobó y Recibió</b></span></p>  |    |  |

**FORMATOS DE ÓRDENES DE TRABAJO DE VERIFICACION RÁPIDA**

**Orden de Trabajo de verificación rápida para Calibrador Vernier**

Hoja 1 de 3



**FORMATO DE VERIFICACIÓN RÁPIDA DE ERROR  
Taller de Torno industrial PONCE**

Fecha: \_\_\_\_\_

**INSTRUMENTO:** Calibrador Vernier  
**IDE. INT.** CV001  
**RESPONSABLE:** \_\_\_\_\_  
**Lugar Recom.:** \_\_\_\_\_

| Calificación de exactitud de Instrumento |               |       |
|--|---------------|-------|
| < 0.4%                                   | >0.4% y <0.9% | >0.9% |
|  |               |       |

| MATERIAL / EQUIPO | Franela de gamuza  |  |
|-------------------|--|--|
|                   | Guantes de tela suave  |  |
|                   | 3 block patrón correspondientes a la parte baja, media y alta del rango de trabajo del instrumento bajo estudio. |  |
|                   | Calculadora  |  |
|                   | Lápiz con borrador   |  |
|                   |  |  |

**Actividades de verificación rápida**

**Objetivo:** Verificar la exactitud del instrumento de medición en las partes baja, media y alta del rango normal de trabajo con la finalidad de dictaminar la verificación completa y/o calibración en laboratorio competente.

**INSTRUCCIONES / PROCEDIMIENTO**

| OK  | Ayuda visual 1 |
|---|----------------|
| 1.- Asegúrese de que al recibir ésta orden de trabajo reciba junto con ella el instrumento al que se hace referencia y el material indicado en la parte superior de éste formato. |                |
| 2.- Busque un lugar adecuado para realizar ésta orden de trabajo con buena iluminación, alejado de vibraciones, polvos y que esté a una temperatura máxima de 30°C.               |                |
| 3.- Utilice guantes de tela suave durante la ejecución de este procedimiento.   |                |
| 4.- Lea los valores de referencia gravados en cada bloc patrón y anótelos en la <b>tabla 1</b> .  |                |
| 5.- Limpie con la franela de gamuza el polvo y/o huellas en las caras de medición del instrumento y de los block patrón.  |                |

**FORMATO DE VERIFICACIÓN RÁPIDA DE ERROR**  
**Taller de Torno industrial PONCE**

**INSTRUCCIONES / PROCEDIMIENTO (continuación)**

|   | OK | Ayuda Visual 2   |
|---|----|--|
| <p>6.- Tome el <b>patrón de medición de magnitud menor</b> evitando tocar las caras de medición (acabado espejo) mídalo asegurando un ajuste adecuado del block y anote el resultado en la <b>tabla 1</b>, si el vernier es de lectura analógica asegúrese de tener su vista perpendicular las caras de medición.</p> |    |    |
| <p>7.- Tome el <b>patrón de medición de magnitud media</b> evitando tocar las caras de medición (acabado espejo) mídalo asegurando un ajuste adecuado del block y anote el resultado en la <b>tabla 1</b>, si el vernier es de lectura analógica asegúrese de tener su vista perpendicular las caras de medición.</p> |    |    |
| <p>8.- Tome el <b>patrón de medición de magnitud alta</b> evitando tocar las caras de medición (acabado espejo) mídalo asegurando un ajuste adecuado del block y anote el resultado en la <b>tabla 1</b>, si el vernier es de lectura analógica asegúrese de tener su vista perpendicular las caras de medición.</p>  |    |   |
| <p>9.- Repita los pasos 5, 6 y 7 hasta llenar las 5 repeticiones que le pide la <b>tabla 1</b>.</p>   |    |  |
| <p>10.- Cierre el instrumento hasta su mínima medida con ajuste normal, observe que el instrumento marque cero, vuelvalo a abrir a 1/2 milimetro y pongalo en su estuche.</p>   |    |  |
| <p>11.- Calcule los promedios de las 5 lecturas a cada patrón, rescatando al menos 3 cifras significativas, anote los tres promedios (parte baja, media y alta) en la <b>tabla 1</b>.</p>   |    |  |
| <p>12.- Calcule el error absoluto restando al valor de referencia (patrón) el promedio respectivo y anotelo en la <b>tabla 1</b>.</p>   |    |  |
| <p>13.- Calcule el error relativo el error absoluto entre el valor de referencia y anotelo en la <b>tabla 1</b></p>   |    |  |

