

Envío: 19 -04-2012

Aceptación: 26-04-2012

Publicación: 13-08-2012

# **SUJECION DE PIEZAS DURANTE LAS MEDICIONES CON M.M.C**

---

## **SUBORDINATION OF PIECES DURING THE MEASUREMENTS WITH M.M.C**

Miguel Ángel Sellés Cantó<sup>1</sup>

Miguel Ángel Peydró Rasero<sup>2</sup>

Elena Pérez Bernabeu<sup>3</sup>

Víctor Gisbert Soler<sup>4</sup>

1. Doctor Ingeniero en Organización Industrial. Instituto de Tecnología de Materiales. Universidad Politécnica de Valencia.
2. Ingeniero Técnico Industrial en Mecánica. Ingeniero de Organización Industrial. Universidad Politécnica de Valencia. Instituto de Tecnología de Materiales.
3. Doctor Ingeniero en Organización Industrial. Departamento de Estadística e Investigación Operativa Aplicadas y Calidad. Universidad Politécnica de Valencia.
4. Doctor Ingeniero Industrial. Departamento de Estadística e Investigación Operativa Aplicadas y Calidad. Universidad Politécnica de Valencia.

## RESUMEN

Las Máquinas de Medir por Coordenadas (M.M.C) han determinado a lo largo de su historia un papel cada vez más importante. Estamos hablando a un nivel empresarial, del control de calidad. Un sistema que se está implementando en todas las empresas, y que desarrolla unas herramientas para controlar una serie de parámetros con tal de estabilizar una producción a nivel estándar.

En este trabajo, se expone en primer lugar una introducción al uso de las M.M.C. como herramientas de control de calidad en las Pymes. Después, se profundiza en la importancia que tiene la colocación y el amarre de una pieza antes de ser medida en una M.M.C. Para ello, se analizan cuatro posibles amarres, y se obtienen las desviaciones que se producen en cada uno de ellos. Estos amarres están diseñados para la colocación de una misma pieza en los cuatro casos.

En último lugar, se comparan los resultados obtenidos y se muestra cual es la mejor forma de situar la pieza en la máquina M.M.C.

## ABSTRACT

This Coordinate Measuring Machines (C.M.M.) has had an increasingly important role throughout history. We are talking to an enterprise-level quality control. A system that is being implemented in all companies, and has developed some tools to control a variety of parameters such as production stabilization.

In this paper, we first set out an introduction to the use of C.M.M. as tools for quality control in SME's. Then we explore the importance of piece positioning and clamping before being measured in a C.M.M. We finally analyze four possible moorings, and deviations are obtained. These moorings are designed in order to place the same work piece in the four cases.

Finally, the results obtained are compared and show which is the best way to put the part on the C.M.M.

## PALABRAS CLAVE

Control de calidad; medición; máquina de medir por coordenadas; amarre; metrología.

## KEY WORDS

Quality control; measurement; coordinate measurement machine; mooring; metrology.

## INTRODUCCIÓN

Es importante controlar los productos que se van produciendo a lo largo de las diferentes fases de producción. Durante las fases finales o durante las mismas se realizan una serie de controles con tal de asegurarse una buena producción, mediante el uso de un software estadístico apropiado. Esta serie de procesos determinan si existe algún fallo, y en caso de ello se rectifica a tiempo, y se eliminan todos los productos que tengan el mismo error. Lo malo es que dependiendo del nivel de control de calidad que se emplee habrá unas pérdidas mayores o menores, pero que a largo plazo no repercuten demasiado.

Hoy en día es fundamental tener un control diario de la producción, ya que vivimos en una sociedad donde la tecnología avanza a un ritmo frenético, donde se exige un alto control para su perfecto funcionamiento. Un solo descuido puede llegar a tirar toda una producción.

Es importante también la posición del mercado en que una empresa puede estar. La competencia se hace cada vez más fuerte y difícil de superar, y es por ello que se exige una producción factible y a la vez perfecta, teniendo el menor número de anomalías posibles y exigiendo un mayor control. Y aunque esto suponga un aumento del presupuesto, es bastante recomendado si se quiere llegar alto.

Lo que determina la importancia de una M.M.C. es que puede ser usada para medir con exactitud objetos en un amplio rango de tamaños y configuraciones geométricas. Esta flexibilidad, y la velocidad de operación de la medición por coordenadas comparada con las técnicas de superficies planas y de galgas fijas, significa que los resultados de la medición pueden ser utilizados para refinar de una manera económica aplicaciones de procesos fabricación, además de analizar las tendencias del proceso.

## LAS MÁQUINAS DE MEDIR POR COORDENADAS

Sea cual sea el tipo de máquina, en general las máquinas de medición de coordenadas recogen información dimensional detallada desplazando un palpador a lo largo de las superficies de la pieza de trabajo. La mayoría de las M.M.C. adquieren los datos utilizando un palpador de gatillo que hace contacto en puntos individuales de la pieza de trabajo. Esta técnica de medida de puntos individuales puede recolectar datos, por lo general, a velocidades máximas de 50 ó 60 puntos por minuto, velocidades considerablemente mayores que las obtenidas con instrumentos manuales de medición convencionales. Tales puntos son relevantes en el momento del contacto entre el palpador y el elemento que se está midiendo. A través del programa que gestiona la máquina de medición, es posible calcular la característica geométrica de tal elemento. Por cada elemento hay un mínimo de puntos, con los cuales se obtienen la información necesaria de dicho elemento:

Elemento	Puntos
Punto	1
Línea	2
Plano	3
Agujero / perno	4
Esfera	5

**Tabla 1. Puntos obtenidos por cada elemento a través de la máquina de medición. Fuente: Elaboración propia.**

A partir de esta información se pueden hallar una serie de relaciones, que nos darán a conocer más características de la pieza a medir:

- Distancia entre dos elementos.
- Intersección de dos elementos.
- El elemento medio entre dos elementos.
- La proyección de un elemento sobre otro.
- El ángulo entre dos elementos.

Los programas que realizan todas estas tareas son de gran diversidad, y facilidad de manejo, debido a que el software trabaja con menús y ventanas al estilo Windows. Actualmente, existe una amplia gama de software. Por ejemplo, hay programas para control estadístico de producción, aplicaciones de chapa, programas para alabes de turbinas y engranajes, entre otros muchos.

Toda esta información es recogida por los técnicos de calidad para analizar el comportamiento que tiene la pieza a producir errores en sus medidas, y después se pasa al personal de manufactura, donde se encargan de corregir las variaciones del proceso que producían fuera de tolerancia. Aunque a pesar de todo se desecharan o serán reelaboradas para ajustarlas a las especificaciones las piezas que hayan estado erróneas.

La ubicación de la máquina de medición por coordenadas y las condiciones de su entorno debe cumplir diversos requisitos para que los resultados de la medición sean fiables. Una M.M.C. puede ser instalada en distintos ambientes de trabajo, que en mayor o menor medida estarán bajo la influencia de diversos factores externos.

