

**MEDICIÓN E INSPECCIÓN DE PIEZAS UTILIZANDO  
BRAZOS PORTÁTILES DE MEDICIÓN POR COORDENADAS**

**RICARDO HENAO AGUDELO**

**WILLIAM OROZCO PARRA**

**UNIVERSIDAD EAFIT**

**ESCUELA DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN**

**MEDELLÍN**

**2011**

**MEDICIÓN E INSPECCIÓN DE PIEZAS UTILIZANDO  
BRAZOS PORTÁTILES DE MEDICIÓN POR COORDENADAS**

**RICARDO HENAO AGUDELO**

**WILLIAM OROZCO PARRA**

**Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero de Producción**

**Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico**

**Asesor:**

**Ing. Carlos Arturo Rodríguez Arroyave**

**UNIVERSIDAD EAFIT**

**ESCUELA DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN**

**MEDELLÍN**

**2011**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Medellín, mayo de 2011

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer:

- A nuestras familias por su apoyo incondicional durante todos estos años de estudio.
- A Mónica María Pérez Chavarría y Nelson Bedoya Cardona técnicos del laboratorio de Metrología de la Universidad EAFIT, por brindarnos el tiempo, las herramientas y el apoyo necesario para la realización del proyecto.
- Al Ingeniero y asesor del proyecto Carlos Arturo Rodríguez por su disponibilidad y orientación para el desarrollo de este proyecto.
- Al centro multimedial de la Universidad EAFIT por su disposición para prestar los servicios de filmación y edición de los videos de apoyo en este proyecto.
- A Juan Gregorio Arrieta coordinador de proyectos de grado por su tiempo y colaboración.

## CONTENIDO

	Pág.
1. OBJETIVOS .....	15
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2. JUSTIFICACIÓN .....	16
3. ALCANCE .....	18
4. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	19
5. ANTECEDENTES .....	20
6. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	21
7. ASPECTO ECONÓMICO.....	22
8. ESTADO DEL ARTE .....	23
8.1 TIPOS DE MÁQUINAS DE MEDICIÓN POR COORDENADAS MMC .....	25
8.1.1 CMMS TIPO PUENTE .....	25
8.1.2 CMMS DE BRAZO HORIZONTAL.....	25
8.1.3 CMMS TIPO GANTRY.....	26
8.1.4 MCA TIPO BRAZO PORTÁTIL.....	27
9. MARCO TEÓRICO.....	28
9.1 MÁQUINAS DE MEDICIÓN POR COORDENADAS (CMM) .....	28
9.2 DEFINICIÓN MÁQUINA DE MEDICIÓN POR COORDENADAS .....	29
9.3 APLICACIONES DE LAS MÁQUINAS DE MEDICIÓN POR COORDENADAS MMC.....	29
9.4 CÓMO FUNCIONAN LAS MMC .....	30
9.5 SISTEMAS DE REFERENCIA.....	30
9.6 ALINEAMIENTOS.....	31
9.7 ORIGEN DE LAS MEDICIONES .....	32
9.8 SISTEMA DE PALPADO .....	32
9.9 SECUENCIA DE MEDICIÓN EN MMC.....	33
10. APLICACIONES GENERALES DE LOS BRAZOS PORTÁTILES DE MEDICIÓN POR COORDENADAS .....	39
11. CASAS FABRICANTES DE MCA .....	40

12. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MCA MARCA METRIS.....	41
13. ELEMENTOS O ACCESORIOS DEL BRAZO PORTÁTIL METRIS .....	42
13.1 BATERÍA RECARGABLE .....	42
14. SOFTWARE DE INSPECCIÓN.....	44
14.1 CMM MANAGER .....	44
15. PIEZA PILOTO.....	45
16. NORMAS INTERNACIONALES DE VERIFICACION .....	46
16.1 ASME B89.4.22-2004 .....	46
16.1.1 Prueba de esfera punto a punto o prueba de diámetro efectivo (Effective Diameter Performance Test):.....	46
16.1.2 Prueba de articulación de punto sencillo, de repetitividad de punto o de cono (Single-Point Articulación Performance Test, SPAT) .....	47
16.1.3 Prueba de precisión longitudinal volumétrica o de rendimiento volumétrico (Volumetric Performance Test).....	51
17. RECOMENDACIÓN TECNICA VDI 2617 PARTE 9 .....	56
18. METODOLOGÍA.....	57
19. INSTRUCTIVO PARA LA CONEXIÓN DEL EQUIPO Y CALIBRACIÓN DEL PALPADOR .....	58
20. INSTRUCTIVO PARA LA UBICACIÓN DEL CERO DE LA PIEZA .....	63
21. PROCEDIMIENTO TÉCNICO PARA LA VERIFICACIÓN LONGITUDINAL DE BRAZOS PORTÁTILES DE MEDICIÓN .....	65
21.1 OBJETIVO .....	65
21.2 ALCANCE.....	65
21.3 TERMINOLOGIA .....	65
21.3.1 Informe .....	65
21.3.2 Verificación .....	65
21.3.3 Patrón de Medición.....	66
21.3.4 División de escala.....	66
21.3.5 Rango de Medición.....	66
21.3.6 Incertidumbre de Medición .....	66
21.4 DOCUMENTOS Y VIDEOS DE REFERENCIA .....	66
21.5 NORMATIVA.....	67
21.6 DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD.....	68

21.6.1 Etapa uno .....	68
21.6.2 Etapa dos .....	69
21.6.3 Etapa tres .....	70
21.6.4 Etapa cuatro .....	70
21.6.5 Etapa cinco .....	71
22. PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA DE DIÁMETRO EFECTIVO Y PRUEBA DE CONO SPAT .....	73
22.1 OBJETIVO .....	73
22.2 ALCANCE .....	73
22.3 TERMINOLOGIA .....	73
22.4 DOCUMENTOS Y VIDEOS DE REFERENCIA .....	74
22.5 NORMATIVA .....	75
22.6 DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD .....	75
22.6.1 Etapa uno .....	75
22.6.2 Etapa dos .....	76
22.6.3 Etapa tres .....	77
23. TABLA COMPARATIVA DE VALORES DE LA PIEZA PILOTO .....	84
24. RECOMENDACIONES .....	86
25. CONCLUSIONES .....	87
BIBLIOGRAFIA .....	89

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Presupuesto .....	22
Tabla 2. Especificaciones técnicas MCA METRIS .....	41
Tabla 3. Desviaciones de diámetro .....	47
Tabla 4. Ejemplo de formato para registros de verificación.....	71
Tabla 5. Ejemplo de formato para registros de las pruebas. Prueba de diámetro efectivo .....	78
Tabla 6. Ejemplo de formato para registros de las pruebas. Prueba de cono.....	80
Tabla 7. Tabla comparativa de valores de la pieza piloto .....	84



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. MCA Tipo puente .....	25
Figura 2. MCA Tipo brazo horizontal.....	26
Figura 3. MCA Tipo Gantry .....	26
Figura 4. Zonas del brazo .....	27
Fuente: Elaboración propia .....	27
Figura 5. Origen de las mediciones.....	31
Figura 6. Palpador localizado en la coordenada (8, 9,3).....	31
Figura 7. Monoblock de 4 cilindros.....	32
Figura 8. Rutina de calibración del palpador .....	33
Figura 9. Ejes de rotación .....	37
Fuente: Elaboración propia .....	37
Figura 10. Brazo portátil de 7 ejes marca METRIS del Laboratorio de Metrología Universidad EAFIT.....	38
Fuente: Elaboración propia .....	38
Figura 11. Batería Recargable del MCA.....	42
Fuente: Elaboración propia .....	42
Figura 12. Elementos del brazo portátil de medición por coordenadas METRIS. .	43
Fuente: Elaboración propia .....	43
Figura13. Pieza piloto.....	45
Fuente: Elaboración propia .....	45
Figura 14. Localización del asiento cinemática en el espacio.....	48
Fuente: Norma ASME B89.4.22.....	48
Figura 15. Las tres posiciones del asiento en el ensayo SPAT.....	49
Fuente: Norma ASME B89.4.22.....	49

Figura 16. Vista isométrica de las articulaciones. ....	50
Fuente: Norma ASME B89.4.22.....	50
Fuente: Norma ASME B89.4.22.....	51
Fuente: Norma ASME B89.4.22.....	51
Figura 17. Numeración de los octantes del volumen de medida del brazo articulado .....	52
Fuente: Norma ASME B89.4.22.....	52
Figura 18. Vista de las posiciones de la barra patrón .....	54
Fuente: Norma ASME B89.4.22.....	54
Fuente: Elaboración propia .....	62
Fuente: Elaboración propia .....	64
Fuente: Elaboración propia .....	71
Fuente: Elaboración propia .....	81

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. INFORME DE VERIFICACION LONGITUDINAL .....	90
ANEXO B. INFORME DE VERIFICACION DE PRUEBA DE DIAMETRO EFFECTIVO Y CENTRO DE ESFERAS.....	93
ANEXO C. INFORME DE PRUEBA DE CONO SPAT .....	97
ANEXO D. PLANOS DE LA PIEZA PILOTO.....	102
ANEXO E. INFORME DE INSPECCIÓN DE LA PIEZA PILOTO V.S CAD.....	105

## RESUMEN

Con la cantidad de productos que demandan las empresas y con la constante competencia que existe en el mercado, las personas buscan productos económicos y de buena calidad, por esto es indispensable que las empresas sean muy eficientes y competitivas para poder subsistir en el mercado.

La tecnología avanza rápidamente, y cada día surgen más herramientas que facilitan el control de calidad en las líneas de producción de las compañías en general, entre ellos se encuentran los brazos portátiles de medición por coordenadas principal objeto de estudio de este proyecto, que están revolucionando el mundo de la ingeniería brindándole a las empresas una mayor capacidad de estudiar cada vez situaciones más complejas que por medios convencionales no se podrían realizar.

No muchas empresas en Colombia en el sector metalmecánico auto-partes recurren a la medición e inspección de las piezas conformadas que posteriormente se ensamblan y salen al mercado con posibles defectos de calidad.

La idea con este proyecto en el medio es reforzar la implementación de dicha herramienta desarrollando guías de uso apoyados en video y estándares o procedimientos para la verificación de dichos equipos, necesarios para la medición e inspección de piezas metalmecánicas, contribuyendo así con el crecimiento y competitividad de las compañías y del país y aportando al aseguramiento Metrológico nacional.

## INTRODUCCIÓN

El proyecto que se describe a continuación ha sido realizado por los estudiantes de pregrado William Orozco y Ricardo Henao en colaboración con el laboratorio de Metrología de la universidad EAFIT y asesorado por el Ingeniero Carlos Rodríguez Arroyave.

El laboratorio de Metrología de la Universidad EAFIT inicia sus labores en el año 1980 prestando servicios en mediciones industriales de longitud y ángulo como unidad de servicios adscrito a la escuela de ingenierías , desde sus inicios hasta la actualidad ha realizado inversiones en la compra de equipos con tecnología de punta para atender el mercado de dichas mediciones además desde el año 1993 el laboratorio es acreditado por la Superintendencia de Industria y Comercio para calibración de instrumentos y longitud.

El problema real al cual se enfrenta este proyecto es que el laboratorio no dispone de conocimiento en cuanto a instrucciones de operación, verificación del equipo ni de documentación escrita donde se soporten estos conocimientos.

El objetivo principal es la medición e inspección de la pieza piloto a través de una herramienta como son los brazos portátiles de medición por coordenadas.

Al tener un procedimiento escrito y reproducible de verificación de brazos portátiles de medición por coordenadas avalado por el laboratorio de metrología de la Universidad EAFIT, se espera poder realizar medición e inspección sobre la pieza piloto, demostrando así que la maquina está midiendo dentro de los rangos permisibles entregados por el fabricante y que los tiempos de medición e inspección de piezas disminuyen respecto a otros equipos de medición como lo es el microscopio digital o cualquier otro método convencional.

Con respecto al equipo se presentaron ciertas dificultades como por ejemplo que el palpador de la maquina no era reconocido por el software, lo cual tuvo que ser resuelto con teleconferencias con la casa fabricante para su posterior actualización del software, además de la consecución del material de la pieza piloto ya que el material estaba escaso en el medio.

Al finalizar el proyecto se logró cumplir con los objetivos específicos planteados en el anteproyecto. Obteniendo así pues un procedimiento escrito de verificación para brazos portátiles de medición por coordenadas y la medición e inspección de la pieza piloto la cual se puede evidenciar a través de las cifras presentadas posteriormente a la implementación.

Más allá de lograr el objetivo general y los específicos, se entrega al Laboratorio de Metrología una metodología simple para la medición e inspección de piezas en general con brazos portátiles de medición por coordenadas que sirve de punto de partida para futuros desarrollos con el fin de acercarse más todos los días a mejorar los procesos de medición, dependiendo de las tolerancias exigidas en el proceso.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Medir e inspeccionar piezas metalmecánicas utilizando brazos portátiles de medición por coordenadas.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Desarrollar el procedimiento para la verificación de la exactitud de brazos articulados apoyándose en la norma internacional ASME B89.4.22; Con los recursos disponibles del laboratorio de metrología de la universidad EAFIT.
- Desarrollar estándares e instructivos de uso apoyados en videos para el proceso de medición e inspección del brazo portátil de medición por coordenadas METRIS del laboratorio de Metrología de la Universidad EAFIT.
- Fabricación de la pieza piloto a medir e inspeccionar recomendada por el fabricante de la máquina.
- Mostrar las utilidades de inspección al comparar los resultados medidos de la pieza piloto contra el modelo CAD de la pieza.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Hoy en día la industria metalmecánica es muy utilizada en varios sectores, especialmente en el sector autopartes automotor, electrodomésticos, entre otros. Estos procesos son muy delicados porque muchos de ellos se hacen con materiales importados y esto hace que sea necesaria una fabricación casi sin errores y con tolerancias dimensionales estrechas.

Este proyecto busca desarrollar nuevas capacidades en recursos humanos y herramientas para la medición e inspección de piezas metalmecánicas o de lámina metálica. Estas facilidades harán factible que se puedan mejorar estos procesos, por ejemplo, logrando productos de mejor calidad y disminuyendo las pérdidas de material, bajando por ende los costos de producción. El proyecto permitirá que investigadores nacionales tanto de empresas como de universidades, participen de la evolución del conocimiento en estos campos e intercambien información con pares internacionales.

Académicamente, la pertinencia del proyecto se circunscribe a la necesidad actual de la universidad EAFIT a través del departamento de Ingeniería de Producción, en coordinación con el laboratorio de Metrología de formalizar la operación del equipo brazo portátil de medición por coordenadas y su aplicación a la medición e inspección de piezas en general por medio de procedimientos documentados apoyado en las normas y prácticas estandarizadas para este tipo de piezas, entendiéndose por inspección el proceso de verificación de las dimensiones de la pieza contra el modelo CAD original del diseño.

Desde el punto de vista práctico y con una proyección empresarial, el conocimiento técnico de las bondades que reporta el brazo portátil de medición por coordenadas, permitirá la comercialización de este nuevo servicio para la industria en general, y en particular para los sectores más vulnerables frente a la producción de piezas industriales con altos niveles de desperdicio.



Es decir, se busca, mediante un riguroso control de calidad del proceso de manufactura, efectuar inspección sobre la pieza conformada, mejorando la eficiencia, productividad y aumentando el crecimiento y competitividad de las empresas en el sector.

### 3. ALCANCE

El actual proyecto se considerará terminado cuando se disponga de los siguientes resultados:

- Un protocolo documentado para la verificación de la exactitud de brazos portátiles de medición por coordenadas para su uso en el laboratorio de metrología, como servicio interno en la Universidad EAFIT y externo para la industria que demande esta tecnología.
- Un protocolo escrito y con videos de los procedimientos para la medición e inspección de piezas con el brazo portátil del laboratorio de metrología.
- Una pieza maquinada en duraluminio recomendada por el fabricante en donde se aplique el conocimiento práctico documentado en este proyecto.
- Un reporte de medición de la pieza piloto donde se muestre que la máquina está midiendo dentro del error permisible indicado por el fabricante.

#### **4. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

La Universidad EAFIT, antes llamada Escuela de Administración y Finanzas e Instituto Tecnológico de Medellín, es una institución de educación superior en Colombia, creada por el sector empresarial, hoy reconocida como una de las principales universidades del país. Ha recibido por segunda vez consecutiva, siendo la primera universidad colombiana en lograrlo, la acreditación institucional del alta calidad, por parte del Ministerio de Educación Nacional, vigente hasta 2018.

EAFIT cuenta con su sede principal en la ciudad de Medellín donde su oferta académica incluye pregrados en Administración e Ingenierías, posgrados, cursos de idiomas, entre otros, además de su segunda sede en el oriente antioqueño, específicamente en el corregimiento de Llanogrande (Rionegro), la cual está dirigida a posgrados, diplomaturas y cursos de idiomas más específicamente para empresarios del sector; entre otras sedes en el país como Pereira y Bogotá.

El proyecto se llevará a cabo en la universidad EAFIT con sede en la ciudad de Medellín, bajo la coordinación del Departamento de Ingeniería de Producción y cuyas pruebas de análisis se realizarán en el laboratorio de Metrología.

## **5. ANTECEDENTES**

La Universidad EAFIT, en coordinación con el laboratorio de Metrología, no cuenta con ningún tipo de antecedentes de información documentada en cuanto al uso del equipo, procedimientos o estándares para la verificación de brazos portátiles de medición por coordenadas, y medición e inspección con MCA, actividades que se desarrollaran en el transcurso de este proyecto.

## 6. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El laboratorio de Metrología de la Universidad EAFIT en el mes de Junio del año 2010 adquiere un brazo portátil de medición por coordenadas marca METRIS, el cual se adquirió con el ánimo de servir los tres frentes que atiende el laboratorio como lo es la docencia, la investigación y la extensión. En el centro de laboratorios debido a la poca información documentada que existe en el medio, no se dispone de conocimiento en cuanto a instrucciones de operación, verificación del equipo y tampoco de procedimientos documentados para el manejo del mismo.

En el medio industrial a nivel departamental son solicitados los servicios de medición longitudinal por equipos de contacto como lo es el brazo de medición por coordenadas. Entre las empresas que solicitan estos servicios con más frecuencia están por ejemplo:

- Industrias Haceb S.A, la cual generalmente solicita los servicios de medición de láminas figuradas, troqueles de embutición y algunos elementos de máquinas usados en su mantenimiento.
- Sofasa S.A mediante sus convenios con EAFIT ha requerido los servicios de medición de culatas para motores usando los métodos de medición por coordenadas.
- Industrias Estra S.A es otra de las compañías del sector que solicita medición de sus moldes de inyección al igual que piezas para el mantenimiento de su maquinaria; estos son algunos de los muchos ejemplos de empresas que hasta ahora han hecho contacto con el laboratorio de Metrología para que a un futuro cercano se le pueda brindar estos servicios.