|  |   |  |   |
|--|---|--|---|
|  | Calificación de exactitud de Instrumento                |  |   |
|  | < 0.4%  | >0.4% y <0.9%  | >0.9%                                       |
| <b>14.- Evalúe el nivel de error relativo según el siguiente criterio:</b><br>% error menor a 0.4% Instrumento suficiente mente exacto<br>% error entre 0.4% y 0.9% Instrumento aceptable según uso<br>% error mayor que 0.9% Instrumento no aceptable | <b>VERDE</b><br><br>Instrumento suficiente mente exacto | <b>AMARILLO</b><br><br>Instrumento aceptable según uso | <b>ROJO</b><br><br>Instrumento no aceptable |
| 15.- Entregue el instrumento con los materiales recibidos y este formato debidamente lleno al jefe de taller y comente alguna anomalía encontrada inmediatamente.  |   |  |   |

**Tabla 1**

|                                 |  | VALORES DE REFERENCIA (PATRONES) |   |   |
|---------------------------------|--|----------------------------------|---|---|
|                                 | Medición                                       | 1                                | 2 | 3 |
|                                 | 1  |                                  |   |   |
|                                 | 2  |                                  |   |   |
|                                 | 3  |                                  |   |   |
|                                 | 4  |                                  |   |   |
|                                 | 5  |                                  |   |   |
|                                 | <b>Promedio =</b>                              |                                  |   |   |
|                                 | <b>VALOR REFERENCIA</b>                        |                                  |   |   |
| <b>Error Absoluto o Sesgo =</b> | <b>Valor de Referencia - Promedio</b>          |                                  |   |   |
| <b>Error Relatvo</b>            | <b>(Error ABS / Valor de Referencia) * 100</b> |                                  |   |   |

**OBSERVACIONES:**

-----

-----

-----

\_\_\_\_\_

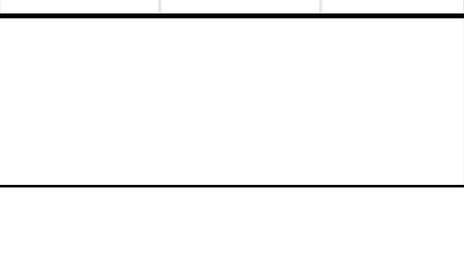
**Realizó**

\_\_\_\_\_

**Aprobó y Recibió**

## Orden de Trabajo de verificación rápida para Micrómetro de Exteriores

|  |  | Hoja 1 de 3  |               |       |
|--|--|--|---------------|-------|
|   |  | <b>FORMATO DE VERIFICACIÓN RÁPIDA DE ERROR</b><br><b>Taller de Torno industrial PONCE</b>  |               |       |
|  |  | Fecha: _____   |               |       |
| INSTRUMENTO:   | Micrómetro   | Calificación de exactitud de Instrumento   |               |       |
| IDE. INT.  |  | < 0.4%   | >0.4% y <0.9% | >0.9% |
| RESPONSABLE:   |  |  |               |       |
| Lugar Recom.:  |  |  |               |       |
| <b>MATERIAL / EQUIPO</b>   | Franela de gamuza  |  |               |       |
|  | Guantes de tela suave  |  |               |       |
|  | 3 block patrón correspondientes a la parte baja, media y alta del rango de trabajo del instrumento bajo estudio. |  |               |       |
|  | Calculadora  |  |               |       |
|  | Lápiz con borrador   |  |               |       |
|  | Base para micrómetro   |  |               |       |
| <b>Actividades de verificación rápida</b><br><b>Objetivo:</b> Verificar la exactitud del instrumento de medición en las partes baja, media y alta del rango normal de trabajo con la finalidad de dictaminar la verificación completa y/o calibración en laboratorio competente. |  |  |               |       |
| <b>INSTRUCCIONES / PROCEDIMIENTO</b>   |  |  |               |       |
|  | <b>OK</b>  | <b>Ayuda visual 1</b>  |               |       |
| 1.- Asegúrese de que al recibir ésta orden de trabajo reciba junto con ella el instrumento al que se hace referencia y el material indicado en la parte superior de éste formato.  |  | <br> |               |       |
| 2.- Busque un lugar adecuado para realizar ésta orden de trabajo con buena iluminación, alejado de vibraciones, polvos y que esté a una temperatura máxima de 30°C.  |  |  |               |       |
| 3.- Utilice guantes de tela suave durante la ejecución de este procedimiento.  |  |  |               |       |
| 4.- Lea los valores de referencia gravados en cada bloc patrón y anótelos en la <b>tabla 1</b> .   |  |  |               |       |
| 5.- Limpie con la franela de gamuza el polvo y/o huellas en las caras de medición del instrumento y de los bloc patrón.  |  |  |               |       |
| <b>17</b>  |  |  |               |       |