La temperatura influye de forma negativa en las M.M.C. La variación de temperatura produce una dilatación de los sistemas y sensores utilizados. Para remediar esto se coloca la M.M.C. en una habitación cerrada a temperatura constante para evitar dichas variaciones. La opción de emplear cabinas con temperatura y humedad controladas depende del tamaño de la máquina, pues para grandes volúmenes la opción puede acarrear un coste demasiado elevado, mientras que para volúmenes de unos  $100\text{m}^2$  puede ser la opción más adecuada. Pero esto tiene el inconveniente de sacrificar la capacidad de producción a cambio de una mayor precisión. Este sistema de aislamiento térmico delimita la carga y descarga de las piezas que deben ser analizadas, porque estas al entrar en un nuevo ambiente poseen las constantes del ambiente anterior, es por ello que antes de hacer nada hay que esperar a que la pieza se aclimate a la temperatura del lugar. Como segunda alternativa hay una combinación de comportamientos de dilatación y distorsión térmicas con una mezcla de hardware y software. Esto quiere decir la colocación de unos sensores colocados de forma estratégica en los puntos más críticos de la mesa de trabajo. El hardware se encargara de leer la temperatura de la maquina a través de los sensores y se extrapola los valores de dilatación y distorsión que pueden haber. Después el software se encargara de compensar el estado térmico de la maquina con la temperatura del ambiente, para una serie alta de condiciones. La finalidad es conseguir unas mediciones lo más exactas posibles, como si se realizasen en un laboratorio aislado, mientras se trabaja en ambiente de taller.

Para eliminar el efecto de las vibraciones existen dos opciones: emplear una cimentación o masa sísmica o bien aislar exclusivamente la máquina mediante elementos anti vibrantes activos o pasivos (amortiguadores neumáticos, resortes, elementos viscosos, etc). Todo esto si la maquina no está preparada para este tipo de sucesos. Su utilización depende de las dimensiones de la máquina, y de la

amplitud y frecuencia de las vibraciones. Cuando se plantea la instalación de una máquina de medir en un ambiente industrial (prensas de estampación, inyección, líneas de mecanizado, forja, etc.), es conveniente realizar un estudio detallado de las vibraciones.

## Diseño y fabricación

La unión entre diseño y fabricación está vinculada con el sistema CAD/CAM que se controla a través de un software. Este software ha evolucionado hasta el punto de poder trabajar en CAM sobre la herramienta de CAD, haciendo que siempre cumpla con las tolerancias reglamentarias y poder cumplir con las especificaciones.

Estos programas suelen ser proporcionados por la propia compañía que ha vendido la maquinaria, lo que hace difícil la utilización de ese mismo programa en productos de distintos fabricantes. Pero a pesar de todo vienen una serie de programas de nueva generación que podrán adaptarse a las especificaciones del fabricante incluso llegando a controlar las funciones que el operador desea realizar ya sea medida manual, como un calibrador o una M.M.C. Al mismo tiempo que estas funciones, también permitirá a los usuarios la elección de la herramienta de medida más apropiada para cada tarea, maximizando el uso de los equipos de medida.

La medición se hace más difícil cuando la pieza es más pequeña porque se necesitan menores tolerancias y un mayor número de puntos para captar dicha pieza con la mayor precisión posible. Para ello se utiliza la herramienta de barrido, una herramienta que al principio se consideraba a los fabricantes de altas tecnologías, pero hoy se ha implementado prácticamente en todos los sistemas empleando sensores de alta tecnología. Estos sensores utilizan elementos de tecnología óptica, video y láser.

El barrido consiste en recoger automáticamente un conjunto de coordenadas de puntos para definir con exactitud la forma de la pieza de trabajo.

Algunos de esos sensores pueden leer hasta 20.000 puntos por segundo con extrema exactitud. Combinados con estos sensores, se dispondrá de poderosas máquinas matemáticas que analizarán rápidamente la gran cantidad de datos dimensionales que estos sistemas pueden generar.

Cuanto más próxima esté la inspección dimensional al proceso, más útiles son las posibilidades de control para el usuario los puntos clave son la exactitud y la productividad. Las máquinas M.M.C. actuales son más rápidas, precisas y asequibles. Además se han diseñado y ajustado a las condiciones de taller.

Para la elección de un buen sistema de medición se toman 5 consideraciones a tener en cuenta:

- **Fiabilidad:** debe de ser lo suficientemente sólido para acoplarse a los sistemas de producción, si los sistemas de producción van a volverse dependientes del sistema de medición para el control del proceso.
- **Productividad:** debe ser lo suficientemente rápido para soportar la producción de las máquinas
- **Entorno:** es posible que se requiera de inversiones adicionales para adecuar el sistema al ambiente o entorno que faciliten unas mejores condiciones.
- **Facilidad de uso:** debe de ser lo más intuitivo posible para que lo use el personal no técnico. Pero se deberá de complimentar con una formación por parte del proveedor para producir un mayor rendimiento de su provecho.
- **Mantenimiento:** los proveedores deben de ofrecer mantenimiento preventivo y servicios de calibración que ayuden al personal de mantenimiento.

En el proceso de medición de una pieza intervienen distintos medios para controlar la conformidad de la pieza con las especificaciones del plano. A veces las piezas presentan zonas donde la accesibilidad de la punta de rubí por parte del palpador se hace difícil o imposible. Las razones por las que suele suceder es por zonas profundas, zonas estrechas, zonas de difícil acceso, radios pequeños, zonas con acabado en chaflán, etc. y para ello es necesario emplear medios expertos o de alta tecnología.

Algunos de estos medios son los proyectores de perfiles, que realizan mediciones en 2D sobre la sombra de la pieza a través de una ampliación de la zona que queremos medir. Pero este medio podría apuntar un elevado coste.

Un medio complementario al anterior es realizar cortes sección donde se encuentren las zonas conflictivas. Para este fin se puede emplear sierra de disco, sierra de diamante, etc. Una vez terminado dicho corte para una mejor medición se recomienda pulir la superficie y eliminar las posibles rebabas producidas por el corte, además de fijar bien la pieza para que todas sus partes sean referencia en su centro geométrico.

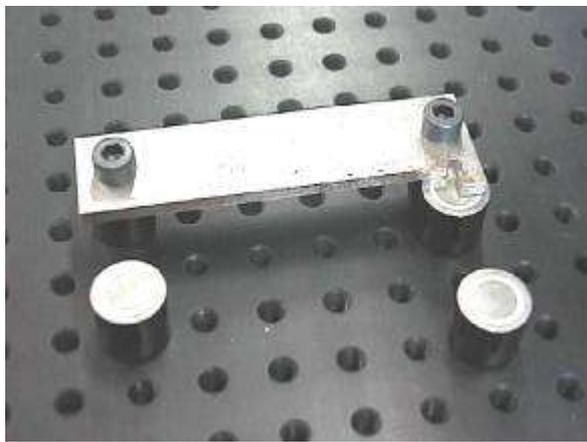
En piezas tipo conector con elementos alargados, en consola, elásticos o de baja rigidez que podrían sufrir deformaciones permanentes o alteraciones durante el proceso de corte, se realiza probetas de las mismas, rigidizando su estructura en una resina líquida y con buena fluidez, que después de 24 horas está lista para el proceso de corte. Después de todo es necesario idear un buen sistema de fijación sobre la mesa de trabajo para evitar posibles riesgos de movilidad.

## SISTEMA DE AMARRE DE PIEZA

Para medir una pieza antes hay que crear sobre ella un sistema de referencia. Para medir un lote de piezas habría que crear un sistema referencia a cada una de ellas. Para ahorrar tiempo se puede crear un sólo sistema de referencia en un útil en el que se apoyen las piezas. Este útil además de servir de sistema de referencia también puede servir de sistema de amarre.

### DESCRIPCIÓN AMARRE 1

Este amarre está formado por un apoyo de tres puntos que definen un plano de apoyo para la pieza cubo, y una placa metálica hace de pared y tope para dicha pieza para el eje XY.



Fotografía 1. Sistema de amarre 1. Fuente: Elaboración propia.