Debido a que el gremio industrial solicita dicha tecnología se presenta el proyecto de grado como fuente de conocimiento y desarrollo para que en un futuro cercano puedan acceder a ella por medio del laboratorio de Metrología de la Universidad.

## 7. ASPECTO ECONÓMICO

Para la realización del presente proyecto se han requerido determinados componentes y operarios que hubiesen supuesto un costo en el mercado que se desglosa a continuación en la siguiente tabla a modo de presupuesto.

Tabla 1. Presupuesto

<b>Descripción de la Unidad</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio Unidad (\$)</b>	<b>Precio total (\$)</b>
Brazo METRIS 7 ejes	1	\$ 130.000.000	\$ 130.000.000
Material pieza piloto	1	\$ 300.000	\$ 300.000
Hora de trabajo operario	40	\$ 60.000,00	\$ 2.400.000
Norma ASME B89.4.22	1	\$ 120.000	\$ 210.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 132.910.000</b>

Cabe resaltar que toda la partida presupuestal fue asumida por el centro de costos del Laboratorio de Metrología de la Universidad EAFIT, debido a que todo este material quedara para uso interno del laboratorio de Metrología.

## 8. ESTADO DEL ARTE

En la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica e Industrial de la Universidad de Zaragoza se desarrolló una tesis de maestría de análisis de procedimientos de verificación de brazos articulados de medición por coordenadas Norma ASME B89.4.22-2004, realizado por Javier Bonilla González.

El Proyecto consiste en la evaluación del estado y propiedades generales de un brazo de medida de marca Faro. Este proyecto compara la verificación de los brazos portátiles de medición tanto por la norma internacional ASME B89.4.22-2004 y con la recomendación técnica VDI 2617 y concluye en que los errores máximos son mayores en la VDI que en la ASME, los errores medios en su mayoría también (exceptuando en el caso de las pruebas de volúmenes debido a que existe algún error que modificaría la media y la aumentaría en gran medida), y en el caso de las desviaciones estándar, son mayores en ASME que en VDI, excepto en la prueba SPAT. En este último caso, estas desviaciones mayores podrían ser debidas a ciertas medidas con excesivo error en el caso de la normativa americana, quizás la directriz alemana para esto es más minuciosa, ya que requiere de más repeticiones y de mayor número de posiciones.

Esto lleva a pensar que la norma más restrictiva es la VDI, ya que obtiene resultados de errores mayores para pruebas similares a las de la norma ASME.

Otra conclusión que se ha obtenido de la comparación de las normas es que cuantos mayores son las distancias a medir, mayores son los errores. Esto se debe a que el brazo requiere un movimiento más complejo y con más posiciones de las articulaciones<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> BONILLA GONZÁLEZ, Javier. Análisis de procedimientos de verificación de brazos articulados de medición por coordenadas. Norma ASME B89.4.22-2004. Disponible en: <http://zagan.unizar.es/TAZ/EUITIZ/2010/5131/TAZ-PFC-2010-202.pdf>

Este proyecto se convierte en una importante fuente de información para el procedimiento de verificación a implementar aunque no explica procedimientos de uso del equipo, objetivo específico del presente proyecto de estudio.

A nivel nacional es poca la información documentada que se tiene al respecto sobre estos equipos, sin embargo desde el año 2002 se conoce que industrias UMO S.A con domicilio en la ciudad de Medellín y la cual se dedica a la fabricación de exhostos utiliza un brazo de medición, para las medidas de estos elementos que generalmente tienen rangos hasta de 3 m.

Industrias Haceb S.A dentro de un proyecto de investigación en cooperación con Colciencias adquirió en el año 2010 un brazo de medición por coordenadas para la medición de accesorios de estufas y neveras.

La planta cervecera Leona de propiedad de Bavaria S.A adquiere en el año 2005 un brazo portátil de medición portátil para la medición de sus elementos de máquinas y aplicar conocimientos para la ingeniería inversa.

Todo lo anterior es evidencia objetiva que este tipo de tecnología está entrando al país para suplir las necesidades de la industria cada vez más exigentes en el manejo de las tolerancias y los controles metrológicos.

En la universidad EAFIT se llevó a cabo un trabajo de grado titulado inspección y deformación de lámina metálica<sup>2</sup> cuyo objeto de estudio fue el de aprender y documentar como hacer un análisis del proceso de estampado de lámina metálica basándose en el sistema de medición óptico, escáner láser y software de simulación. Si bien dicho estudio se convierte en una fuente de información secundaria, no suministra información técnica acerca del nuevo sistema de medición e inspección mediante la tecnología CMM, objeto del presente estudio.

---

<sup>2</sup> Disponible en: <http://bdigital.eafit.edu.co:8080/bdng/bdigital/PROYECTO/P671.3B412/P671.3B412.xml>.  
[Consultada: marzo 10 de 2011]



## 8.1 TIPOS DE MÁQUINAS DE MEDICIÓN POR COORDENADAS MMC

### 8.1.1 CMMS TIPO PUENTE

Son máquinas de medición de aplicación general, ideales para inspección de primeras muestras, control de proceso en línea, certificación de dispositivos e ingeniería de desarrollo y piezas pequeñas y medianas.

Figura 1. MCA Tipo puente



Fuente:[http://www.nikonmetrology.com/products/coordinate\\_measuring\\_machines/bridge\\_cmm/general\\_purpose\\_bridge\\_cmm/](http://www.nikonmetrology.com/products/coordinate_measuring_machines/bridge_cmm/general_purpose_bridge_cmm/)

### 8.1.2 CMMS DE BRAZO HORIZONTAL

Proveen la posibilidad de inspeccionar grandes piezas principalmente en la industria del ensamble y estampado de lámina, incluso cuando se requiere inspección en línea.

Figura 2. MCA Tipo brazo horizontal



Fuente:[http://www.nikonmetrology.com/products/coordinate\\_measuring\\_machines/horizontal\\_arm\\_cmm/performance\\_series/](http://www.nikonmetrology.com/products/coordinate_measuring_machines/horizontal_arm_cmm/performance_series/)

### 8.1.3 CMMS TIPO GANTRY

Las cuales proveen inspección de precisión sobre las piezas y ensambles más grandes.

Figura 3. MCA Tipo Gantry

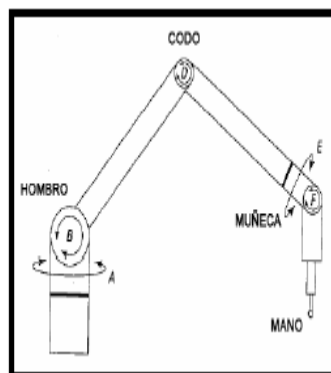


Fuente:[http://www.nikonmetrology.com/products/coordinate\\_measuring\\_machines/gantry\\_cmm/performance\\_series](http://www.nikonmetrology.com/products/coordinate_measuring_machines/gantry_cmm/performance_series)

#### 8.1.4 MCA TIPO BRAZO PORTÁTIL

Es un sistema preciso, confiable y cómodo de transportar que puede ser equipado con una amplia gama de dispositivos de sondeo. Operando inalámbricamente con baterías recargables es un equipo que se comporta perfectamente en el laboratorio de Metrología, en el taller, en las líneas de ensamblaje y en el campo. Consiste en una serie de tramos conectados generalmente por articulaciones dobles que permiten realizar al brazo los giros necesarios para alcanzar una posición en el espacio. Estas articulaciones dobles materializan giros entorno a ejes perpendiculares entre sí. Su naturaleza de operación manual hace que no se presenten configuraciones con articulaciones prismáticas que complicarían su manipulación, por lo que, los brazos de medida existentes en la actualidad, presentan configuraciones basadas en articulaciones giratorias.

Figura 4. Zonas del brazo



Fuente: Elaboración propia

Aparte de las normas ASME B89.4.22 y las recomendación técnica VDI 2617 parte 9 , esta también la norma ISO 10360 la cual describe procedimientos relacionados con verificaciones de maquinas de medición por coordenadas.

## 9. MARCO TEÓRICO

### 9.1 MÁQUINAS DE MEDICIÓN POR COORDENADAS (CMM)

La Máquina de Medición por Coordenadas puede ser definida como una máquina que emplea tres componentes móviles que se trasladan a lo largo de guías con recorridos ortogonales, para medir una pieza por determinación de las coordenadas X, Y, Z de los puntos de la misma con un palpador de contacto generalmente.

Son instrumentos que sirven para realizar mediciones dimensionales y de desviaciones de la regularidad geométrica de objetos con forma simple o compleja.

Las hay de distintas dimensiones, tipos, materiales y exactitudes de medición y para aplicación en laboratorios de metrología, laboratorios industriales y en las líneas de producción.

Aunque las Máquinas de Medición por Coordenadas son diferentes entre sí, dependiendo del volumen de medición y la aplicación para las que son fabricadas, todas operan bajo el mismo principio: el registro de una pieza con una técnica de medición punto a punto, asignando a cada uno de éstos una terna de coordenadas referido a un sistema coordinado en 3D; y la vinculación numérica de las coordenadas asignadas a los puntos, con una geometría espacial completa de la pieza a través de un software de medición en un equipo de procesamiento de datos.

Los software comerciales básicos de MMC cuando menos, manejan los elementos geométricos regulares como son el punto, la línea, el plano, el círculo, la esfera, el cilindro y el cono.

## **9.2 DEFINICIÓN MÁQUINA DE MEDICIÓN POR COORDENADAS**

La posición de un punto en el espacio está definido, en coordenadas cartesianas, por los valores relativos de los tres ejes X, Y y Z con respecto a un sistema de referencia. Usando series de puntos, es posible construir el elemento geométrico que pase por ellos o que se aproxime al máximo.

Una máquina de medir tridimensional es capaz de definir unívocamente y con extrema precisión la posición de estos puntos en un espacio tridimensional, y de calcular los parámetros significativos de las figuras geométricas sobre las que han sido tomados estos puntos. Una máquina de medida por coordenadas es pues un instrumento de medida absoluta de precisión capaz de determinar la dimensión, forma, posición y "actitud" (perpendicularidad, planaridad, etc.) de un objeto midiendo la posición de distintos puntos de su propia superficie.

## **9.3 APLICACIONES DE LAS MÁQUINAS DE MEDICIÓN POR COORDENADAS MMC**

Las máquinas de medir por coordenadas (MMC) se utilizan entre otras para las siguientes aplicaciones:

- Control de la correspondencia entre un objeto físico con sus especificaciones teóricas (expresadas en un dibujo o en un modelo matemático) en términos de dimensiones, forma, posición y actitud.
- Definición de características geométricas dimensionales (dimensiones, forma, posición y actitud) de un objeto, por ejemplo un molde cuyas características teóricas son desconocidas<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Disponible en: <http://www.comflyer.com/strg/docs/j19ho55dcnq.pdf>

## **9.4 CÓMO FUNCIONAN LAS MMC**

La extracción de la geometría de piezas se hace mediante: punto, línea, plano, círculo, cilindro, cono, esfera y toroide; y con estos elementos puede hacerse la medición completa de una pieza.

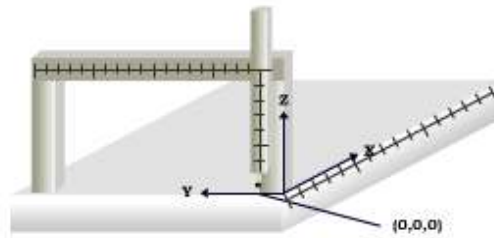
Las MMC cuentan con un sistema mediante el cual hacen contacto sobre las piezas a medir que es llamado sistema de palpación, cada vez que el sistema de palpación hace contacto sobre la pieza a medir, se adquiere un dato de medición (X, Y, Z) que puede ser procesado en un software que está almacenado en un ordenador.

## **9.5 SISTEMAS DE REFERENCIA**

Las MMC tienen definido su propio cero u origen de las mediciones definido como coordenada (0, 0,0) ver figura 1. Y es a partir de este origen que empiezan a medir, la máquina de la figura 2 tiene localizado el palpador en la coordenada (8, 9,3) que corresponden a las coordenadas (X, Y, Z) respectivamente.

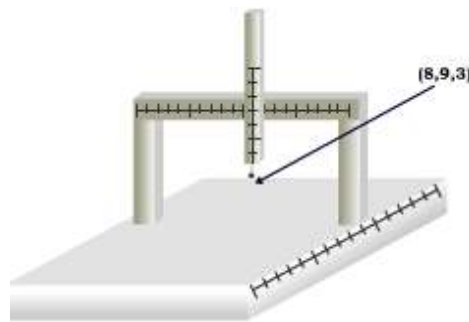
Cuando se trabaja con el sistema de medición de la MMC se le llama sistema de coordenadas máquina. Si el origen de las mediciones es la pieza, se le asigna a un punto determinado de la pieza el origen y se le nombra sistema de coordenadas pieza. Lo que se hace es trasladar el origen de coordenadas máquina a un punto de la pieza para que sea el origen y para que sea el sistema de coordenadas pieza.

Figura 5. Origen de las mediciones



Fuente: <http://www.cenam.mx/ammc/queSonMMC.aspx>

Figura 6. Palpador localizado en la coordenada (8, 9,3)



Fuente: <http://www.cenam.mx/ammc/queSonMMC.aspx>

## 9.6 ALINEAMIENTOS

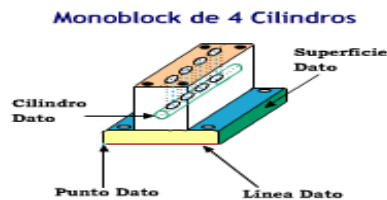
Al colocar la pieza sobre la mesa de coordenadas, no queda perfectamente paralela a los ejes de medición de la MMC, de tal forma que si se quiere medir un punto en el espacio de la mesa se estará introduciendo un error de alineamiento. A fin de eliminar este error es necesario alinear la pieza para que quede paralela a las escalas de medición.

## 9.7 ORIGEN DE LAS MEDICIONES

El origen de las mediciones sobre la pieza se define mediante el dato o sistema de referencia pieza, que generalmente viene del plano de fabricación o debe asignársele el origen según convenga a fin de determinar las mediciones de interés sobre la pieza.

En la figura 3 del monoblock, el origen puede ser el plano superior 1, el plano lateral 2 y el plano frontal 3 de tal forma que el punto formado por estos tres planos sea el origen de la medición.

Figura 7. Monoblock de 4 cilindros



Fuente: <http://www.cenam.mx/ammc/queSonMMC.aspx>

## 9.8 SISTEMA DE PALPADO

La MMC debe realizar las mediciones sobre la pieza adquiriendo datos de medición mediante el palpador. Una vez que se enciende la MMC o que se empiece un programa de medición el operador debe asegurarse de reconocer el diámetro de la esfera del palpador, para ello se usa una esfera calibrada en diámetro y una rutina para el reconocimiento de la esfera de palpación.



Figura 8. Rutina de calibración del palpador



Fuente: <http://www.cenam.mx/ammc/queSonMMC.aspx>

### **9.9 SECUENCIA DE MEDICIÓN EN MMC**

Las mediciones de geometría, simples o complejas, se tornarían muy dificultosas sin la existencia de las MMC, imagínese que se desea medir la distancia entre centros de los cilindros del monoblock (ver figura 3) se le deberá medir: distancia entre ejes, perpendicularidad respecto al eje del cigüeñal y paralelismo entre ellos. Con instrumentos convencionales sería una tarea casi imposible de realizar sin embargo la medición en una MMC sería como se describe a continuación:

1. Medir plano1, medir plano2, medir plano 3.
2. Crear una línea 1 entre el plano 1 y 2, crear un punto 1 con la intersección del plano 3 y la línea 1.
3. Alinear el plano 1 en el espacio hacia el plano XY de la MMC (Alineación 3D) , alinear la línea 2 a uno de los ejes ( Alineación 2D ) y asignar el origen al punto1.Apartir de aquí el origen pieza ya esta creado.
4. Medir el cilindro 1, medir el cilindro 2 y hasta el 4, medir el cilindro donde se alojara el cigüeñal.
5. La MMC dará como resultado el diámetro de cada cilindro y la orientación del eje de cada cilindro.

6. A partir de aquí se puede seleccionar en el software de medición de la MMC la distancia entre cilindros, paralelismo y perpendicularidad de los cilindros respecto al eje donde se alojara el cigüeñal.

## 9.10 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE ELEMENTOS MECÁNICOS

Dado que la fabricación de una maquina requiere tantos planos como elementos existan, la clara descripción de la geometría de una pieza se torna de gran importancia. Para ellos existen normas (ISO-1101 y ANSY/ASME y 14.5M) dedicadas a explicar los símbolos mediante los cuales se establecen las tolerancias de fabricación de las partes de cualquier máquina que deba ser manufacturada. Estos símbolos son el lenguaje común de fabricación<sup>4</sup>.

Símbolos de características geométricas:



1. Rectitud: Es la condición en la que los puntos forman una línea recta, la zona de tolerancia está formada por dos líneas paralelas separadas el valor de la tolerancia de rectitud.



2. Planitud: Es la condición en la que todos los puntos de una superficie deben estar contenidos entre dos planos paralelos separados el valor de la tolerancia de planitud.



3. Redondez: Es la condición en la que todos los puntos de una superficie forman un círculo y la zona de tolerancia está formada por dos círculos con centro común y separado la zona de tolerancia de redondez.

---

<sup>4</sup> Disponible en: <http://www.cenam.mx/ammc/queSonMMC.aspx>



4. Cilindricidad: Es la condición geométrica en la que todos los puntos de una superficie cilíndrica deben estar contenidos en una zona de tolerancia de dos cilindros con eje común y separado el valor de la tolerancia.



5. Perfil: Es la zona de tolerancia que controla superficies irregulares y se puede aplicar a contornos individuales ó superficies completas. La zona de tolerancia está definida por un par de perfiles regulares separados entre sí la zona de tolerancia del perfil.



6. Angularidad: Es la tolerancia que orienta a ejes ó planos a un ángulo específico diferente de 90°. La zona de tolerancia está definida por dos planos separados la zona de tolerancia especificada ó un cilindro con diámetro de tamaño de la zona de tolerancia especificada orientados a un ángulo básico respecto del plano ó eje de referencia.



7. Perpendicularidad: Es la condición mediante la cual se controla planos ó ejes a 90°.



8. Paralelismo: Es la condición geométrica con la cual se controlan ejes o planos a 180°.



9. Concentricidad: Es la condición que indica que dos centros ó ejes de círculos ó cilindros respectivamente deben coincidir en una zona de tolerancia circular ó cilíndrica del tamaño de la zona de tolerancia indicada.