|  |    | Hoja 2 de 3  |
|--|----|--|
| FORMATO DE VERIFICACIÓN RÁPIDA DE ERROR  |    |  |
| Taller de Torno industrial PONCE   |    |  |
| INSTRUCCIONES / PROCEDIMIENTO (continuación)   |    |  |
|  | OK | Ayuda Visual 2   |
| 6.- Tome el <b>patrón de medición de magnitud menor</b> evitando tocar las caras de medición (acabado espejo) mídalo asegurando un ajuste adecuado del block y anote el resultado en la <b>tabla 1</b> , si el micrómetro es de lectura analógica asegúrese de tener su vista perpendicular la escala de medición. | OK |    |
| 7.- Tome el <b>patrón de medición de magnitud media</b> evitando tocar las caras de medición (acabado espejo) mídalo asegurando un ajuste adecuado del block y anote el resultado en la <b>tabla 1</b> , si el micrómetro es de lectura analógica asegúrese de tener su vista perpendicular la escala de medición. | OK |   |
| 8.- Tome el <b>patrón de medición de magnitud alta</b> evitando tocar las caras de medición (acabado espejo) mídalo asegurando un ajuste adecuado del block y anote el resultado en la <b>tabla 1</b> , si el micrómetro es de lectura analógica asegúrese de tener su vista perpendicular la escala de medición.  | OK |  |
| 9.- Repita los pasos 5, 6 y 7 hasta llenar las 5 repeticiones que le pide la <b>tabla 1</b> .  | OK |  |
| 10.- Cierre el instrumento (utilizando la perilla del trinquete) hasta su mínima medida, hasta obtener 5 clicks del ratch, observe que el instrumento marque cero, vuelvalo a abrir a 1/2 milimetro y pongalo en su estuche.   | OK |  |
| 11.- Calcule los promedios de las 5 lecturas a cada patrón, rescatando al menos 3 cifras significativas, anote los tres promedios (parte baja, media y alta) en la <b>tabla 1</b> .  | OK |  |
| 12.- Calcule el error absoluto restando al valor de referencia (patrón) el promedio respectivo y anotelo en la <b>tabla 1</b> .  | OK |  |

|  |  | Calificación de exactitud de Instrumento            |  |   |
|--|--|---|--|---|
|  |  | <= 0.4%   | >0.4% y <0.9%                                      | >= 0.9%                                 |
| <b>13.- Evalúe el nivel de error relativo según el siguiente criterio:</b><br>% error menor a 0.4% Instrumento suficiente mente exacto<br>% error entre 0.4% y 0.9% Instrumento aceptable según uso<br>% error mayor que 0.9% Instrumento no aceptable |  | <b>VERDE</b><br>Instrumento suficiente mente exacto | <b>AMARILLO</b><br>Instrumento aceptable según uso | <b>ROJO</b><br>Instrumento no aceptable |
|  | <b>14.- Entregue el instrumento con los materiales recibidos y este formato debidamente lleno al jefe de taller y comente alguna anomalía encontrada inmediatamente.</b> |   |  |   |