La pieza es sujeta mediante dos palancas que se aprietan ligeramente con el dedo y realizan fuerza sobre su superficie y restringen el movimiento de la pieza en todas las direcciones.



Fotografía 2. Sistema de amarre 1. Fuente: Elaboración propia.

**Ventajas:**

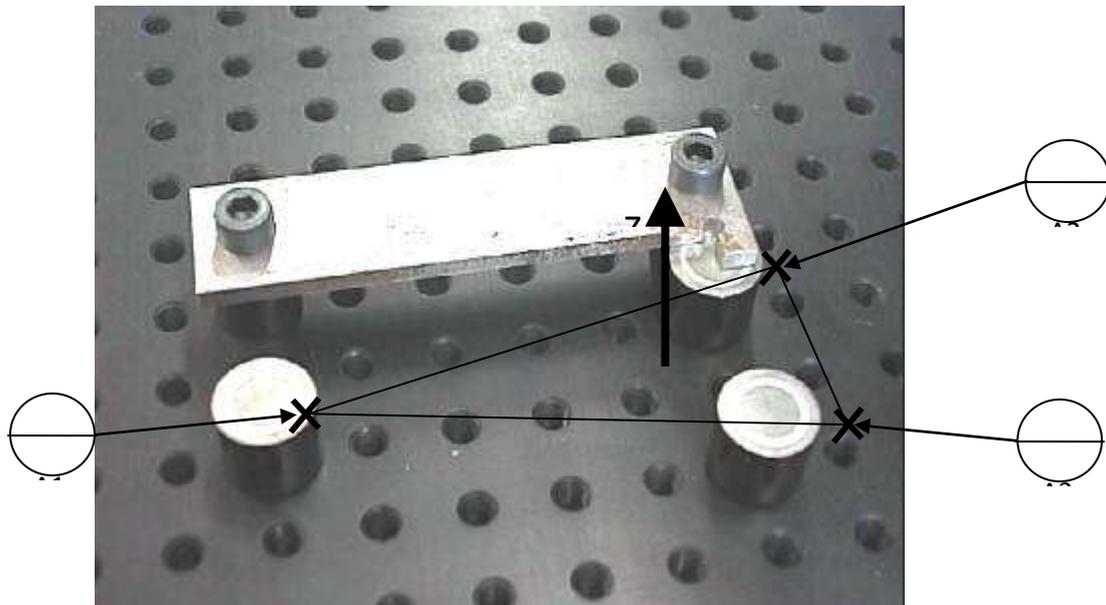
- Las palancas ajustan la pieza mediante presión los tres ejes de la pieza.
- No hay excesos de elementos.
- Fácil montaje y desmontaje del amarre.
- Fácil colocación de la pieza en el amarre.

**Desventajas:**

- La pieza puede deformarse por la fuerza del amarre.

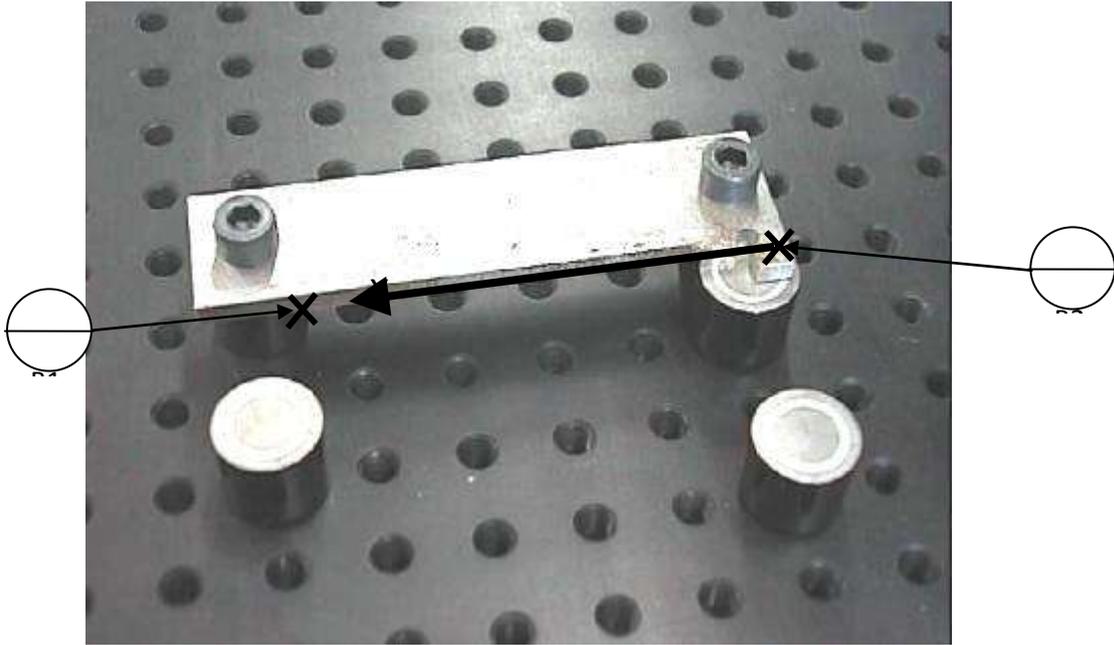
**CREACIÓN DE LOS EJES COORDENADOS X, Y, Y Z PARA EL AMARRE 0**

Para crear los ejes partimos primero de un **plano** horizontal creado **por tres puntos** (apoyos de la pieza) y cuyo vector director resulta ser el **eje Z**. Este plano también será el origen de coordenadas del eje Z. Ver dibujo.



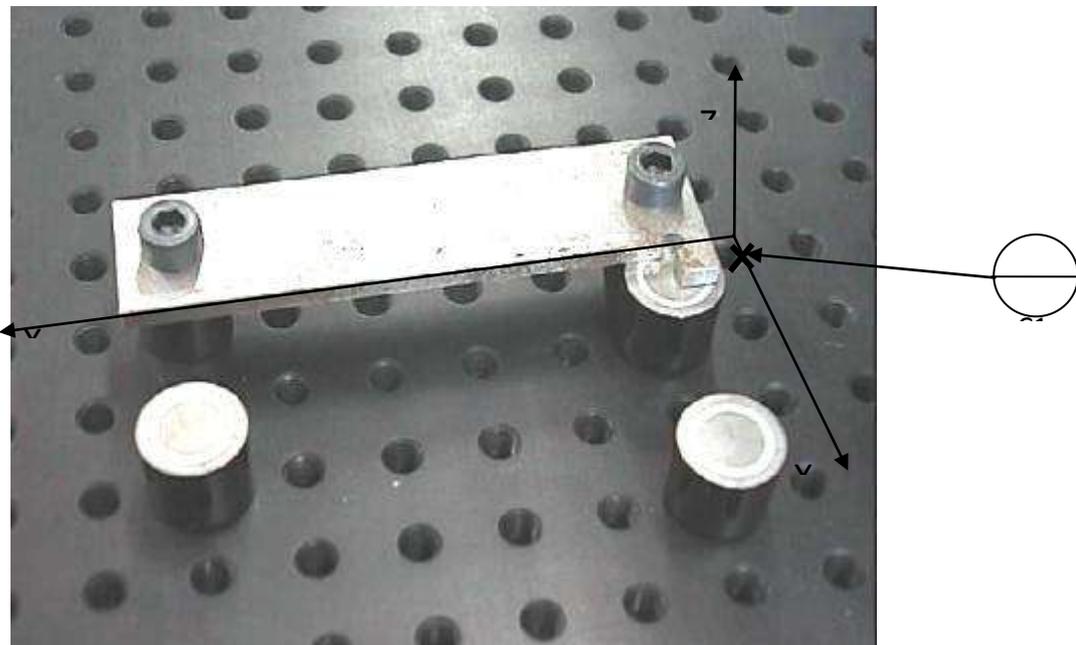
**Fotografía 3. Apoyos de pieza. Fuente: Elaboración propia.**

A continuación se crea una recta tocando dos puntos sobre el útil del sistema de amarre creando el eje X. Sobre esta recta se apoyará un lateral de la pieza. Esta recta también es el origen de coordenadas del eje Y. Teniendo los ejes Z y X el tercer eje el Y se crea automáticamente.