10. Posición: Una Tolerancia de posición define una zona dentro de la cual el centro, eje o plano central de un elemento de tamaño se le permite variar de su posición verdadera (cota exacta).



11. Simetría: Es la condición donde una característica es igualmente dispuesta o equidistante del plano central ó el eje del elemento de referencia.



12. Perfil de una superficie: La tolerancia del perfil de una superficie se limita a dos superficies que envuelven a la superficie teórica (Separadas el valor de la tolerancia).



13. Cabeceo Simple: Es una tolerancia compuesta usada para controlar la relación de una o más características del elemento respecto a un eje de referencia.



14. Cabeceo Total: Un cabeceo total provee el control compuesto de todas las superficies del elemento respecto de un eje de referencia.

Figura 9. Ejes de rotación



Fuente: Elaboración propia

En todos los brazos de medida, es posible diferenciar cuatro zonas. La forma de denominar a estas cuatro zonas es hombro, codo, muñeca y mano, por su similitud con un brazo humano (Ver figura 8).

Cada una de estas zonas representa la o las articulaciones correspondientes, cada una de ellas con uno o dos grados de libertad (Ver figura 9).

Además de diferentes configuraciones, existen diferentes volúmenes de trabajo definidos para brazos de medida en función de la aplicación final a la que vayan destinados y al catálogo de cada fabricante. El volumen de trabajo de un brazo de medida está determinado por su longitud total, que define una esfera de radio la longitud del brazo. La forma habitual de especificar el rango de trabajo es mediante la indicación de la longitud total del brazo, es decir, del radio de la esfera.

Figura 10. Brazo portátil de 7 ejes marca METRIS del Laboratorio de Metrología Universidad EAFIT.



Fuente: Elaboración propia

El brazo portátil de medición por coordenadas se le al mercado en diferentes tamaños y con dos variantes de exactitud. La versión de 6 ejes ideal para la medición de activación táctil combinado con el software y la versión de 7 ejes que es el perfecto para una amplia gama de tareas de escaneo digital.

Vale la pena afirmar que aunque el equipo a investigar en este proyecto es de 7 ejes grado industrial no se va a participar del conocimiento del scanner laser por falta de la pistola como accesorio adicional de la máquina.

## **10. APLICACIONES GENERALES DE LOS BRAZOS PORTÁTILES DE MEDICIÓN POR COORDENADAS**

La gran ventaja de los brazos portátiles de medición por coordenadas es su movilidad, estos pueden emplearse en el mismo lugar en que se encuentra el objeto a comprobar. Se aplica para tamaños de objetos que va de unos centímetros a varios metros y cuyos valores de tolerancia se mueven en el margen de 10 a 100 micrómetros.

Los brazos portátiles de medición por coordenadas se emplean sobre todo en la industria automovilística, la industria aeronáutica, y también en la construcción naviera y ferroviaria.

Entre las aplicaciones típicas están la comprobación de:

- Componentes de producción mediante escaneo o mediciones de punto único
- Desgaste de los moldes.
- Dispositivos en la construcción de instalaciones.

## **11. CASAS FABRICANTES DE MCA**

Algunas de las casas fabricantes más comunes de brazos portátiles de medición por coordenadas que vale la pena mencionar son por ejemplo ROMER, FARO y METRIS, compañías que ofrecen soluciones metrológicas a nivel mundial.

El proyecto estará enfocado al estudio del MCA marca METRIS, compañía la cual pertenece el brazo de 7 ejes que posee el laboratorio de Metrología de la Universidad EAFIT con las siguientes especificaciones técnicas.



## 12. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MCA MARCA METRIS

Tabla 2. Especificaciones técnicas MCA METRIS

Metrology grade MCA	Weight	Measurement diameter	S.P.A.T. <sup>1</sup>	Volumetric performance <sup>1</sup>
MCA 1800 M6	9.2kg/20.3lbs	1800mm/6ft	0.021mm/0.0008"	0.028mm/0.0011"
MCA 2400 M6	9.8kg/21.6lbs	2400mm/8ft	0.026mm/0.0010"	0.035mm/0.0014"
MCA 3000 M6	10.1kg/22.1lbs	3000mm/10ft	0.044mm/0.0017"	0.058mm/0.0023"
MCA 3600 M6	10.5kg/23.2lbs	3600mm/12ft	0.060mm/0.0024"	0.079mm/0.0031"
MCA 2400 M7	11.9kg / 26.2 lbs	2400mm/8ft	0.031mm/0.0012"	0.042mm/0.0017"
MCA 3000 M7	12.4kg / 27.3 lbs	3000mm/10ft	0.051mm/0.0020"	0.072mm/0.0028"
MCA 3600 M7	12.7kg / 28.0 lbs	3600mm/12ft	0.071mm/0.0028"	0.103mm/0.0041"
Industry grade MCA	Weight	Measurement diameter	S.P.A.T. <sup>1</sup>	Volumetric performance <sup>1</sup>
MCA 1800 I6	9.2kg/20.3lbs	1800mm/6ft	0.041mm/0.0016"	0.054mm/0.0021"
MCA 2400 I6	9.8kg/21.6lbs	2400mm/8ft	0.051mm/0.0020"	0.069mm/0.0027"
MCA 3000 I6	10.1kg/22.1lbs	3000mm/10ft	0.084mm/0.0033"	0.109mm/0.0043"
MCA 3600 I6	10.5kg/23.2lbs	3600mm/12ft	0.111mm/0.0044"	0.129mm/0.0051"
MCA 2400 I7	11.9kg / 26.2 lbs	2400mm/8ft	0.057mm/0.0022"	0.081mm/0.0032"
MCA 3000 I7	12.4kg / 27.3 lbs	3000mm/10ft	0.095mm/0.0037"	0.140mm/0.0055"
MCA 3600 I7	12.7kg / 28.0 lbs	3600mm/12ft	0.152mm/0.0060"	0.190mm/0.0075"

Esfera: 2.4 metros.

Alcance: 1.2 metros de radio

Rango de operación en temperatura: 0°C hasta 46°C

Humedad: 5% - 95% sin condensación.

Fuente de alimentación: 110 V/220V o batería 14.4VDC.

Conexión al PC: USB / Wireless

## 13. ELEMENTOS O ACCESORIOS DEL BRAZO PORTÁTIL METRIS

### 13.1 BATERÍA RECARGABLE

Esta batería le genera al brazo portátil de medición por coordenadas energía suficiente para operar por 5 horas aproximadamente cuando no se cuenta con una fuente de energía en el punto de medición.

Figura 11. Batería Recargable del MCA



Fuente: Elaboración propia

El brazo portátil de medición por coordenadas además cuenta con una serie de elementos que se describen a continuación:

- Palpador de 5mm
- Palpador de punta fina
- Esfera calibrada de 20 mm
- Llaves de ajuste de palpadores

Figura 12. Elementos del brazo portátil de medición por coordenadas METRIS.



Fuente: Elaboración propia

Ver video disponible en: <http://envivo.eafit.edu.co/EnvivoEafit/?p=3864>

Aparte de los elementos mencionados existe la posibilidad de adquirir en el mercado diferentes tipos de palpadores y accesorios adicionales dependiendo de la aplicación que se necesite.

## 14. SOFTWARE DE INSPECCIÓN

### 14.1 CMM MANAGER

Es un software de metrología que proporciona la empresa METRIS para sus brazos articulados de medición por coordenadas para las tareas de inspección. Además este software permite realizar acciones de calibración para cada uno de los palpadores dispuestos, es posible también realizar cálculos de distancias, longitudes, radios o diámetros.

El software CMM Manager presenta las opciones de conexión abierta o cerrada para iniciar comunicación entre el MCA y el software. Cuando el brazo está físicamente conectado y la opción conexión abierta es seleccionada, aparecerá una ventana confirmando que el brazo se está comunicando con el software. La opción de comunicación cerrada puede ser usada cuando se necesita desconectar un brazo y conectar otro.

También permite además importar y exportar modelos CAD a otro software de modelación como lo es por ejemplo PRO E y SOLID WORKS en archivos de formato IGES y DXF. Incluso crea informes y reportes que se pueden exportar fácilmente en formatos como Excel, Word, PDF<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> [http://www.nikonmetrology.com/products/cmm\\_software/cmm\\_manager/manual/](http://www.nikonmetrology.com/products/cmm_software/cmm_manager/manual/)

## 15. PIEZA PILOTO

Es una pieza fabricada en duraluminio recomendada por el fabricante de la maquina con diferentes geometrías a la cual se le aplicaran los conocimientos adquiridos en el proyecto (Ver los planos en el anexo D).

Figura13. Pieza piloto



Fuente: Elaboración propia

## **16. NORMAS INTERNACIONALES DE VERIFICACION**

### **16.1 ASME B89.4.22-2004**

Dada la creciente demanda y uso de estos equipos, se hace necesario el establecimiento de pruebas normalizadas debido a la falta de normalización en este campo. Para ello salió a la luz la norma ASME B89.4.22-2004. Se trata de una norma elaborada por un comité de trabajo dentro del comité B89 de metrología dimensional de ASME, formado por componentes provenientes del mundo industrial, del ámbito de la investigación y de los principales fabricantes de brazos articulados.

Dicha norma propone la realización de diferentes pruebas para llevar a cabo la evaluación de las características metrológicas de los brazos de medida:

- Prueba de esfera punto a punto o prueba de diámetro efectivo.
- Prueba de articulación de punto sencillo, de repetibilidad de punto o cono.
- Prueba de precisión longitudinal volumétrica o de rendimiento volumétrico.

Las pruebas propuestas por la norma ASME B89.4.22-2004 para la evaluación de las características metrológicas del brazo se detallan a continuación pormenorizadamente.

#### **16.1.1 Prueba de esfera punto a punto o prueba de diámetro efectivo (Effective Diameter Performance Test):**

Esta prueba consiste en medir una esfera calibrada, de diámetro entre 10 y 50 mm, posicionada aproximadamente a la mitad de distancia del alcance del brazo. La esfera debe ser medida tres veces en la misma posición. Cada una de las tres

medidas debe realizarse con nueve puntos distribuidos en el hemisferio superior de la esfera, cuatro puntos en el ecuador, cuatro puntos a 45 ° y girados 45° con respecto a los tomados en el ecuador y un punto en el polo de la esfera. A lo largo de las tres medidas, las articulaciones del brazo deben cambiar lo menos posible.

El resultado de esta prueba en brazos de medida debe reflejar la desviación máxima en valor absoluto entre el diámetro de la esfera nominal y el diámetro medido en las tres medidas realizadas.

Tabla 3. Desviaciones de diámetro

Formula	Diameter Deviation, $\mu\text{m}$
$D_1 - D_{\text{cal}}$	
$D_2 - D_{\text{cal}}$	
$D_3 - D_{\text{cal}}$	
Max. deviation	

### 16.1.2 Prueba de articulación de punto sencillo, de repetitividad de punto o de cono (Single-Point Articulación Performance Test, SPAT)

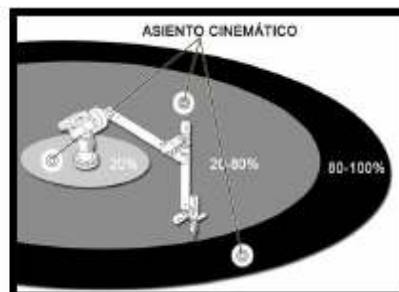
El objetivo de este test es determinar la capacidad del brazo de repetir la medida de un mismo punto desde orientaciones diferentes, lo que exige configuraciones del brazo diferentes, cubriendo así distintas configuraciones de ángulos de articulación para una mismo punto medido.

Esta prueba no determina la repetibilidad de medida, ya que es necesario mantener las condiciones de medida invariadas entre captura de puntos. De este modo, el resultado de este ensayo de verificación arrojará la capacidad combinada de todos los elementos del sistema de medida para repetir las coordenadas de un

punto fijo en el espacio que, dada la configuración cinemática del brazo, se considerará como su repetibilidad.

Para intentar conseguir el máximo número de orientaciones del brazo dentro del volumen de medida, la prueba se realiza en tres puntos del espacio distintos. Como en la mayor parte de sistemas de medida, es muy difícil establecer el mínimo número de posiciones del espacio de trabajo que deben cubrirse en cualquier test de evaluación o verificación para garantizar resultados extrapolables a todo el volumen de medida. La elección de tres posiciones para materializar los puntos fijos en el espacio tiene por objetivo aumentar el número de combinaciones de articulación que se comprobarán, aunque cualquier procedimiento de evaluación más profundo, exige la realización de esta prueba en muchos más puntos del espacio.

Figura 14. Localización del asiento cinemático en el espacio.



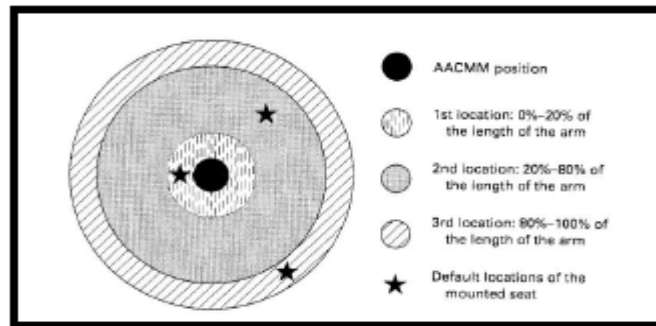
Fuente: Norma ASME B89.4.22

El ensayo se realiza materializando el punto fijo a medir mediante un asiento o mediante asientos cinemáticos. El objeto de estos asientos es mantener el contacto entre el asiento y la esfera del palpador montado en el brazo en tres puntos, independientemente de la orientación de la mano del brazo.



De este modo se asegura que, para todos los datos capturados, el centro de la esfera palpadora, que representa el punto medido, se encuentre siempre en la misma posición física.

Figura 15. Las tres posiciones del asiento en el ensayo SPAT

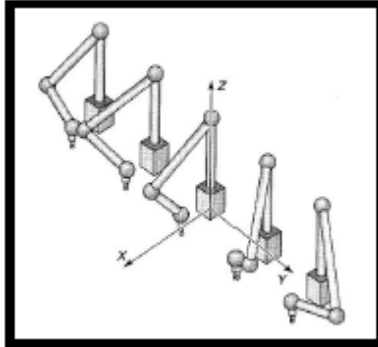


Fuente: Norma ASME B89.4.22

La primera posición para el asiento cinemático debe encontrarse en un radio respecto a la posición del brazo dentro del 20% de su longitud, centrado respecto a este. La segunda posición se elegirá dentro de un anillo entre el 20 y el 80% de la longitud del brazo, fijando la última posición en la zona restante.

Los procedimientos normalizados recomiendan diez posiciones del brazo en cada uno de los tres puntos, buscando la máxima variación en sus articulaciones. Repitiendo las cinco posiciones de la figura en dos ocasiones.

Figura 16. Vista isométrica de las articulaciones.



Fuente: Norma ASME B89.4.22

Por ello, es recomendable que después de capturar cada punto, el palpador se retire del asiento y se vuelva a posicionar antes de la captura del siguiente punto en una orientación diferente, intentando mantener en lo posible constante la fuerza de palpado.

Para el caso de palpadores activos. En este caso, existe un procedimiento similar solo que el punto fijo se materializa con una esfera patrón, de modo que debe ser palpada en distintos puntos de su superficie en distintas orientaciones del espacio. De nuevo, en este caso, se toman tres posiciones de la esfera con diez puntos palpados en distinta orientación para cada una de ellas.

Con los datos obtenidos en las tres posiciones del asiento cinemático, equivalente en el caso de esfera patrón, debe calcularse la desviación de los puntos medidos con respecto a la media de cada uno de los diez puntos capturados para cada posición del asiento, que representará el punto X, Y, Z nominal. Esta desviación se obtendrá calculando la distancia euclídea de cada punto a la media en la posición correspondiente. Además, se obtendrá la desviación estándar de la distribución de distancias para cada uno de los tres puntos considerados. Con esto, el ensayo

concluirá con la obtención del valor máximo de distancia ( $\delta_{\text{máx.}}$ ) y de desviación ( $\sigma$ ).

Ecuación 1. Desviación según ensayo SPAT.

$$\delta_i = \sqrt{(X_i - X_a)^2 + (Y_i - Y_a)^2 + (Z_i - Z_a)^2} \quad (1)$$

where  
 $X_i, Y_i, Z_i$  = measured coordinates  
 $X_a, Y_a, Z_a$  = average coordinates

Fuente: Norma ASME B89.4.22

Ecuación 2 Valor  $2\delta$  según ensayo SPAT.

$$2s_{SPAT} = 2\sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{(n-1)}} \quad (2)$$

where  
 $n$  = number of measurements (in this case,  $n = 10$ )

Fuente: Norma ASME B89.4.22

Como resultado final de la prueba es habitual considerar el valor de distancia máximo y el valor  $2\sigma$  de la distribución de distancias correspondiente a la posición del asiento que ha producido ese valor de distancia. Ambos deberán encontrarse por debajo del límite fijado por el fabricante o por el contrato de compraventa del equipo.

### 16.1.3 Prueba de precisión longitudinal volumétrica o de rendimiento volumétrico (Volumetric Performance Test)

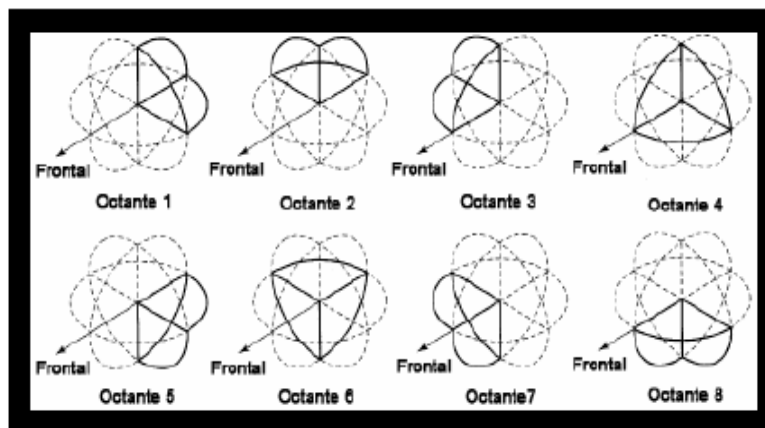
El ensayo consiste en la medición de distancias materializadas por un artefacto patrón calibrado, dispuesto en distintas orientaciones del volumen de trabajo. Los patrones que materializan las distancias pueden ser de distinta forma y naturaleza

siendo los más habituales los patrones escalonados y las barras de esferas. En el caso de barras de esferas, son necesarios patrones que materialicen dos distancias, una correspondiente aproximadamente al 60% de la longitud del brazo y la otra entorno al 130% de esa longitud. En el caso más general, los patrones de bolas materializan una distancia entre centros de esferas, que deberá estar calibrada.