**Tabla 1**

|                          |   | VALORES DE REFERENCIA (PATRONES) |   |   |
|--------------------------|---|----------------------------------|---|---|
| Medición                 |   | 1                                | 2 | 3 |
| 1                        |   |                                  |   |   |
| 2                        |   |                                  |   |   |
| 3                        |   |                                  |   |   |
| 4                        |   |                                  |   |   |
| 5                        |   |                                  |   |   |
| Promedio =               |   |                                  |   |   |
| VALOR REFERENCIA         |   |                                  |   |   |
| Error Absoluto o Sesgo = | Valor de Referencia - Promedio                              |                                  |   |   |
| Error Relativo           | $\frac{\text{Error ABS}}{\text{Valor de Referencia}} * 100$ |                                  |   |   |

**OBSERVACIONES:**

.....

.....

.....

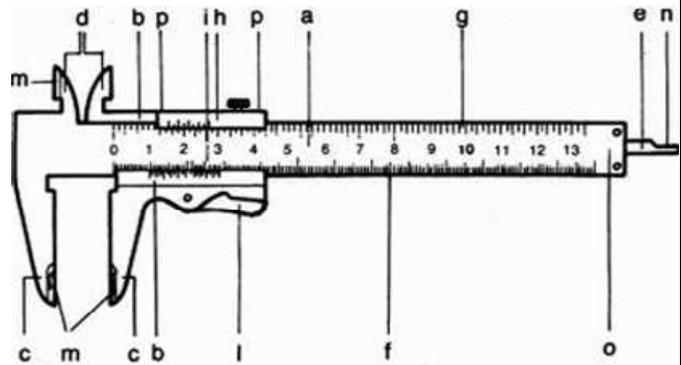
Realizó \_\_\_\_\_

Aprobó y Recibió \_\_\_\_\_

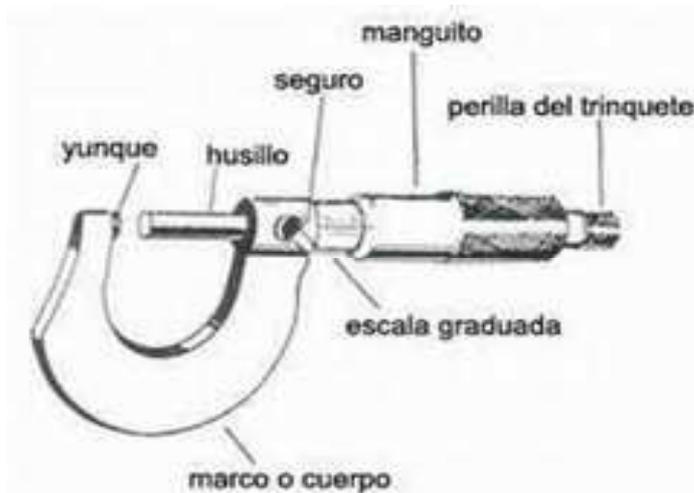
## ANEXO

### Partes básicas de un calibrador Vernier

- a) Cuerpo del calibre
- b) Corredera.
- c) Mandíbulas para exteriores.
- d) Orejas para interiores
- e) Varilla para profundidad.
- f) Escala graduada en milímetros.
- g) Escala graduada en pulgadas.
- h) Graduación del nonio en pulgadas
- i) Graduación del nonio en milímetros.
- l) Pulsador para el bloqueo del cursor. En algunos es sustituido portornillo.
- M) Embocaduras para la medida de ranuras, roscas, etc.
- n) Embocadura de la varilla de profundidad para penetrar en agujeros pequeños.



### Partes básicas de un Micrómetro de Exteriores



**Anexo 4.** Ventana de sesión de Minitab correspondiente a estudio R&R y a figura 4.5

---

**08/08 10:55:16**


---

Bienvenido a Minitab, presione F1 para obtener ayuda.

**Hoja de trabajo de estudio R&R del sistema de medición**

Partes: 9 Operadores: 5  
 Réplicas: 3 Total de corridas: 135

---

**04/09 22:49:29**


---

Bienvenido a Minitab, presione F1 para obtener ayuda.