**Fotografía 4. Sistema de amarre 1. Fuente: Elaboración propia.**

Por último se toca sobre un punto en el útil para crear el origen del eje X. Un lateral de la pieza también tocará este punto.



**Fotografía 5. Sistema de amarre 1. Fuente: Elaboración propia.**

Solo queda sujetar la pieza con dos palancas para restringir el posible movimiento al medir la pieza.

## RESULTADOS AMARRE 1

Verificada la máquina hay que verificar que el sistema de amarre es correcto. El sistema es correcto si no influyen en él ni el día de la medición, ni la persona que posiciona la pieza a medir. El sistema de amarre debe ser independiente de estos dos elementos. Para ello se tiene que realizar el siguiente ensayo. Tres operarios realizarán tres medidas, en los tres ejes, tres días distintos, obteniendo 27 medidas para cada eje.

Ensayo	Día 1º	Día 2º	Día 3º
<b>Operario 1</b>	1	10	19
	2	11	20
	3	12	21
<b>Operario 2</b>	4	13	22
	5	14	23
	6	15	24
<b>Operario 3</b>	7	16	25
	8	17	26
	9	18	27

Tabla 2. Resultado ensayo. Fuente: Elaboración propia.

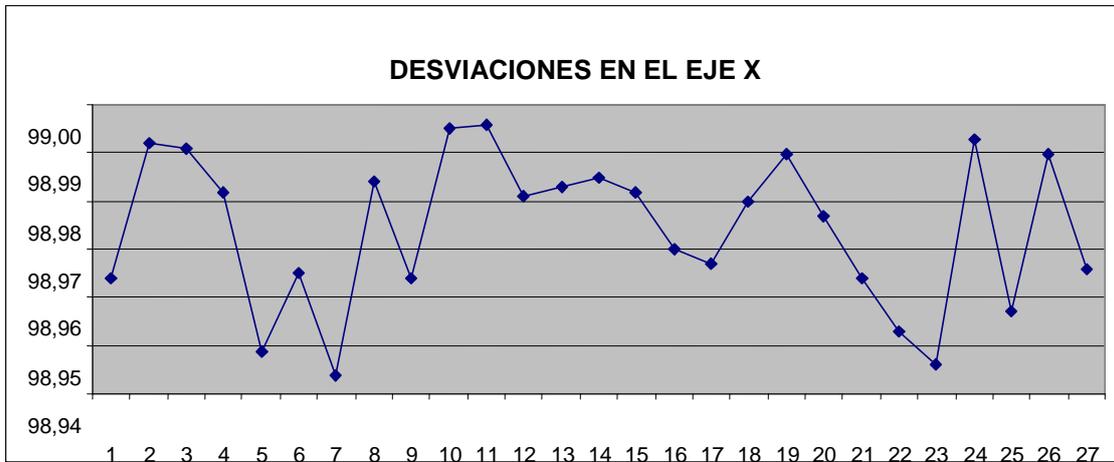
Se obtienen los siguientes resultados:

	X		Y		Z
1	98,9639		48,7843		39,1715
2	98,9919		48,7713		39,1656
3	98,9909		48,7713		39,1695
4	98,9819		48,7703		39,1666
5	98,9489		48,7813		39,1805
6	98,9649		48,7923		39,1725
7	98,9439		48,7863		39,1775
8	98,9839		48,7773		39,1695
9	98,9639		48,7793		39,1735
10	98,9949		48,7723		39,1676
11	98,9959		48,7813		39,1685
12	98,9809		48,7733		39,1725
13	98,9829		48,7813		39,1695
14	98,9849		48,7773		39,1666
15	98,9819		48,7793		39,1656
16	98,9699		48,7753		39,1735
17	98,9669		48,7863		39,1745
18	98,9799		48,7763		39,1685

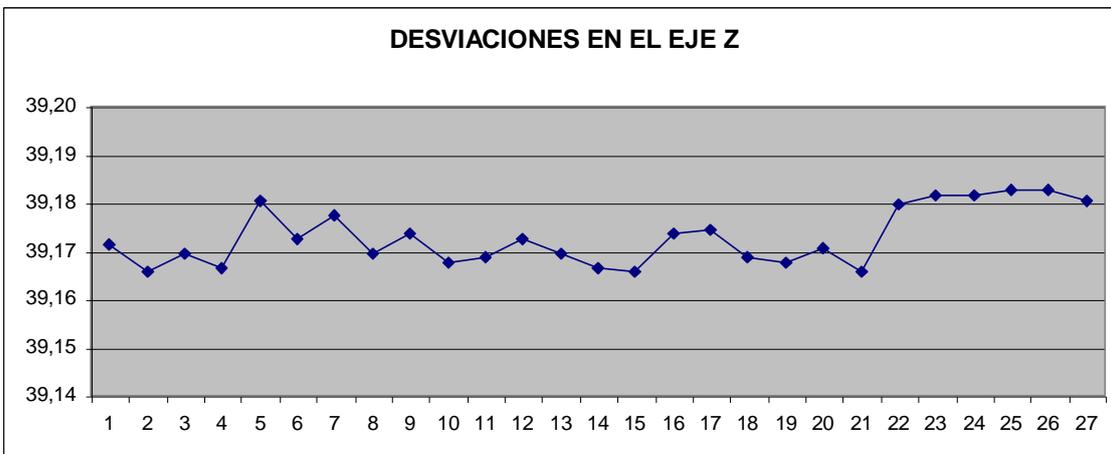
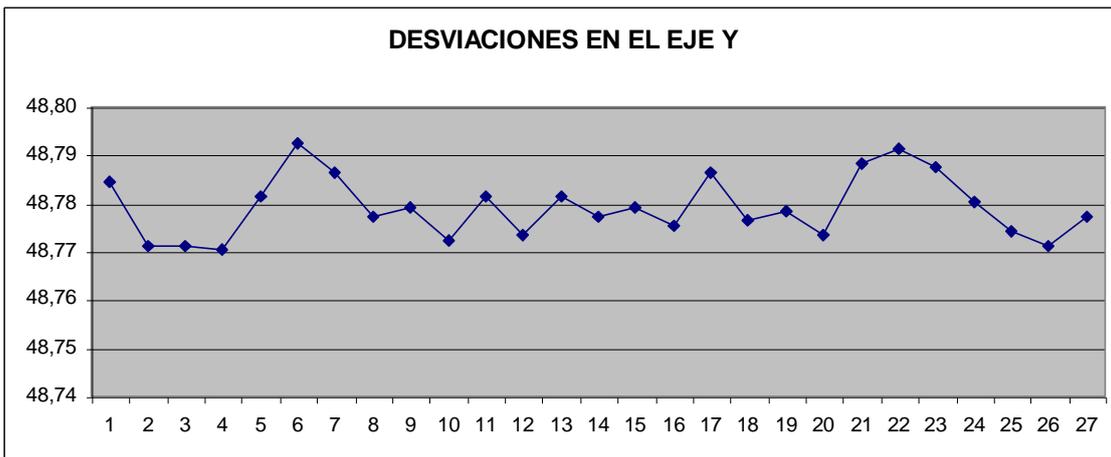
19	98,9899		48,7783		39,1676
20	98,9769		48,7733		39,1705
21	98,9639		48,7883		39,1656
22	98,9529		48,7913		39,1795
23	98,9459		48,7873		39,1815
24	98,9929		48,7803		39,1815
25	98,9569		48,7743		39,1825
26	98,9899		48,7713		39,1825
27	98,9659		48,7773		39,1805
Promedio	98,9743	Promedio	48,7792	Promedio	39,1728
desviación	0,01578542	desviación	0,00635691	desviación	0,00585818
Rango	0,0520	Rango	0,0220	Rango	0,0169
3 sigma	0,04735626	3 sigma	0,01907072	3 sigma	0,01757453
6 sigma	0,09471252	6 sigma	0,03814144	6 sigma	0,03514906