El objetivo de esta prueba es comprobar el funcionamiento del brazo en todo su volumen, por lo que se divide el espacio de trabajo del brazo, que será una esfera de diámetro dos veces la longitud del brazo a partir del eje de su primera articulación, en dos hemisferios separados por el plano medio a la altura de la base del brazo.

Cada uno de estos hemisferios se divide en cuatro cuadrantes, de modo que el espacio total de trabajo del brazo queda dividido en ocho octantes. Según la referencia indicada por el fabricante para establecer la parte frontal del brazo, se establece la numeración de estos octantes.

Figura 17. Numeración de los octantes del volumen de medida del brazo articulado



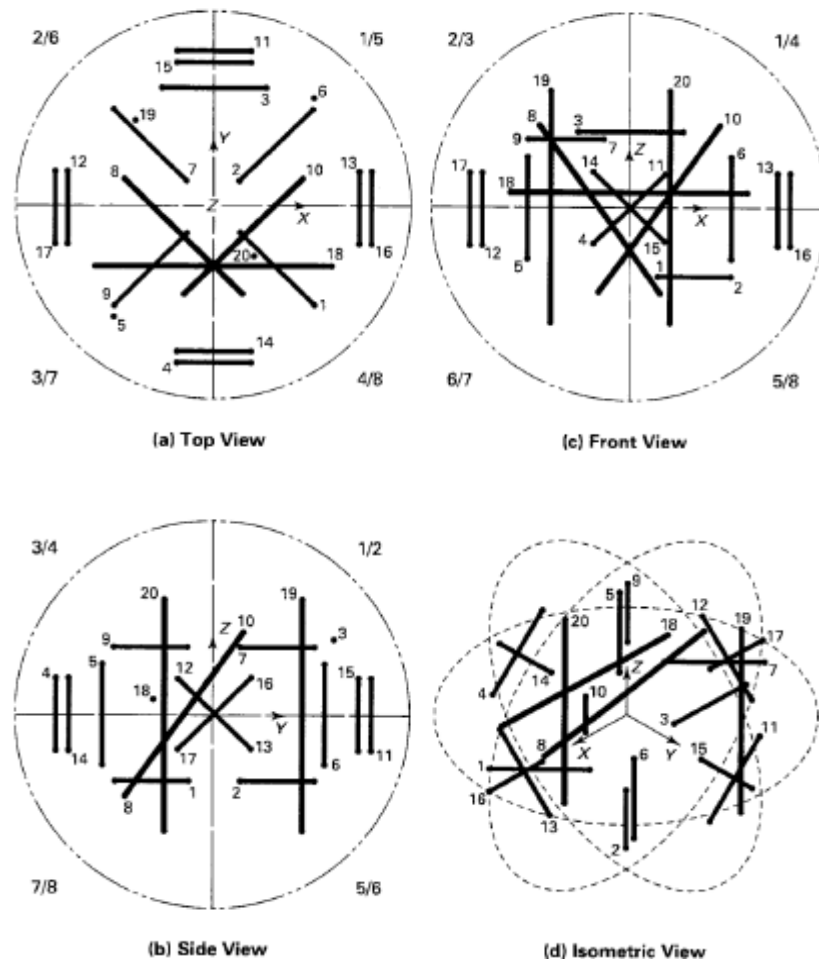
Fuente: Norma ASME B89.4.22

Las barras de bolas deben ser posicionadas en horizontal, vertical y a  $45^\circ$  con respecto al brazo. La forma de determinar una posición para el ensayo vendrá dada por la especificación del tipo de patrón, largo o corto, los octantes a los que afecta, la inclinación, la distancia a la base del brazo y la dirección. La distancia a la base del brazo se especifica cómo cerca o lejos, entendiendo por cerca, las posiciones en las que la barra se encuentra a una distancia de la base menor que la mitad de la longitud total del brazo, y lejos, las posiciones más allá de la mitad de la longitud del brazo.

Con respecto a la dirección, las posiciones horizontales y a  $45^\circ$  quedarán completamente determinadas indicando si deben ser posicionadas radial o tangencialmente al brazo.

De esta forma, el procedimiento normalizado establece 20 posiciones de la barra en todo el volumen del brazo, dos en posición vertical, diez en horizontal y ocho a  $45^\circ$ . Para cada una de estas posiciones será necesario medir la distancia materializada por el patrón, de forma que se capten cinco puntos por esfera y se evalúe la distancia entre ellas.

Figura 18. Vista de las posiciones de la barra patrón



Fuente: Norma ASME B89.4.22

Para cada una de las posiciones medidas se obtendrá el error de medida en distancias, es decir, la diferencia entre la distancia medida y la calibrada.

Como resultado final de esta prueba se obtendrán tres parámetros:

- La máxima desviación obtenida para todas las posiciones.
- El rango de estas desviaciones.
- Un valor que da idea de la desviación media, que vendrá dado por dos veces el valor cuadrático medio de las desviaciones para todas las posiciones consideradas<sup>6</sup>.

Ecuación 3. Desviación según ensayo de precisión volumétrica

$$D_i = L_i - L_{cal}$$

Ecuación 4 desviación media según ensayo de precisión volumétrica

$$2RMS = 2 \sqrt{\frac{\sum D_i^2}{n}} \quad n = 20 \text{ in this case}$$

---

<sup>6</sup> Análisis de procedimientos de verificación de brazos articulados de medición por coordenadas. NORMA ASME B89.4.22-2004. Disponible en: <http://zaguan.unizar.es/TAZ/EUITIZ/2010/5131/TAZ-PFC-2010-202.pdf>

## 17. RECOMENDACIÓN TÉCNICA VDI 2617 PARTE 9

Existe también en el medio la recomendación técnica VDI 2617 parte 9 (Verein Deutscher Ingenieure), Asociación de Ingenieros Alemanes; como un documento aceptado para la verificación de brazos portátiles, dicha recomendación se diferencia de la Norma ASME B89.4.22 en la cantidad de repeticiones de medida en cada uno de los test que proponen siendo la recomendación VDI 2617 la de mayor repetibilidad. Además la recomendación VDI 2617 parte 9 propone un solo test para la evaluación de verificación del error de palpado, forma y posición bajo el nombre *de Testing of probing error*. En el caso de la norma ASME, se realizan dos test para la verificación de las mismas características por un lado el *Effective diameter performance test* y por el otro el *Single point articulation performance test*

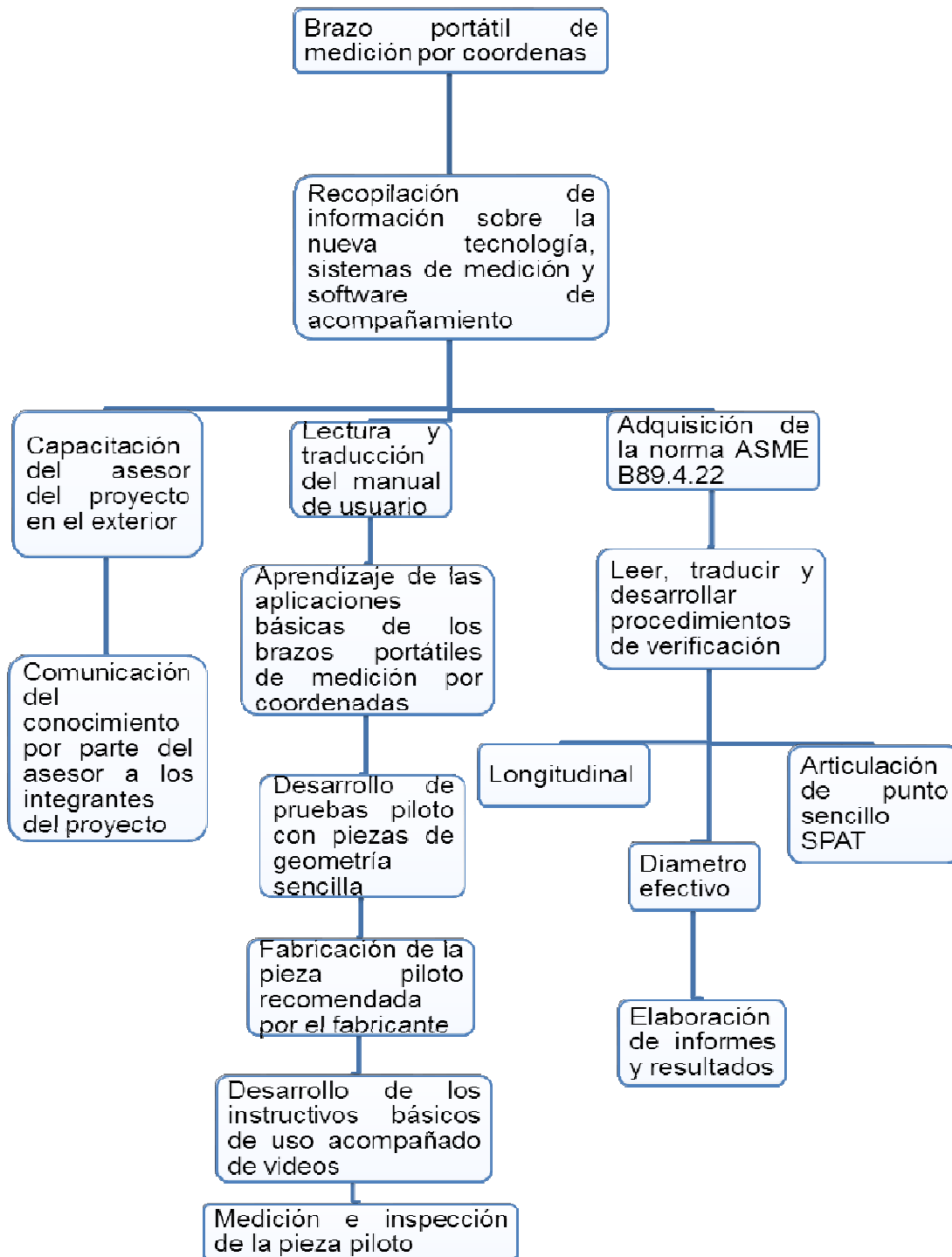
La segunda parte de estos estándares para la verificación de error de indicación de tamaño o comportamiento volumétrico en cuanto a la norma ASME define un único test con indicaciones de las longitudes del patrón, la VDI define dos test en función de la longitud del patrón de la longitud disponible<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> J. Santolaria, A.C. Majarena, D. Samper, J.J. García y J.J. Aguilar. Comparación de estándares internacionales de verificación de brazos articulados de medición por coordenadas: ASME B89.4.22-2004 vs VDI 2617\_9-2009. Dpto. Ingeniería de Diseño y Fabricación. Centro Politécnico Superior. Universidad de Zaragoza. Disponible en:  
<http://www.uclm.es/actividades/2010/CongresoIM/pdf/cdarticulos/151.pdf>








## 18. METODOLOGÍA


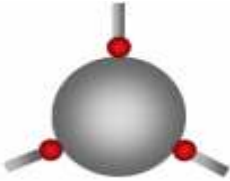
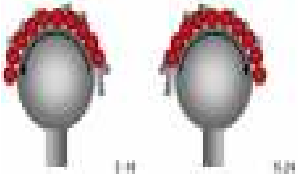
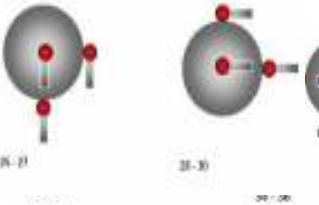


## 19. INSTRUCTIVO PARA LA CONEXIÓN DEL EQUIPO Y CALIBRACIÓN DEL PALPADOR

<b>1. Energizar y Conexión de puertos del PC Y MCA.</b>	
	El operario energiza y enciende el PC, una vez este haya cargado sus funciones, se procede a conectar el cable USB del brazo al PC y su cable de energía a una fuente. En algunos casos es conveniente reiniciar el PC para que se lean todos los puertos.
<b>2. Botón de encendido del MCA</b>	
	Una vez el equipo esta energizado y conectado al PC, se presiona el botón de encendido del brazo, el cual se tornara verde confirmando que efectivamente esta encendido.
<b>3. CMM MANAGER</b>	
	El operario da clic en conexión para iniciar la comunicación entre el brazo y el PC, para después ingresar con un clic al CMM Manager el cual se encuentra en el escritorio del PC, aparece un cuadro de dialogo, en el que se le da clic a la casilla OK confirmando que verdaderamente se desea ingresar al sistema y abrir comunicación con el PC.

<b>4. Freno Electromagnético</b>	
	<p>Una vez ingresado al sistema se desbloquea el Freno electromagnético del botón rojo ubicado cerca al eje número 6 del brazo con el fin de poder manipular el equipo para su posterior registro de los encoders.</p>
<b>5. Inicialización de encoders</b>	
	<p>Cuando ya están conectados y desbloqueado el freno electromagnético, aparece la ventana <i>Test Window</i> y todos los puntos del recuadro <i>Axis zeroing</i> deben estar en rojo, a partir de este punto se comienza a realizar el registro de cada uno de los encoders, moviendo cada uno de los 7 ejes desde su posición inicial hasta su posición final hasta obtener todos los puntos en color verde en el recuadro <i>Axis zeroing</i>. Este procedimiento se requiere realizar cada que el equipo se apaga y se vuelve a encender.</p>
<b>6. Calibración del palpador</b>	
	<p>Cada palpador debe ser calibrado cada que se use en el brazo por primera vez. El operario debe localizar la esfera calibrada contrario a los cables de entrada del brazo y en un rango longitudinal del 50% del radio del brazo, ósea a 600mm de la base del equipo METRIS específicamente y en una superficie plana.</p>

<b>6.1 Calibración del palpador</b>	
	<p>Con el software corriendo, clic en <i>tool tray</i> y selecciono <i>probe settings</i>, después seleccionar el icono <i>New</i> e ingreso una breve descripción del dispositivo antes de dar clic en el icono <i>save</i>. El operario selecciona activar palpador y este será auto detectado cada vez que se cambie de palpador por uno diferente.</p>
<b>6.2 Calibración del palpador</b>	
	<p>Selecciono <i>active probe</i> del menu y me muestra un cuadro con los diferentes palpadores que ya se encuentran en los archivos del brazo, incluyendo el nuevo que ya he creado y selecciono el palpador con el cual deseo trabajar, terminando con un clic en OK.</p>
<b>6.3 Calibración del palpador</b>	
	<p>Selecciono calibrar palpador e introduzco el diámetro de la esfera estandar para calibración que incluye el equipo la cual es de 20mm y termino dando un clic en OK.</p>
<b>6.4 Calibración del palpador</b>	
	<p>El cuadro de dialogo Calibrate Active Probe aparece un cuadro con botones en los cuales puedo eliminar alguno o todos de los 32 puntos como mínimo que se deben tomar y procedo como se describe a continuación.</p>

<b>6.5 Calibración del palpador</b>	
	Tome el primer punto en la cima de la esfera.
<b>6.6 Calibración del palpador</b>	
	Tome tres puntos en el ecuador igualmente espaciados.
<b>6.7 Calibración del palpador</b>	
	Tome de 8 a 10 puntos por la cima de la esfera de izquierda a derecha y después proceda a tomar otros 8 a 10 puntos de derecha a izquierda. Durante este procedimiento el palpador debe estar tangente a la esfera.
<b>6.8 Calibración del palpador</b>	
	Tome 12 puntos empezando desde el punto 25 apuntando hacia el polo norte como lo indica la fotografía, otro en el ecuador y otro a un cuarto del que se tomó en el ecuador. Continuo con el punto 28 en el polo norte de nuevo, punto 29 igual al punto 27 y después el punto 30 a un cuarto del ecuador. Este procedimiento se repite hasta el punto número 36 en el cual estaríamos de regreso otra vez como iniciamos en el punto 25, durante este paso el palpador debe estar paralelo al piso. Una vez hecho esto le doy clic al icono <i>Calibrate</i> y este se guarda en los archivos del Software para su futuro uso.



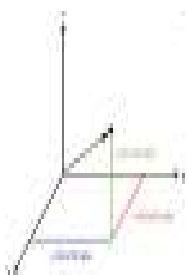
Ver videos disponibles en:

<http://envivo.eafit.edu.co/EnvivoEafit/?p=3902>

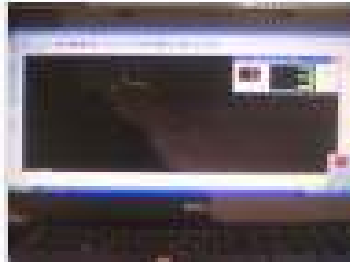
<http://envivo.eafit.edu.co/EnvivoEafit/?p=3874>

Fuente: Elaboración propia

## 20. INSTRUCTIVO PARA LA UBICACIÓN DEL CERO DE LA PIEZA

<b>1. Montaje de la pieza</b>	
	La pieza se monta sobre una superficie que garantice planitud y sujeta con bridas de agarre de modo que la pieza durante la medición no presente movimientos debido a la fuerza o presión que ejerce el palpador sobre ella.
<b>2. Cero de la pieza</b>	
	Habiendo pasado por el procedimiento de conexión del equipo obteniendo el registro de los encoders y teniendo la pieza sujeta con bridas de agarre, ingreso al botón <i>3-2-1 Alignment – Measure a Plane</i> que se encuentra en la barra de herramientas en la parte superior el cual me indica tomar tres puntos en la pieza, que son 3 puntos en la cara superior, 2 en la parte lateral de la pieza y por ultimo un punto en la cara que forma 90° con la cara donde se tomó los dos puntos anteriores.
<b>3. Confirmación de los ejes X,Y,Z</b>	
	Aparece una ventana donde el operario del equipo confirma que está de acuerdo con el sistema de coordenadas X, Y, Z que entrega el equipo por defecto dando clic al botón OK.

#### 4. Eje de referencia (0,0,0)



Se indica por medio de la pantalla del PC que efectivamente se obtuvo la coordenada (0, 0,0) en el punto donde se ubicó y se corrobora esta información acercando el palpador a la esquina donde estos puntos 3-2-1 convergen obteniendo en la pantalla del PC coordenadas en X, Y, Z (0, 0,0) o muy cercanas.

Ver videos disponibles en:

<http://envivo.eafit.edu.co/EnvivoEafit/?p=3870>

<http://envivo.eafit.edu.co/EnvivoEafit/?p=3895>

Fuente: Elaboración propia



## **21. PROCEDIMIENTO TÉCNICO PARA LA VERIFICACIÓN LONGITUDINAL DE BRAZOS PORTÁTILES DE MEDICIÓN**

### **21.1 OBJETIVO**

Servir de guía en la verificación del brazo portátil de medición por coordenadas.