Recuperando proyecto desde el archivo: 'C:\Users\servidor\Documents\Estudio R&R CalibDigital.MPJ'

**Estudio R&R del sistema de medición - Método XBarra/R**

| Fuente                            | VarComp   | %Contribución<br>(de VarComp) |
|-----------------------------------|-----------|-------------------------------|
| R&R del sistema de medición total | 0.0000025 | 97.14                         |
| Repetibilidad                     | 0.0000009 | 36.33                         |
| Reproducibilidad                  | 0.0000016 | 60.81                         |
| Parte a parte                     | 0.0000001 | 2.86                          |
| Variación total                   | 0.0000026 | 100.00                        |

La tolerancia del proceso es = 0.001

| Desv. Est.<br>Fuente              | (DE)      | Var. de estudio (6 * SD) |
|-----------------------------------|-----------|--------------------------|
| R&R del sistema de medición total | 0.0015776 | 0.0094655                |
| Repetibilidad                     | 0.0009648 | 0.0057885                |
| Reproducibilidad                  | 0.0012482 | 0.0074893                |
| Parte a parte                     | 0.0002706 | 0.0016234                |
| Variación total                   | 0.0016006 | 0.0096037                |

| Fuente                            | %Var. de estudio (%SV) | %Tolerancia<br>(SV/Toler) |
|-----------------------------------|------------------------|---------------------------|
| R&R del sistema de medición total | 98.56                  | 946.55                    |
| Repetibilidad                     | 60.27                  | 578.85                    |
| Reproducibilidad                  | 77.98                  | 748.93                    |
| Parte a parte                     | 16.90                  | 162.34                    |
| Variación total                   | 100.00                 | 960.37                    |

Número de categorías distintas = 1

R&R del sistema de medición para Ensayo

**Anexo 5.** Ventana de sesión de Minitab correspondiente a estudio R&R y a figura 4.6

---

04/09 23:12:53

---

Bienvenido a Minitab, presione F1 para obtener ayuda.

**Hoja de trabajo de estudio R&R del sistema de medición**

Partes: 9 Operadores: 5  
 Réplicas: 3 Total de corridas: 135

**Estudio R&R del sistema de medición - Método XBarra/R**

R&R del sistema de medición para Ensayo

Nombre del sistema de medición: Taller de Torno Industrial Navojoa  
 Fecha del estudio:  
 Notificado por: Rafael Verdugo  
 Tolerancia: .0005  
 Misc:

| Fuente                            | VarComp   | %Contribución<br>(de VarComp) |
|-----------------------------------|-----------|-------------------------------|
| R&R del sistema de medición total | 0.0000001 | 78.02                         |
| Repetibilidad                     | 0.0000000 | 24.59                         |
| Reproducibilidad                  | 0.0000000 | 53.43                         |
| Parte a parte                     | 0.0000000 | 21.98                         |
| Variación total                   | 0.0000001 | 100.00                        |

| Desv.Est.                         | (DE)      | Var. de estudio (6 * SD) |
|-----------------------------------|-----------|--------------------------|
| R&R del sistema de medición total | 0.0002630 | 0.0015783                |
| Repetibilidad                     | 0.0001477 | 0.0008860                |
| Reproducibilidad                  | 0.0002177 | 0.0013061                |
| Parte a parte                     | 0.0001396 | 0.0008377                |
| Variación total                   | 0.0002978 | 0.0017868                |

| Fuente                            | %Var. de estudio (%SV) |
|-----------------------------------|------------------------|
| R&R del sistema de medición total | 88.33                  |
| Repetibilidad                     | 49.59                  |
| Reproducibilidad                  | 73.10                  |
| Parte a parte                     | 46.88                  |
| Variación total                   | 100.00                 |

Número de categorías distintas = 1

R&R del sistema de medición para Ensayo

## Anexo 6. Ventana de sesión de Minitab correspondiente a estudio R&R y a figura 4.12.

10/09 9:27:05

Bienvenido a Minitab, presione F1 para obtener ayuda.