**Tabla 3. Resultados amarre 1. Fuente: Elaboración propia.**

Las desviaciones sufridas por ensayo en cada eje son las que se muestran a continuación:



**Gráfico 1. Desviaciones ensayo amarre 1 del eje x. fuente: elaboración propia.**



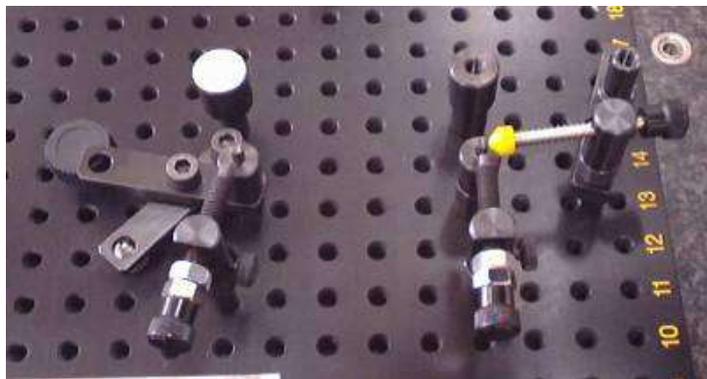
## CONCLUSIÓN AMARRE 1

Los resultados obtenidos por este amarre son elevados en más proporción en el eje X con media décima de error, demasiado para una medición precisa que se desea obtener, utilizando el mínimo error posible.

## DESCRIPCIÓN AMARRE 2

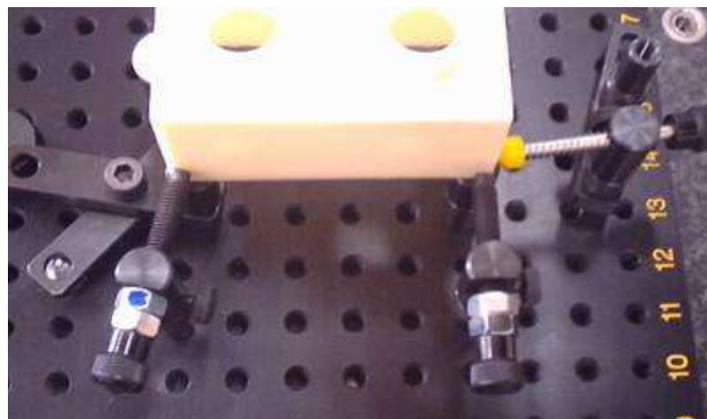
Este diseño de amarre está formado por diferentes piezas que sujetan la pieza en tres puntos, dos en el eje X y otro en el eje Y. Siempre utilizando los mínimos puntos necesarios para sujetar la pieza dependiendo del amarre utilizado.

Cada uno de los dos puntos que sujetan el eje X consta de dos piezas, una interna situada en la parte hueca de la pieza con forma de cilindro.



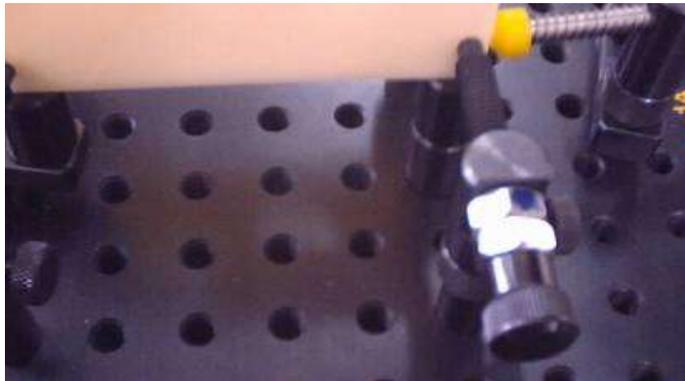
Fotografía 6. Sistema de amarre 2. Fuente: Elaboración propia.

Otra externa a ese punto que se apoya sobre la superficie de la misma, es un tornillo que debe de apretar ligeramente sobre el punto de apoyo para que amarre la pieza por dicho punto.



Fotografía 7. Sistema de amarre 2. Fuente: Elaboración propia.

Sobre el eje Y se aplica una un muelle de fuerza constante sobre el extremo izquierdo de dicho eje de la pieza.



**Fotografía 8. Sistema de amarre y pieza 2. Fuente: Elaboración propia.**

Debido a las solicitaciones resultantes no hace falta amarrar el eje Z de la pieza.

La colocación de la pieza sobre el amarre y sus diferentes elementos deben de ser siempre la misma, o de lo contrario podría variar las condiciones de dicha pieza y podría deformarse, produciendo pequeños o grandes errores durante el proceso de su medición con la máquina de medición por coordenadas.

Este amarre se ha preparado para ser utilizado para las distintas piezas a medir, proporciona una sujeción de las piezas en tres puntos, que aunque la pieza sea de menor o igual tamaño podrá fijarse en este sistema de sujeción.

#### **Ventajas:**

- No hace falta amarrar el eje Z
- Fácil colocación de la pieza sobre el amarre
- Amarra la pieza desde el interior vacío de la pieza y la parte externa de la misma
- Optimiza el espacio del palpador de la máquina de medición por coordenadas que realiza las mediciones con mayor facilidad durante el programa de CNC.

#### **Desventajas:**

- Presenta dificultades en el montaje y desmontaje del amarre.
- La colocación de la pieza se debe de manejar con cuidado.
- Los tornillos no deben de pasarse de rosca para no elevar el error absoluto de la pieza a medir.

## RESULTADOS AMARRE 2

El sistema es correcto si no influyen en él ni el día de la medición, ni la persona que posiciona la pieza a medir. El sistema de amarre debe ser independiente de estos dos elementos. Para ello se tiene que realizar el siguiente ensayo. Tres operarios realizarán tres medidas, en los tres ejes, tres días distintos, obteniendo 27 medidas para cada eje.

Ensayo	Día 1º	Día 2º	Día 3º
<b>Operario 1</b>	1	10	19
	2	11	20
	3	12	21
<b>Operario 2</b>	4	13	22
	5	14	23
	6	15	24
<b>Operario 3</b>	7	16	25
	8	17	26
	9	18	27

Tabla 5. Resultados ensayos realizados por 3 operarios. Fuente: Elaboración propia.