### **21.2 ALCANCE**

- Este procedimiento aplica a los brazos de medición por esferas de contacto hasta un diámetro de esfera de 10 mm.
- Este procedimiento aplica para los rangos de verificación de 600 mm en el eje X; 600 mm en el eje Y y 400 mm en el eje z, en brazos portátiles de medición.

### **21.3 TERMINOLOGIA**

#### **21.3.1 Informe**

Reporte de resultados que se entrega al cliente, donde se registran los resultados derivados de la realización de un ensayo o de un proceso de medición o de la calibración, verificación o comparación de un equipo que esté incluido en servicios no acreditados.

#### **21.3.2 Verificación**

Conjunto de operaciones que permite fijar la relación entre los valores de una magnitud indicada por un instrumento y los valores correspondientes determinados por medio de patrones.

### **21.3.3 Patrón de Medición**

Medida materializada, instrumento de medición, material de referencia o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o más valores de una magnitud que sirva como referencia.

### **21.3.4 División de escala**

Es la medición mínima que se puede tomar con un instrumento de medición.

### **21.3.5 Rango de Medición**

Es el intervalo que hay entre la medición mínima y máxima que se puede tomar en un instrumento.

### **21.3.6 Incertidumbre de Medición**

Parámetro, asociado con el resultado de una medición, que caracteriza a la dispersión de los valores que en forma razonable se le podrían atribuir a la magnitud por medir.

## **21.4 DOCUMENTOS Y VIDEOS DE REFERENCIA**

**GTC-ISO/IEC 99 de 2009-12-16:** Vocabulario internacional de metrología. Conceptos fundamentales, generales y términos asociados (VIM).

**GTC 115:** Guía sobre la incertidumbre de la medición para principiantes.

Ver video disponible en: <http://envivo.eafit.edu.co/EnvivoEafit/?p=3905>

## 21.5 NORMATIVA

La normativa es la recopilación de parámetros que son de obligatorio cumplimiento en el momento de realizar una actividad, para la verificación del brazo portátil hay las siguientes condiciones:

- Para la verificación se deben colocar los bloques patrón y los demás dispositivos sobre una superficie plana (En este caso una mesa de granito).
- La verificación del brazo se debe realizar a una temperatura de  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  y humedad entre 40% y 60%, esta exigencia garantiza la estabilidad dimensional de los bloques patrón utilizados en la verificación.
- En la verificación de los brazos portátiles de medición se debe utilizar bloques patrón grado 0, con certificado de calibración vigente, y que hayan sido calibrados en la Superintendencia de Industria y Comercio o en otro laboratorio de la RED Metrológica Colombiana.
- Para la verificación en los ejes X (transversal) e Y (longitudinal), se debe utilizar una regla de rectitud en acero, con certificado de calibración vigente, y que hayan sido calibrados en la Superintendencia de Industria y Comercio o en otro laboratorio de la RED Metrológica Colombiana.
- Para la verificación del eje Z (Vertical) se debe utilizar un bloque en escuadra, con certificado de calibración vigente, y que hayan sido calibrados en la Superintendencia de Industria y Comercio o en otro laboratorio de la Red Metrológica Colombiana.

## **21.6 DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD**

Esta descripción se refiere al contenido paso a paso del procedimiento que se está ejecutando y contiene toda la información técnica.

### **21.6.1 Etapa uno**

#### **Preparación de los bloques patrón y del Brazo portátil.**

**Responsable:** Técnico del Laboratorio.

Es importante tener cuidado especial en la preparación de los patrones para garantizar que la verificación no presente incertidumbres muy grandes. A continuación se describe los pasos para esta preparación:

- a. Utilizar una caja de bloques patrón rectangulares marca Mitutoyo grado 0
- b. Seleccionar los bloques patrón con intervalos de 50 mm, hasta completar el rango máximo de verificación.
- c. Limpiar los bloques patrón con varsol, luego se secan con papel absorbente y luego se soplan con aire seco para eliminar las suciedades residuales.
- d. Limpiar la mesa de granito con varsol, la cual servirá de apoyo a los bloques patrón y luego se seca con aire seco.
- e. Se inicia el encendido y ajuste del brazo portátil tal como se describe en el instructivo de conexión del equipo y cero de la pieza. (Ver procedimientos conexión del equipo y ajuste de cero de la maquina )

## 21.6.2 Etapa dos

### Realizar la verificación en los ejes X y Y

**Responsable:** Técnico del Laboratorio.

Una vez referenciado el cero del brazo, se procede a realizar las verificaciones en eje X como se describe a continuación:

- a. Montar la regla de rectitud a lo ancho de la mesa de granito, y fijarla con bridas de agarre las cuales se roscan en las tuercas que están empotradas en la mesa de granito.
- b. Montar el bloque en escuadra sobre el borde de la mesa de granito, de tal manera que forme un ángulo de 90 grados con la regla de rectitud.
- c. Tomar un plano de referencia en el bloque escuadra para iniciar las mediciones de longitud en X, este plano de referencia se toma como cero en el inicio de la verificación.
- d. Teniendo el plano de referencia inicial, se coloca el bloque patrón de 50 mm y se mide con el brazo para obtener así otro plano de referencia paralelo al anterior. Esto indicará la distancia del bloque patrón de verificación. Se continua así sucesivamente hasta verificar el rango máximo de 600 mm.
- e. Se realizan cinco mediciones por cada bloque patrón utilizado en la verificación, para sacar un promedio de los errores de cada plano medido y luego se calcula la incertidumbre estadística tipo A de acuerdo a las directrices de la GTC 115 del Icontec.

### **21.6.3 Etapa tres**

#### **Realizar la verificación en el eje Z**

**Responsable:** Técnico del Laboratorio

- a. Tomar un plano de referencia en la mesa de granito y colocar los bloques patrón uno sobre el otro de manera vertical, apoyados lateralmente sobre el bloque en escuadra.
- b. Teniendo el plano de referencia inicial, se coloca el bloque patrón de 50 mm y se mide con el brazo para obtener así otro plano de referencia paralelo al anterior. Esto indicará la distancia del bloque patrón de verificación. Se continúa así sucesivamente hasta verificar el rango máximo de 400 mm.
- c. Se realizan cinco mediciones por cada bloque patrón utilizado en la verificación, para sacar un promedio de los errores de cada plano medido.

### **21.6.4 Etapa cuatro**

#### **Calculo de la incertidumbre de medición tipo A**

**Responsable:** Técnico del Laboratorio.

Los datos derivados de la verificación, se evalúa la incertidumbre de medición tipo A de las mediciones realizadas en los ejes X, Y, Z, de acuerdo a lo estipulado en la guía técnica GTC 115 del ICONTEC, numeral 7.1.1 “Guía para la expresión de la incertidumbre de la medición”.

### 21.6.5 Etapa cinco

#### Elaborar Informe de Verificación

**Responsable:** Técnico del Laboratorio.

Se elabora el informe escrito con los datos de la verificación y se coloca la estampilla de verificación en un sitio visible del brazo portátil de medición

Tabla 4. Ejemplo de formato para registros de verificación

Laboratorio de Metrología		Formato para registros de verificación Longitudinal – Brazo portátil de medición.					
Instrumento a verificar: _____							
Fabricante: _____				Rango de medición: _____			
División de escala: _____				Número de Prueba: _____			
Fecha de calibración: _____				Solicitud N°: _____			
Modelo(Serie): _____				N° Identificación: _____			
Observaciones : _____ _____							
Hora:		Temperatura:			Humedad:		
Realizado por :				Revisado por:			
Bloques Patrón (mm)	Primera lectura (µm)	Segunda Lectura (µm)	Tercera Lectura (µm)	Cuarta Lectura (µm)	Quinta Lectura (µm)	Promedio $\bar{X}$ (µm)	Incertidumbre estándar ( $\delta$ n-1) (µm)
0							
50							
100							
150							
200							
250							
300							
350							
400							
450							
500							
550							
600							
Error máximo :				Incertidumbre tipo A: K=			

Fuente: Elaboración propia

Una vez desarrollado el procedimiento paso a paso tenemos entonces como resultado que el error máximo del brazo portátil de medición por coordenadas es de 43,2 micrómetros y que el error mínimo es de 34,8 micrómetros lo cual indica que está dentro del rango del error máximo permitido por el fabricante que es de 81 micrómetros y que la incertidumbre de medición tipo A es  $\pm 12,1$  micrómetros. (Ver anexo A).



## 22. PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA DE DIÁMETRO EFECTIVO Y PRUEBA DE CONO SPAT

### 22.1 OBJETIVO

Servir de guía en la realización de las pruebas de diámetro efectivo y distancia de centro de esfera y prueba de articulación de punto sencillo o de repetibilidad o de cono.

### 22.2 ALCANCE

- Este procedimiento aplica a las prueba de diámetro efectivo usando como patrón una esfera de acero de 20 mm de diámetro os brazos de medición por esferas de contacto hasta un diámetro de esfera de 10 mm.
- Este procedimiento aplica para los rangos de verificación de 600 mm en el eje X; 600 mm en el eje Y y 400 mm en el eje z, en brazos portátiles de medición.

### 22.3 TERMINOLOGIA

**Informe:** Reporte de resultados que se entrega al cliente, donde se registran los resultados derivados de la realización de un ensayo o de un proceso de medición o de la calibración, verificación o comparación de un equipo que esté incluido en servicios no acreditados.

**Verificación:** Conjunto de operaciones que permite fijar la relación entre los valores de una magnitud indicada por un instrumento y los valores correspondientes determinados por medio de patrones.

**Patrón de Medición:** Medida materializada, instrumento de medición, material de referencia o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o mas valores de una magnitud que sirva como referencia.

**División de escala:** Es la medición mínima que se puede tomar con un instrumento de medición.

**Rango de Medición:** Es el intervalo que hay entre la medición mínima y máxima que se puede tomar en un instrumento.

**Incertidumbre de Medición:** Parámetro, asociado con el resultado de una medición, que caracteriza a la dispersión de los valores que en forma razonable se le podrían atribuir a la magnitud por medir.

## **22.4 DOCUMENTOS Y VIDEOS DE REFERENCIA**

**GTC-ISO/IEC 99 de 2009-12-16:** Vocabulario internacional de metrología. Conceptos fundamentales, generales y términos asociados (VIM).

**GTC 115:** Guía sobre la incertidumbre de la medición para principiantes.

**ASME B89.4.22-2004:** Guía sobre la verificación de brazos portátiles de medición por coordenadas.

Ver video disponible en: <http://envivo.eafit.edu.co/EnvivoEafit/?p=3905>

## 22.5 NORMATIVA

La normativa es la recopilación de parámetros que son de obligatorio cumplimiento en el momento de realizar las pruebas de diámetro efectivo y prueba de cono

- Para la prueba de diámetro efectivo se debe utilizar una esfera patrón de acero de diámetro nominal de 20 mm, la cual viene con el equipo.
- La Prueba de cono se debe utilizar un patrón en acero con superficie cónica interior que viene con el equipo.
- Los patrones para realizar ambas pruebas se deben colocar al frente de la conexión eléctrica del brazo.
- Evitar cambios bruscos en las articulaciones del brazo mientras se realizan las pruebas.
- El resultado de la prueba de diámetro efectivo debe reflejar la desviación entre el diámetro nominal de la esfera y el diámetro promedio de las 3 mediciones realizadas.

## 22.6 DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

Esta descripción se refiere al contenido paso a paso del procedimiento que se está ejecutando y contiene toda la información técnica.

### 22.6.1 Etapa uno

#### **Prueba del diámetro efectivo de esfera.**

**Responsable:** Técnico del Laboratorio.

Esta prueba consiste en medir una esfera de diámetro 20 mm, la cual debe estar fijamente roscada en la mesa de granito, para que no se mueva durante la medición.

- a. Coloque la esfera a una distancia longitudinal del 50% del alcance del brazo en frente de las conexiones eléctricas, y a una altura de 150 mm respecto a la superficie de referencia.
- b. La esfera se debe medir tres veces por cada operario para estimar los valores de repetibilidad.
- c. Cada medición se debe realizar con 9 puntos sobre la esfera así:
  - El primer punto se toma en la parte superior de la esfera en el punto norte.
  - Luego se toman 4 puntos sobre la línea del ecuador, distanciadas 90 grados entre cada punto.
  - Luego se toman otros 4 puntos en una línea situada a 45 grados arriba del ecuador, y espaciadas a 90 grados entre cada punto de medición.
- d. Se promedian las 3 mediciones realizadas por cada operario donde se registra el diámetro de la esfera y las coordenadas X Y Z de la posición del centro de la esfera.
- e. Se estima la incertidumbre tipo A o incertidumbre estadística derivada de las mediciones realizadas. Según se describe en la GTC 115 del Icontec.

### **22.6.2 Etapa dos**

#### **Prueba del cono SPAT.**

**Responsable:** Técnico del Laboratorio.

Esta prueba tiene como objetivo determinar la capacidad de repetibilidad del brazo cuando se está realizando la medición en un mismo punto cónico, teniendo varias posiciones del brazo articulado.

- a. Ubicar el cono patrón a una distancia entre 0 y el 20% del alcance del brazo.
- b. Se realizan en total 10 mediciones así: 2 mediciones en cada una de las 5 posiciones del brazo seleccionadas para la prueba.
- c. Ubicar el cono patrón a una distancia entre el 20% y el 80% del alcance del brazo, y se repite el paso b) para tomar las 10 mediciones.
- d. Ubicar el cono patrón a una distancia entre el 80% y el 100% del alcance del brazo, y se repite el paso b) para tomar las 10 mediciones.
- e. Se promedian las mediciones realizadas en los 10 puntos en las 3 pruebas realizadas y se obtiene las posiciones X,Y,Z para cada posición del cono patrón.
- f. Se estima la incertidumbre tipo A o incertidumbre estadística derivada de las mediciones realizadas. Según se describe en la GTC 115 del Icontec.
- g. Se calcula la desviación para cada punto medido con relación a las medidas de cada uno de los diez puntos tomados para cada posición, que representa el punto X, Y, Z.

### **22.6.3 Etapa tres**

**Elaborar Informe de verificación.**

**Responsable:** Técnico del Laboratorio.

Se elabora el informe de verificación escrito con los cálculos de las 2 pruebas.

Tabla 5. Ejemplo de formato para registros de las pruebas. Prueba de diámetro efectivo

Laboratorio de metrología				Formato para registro de verificación – brazo portátil				
				Prueba de diámetro efectivo y centro de esfera				
				Norma de referencia:				
Instrumento a calibrar: _____								
Marca: _____				Rango de medición: _____				
División de escala: _____				Número de prueba: _____				
Fecha de calibración: _____				Solicitud N°: _____				
Modelo (Serie): _____				N° Identificación: _____				
Observaciones: _____ _____								
Hora:			Temperatura:			Humedad:		
Realizado por:				Revisado por:				
Número de mediciones	Diámetro de la esfera (mm)	Valores de X (mm)	Valores de Y (mm)	Valores de Z (mm)	Diámetro de la esfera (mm)	Valores de X (mm)	Valores de Y (mm)	Valores de Z (mm)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
Promedio $\bar{X}$								
Inc. Estandar $\frac{(\sigma \sqrt{n-1})}{\sqrt{n}}$								

Número de mediciones	Diámetro de la esfera (mm)	Valores de X (mm)	Valores de Y (mm)	Valores de Z (mm)	Diámetro de la esfera (mm)	Valores de X (mm)	Valores de Y (mm)	Valores de Z (mm)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
Promedio $\bar{x}$								
Inc. Estandar $\frac{(\sigma \cdot n - 1)}{\sqrt{n}}$								
Promedio Totales	Diámetro de la esfera	Valores de X		Valores de Y		Valores de Z		
	(mm)	(mm)		(mm)		(mm)		

Tabla 6. Ejemplo de formato para registros de las pruebas. Prueba de cono

Laboratorio de metrología		Formato para registro de verificación – brazo portátil			
		Prueba de articulación punto sencillo SPAT			
		Norma de referencia:			
Instrumento a calibrar: _____					
Marca: _____ Rango de medición: _____					
División de escala: _____ Número de prueba: _____					
Fecha de calibración: _____ Solicitud N° _____					
Modelo (Serie): _____ N°Identificación: _____					
Observaciones: _____ _____					
Hora:		Temperatura:		Humedad:	
Realizado por:			Revisado por:		
Prueba Spat 0-20 %					
Punto de referencia	Valores de X (mm)	Valores de Y (mm)	Valores de Z (mm)	$\delta_1^x$ (mm)	$\delta_1^z$ (mm)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
Promedio $\bar{x}$					
$\delta_{máx}$					
$2\delta_{SPAT}$					



Punto de referencia	Prueba Spat 20-80 %				
	Valores de X (mm)	Valores de Y (mm)	Valores de Z (mm)	$\delta_i$ (mm)	$\delta_i^2$ (mm)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
Promedio $\bar{x}$					
$\delta_{m\acute{a}x}$					
$2\delta_{spat}$					

Punto de referencia	Prueba Spat 80-100 %				
	Valores de X (mm)	Valores de Y (mm)	Valores de Z (mm)	$\delta_i$ (mm)	$\delta_i^2$ (mm)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
Promedio $\bar{x}$					
$\delta_{m\acute{a}x}$					
$2\delta_{spat}$					

Fuente: Elaboración propia

Para la prueba de diámetro efectivo concluimos entonces que:

- El valor promedio del diámetro de la esfera entre los tres operarios es de  $19,959\text{mm} \pm 0,006\text{mm}$ .
- El valor promedio de medición de la coordenada X entre los 3 operarios es de  $-584,729\text{mm} \pm 0,011\text{mm}$ .
- El valor promedio de medición de la coordenada Y entre los 3 operarios es de  $-134,373\text{mm} \pm 0,006\text{mm}$ .
- El valor promedio de medición de la coordenada Z entre los 3 operarios es de  $-256,949\text{mm} \pm 0,010\text{mm}$ .
- Las dispersiones entre los valores de los tres operarios está por debajo de  $\pm 0,081\text{mm}$ , indicado por el fabricante. Ver anexo B.