### Estudio R&R del sistema de medición - Método XBarra/R

R&R del sistema de medición para Ensayo

Nombre del sistema de medición: R&R Inicial Comparativo operadores 3-4-5  
 Fecha del estudio:  
 Notificado por: Rafael Verdugo  
 Tolerancia: 0.005  
 Misc:

| Fuente                            | VarComp   | %Contribución<br>(de VarComp) |
|-----------------------------------|-----------|-------------------------------|
| R&R del sistema de medición total | 0.0000044 | 95.56                         |
| Repetibilidad                     | 0.0000018 | 38.29                         |
| Reproducibilidad                  | 0.0000026 | 57.27                         |
| Parte a parte                     | 0.0000002 | 4.44                          |
| Variación total                   | 0.0000046 | 100.00                        |

La tolerancia del proceso es = 0.001

| Desv. Est.                        | (DE)      | Var. de estudio (6 * SD) |
|-----------------------------------|-----------|--------------------------|
| Fuente                            |           |                          |
| R&R del sistema de medición total | 0.0020909 | 0.0125452                |
| Repetibilidad                     | 0.0013235 | 0.0079412                |
| Reproducibilidad                  | 0.0016186 | 0.0097118                |
| Parte a parte                     | 0.0004509 | 0.0027056                |
| Variación total                   | 0.0021389 | 0.0128336                |

| Fuente                            | %Var. de estudio (%SV) | %Tolerancia<br>(SV/Toler) |
|-----------------------------------|------------------------|---------------------------|
| R&R del sistema de medición total | 97.75                  | 1254.52                   |
| Repetibilidad                     | 61.88                  | 794.12                    |
| Reproducibilidad                  | 75.67                  | 971.18                    |
| Parte a parte                     | 21.08                  | 270.56                    |
| Variación total                   | 100.00                 | 1283.36                   |

Número de categorías distintas = 1

R&R del sistema de medición para Ensayo

## Anexo 7. Ventana de sesión de Minitab correspondiente a estudio R&R y a figura 4.13.

10/09 9:32:25

Bienvenido a Minitab, presione F1 para obtener ayuda.

### Estudio R&R del sistema de medición - Método XBarra/R

R&R del sistema de medición para Ensayo

Nombre del sistema de medición: R&R Final Comparativo operadores 3-4-5 Calib Vernier

Fecha del estudio:

Notificado por: Rafael Verdugo

Tolerancia: .005

Misc:

| Fuente                            | VarComp   | %Contribución<br>(de VarComp) |
|-----------------------------------|-----------|-------------------------------|
| R&R del sistema de medición total | 0.0000031 | 85.45                         |
| Repetibilidad                     | 0.0000019 | 54.27                         |
| Reproducibilidad                  | 0.0000011 | 31.18                         |
| Parte a parte                     | 0.0000005 | 14.55                         |
| Variación total                   | 0.0000036 | 100.00                        |

La tolerancia del proceso es = 0.001

Desv.Est.

| Fuente                            | (DE)      | Var. de estudio (6 * SD) |
|-----------------------------------|-----------|--------------------------|
| R&R del sistema de medición total | 0.0017486 | 0.0104917                |
| Repetibilidad                     | 0.0013935 | 0.0083612                |
| Reproducibilidad                  | 0.0010563 | 0.0063376                |
| Parte a parte                     | 0.0007215 | 0.0043290                |
| Variación total                   | 0.0018916 | 0.0113497                |

| Fuente                            | %Var. de estudio (%SV) | %Tolerancia<br>(SV/Toler) |
|-----------------------------------|------------------------|---------------------------|
| R&R del sistema de medición total | 92.44                  | 1049.17                   |
| Repetibilidad                     | 73.67                  | 836.12                    |
| Reproducibilidad                  | 55.84                  | 633.76                    |
| Parte a parte                     | 38.14                  | 432.90                    |
| Variación total                   | 100.00                 | 1134.97                   |

Número de categorías distintas = 1

R&R del sistema de medición para Ensayo

## Anexo 8. Ventana de sesión de Minitab correspondiente a estudio R&R y a figura 4.13.

10/09 10:02:02

Bienvenido a Minitab, presione F1 para obtener ayuda.