Se obtienen los siguientes resultados:

	X		Y		Z
1	99,0849		48,5863		39,0816
2	99,0779		48,5543		39,0716
3	99,0749		48,5293		39,0696
4	99,0659		48,5283		39,0626
5	99,0659		48,5263		39,0536
6	99,0649		48,5233		39,0536
7	99,0639		48,5233		39,0536
8	99,0629		48,5203		39,0536
9	99,0629		48,5173		39,0526
10	99,0609		48,5123		39,0526
11	99,0599		48,5103		39,0516
12	99,0539		48,5073		39,0516
13	99,0479		48,5063		39,0506
14	99,0439		48,5053		39,0506
15	99,0439		48,5033		39,0506
16	99,0349		48,5033		39,0506
17	99,0289		48,5023		39,0506
18	99,0269		48,4993		39,0486

19	99,0269		48,4973		39,0486
20	99,0269		48,4953		39,0486
21	99,0239		48,4953		39,0446
22	99,0179		48,4923		39,0446
23	99,0179		48,4913		39,0446
24	99,0159		48,4893		39,0426
25	99,0139		48,4893		39,0416
26	98,9889		48,4883		39,0386
27	98,9819		48,4873		39,0376
Promedio	99,0421963	Promedio	48,5105222	Promedio	39,0518963
desviación	0,02659499	desviación	0,02207911	desviación	0,00977758
Rango	0,103		0,099		0,044
3 sigma	0,07978497		0,06623734		0,02933275
6 sigma	0,15956993		0,13247467		0,0586655

**Tabla 6. Resultados ensayo amarre 2. Fuente: Elaboración propia.**

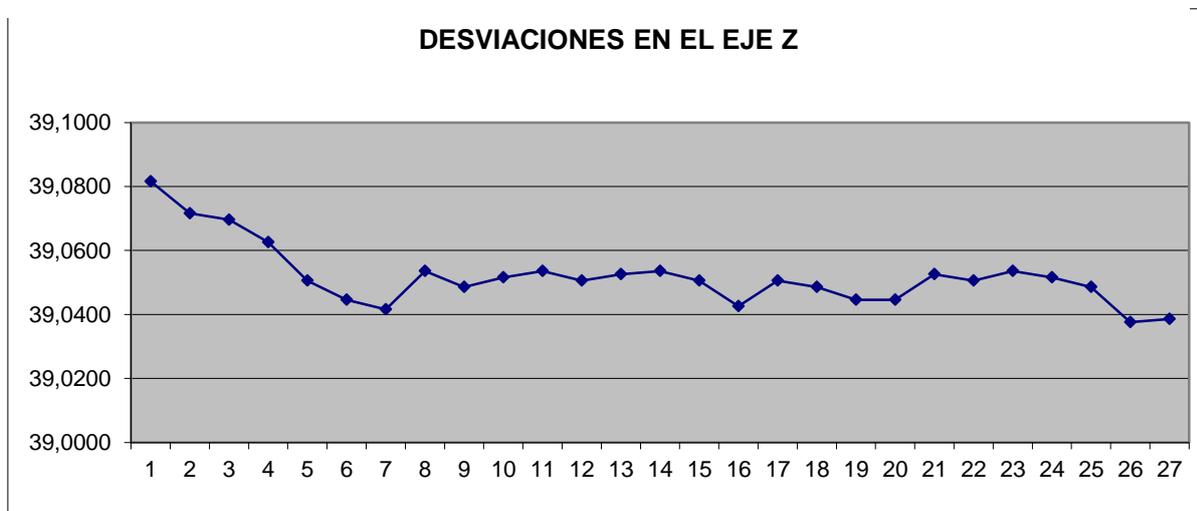
Las desviaciones sufridas por ensayo en cada eje son las que se muestran a continuación.



**Gráfico 4. Desviaciones ensayo amarre 2 del eje X. Fuente: Elaboración propia.**



**Gráfico 5. Desviaciones ensayo amarre 2 del eje X. Fuente: Elaboración propia.**



## CONCLUSIÓN AMARRE 2

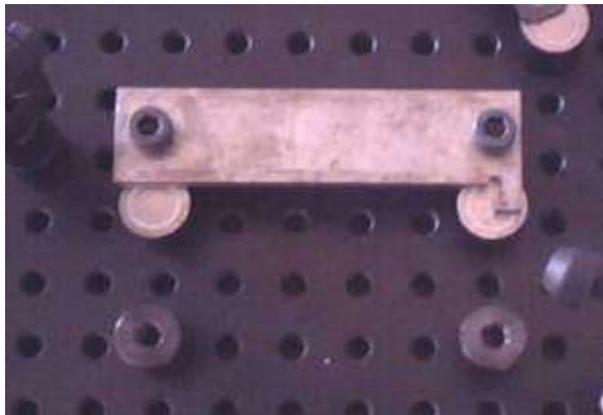
En un principio este amarre parece bueno porque aprovecha la parte hueca de la pieza para crear un amarre interno, aunque los resultados obtenidos nos demuestran lo contrario.

El error que nos sale en cada uno de los ejes,  $\pm 0,103$  en eje X,  $\pm 0,099$  en el eje Y,  $\pm 0,044$  en el eje Z es demasiado grande, sobre todo para el eje X. Un error de esta magnitud descarta de forma directa este amarre como el definitivo. Aunque los ejes Y y Z tienen un menor error, hemos de tomar en cuenta siempre el más desfavorable.

Solo se han medido puntos sueltos, pero nosotros medimos planos, líneas, y cilindros que no son afectados de forma directa por los errores señalados, a excepción de los puntos especiales que se miden y que sí puede afectar.

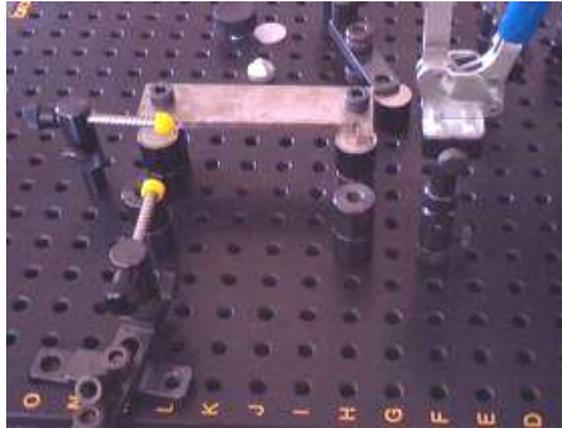
## DESCRIPCIÓN DE AMARRE 3

Se ha creado un nuevo sistema de referencia que se basa en un apoyo de cuatro puntos y una pequeña placa metálica que hace de pared para la pieza, de esta manera sabemos cómo colocar la pieza.



Fotografía 9. Sistema de amarre 3 .Fuente: Elaboración propia.

Consta de elementos que ejercen presión sobre una esquina de la pieza. Son dos muelles, uno en dirección  $-Y$  y el otro en  $-X$ . cada uno de estos muelles va montado sobre unas piezas de apoyo. La fuerza ejercida de estos muelles es aplicada a una distancia aproximada de 1mm, porque si esta distancia aumenta la fuerza que se ejerce en ese punto de pieza puede deformarse a largo plazo, y varias los resultados que se obtengan.

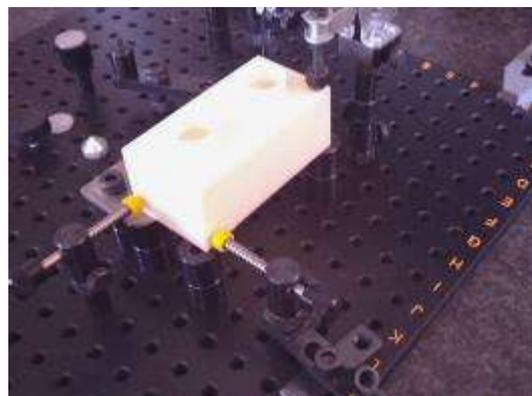


Fotografía 10. Sistema de amarre. Fuente: Elaboración propia.