Para la prueba de prueba de cono SPAT concluimos entonces que:

- El valor promedio del punto 0-20% en los ejes X,Y,Z entre los dos operarios es de :

$$X = -186,429\text{mm} \pm 0,001\text{mm}$$

$$Y = 87,043\text{mm} \pm 0,005\text{mm}$$

$$Z = -270,450\text{mm} \pm 0,014\text{mm}$$

- El valor promedio del punto 20-80% en los ejes X,Y,Z entre los dos operarios es de :

$$X = -696,556\text{mm} \pm 0,016\text{mm}$$

$$Y = 157,480\text{mm} \pm 0,022\text{mm}$$

$$Z = -270,457\text{mm} \pm 0,007\text{mm}$$

- El valor promedio del punto 80-100% en los ejes X,Y,Z entre los dos operarios es de :

$$X = -999,488\text{mm} \pm 0,020\text{mm}$$

$$Y = 313,059\text{mm} \pm 0,010\text{mm}$$

$$Z = -270,133\text{mm} \pm 0,010\text{mm}$$

- Las dispersiones entre los valores de los dos operarios está por debajo de  $\pm 0,081\text{mm}$ , indicado por el fabricante. Ver anexo C.

### 23. TABLA COMPARATIVA DE VALORES DE LA PIEZA PILOTO

A continuación se muestra una tabla comparativa de las mediciones de las geometrías que componen la pieza piloto medidas con el brazo portátil de medición por coordenadas y con el microscopio digital.

Tabla 7. Tabla comparativa de valores de la pieza piloto

Longitud Medida	Medición en brazo portátil [mm]	Medición en microscopio digital [mm]
L1	129,830	129,823
L2	130,090	130,085
L3	60,063	60,047
L4	48,296	48,288
L5	48,693	48,690
L6	23,603	23,589
L7	9,951	9,944
L8	12,966	12,947
L9	4,942	4,936
L10	20,012	20,005
L11	45,914	45,901
L12	59,977	59,970
L13	9,941	9,937
L14	29,873	29,870
L15	12,961	12,960
L16	4,976	4,968
L17	24,939	24,920
L18	59,796	59,789
L19	4,998	4,985
L20	15,100	15,088
L21	11,973	11,962
L22	9,37	9,345
L23	60,057	60,043
L24	29,969	29,954
L25	13,107	13,092
L26	11,980	11,960
L27	12,964	12,944
L28	11,931	11,901
L29	129,963	129,933

L30	44,937	44,900
L31	29,980	29,957
L32	11,956	11,950
L33	10,044	10,011
L34	8,723	8,707
L35	19,937	19,932
L36	19,518	19,500
L37	45,070	45,065
L38	4,724	4,707
L39	64,818	64,799
L40	48,693	48,687
L41	32,697	32,687
L42	12,234	12,211
L43	21,159	21,148
L44	27,715	27,704
L45	13,931	13,92
L46	6,953	6,94
L47	125,067	125,057
L48	65,004	65,001
L49	32,720	32,713
L50	27,807	27,987
L51	4,953	4,943
L52	85,139	85,138
L53	60,871	60,865
L54	30,128	30,120
L55	9,903	9,900
Ø1	80,021	80,015
Ø2	49,850	49,843
Ø3	12,120	12,115
Ø4	7,060	7,054
Ø5	20,085	20,080
Ø6	30,880	30,876
Ø7	25,018	25,014
Ø8	20,070	20,065
R1	32,542	32,540
R2	130,193	130,190
R3	9,465	9,460
R4	9,970	9,965

Ver anexo D.

## 24. RECOMENDACIONES

Se recomienda tener en cuenta lo siguiente para tener un buen uso del equipo MCA:

- Nunca permitir que personas no capacitadas operen el equipo.
- Solo usar el MCA con el propósito de medir e inspeccionar.
- Antes de usar el brazo asegurarse que está correctamente montado sobre una superficie Horizontal plana.
- Mover el equipo con precaución de no ir a chocarlo contra otros objetos, de suceder esto es prudente chequear la exactitud del brazo nuevamente.
- Durante la medición no forzar ninguna parte del palpador o de la estructura del brazo y evitar los ángulos extremos mayores a  $150^\circ$  de lo contrario aparcerá un error en el software indicando corregir la posición.
- Asegurarse que el palpador está bien sujeto pero no sobre apretado.
- Siempre mantener el brazo fuera de contaminación o impurezas.

Además de estas recomendaciones de uso de la máquina, también se recomienda a la Universidad EAFIT más específicamente al laboratorio de Metrología que preste servicios de extensión a las compañías del sector que ya demandan esta tecnología.

Adquirir la pistola laser en el mercado para realizar ingeniería inversa.

Explorar, documentar y aplicar la prueba de precisión longitudinal volumétrica, la cual no se incluyó en este proyecto por falta de la barra patrón de esferas

## 25. CONCLUSIONES

En la verificación longitudinal X, Y, Z se concluye que el brazo tiene un error máximo de 0,043mm, lo cual indica que está por debajo del error máximo permisible dado por el fabricante que es de 0,081 mm.

La incertidumbre máxima obtenida durante las tres pruebas de verificación fue de  $\pm 0,028\text{mm}$  lo cual indica que el equipo se encuentra por debajo del error máximo permisible por el fabricante que es de 0,081mm.

El resultado de la prueba de diámetro efectivo refleja la desviación entre el diámetro nominal de la esfera que es de 20mm y el diámetro promedio de las 3 mediciones realizadas la cual fue de  $19,959\text{mm} \pm 0,006\text{mm}$ , para una diferencia de diámetro total  $0,041\text{mm} \pm 0,006\text{mm}$ .

El tiempo de medición de la pieza piloto con el brazo fue de 4 horas a pesar de la falta de práctica con el equipo y de 10 horas en el microscopio digital contando con la alta experiencia de este otro, lo cual indica una reducción en tiempo del 60 %.

El microscopio digital tiene un error máximo de  $\pm 0,005\text{mm}$  lo que indica que se puede usar como patrón de referencia para la medición de la pieza piloto comparada con el brazo digitalizador.

De la tabla de valores comparativos entre el brazo y el microscopio se concluye que la diferencia máxima entre ambos métodos para las diferentes geometrías medidas en la pieza es de 0,037mm referente a L30, lo cual indica que el equipo está midiendo dentro del rango permisible por el fabricante.

Del informe de inspección se concluye que la desviación máxima encontrada entre la pieza piloto y el CAD es de 0,005mm

En cuanto a los resultados obtenidos en cada uno de los test propuestos por la norma internacional ASME B89.4.22 la principal conclusión que se puede obtener es que la influencia del operario en los resultados es muy elevada, de hecho se podría considerar el mayor de los factores que intervienen en los resultados a los que se ha llegado después de la realización de este proyecto.

La inexperiencia de las primeras pruebas puede conllevar desviaciones importantes en los resultados, por ello la destreza que se adquiere con la práctica es de vital importancia en estos aparatos.

Tanto los instructivos como los videos desarrollados en este proyecto se convierten en una fuente de información importante para los futuros operarios de los brazos portátiles de medición por coordenadas ya que estos son un punto de partida para seguir desarrollando conocimientos y habilidades.

Con los procedimientos de verificación de brazos portátiles de medición por coordenadas desarrollados en este proyecto el laboratorio de metrología está dispuesto a prestar servicios de extensión a las empresas que lo demanden esta tecnología.

La gran cantidad de tiempo invertido en la preparación de este proyecto que fue alrededor de 400 horas debido a la inexperiencia de la apropiación de la nueva tecnología para el laboratorio y el equipo de trabajo.



## BIBLIOGRAFIA

Análisis de procedimientos de verificación de brazos articulados de medición por coordenadas. NORMA ASME B89.4.22-2004. Disponible en: <http://zaguan.unizar.es/TAZ/EUITIZ/2010/5131/TAZ-PFC-2010-202.pdf>

Bonilla González, Javier. Análisis de procedimientos de verificación de brazos articulados de medición por coordenadas. Norma ASME B89.4.22-2004. Disponible en: <http://zaguan.unizar.es/TAZ/EUITIZ/2010/5131/TAZ-PFC-2010-202.pdf>

J. Santolaria; A.C. Majarena; D. Samper; J.J. García y J.J. Aguilar. Comparación de estándares internacionales de verificación de brazos articulados de medición por coordenadas: ASME B89.4.22-2004 vs VDI 2617\_9-2009. Dpto. Ingeniería de Diseño y Fabricación. Centro Politécnico Superior. Universidad de Zaragoza. Disponible en:

<http://www.uclm.es/actividades/2010/CongresoIM/pdf/cdarticulos/151.pdf>

<http://bdigital.eafit.edu.co:8080/bdng/bdigital/PROYECTO/P671.3B412/P671.3B412.xml>. [Consultada: marzo 10 de 2011]

<http://www.comflyer.com/strg/docs/j19ho55dcnq.pdf>

<http://www.cenam.mx/ammc/queSonMMC.aspx>

[http://www.nikonmetrology.com/products/cmm\\_software/cmm\\_manager/manual/](http://www.nikonmetrology.com/products/cmm_software/cmm_manager/manual/)

Norma ASME B89.4.22.

Manual de usuario del brazo portátil de medición por coordenadas.

## ANEXO A. INFORME DE VERIFICACION LONGITUDINAL



### INFORME DE VERIFICACIÓN

Informe N°: MET-01-2011

Pág. 1 de 3

#### LABORATORIO DE METROLOGIA – UNIVERSIDAD EAFIT

Dirección: Carrera 49 N° 7 sur 50 Bloque 19. Medellín – Colombia.

**EMPRESA:** UNIVERSIDAD EAFIT  
**SOLICITANTE:** WILLIAM HENRY OROZCO PARRA  
**DEPENDENCIA:** Proyecto de Grado  
**DIRECCIÓN:** Carrera 49 N° 7 sur 50. Medellín – Colombia  
**TELÉFONO:** 261 93 86

**EQUIPO VERIFICADO:** Brazo Portátil Articulado  
**FABRICANTE:** Metris  
**MODELO:** 2417V2. 6 (SN 3041)  
**RANGO DE MEDICIÓN:** Ejes X e Y de 0 – 600 mm, Eje Z de 0 – 400 mm.  
**LECTURA MÍNIMA:** 1 µm  
**N° DE IDENTIFICACIÓN:** 36453  
**FECHA RECEPCION EQUIPO:** 2011-04-09  
**FECHA DE CALIBRACIÓN:** 2011-04-12  
**NÚMERO DE PÁGINAS DEL INFORME INCLUYENDO ANEXOS:** 3

**TRABAJO REALIZADO:** Calibración  
**SOLICITUD DE SERVICIO:** Servicio Interno  
**NÚMERO DE PRUEBA:** VBP-110409-01  
**PROCEDIMIENTO UTILIZADO:** P1-2011  
**NORMA TÉCNICA:** DIN 882-1988

Universidad EAFIT-Campus principal  
Carrera 49 7 Sur 90, avenida Las Vegas  
Medellín-Colombia  
Teléfono: 511 04 201990-440900  
Apartado A. r/c: 33001 Fax: 2641284  
Tel: 880-981-269-5

EAFIT Uruigladó  
Edificio 2.5 vía Dnie Dlego  
Bogotá-Colombia  
Teléfono: 505 10 261960 ext: 20000-8562-8880  
Tel. Fax: Bogotá: 505 10 261 8562  
Apartado A. r/c: 2551 Fax: 5221588

EAFIT Bogotá  
Carrera 16 35-48  
Bogotá-Colombia  
Teléfono: 505 70 811 8818  
Apartado A. r/c: 11901 Fax: 8230126

EAFIT Pereira  
Carrera 13 13-70  
Edificio Magisterios, Páramo de San María  
Pereira-Colombia  
Tel. Teléfono: 525 60 2342360-2342371  
Fax: 2342376

[www.eafit.edu.co](http://www.eafit.edu.co)

**Resultados de la Verificación**

Valor del bloque patrón [mm]	Error de medición en el eje X [µm]	Error de medición en el eje Y [µm]	Error de medición en el eje Z [µm]
0	0	0	0
50	- 8,8	+14,2	-26,4
100	-11,2	+16,6	-24,2
150	- 5	+28,4	-24,6
200	+ 0,2	+31,2	-10,4
250	+ 4,6	+32,2	-20,4
300	- 3,4	+28,8	-30,2
350	- 3,6	+32,6	-34,8
400	- 4,2	+32,2	+ 9,4
450	- 1,8	+33,2	x
500	+ 1,6	+41,4	x
550	+ 1,4	+43,2	x
600	+ 6	+ 4,6	x

**Notas:**

- 1) El error de medición se calcula así:  $E = \text{Valor leído en el brazo} - \text{Valor del patrón}$ .
- 2) El error máximo permisible en los eje X,Y,Z es de  $\pm 81 \mu\text{m}$ .
- 3) El Brazo presenta un error máximo de  $+ 43,2 \mu\text{m}$  y mínimo de  $-34,8 \mu\text{m}$ , lo cual indica que está dentro del rango de error máximo permisible por el fabricante.

**INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN**

La incertidumbre de medición tipo A es igual a:  $\pm 12,1 \mu\text{m}$   
 Este valor corresponde a una incertidumbre expandida, con un factor de cobertura  $K= 1$   
 Para un nivel de confianza del 67%.

**TRAZABILIDAD:**

El laboratorio de METROLOGÍA de la universidad EAFIT, asegura el mantenimiento de la trazabilidad de los instrumentos calibrados, con nuestros patrones de referencia, los cuales han sido calibrados en la División de Metrología de la superintendencia de industria y comercio en Bogotá.

En la calibración del instrumento se utilizaron dos cajas de patrones Mitutoyo de 87 unidades, con número de identificación 50075 y 50076, con certificados de calibración N° 18491 y 20003 de la Superintendencia de Industria y Comercio.

### OBSERVACIONES:

1. La humedad relativa del laboratorio se mantiene entre 40% y 60%
2. La temperatura de referencia en el laboratorio es de  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$
3. Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. Puede ser reproducido totalmente, pero no parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente la autorización por escrito del laboratorio que lo emite.
4. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.
5. El signo +(-) significa que la distancia medida con el brazo portátil, con relación a la raya de cero, es más larga(corta) que la longitud nominal del bloque patrón.
6. Estamos a su disposición para las aclaraciones que considere convenientes

Ciudad y Fecha: Medellín, 12 de abril de 2011.

### FIRMAS AUTORIZADAS



**WILLIAM HENRY OROZCO PARRA**  
Coordinador  
Laboratorio de Metrología  
Teléfono Directo: 261 93 86



**NELSON BEDOYA CARDONA**  
Analista  
Verificado por:

W. Orozco

## ANEXO B. INFORME DE VERIFICACION DE PRUEBA DE DIAMETRO EFECTIVO Y CENTRO DE ESFERAS



### INFORME DE VERIFICACIÓN

Informe N°: MET-02-2011

Pág. 1 de 4

#### LABORATORIO DE METROLOGIA – UNIVERSIDAD EAFIT

Dirección: Carrera 49 N° 7 sur 50 Bloque 18. Medellín – Colombia.

EMPRESA: UNIVERSIDAD EAFIT  
 SOLICITANTE: WILLIAM HENRY GROZCO PARRA  
 DEPENDENCIA: Proyecto de Grado  
 DIRECCIÓN: Carrera 49 N° 7 sur 50. Medellín – Colombia  
 TELEFONO: 261 93 86

EQUIPO VERIFICADO: Brazo Portátil Articulado  
 FABRICANTE: Metris  
 MODELO: 2417V2. 6 (SN 3041)  
 RANGO DE MEDICIÓN: Ejes X e Y de 0 – 600 mm, Eje Z de 0 – 400 mm.  
 LECTURA MÍNIMA: 1 µm  
 N° DE IDENTIFICACIÓN: 36453  
 FECHA RECEPCION EQUIPO: 2011-05-09  
 FECHA DE VERIFICACIÓN: 2011-05-10

NÚMERO DE PÁGINAS DEL INFORME INCLUYENDO ANEXOS: 4

TRABAJO REALIZADO: Verif. prueba diámetro efectivo y centro de esfera  
 SOLICITUD DE SERVICIO: Servicio Interno  
 NÚMERO DE PRUEBA: VBP-110008-01  
 PROCEDIMIENTO UTILIZADO: P1-2011  
 NORMA TÉCNICA: DIN 862-1988

Universidad EAFIT-Campus principal  
 Carrera 49 7 Sur 50, Bloque 18, Medellín  
 Medellín-Colombia  
 Tel. línea: 261 93 86 (línea gratuita)  
 Apellido A. ext. 222 | Fax: 261 93 86  
 800 400 000 (toll free)

EAFIT Línea grande  
 Carrera 49 7 Sur 50, Bloque 18  
 Medellín-Colombia  
 Tel. línea: 261 93 86 (línea gratuita) 800 400 000  
 Tel. línea directa: 261 93 86 (línea gratuita)  
 Apellido A. ext. 222 | Fax: 261 93 86

EAFIT Bogotá  
 Carrera 49 7 Sur 50  
 Bogotá-Colombia  
 Tel. línea: 261 93 86 (línea gratuita)  
 Apellido A. ext. 100 | Fax: 261 93 86

EAFIT Pereira  
 Carrera 49 7 Sur 50  
 Edificio Magisterio, Bloque 18 Sur  
 Pereira-Colombia  
 Tel. línea: 261 93 86 (línea gratuita)  
 Fax: 261 93 86

[www.eafit.edu.co](http://www.eafit.edu.co)

### Resultados de la Verificación

Verificación: Prueba de diámetro efectivo y Centro de esfera

#### Operario N° 1

Punto medido	Valor promedio de la medición [mm]	Incertidumbre estándar tipo A [mm]
Diámetro de la esfera	19,951	± 0,004
Coordenada eje X	-584,707	± 0,004
Coordenada eje Y	-134,388	± 0,008
Coordenada eje Z	-256,938	± 0,008

#### Operario N° 2

Punto medido	Valor promedio de la medición [mm]	Incertidumbre estándar tipo A [mm]
Diámetro de la esfera	19,967	± 0,003
Coordenada eje X	-584,746	± 0,006
Coordenada eje Y	-134,389	± 0,002
Coordenada eje Z	-256,939	± 0,007

#### Operario N° 3

Punto medido	Valor promedio de la medición [mm]	Incertidumbre estándar tipo A [mm]
Diámetro de la esfera	19,964	± 0,002
Coordenada eje X	-584,736	± 0,009
Coordenada eje Y	-134,388	± 0,006
Coordenada eje Z	-256,971	± 0,006



### Resultados de la Verificación

Verificación: Prueba de diámetro efectivo y Centro de esfera

#### CONCLUSIONES

- 1) El valor promedio del diámetro de la esfera entre los 3 operarios es de  $\pm 19,959$  mm  $\pm 0,006$  mm.
- 2) El valor promedio de medición de la coordenada X entre los 3 operarios es de:  
 $-584,729$  mm  $\pm 0,011$  mm.
- 3) El valor promedio de medición de la coordenada Y entre los 3 operarios es de:  
 $-134,373$  mm  $\pm 0,006$  mm.
- 4) El valor promedio de medición de la coordenada Z entre los 3 operarios es de:  
 $-256,949$  mm  $\pm 0,010$ .
- 5) Concluimos que las dispersiones de los valores entre los 3 operarios está por debajo de  $\pm 0,081$  mm, indicado por el fabricante.