### Estudio R&R del sistema de medición - Método XBarra/R

R&R del sistema de medición para Ensayo

Nombre del sistema de medición: R&R Comparativo Inicial Operadores 3-4-5 Micrómetro DE

Fecha del estudio:

Notificado por: Rafael Verdugo

Tolerancia: .0005

Misc:

| Fuente                            | VarComp   | %Contribución<br>(de VarComp) |
|-----------------------------------|-----------|-------------------------------|
| R&R del sistema de medición total | 0.0000000 | 74.82                         |
| Repetibilidad                     | 0.0000000 | 60.85                         |
| Reproducibilidad                  | 0.0000000 | 13.96                         |
| Parte a parte                     | 0.0000000 | 25.18                         |
| Variación total                   | 0.0000001 | 100.00                        |

La tolerancia del proceso es = 0.001

Desv.Est.

| Fuente                            | (DE)      | Var. de estudio (6 * SD) |
|-----------------------------------|-----------|--------------------------|
| R&R del sistema de medición total | 0.0002207 | 0.0013244                |
| Repetibilidad                     | 0.0001991 | 0.0011945                |
| Reproducibilidad                  | 0.0000954 | 0.0005722                |
| Parte a parte                     | 0.0001281 | 0.0007684                |
| Variación total                   | 0.0002552 | 0.0015312                |

| Fuente                            | %Var. de estudio (%SV) | %Tolerancia<br>(SV/Toler) |
|-----------------------------------|------------------------|---------------------------|
| R&R del sistema de medición total | 86.50                  | 132.44                    |
| Repetibilidad                     | 78.01                  | 119.45                    |
| Reproducibilidad                  | 37.37                  | 57.22                     |
| Parte a parte                     | 50.18                  | 76.84                     |
| Variación total                   | 100.00                 | 153.12                    |

Número de categorías distintas = 1

R&R del sistema de medición para Ensayo

## Anexo 9. Ventana de sesión de Minitab correspondiente a estudio R&R y a figura 4.13.

10/09 10:05:29

Bienvenido a Minitab, presione F1 para obtener ayuda.

### Estudio R&R del sistema de medición - Método XBarra/R

R&R del sistema de medición para Ensayo

Nombre del sistema de medición: R&R Comparativo Final Operadores 3-4-5 Micrómetro DE

Fecha del estudio:

Notificado por: Rafael Verdugo

Tolerancia: .0005

Misc:

| Fuente                            | VarComp   | %Contribución<br>(de VarComp) |
|-----------------------------------|-----------|-------------------------------|
| R&R del sistema de medición total | 0.0000000 | 38.97                         |
| Repetibilidad                     | 0.0000000 | 38.97                         |
| Reproducibilidad                  | 0.0000000 | 0.00                          |
| Parte a parte                     | 0.0000000 | 61.03                         |
| Variación total                   | 0.0000000 | 100.00                        |

La tolerancia del proceso es = 0.001

Desv.Est.

| Fuente                            | (DE)      | Var. de estudio (6 * SD) |
|-----------------------------------|-----------|--------------------------|
| R&R del sistema de medición total | 0.0001225 | 0.0007351                |
| Repetibilidad                     | 0.0001225 | 0.0007351                |
| Reproducibilidad                  | 0.0000000 | 0.0000000                |
| Parte a parte                     | 0.0001533 | 0.0009199                |
| Variación total                   | 0.0001963 | 0.0011775                |

| Fuente                            | %Var. de estudio (%SV) | %Tolerancia<br>(SV/Toler) |
|-----------------------------------|------------------------|---------------------------|
| R&R del sistema de medición total | 62.42                  | 73.51                     |
| Repetibilidad                     | 62.42                  | 73.51                     |
| Reproducibilidad                  | 0.00                   | 0.00                      |
| Parte a parte                     | 78.12                  | 91.99                     |
| Variación total                   | 100.00                 | 117.75                    |

Número de categorías distintas = 1

R&R del sistema de medición para Ensayo