Para el eje Z se ha colocado una pieza en forma de martillo que en el extremo tiene un taco de caucho, y aplicado sobre la superficie amarra la pieza en sentido -Z.



La siguiente imagen muestra el amarre al completo:



Fotografía 11. Sistema de amarre. Fuente: Elaboración propia.

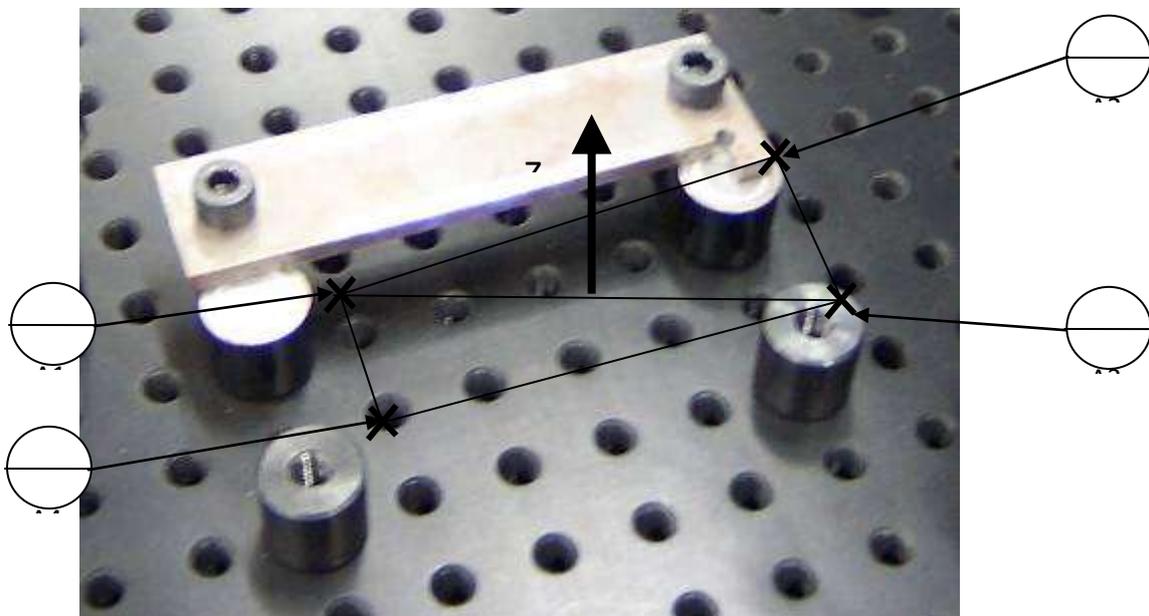
**Ventajas:**

- Se amarran bien los tres ejes de la pieza.
- Para cada eje hay un elemento que sujeta a la pieza.
- Las deformaciones producidas en el eje Z de la pieza por el amarre son despreciables.
- Fácil montaje y desmontaje del amarre.
- Fácil colocación de la pieza.

**Desventajas:**

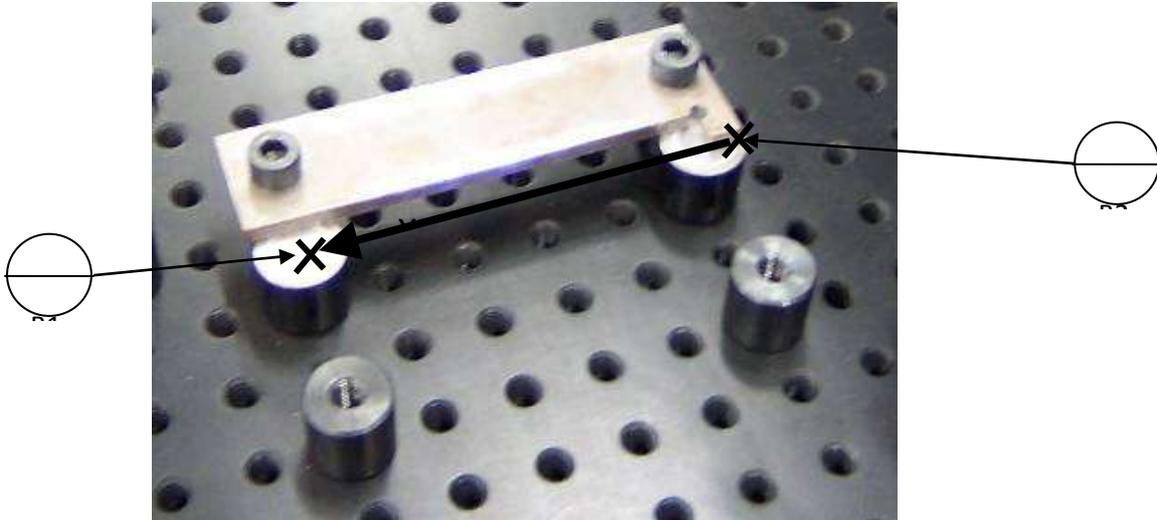
- Si entre las piezas a medir hay alguna que sea más grande o pequeña hay que reajustar la distancia de los muelles y la altura del martillo para la pieza.
- Los muelles pueden girar y colocarse en una posición incorrecta con un rozamiento.
- Las deformaciones producidas en el eje XY de la pieza por el amarre pueden ser importantes si ocurre lo del punto anterior
- El palpador tiene algunos obstáculos para realizar la medición de la pieza cubo, y hay que realizar un programa de control numérico más complejo.

Para crear los ejes partimos primero de un **plano** horizontal creado **por cuatro puntos** (apoyos de la pieza) y cuyo vector director resulta ser el **eje Z**. Este plano también será el origen de coordenadas del eje Z. Ver dibujo.



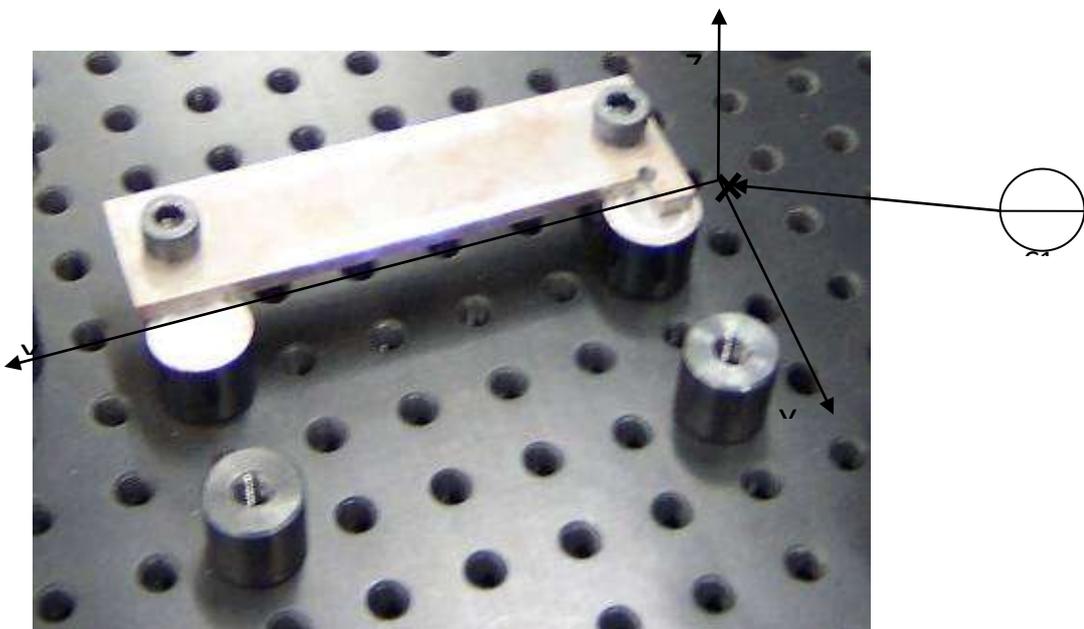
**Fotografía 12. Sistema de amarre 3. Fuente: Elaboración propia.**

A continuación se crea una recta tocando dos puntos sobre el útil del sistema de amarre creando el eje X. Sobre esta recta se apoyará un lateral de la pieza. Esta recta también es el origen de coordenadas del eje Y. Teniendo los ejes Z y X el tercer eje el Y se crea automáticamente.