#### Notas:

- 1) Para que el brazo portátil reporte los valores del diámetro de la esfera y de las coordenadas X,Y,Z se deben tomar 9 puntos de medición sobre la esfera. Según recomienda el instructivo del manual de la misma.
- 2) Para sacar el promedio de la medición, cada operario realizó 3 mediciones del punto medido.
- 3) El centro de la esfera queda evaluado con sus posiciones X,Y,Z en el espacio.
- 4) El signo negativo de las coordenadas X,Y,Z indica que la distancia medida está a la izquierda del cero de referencia sobre la mesa.

#### INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

La Incertidumbre de medición calculada es de tipo A según se describe en la GTC 115 de Icontec.

#### TRAZABILIDAD:

El laboratorio de METROLOGÍA de la universidad EAFIT, asegura el mantenimiento de la trazabilidad de los instrumentos calibrados, con nuestros patrones de referencia, los cuales han sido calibrados en la División de Metrología de la superintendencia de industria y comercio en Bogotá.

En la calibración del instrumento se utilizaron dos cajas de patrones Mitutoyo de 87 unidades, con número de identificación 50075 y 50076, con certificados de calibración N° 18491 y 20003 de la Superintendencia de Industria y Comercio.

Informe N°: MET-02-2011

Pág. 4 de 4

### OBSERVACIONES:

1. La humedad relativa del laboratorio se mantiene entre 40% y 60%.
2. La temperatura de referencia en el laboratorio es de  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ .
3. Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. Puede ser reproducido totalmente, pero no parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente la autorización por escrito del laboratorio que lo emite.
4. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.
5. Estamos a su disposición para las aclaraciones que considere convenientes.

Ciudad y Fecha: Medellín, 11 de mayo de 2011.

### FIRMAS AUTORIZADAS



**WILLIAM HENRY OROZCO PARRA**  
Coordinador  
Laboratorio de Metrología  
Teléfono Directo: 261 93 86



**NELSON BEDOYA CARDONA**  
Analista  
Verificado por:

W. Orozco



## ANEXO C. INFORME DE PRUEBA DE CONO SPAT



### INFORME DE VERIFICACIÓN

Informe N°: MET-03-2011

Pág. 1 de 5

LABORATORIO DE METROLOGIA – UNIVERSIDAD EAFIT

Dirección: Carrera 49 N° 7 sur 50 Bloque 19. Medellín – Colombia.

**EMPRESA:** UNIVERSIDAD EAFIT  
**SOLICITANTE:** WILLIAM HENRY OROZCO PARRA  
**DEPENDENCIA:** Proyecto de Grado  
**DIRECCIÓN:** Carrera 49 N° 7 sur 50. Medellín – Colombia  
**TELÉFONO:** 261 93 86

**EQUIPO VERIFICADO:** Brazo Portátil Articulado  
**FABRICANTE:** Metris  
**MODELO:** 2417V2. 6 (SN 3041)  
**RANGO DE MEDICIÓN:** Ejes X e Y de 0 – 600 mm. Eje Z de 0 – 400 mm.  
**LECTURA MÍNIMA:** 1  $\mu$ m  
**N° DE IDENTIFICACIÓN:** 36453  
**FECHA RECEPCION EQUIPO:** 2011-05-09  
**FECHA DE VERIFICACIÓN:** 2011-05-10  
**NÚMERO DE PÁGINAS DEL INFORME INCLUYENDO ANEXOS:** 5

**TRABAJO REALIZADO:** Prueba de cono SPAT  
**SOLICITUD DE SERVICIO:** Servicio Interno  
**NÚMERO DE PRUEBA:** VBP-110509-02  
**PROCEDIMIENTO UTILIZADO:** P3-2011  
**NORMA TÉCNICA:** ASME B89.4.22-2004

Universidad EAFIT-Campus principal  
Carrera 49 N° 7 sur 50, Avenida Las Vegas  
Medellín-Colombia  
Teléfono: (57) (4) 267900-436920  
Apartado A. rec: 2300 | Fax: 265024  
Web: 800.800.3992

EAFIT Líneagranda  
Calle 35 no. Don Diego  
Barranquilla-Colombia  
Teléfono: (57) (4) 391900 extensiones: 3502-3100  
Teléfono directo: (57) (4) 267992  
Apartado A. rec: 725 | Fax: 362189

EAFIT Bogotá  
Carrera 39-29-46  
Bogotá-Colombia  
Teléfono: (57) (1) 6114919  
Apartado A. rec: 1109 | Fax: 6238126

EAFIT Pereira  
Carrera 15-10-76  
Barriles Magnánimas, Finca de San Mateo  
Pereira-Colombia  
Teléfono: (57) (4) 210202-210213  
Fax: 210176

[www.eafit.edu.co](http://www.eafit.edu.co)

### Resultados de la Verificación Verificación: Prueba de cono SPAT

#### Operario N° 1

##### SPAT 0-20%

Punto medido	Valor promedio de la medición [mm]	Incertidumbre estándar tipo A [mm]
Coordenada eje X	-186,429	± 0,016
Coordenada eje Y	87,038	± 0,012
Coordenada eje Z	-270,436	± 0,016
Desviación máx del punto( δmáx)	0,102	

##### SPAT 20-80 %

Punto medido	Valor promedio de la medición [mm]	Incertidumbre estándar tipo A [mm]
Coordenada eje X	-696,544	± 0,005
Coordenada eje Y	157,458	± 0,011
Coordenada eje Z	-270,464	± 0,023
Desviación máx del punto( δmáx)	0,121	

##### SPAT 80-100 %

Punto medido	Valor promedio de la medición [mm]	Incertidumbre estándar tipo A [mm]
Coordenada eje X	-999,509	± 0,004
Coordenada eje Y	313,049	± 0,011
Coordenada eje Z	-270,143	± 0,028
Desviación máx del punto( δmáx)	0,128	

**Resultados de la Verificación**  
**Verificación: Prueba de cono SPAT**  
**Operario N° 2**

**SPAT 0-20%**

Punto medido	Valor promedio de la medición [mm]	Incertidumbre estándar tipo A [mm]
Coordenada eje X	-186,429	± 0,014
Coordenada eje Y	87,049	± 0,013
Coordenada eje Z	-270,464	± 0,027
Desviación máx del punto( δmáx)	0,134	

**SPAT 20-80 %**

Punto medido	Valor promedio de la medición [mm]	Incertidumbre estándar tipo A [mm]
Coordenada eje X	-696,576	± 0,006
Coordenada eje Y	157,503	± 0,005
Coordenada eje Z	-270,450	± 0,022
Desviación máx del punto( δmáx)	0,098	

**SPAT 80-100 %**

Punto medido	Valor promedio de la medición [mm]	Incertidumbre estándar tipo A [mm]
Coordenada eje X	-999,468	± 0,008
Coordenada eje Y	313,070	± 0,009
Coordenada eje Z	-270,123	± 0,016
Desviación máx del punto( δmáx)	0,092	

### Resultados de la Verificación

Verificación: Prueba de cono SPAT

#### CONCLUSIONES

- 1) El valor promedio del punto 0-20 % en los ejes X,Y,Z entre los dos operarios es de:  
 $X = -186,429 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm.}$   
 $Y = 87,043 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm.}$   
 $Z = -270,450 \text{ mm} \pm 0,014 \text{ mm.}$
- 2) El valor promedio del punto 20-80 % en los ejes X,Y,Z entre los dos operarios es de:  
 $X = -696,556 \text{ mm} \pm 0,016 \text{ mm.}$   
 $Y = 157,480 \text{ mm} \pm 0,022 \text{ mm.}$   
 $Z = -270,457 \text{ mm} \pm 0,007 \text{ mm.}$
- 3) El valor promedio del punto 80-100 % en los ejes X,Y,Z entre los dos operarios es de:  
 $X = -999,488 \text{ mm} \pm 0,020 \text{ mm.}$   
 $Y = 313,059 \text{ mm} \pm 0,010 \text{ mm.}$   
 $Z = -270,133 \text{ mm} \pm 0,010 \text{ mm.}$
- 4) Concluimos que las dispersiones de los valores entre los 2 operarios está por debajo de  $\pm 0,081 \text{ mm}$ , indicado por el fabricante.

#### Notas:

- 1) La prueba de cono (Single – Point Articulación Performance test) S P A T Se realizo a una distancia del 0-20%, 20-80% 80-100% del alcance del brazo
- 2) La prueba se realizo con dos operarios.
- 3) El signo negativo de las coordenadas X,Y,Z indica que la distancia medida está a la izquierda del cero de referencia sobre la mesa.

#### INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

La Incertidumbre de medición calculada es de tipo A según se describe en la GTC 115 de Icontec.

**OBSERVACIONES:**

1. La humedad relativa del laboratorio se mantiene entre 40% y 60%
2. La temperatura de referencia en el laboratorio es de  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$
3. Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. Puede ser reproducido totalmente, pero no parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente la autorización por escrito del laboratorio que lo emite.
4. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.
5. Estamos a su disposición para las aclaraciones que considere convenientes

Ciudad y Fecha: Medellín, 19 de mayo de 2011.

**FIRMAS AUTORIZADAS**



**WILLIAM HENRY OROZCO PARRA**  
Coordinador  
Laboratorio de Metrología  
Teléfono Directo: 261 93 86

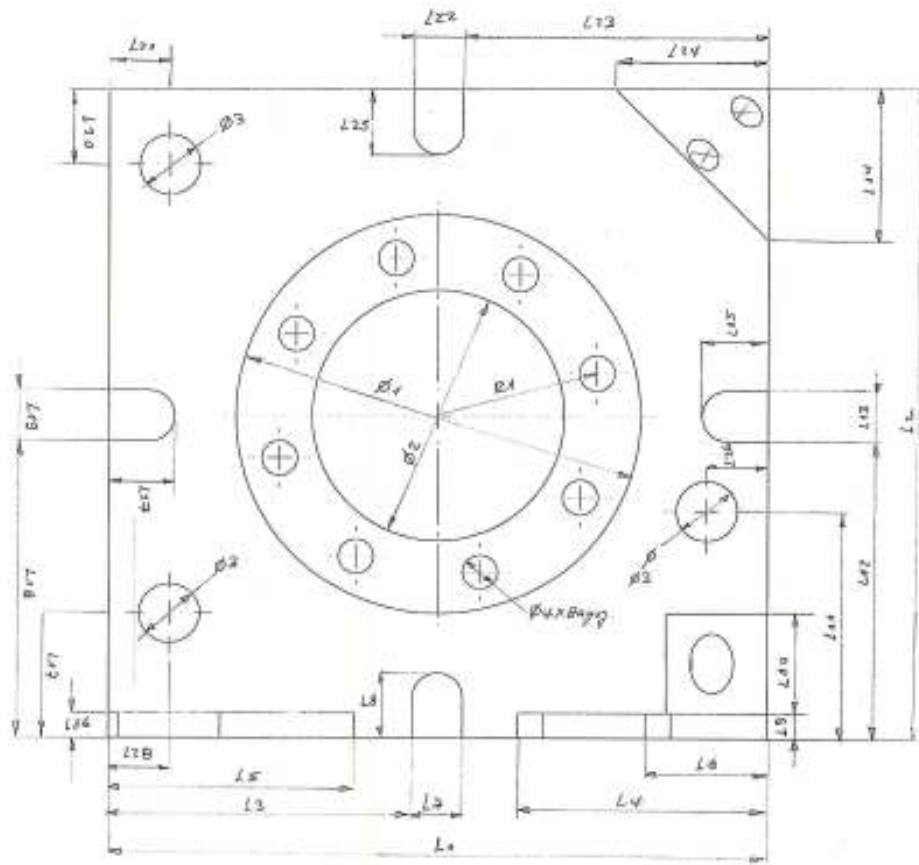


**NELSON BEDOYA CARDONA**  
Analista  
Verificado por:

W. Orozco

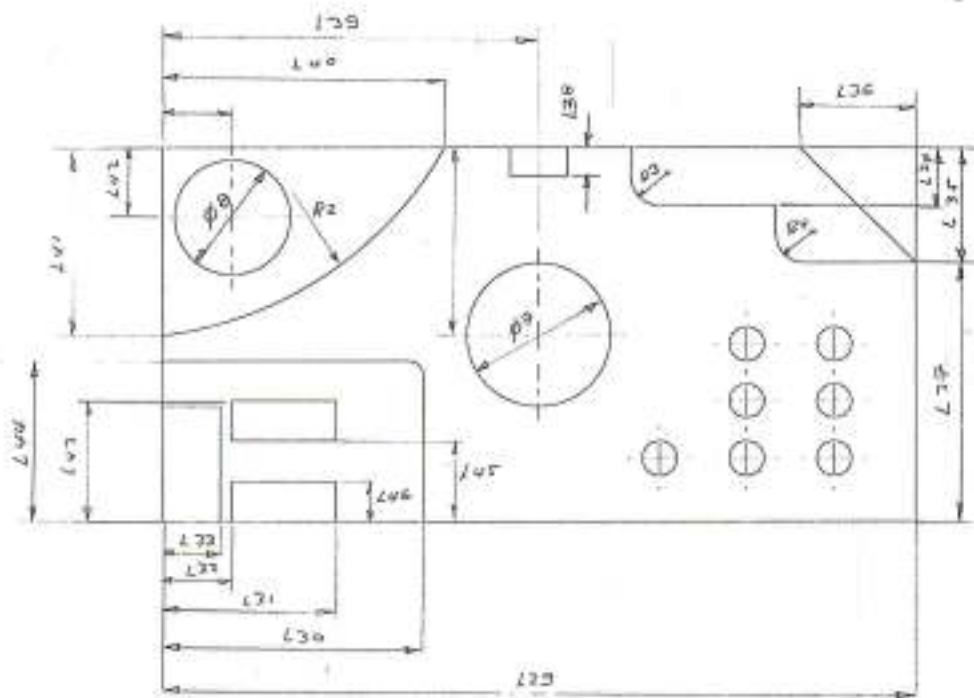
# ANEXO D. PLANOS DE LA PIEZA PILOTO

## VISTA SUPERIOR





# VISTA FRONTAL












## ANEXO E. INFORME DE INSPECCIÓN DE LA PIEZA PILOTO V.S CAD

CMM-Manager Report						
Report Name	MyReport1					
Part Name	MyPartName					
Part No.	MyPartNo					
Inspector	Metris MCA 3041					
Company	EAFIT					
Date	Tuesday, May 31, 2011					
Time	10:06 AM					
Unit	MM					
#1 Tolerance Report						
Feature	LINE1					
Feature	LINE2					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,130	0,130	0,000	0,000	0,000	0,000
#2 Tolerance Report						
Feature	LINE4					
Feature	LINE3					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,130	0,130	0,000	0,000	0,000	0,000
#3 Tolerance Report						
Feature	LINE5					
Feature	LINE1					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,065	0,065	0,000	0,000	0,000	0,000
#4 Tolerance Report						
Feature	LINE1					
Feature	POINT1					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,049	0,049	0,000	0,000	0,000	0,000
#5 Tolerance Report						
Feature	LINE2					
Feature	LINE7					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
XY	0,024	0,024	0,000	0,000	0,000	0,000
#6 Tolerance Report						
Feature	LINE8					
Feature	LINE2					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
XY	0,048	0,048	0,000	0,000	0,000	0,000

#7 Tolerance Report						
Feature	PLANE11					
Feature	PLANE6					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
XY	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000
#8 Tolerance Report						
Feature	LINE9					
Feature	LINE1					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
XY	0,060	0,060	0,000	0,000	0,000	0,000
#9 Tolerance Report						
Feature	POINT2					
Feature	LINE3					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
XY	0,013	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000
#10 Tolerance Report						
Feature	LINE11					
Feature	LINE3					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
XY	0,005	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
#11 Tolerance Report						
Feature	LINE12					
Feature	LINE11					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
XY	0,020	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000
#12 Tolerance Report						
Feature	POINT3					
Feature	LINE3					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
XY	0,046	0,046	0,000	0,000	0,000	0,000
#13 Tolerance Report						
Feature	LINE13					
Feature	LINE3					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
XY	0,060	0,060	0,000	0,000	0,000	0,000
#14 Tolerance Report						
Feature	POINT4					
Feature	LINE2					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
XY	0,013	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000

#15 Tolerance Report						
Feature	POINT5					
Feature	LINE4					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
XY	0,030	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000
#16 Tolerance Report						
Feature	POINT6					
Feature	LINE2					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
XY	0,030	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000
#17 Tolerance Report						
Feature	LINE17					
Feature	LINE3					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
XY	0,005	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
#18 Tolerance Report						
Feature	POINT7					
Feature	LINE3					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
XY	0,025	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000
#19 Tolerance Report						
Feature	POINT7					
Feature	LINE1					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
XY	0,012	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000
#20 Tolerance Report						
Feature	POINT8					
Feature	LINE1					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
XY	0,013	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000
#21 Tolerance Report						
Feature	LINE19					
Feature	LINE3					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
XY	0,060	0,060	0,000	0,000	0,000	0,000
#22 Tolerance Report						
Feature	PLANE18					
Feature	LINE2					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,060	0,060	0,000	0,000	0,000	0,000

#23 Tolerance Report						
Feature	LINE4					
Feature	POINT9					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,013	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000
#24 Tolerance Report						
Feature	LINE4					
Feature	POINT12					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,015	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000
#25 Tolerance Report						
Feature	POINT3					
Feature	LINE2					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,012	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000
#26 Tolerance Report						
Feature	POINT12					
Feature	LINE1					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,012	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000
#27 Tolerance Report						
Feature	POINT12					
Feature	LINE4					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,015	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000
#28 Tolerance Report						
Feature	CIRCLE13					
Type	CIRCLE					
SubType	INNER					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
X	0,030	0,030	0,000	0,000	0,000	
Y	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Z	-0,033	-0,032	0,000	0,000	0,000	0,000
DIA	0,030	0,031	0,001	0,000	0,000	0,001
CIR			0,000		0,000	
#29 Tolerance Report						
Feature	POINT13					
Feature	LINE21					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,033	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000
#30 Tolerance Report						
Feature	PLANE2					
Feature	PLANE19					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,065	0,065	0,000	0,000	0,000	0,000

#31 Tolerance Report						
Feature	LINE23					
Feature	PLANE19					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,028	0,023	-0,005	0,000	0,000	-0,005
#32 Tolerance Report						
Feature	POINT13					
Feature	PLANE1					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,030	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000
#33 Tolerance Report						
Feature	POINT14					
Feature	PLANE1					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,085	0,085	0,000	0,000	0,000	0,000
#34 Tolerance Report						
Feature	CIRCLE13					
Type	CIRCLE					
SubType	INNER					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
X	0,030	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000
Y	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Z	-0,033	-0,032	0,000	0,000	0,000	0,000
DIA	0,030	0,031	0,001	0,000	0,000	0,001
CIR			0,000		0,000	
#35 Tolerance Report						
Feature	CIRCLE14					
Type	CIRCLE					
SubType	INNER					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
X	0,085	0,085	0,000	0,000	0,000	0,000
Y	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Z	-0,033	-0,032	0,000	0,000	0,000	0,000
DIA	0,020	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000
CIR			0,000		0,000	
#36 Tolerance Report						
Feature	LINE24					
Feature	PLANE1					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,061	0,061	0,000	0,000	0,000	0,000
#37 Tolerance Report						
Feature	PLANE17					
Feature	PLANE21					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000

#38 Tolerance Report						
Feature	PLANE20					
Feature	PLANE1					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,125	0,125	0,000	0,000	0,000	0,000
#39 Tolerance Report						
Feature	PLANE4					
Feature	PLANE20					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,005	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
#40 Tolerance Report						
Feature	PLANE3					
Feature	PLANE5					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,130	0,130	0,000	0,000	0,000	0,000
#41 Tolerance Report						
Feature	PLANE3					
Feature	PLANE22					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,045	0,044	-0,001	0,000	0,000	-0,001
#42 Tolerance Report						
Feature	PLANE23					
Feature	PLANE3					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,030	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000
#43 Tolerance Report						
Feature	PLANE24					
Feature	PLANE3					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,012	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000
#44 Tolerance Report						
Feature	PLANE25					
Feature	PLANE3					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000
#45 Tolerance Report						
Feature	PLANE26					
Feature	PLANE19					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,021	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000

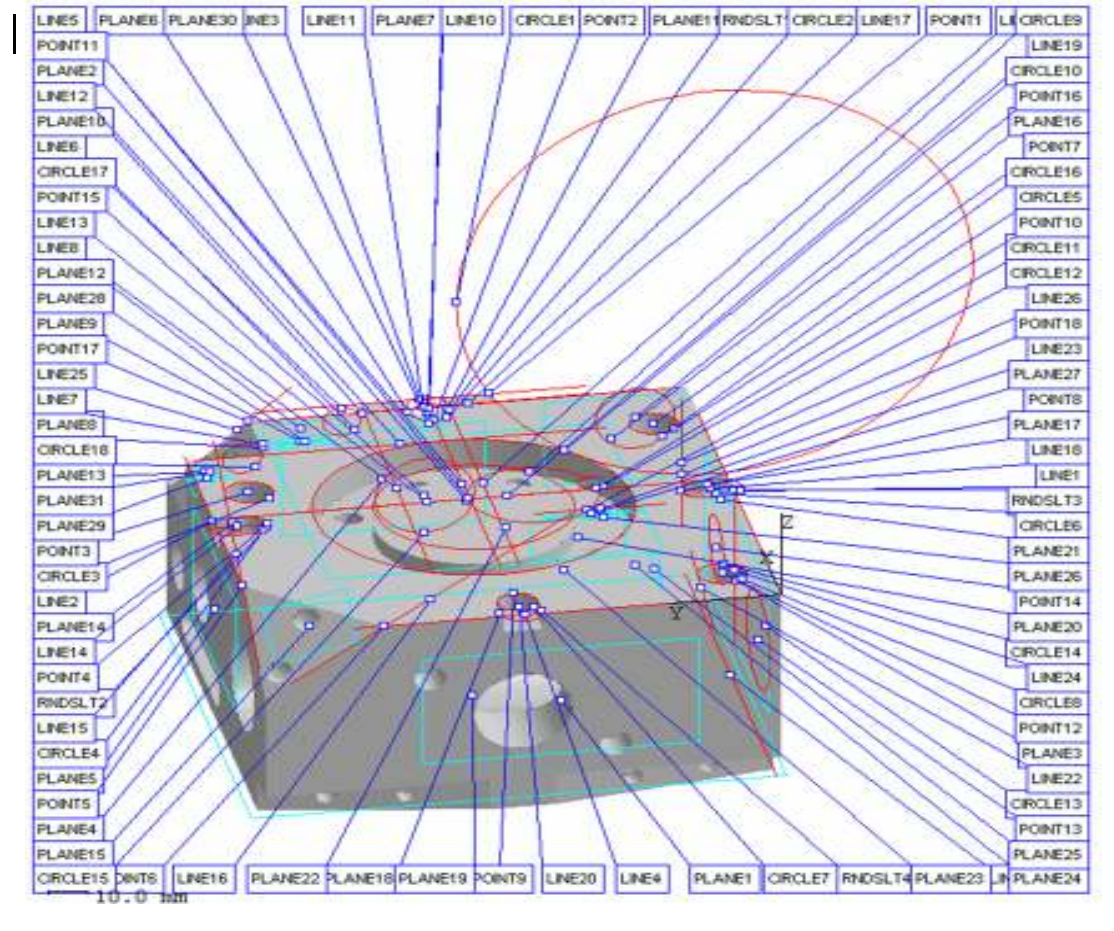
#46 Tolerance Report						
Feature	PLANE19					
Feature	PLANE27					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,028	0,023	-0,005	0,000	0,000	-0,005
#47 Tolerance Report						
Feature	PLANE29					
Feature	PLANE19					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,045	0,045	0,000	0,000	0,000	0,000
#48 Tolerance Report						
Feature	POINT15					
Feature	PLANE3					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,065	0,065	0,000	0,000	0,000	0,000
#49 Tolerance Report						
Feature	POINT15					
Feature	LINE3					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,033	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000
#50 Tolerance Report						
Feature	POINT16					
Feature	PLANE3					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,012	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000
#51 Tolerance Report						
Feature	LINE3					
Feature	POINT16					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,012	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000
#52 Tolerance Report						
Feature	CIRCLE15					
Type	CIRCLE					
SubType	INNER					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
X	0,130	0,130	0,000	0,000	0,000	
Y	0,065	0,065	0,000	0,000	0,000	0,000
Z	-0,033	-0,033	0,000	0,000	0,000	0,000
DIA	0,025	0,025	0,000	0,000	0,000	
CIR			0,000		0,000	0,000

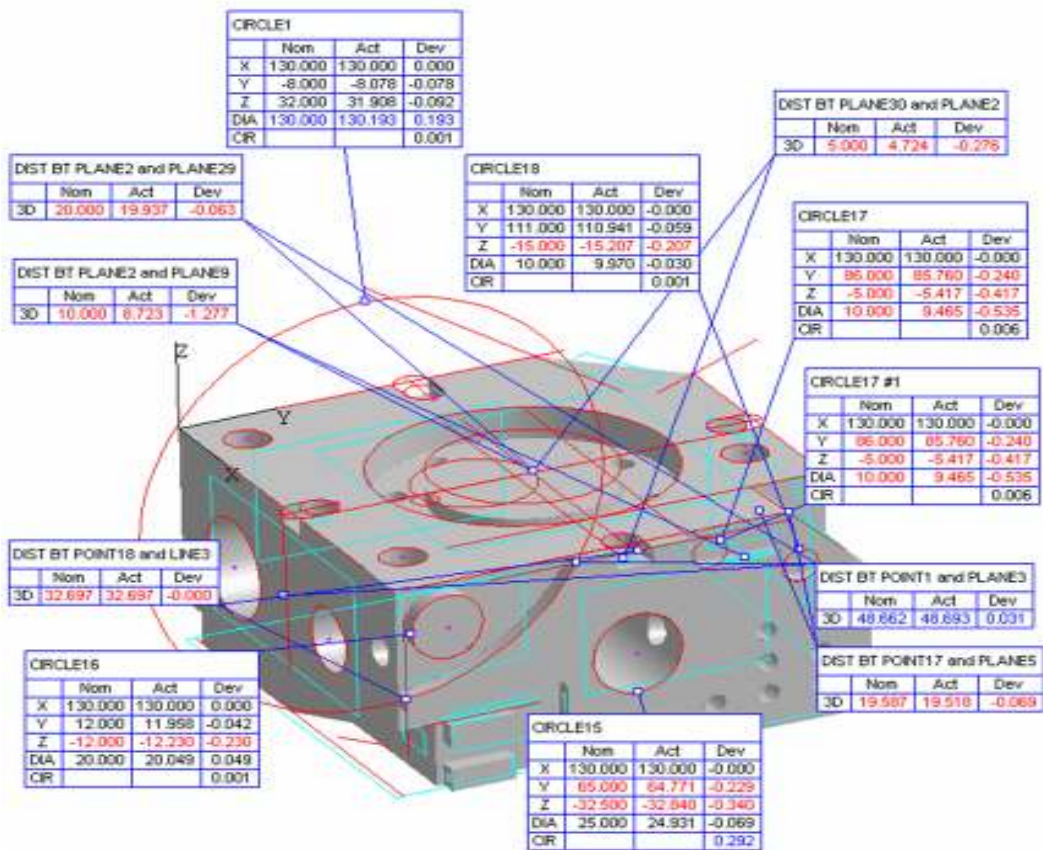
#53 Tolerance Report						
Feature	CIRCLE16					
Type	CIRCLE					
SubType	OUTER					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
X	0,130	0,130	0,000	0,000	0,000	
Y	0,012	0,012	0,000	0,000	0,000	
Z	-0,012	-0,012	0,000	0,000	0,000	0,000
DIA	0,020	0,020	0,000	0,000	0,000	
CIR			0,000		0,000	
#54 Tolerance Report						
Feature	CIRCLE1					
Type	CIRCLE					
SubType	INNER					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
X	0,130	0,130	0,000	0,000	0,000	
Y	-0,008	-0,008	0,000	0,000	0,000	
Z	0,032	0,032	0,000	0,000	0,000	
DIA	0,130	0,130	0,000	0,000	0,000	0,000
CIR			0,000		0,000	
#55 Tolerance Report						
Feature	PLANE30					
Feature	PLANE2					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,005	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
#56 Tolerance Report						
Feature	CIRCLE17					
Type	CIRCLE					
SubType	INNER					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
X	0,130	0,130	0,000	0,000	0,000	
Y	0,086	0,086	0,000	0,000	0,000	0,000
Z	-0,005	-0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
DIA	0,010	0,009	-0,001	0,000	0,000	0,000
CIR			0,000		0,000	
#57 Tolerance Report						
Feature	CIRCLE17					
Type	CIRCLE					
SubType	INNER					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
X	0,130	0,130	0,000	0,000	0,000	
Y	0,086	0,086	0,000	0,000	0,000	0,000
Z	-0,005	-0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
DIA	0,010	0,009	-0,001	0,000	0,000	0,000
CIR			0,000		0,000	



#58 Tolerance Report						
Feature	CIRCLE18					
Type	CIRCLE					
SubType	INNER					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
X	0,130	0,130	0,000	0,000	0,000	
Y	0,111	0,111	0,000	0,000	0,000	
Z	-0,015	-0,015	0,000	0,000	0,000	0,000
DIA	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	
CIR			0,000		0,000	
#59 Tolerance Report						
Feature	PLANE2					
Feature	PLANE9					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,010	0,009	-0,001	0,000	0,000	-0,001
#60 Tolerance Report						
Feature	PLANE2					
Feature	PLANE29					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,020	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000
#61 Tolerance Report						
Feature	POINT17					
Feature	PLANE5					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,020	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000
#62 Tolerance Report						
Feature	POINT1					
Feature	PLANE3					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,049	0,049	0,000	0,000	0,000	0,000
#63 Tolerance Report						
Feature	POINT18					
Feature	LINE3					
Type	DIST_BTW					
	Nom	Act	Dev	LoTol	UpTol	OutTol
3D	0,033	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000

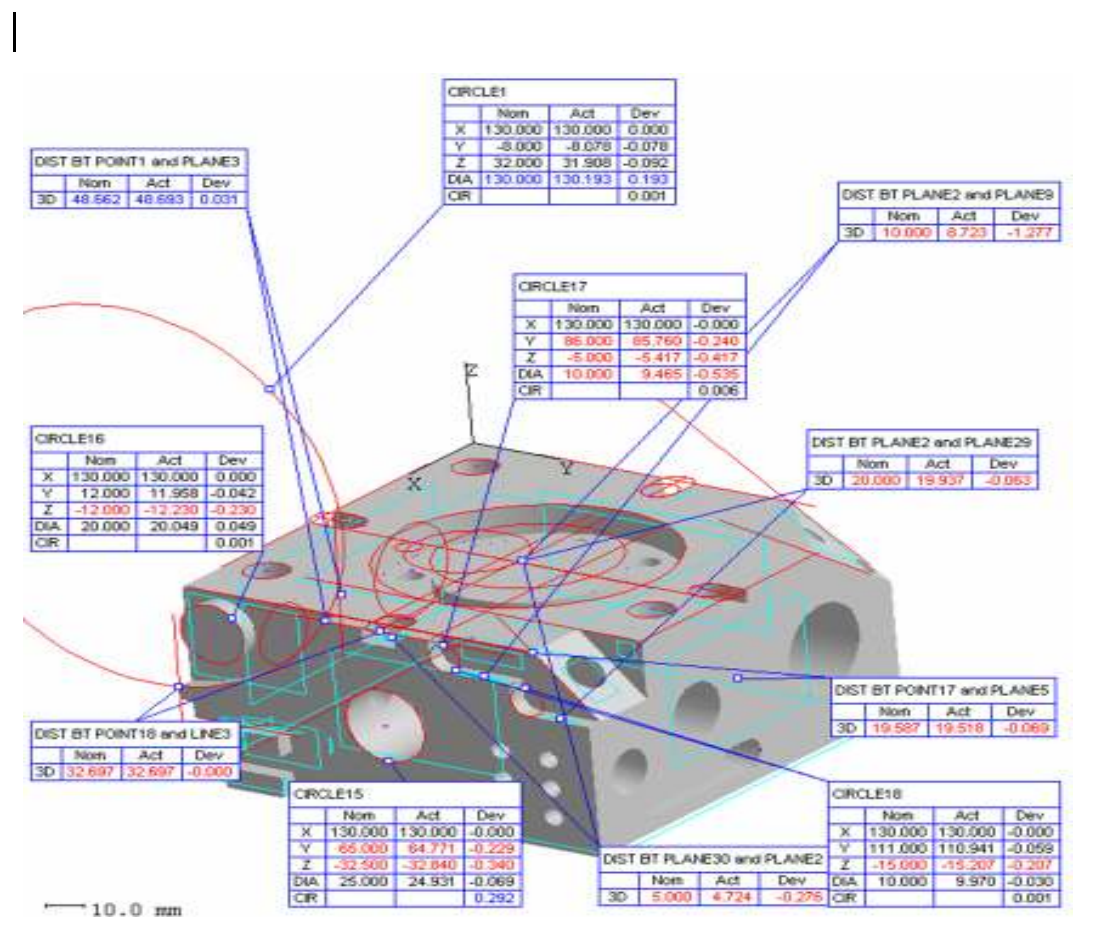




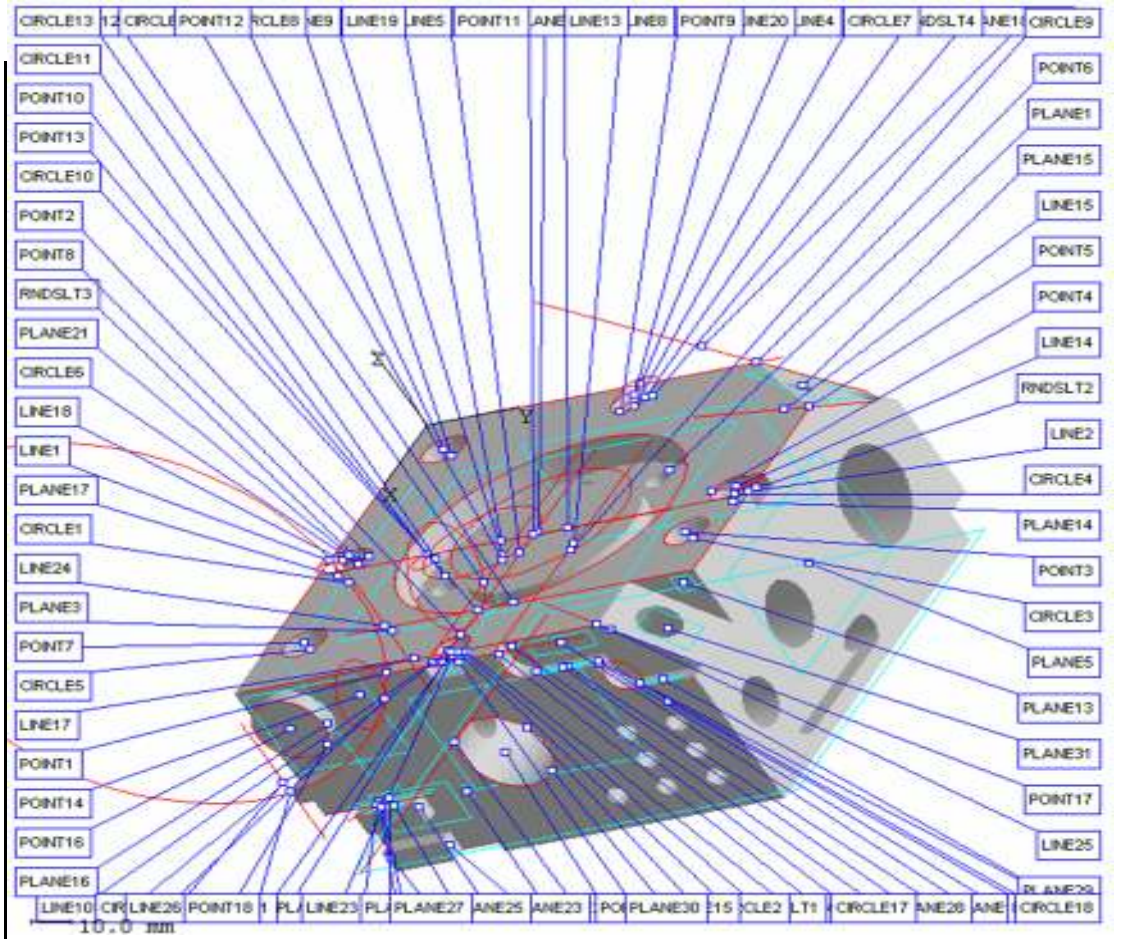


10.0 mm











#70 Graphical Report

Name MyGraphRpt7