Fotografía 13 .Sistema de amarre 3. Fuente: Elaboración propia.

Por último se toca sobre un punto en el útil para crear el origen del eje X. Un lateral de la pieza también tocará este punto.



Fotografía 14. Sistema de amarre 3 . Fuente: Elaboración propia.

Solo queda sujetar la pieza con dos palancas para restringir el posible movimiento al medir la pieza. Pero esta vez debía ser un sistema que no dependiera de la fuerza de cada persona.

### RESULTADOS AMARRE 3

El sistema es correcto si no influyen en él ni el día de la medición, ni la persona que posiciona la pieza a medir. El sistema de amarre debe ser independiente de estos dos elementos. Para ello se tiene que realizar el siguiente ensayo. Tres operarios realizarán tres medidas, en los tres ejes, tres días distintos, obteniendo 27 medidas pata cada eje.

Ensayo	Día 1º	Día 2º	Día 3º
Operario 1	1	10	19
	2	11	20
	3	12	21
Operario 2	4	13	22
	5	14	23
	6	15	24
Operario 3	7	16	25
	8	17	26
	9	18	27

Tabla 7. Resultados ensayo amarre 3. Fuente: Elaboración propia.

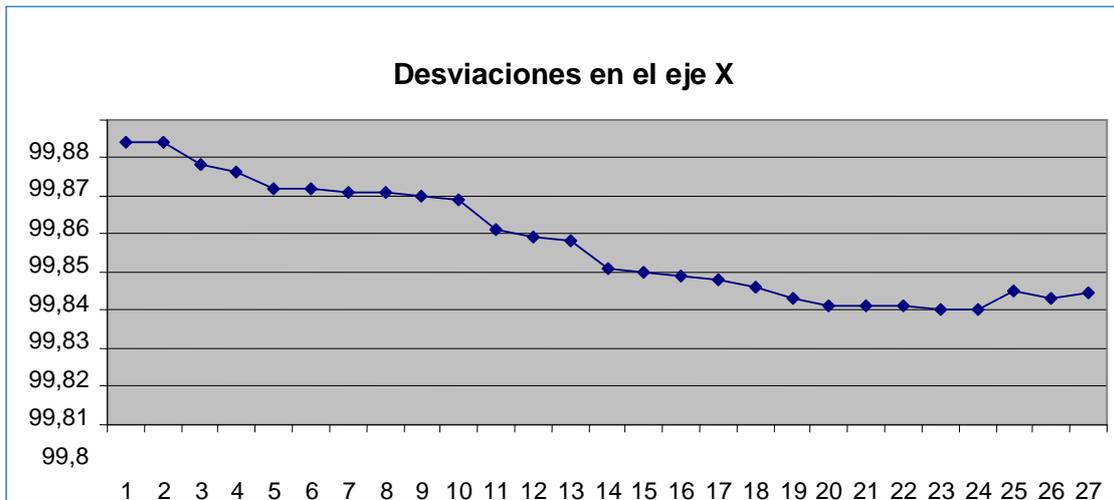
Obteniendo los siguientes resultados:

	x		y		z
1	99,8741		49,3499		40,7299
2	99,8741		49,3469		40,7209
3	99,8681		49,3450		40,7189
4	99,8661		49,3420		40,7169
5	99,8621		49,3419		40,7169
6	99,8621		49,3419		40,7169
7	99,8611		49,3410		40,7169
8	99,8611		49,3409		40,7159
9	99,8601		49,3400		40,7159
10	99,8591		49,3400		40,7119
11	99,8511		49,3399		40,7069
12	99,8491		49,3390		40,7059
13	99,8481		49,3389		40,7059
14	99,8411		49,3381		40,7049
15	99,8401		49,3380		40,7049
16	99,8391		49,3360		40,7039
17	99,8381		49,3341		40,7019
18	99,8361		49,3340		40,7009

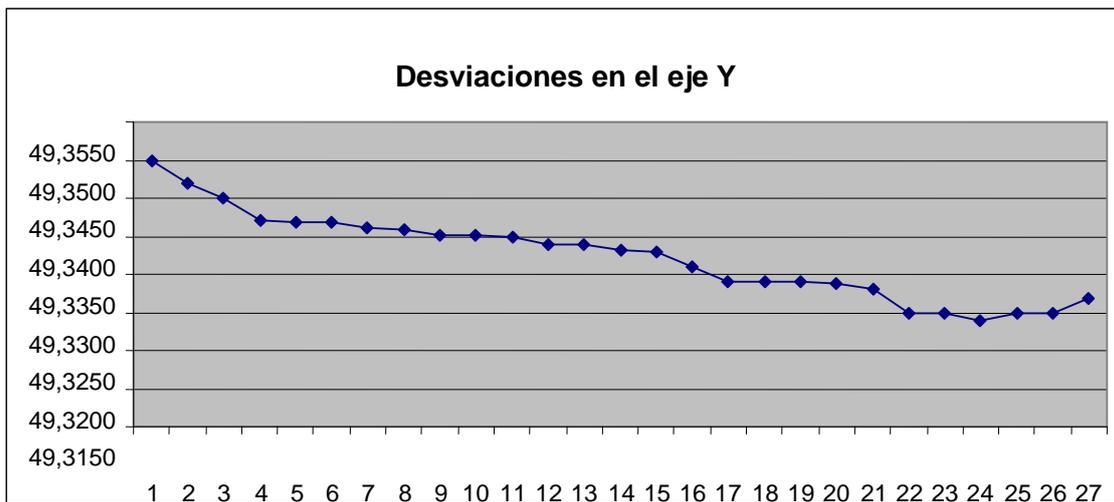
19	99,8352		49,3340		40,7009
20	99,8345		49,3339		40,7009
21	99,8331		49,3330		40,6999
22	99,8331		49,3300		40,6989
23	99,8311		49,3300		40,6959
24	99,8311		49,3290		40,7009
25	99,8311		49,3300		40,7056
26	99,8301		49,3300		40,7009
27	99,8301		49,3319		40,7080
Promedio	99,8474	Promedio	49,3374	Promedio	40,7084
desviación	0,01496495	desviación	0,00556079	desviación	0,00844026
Rango	0,0440	Rango	0,0180	Rango	0,0219
3 sigma	0,04489485		0,01668236		0,02532078
6 sigma	0,08978971		0,03336471		0,05064156

**Tabla 8. Resultados ensayo amarre 3. Fuente: Elaboración propia.**

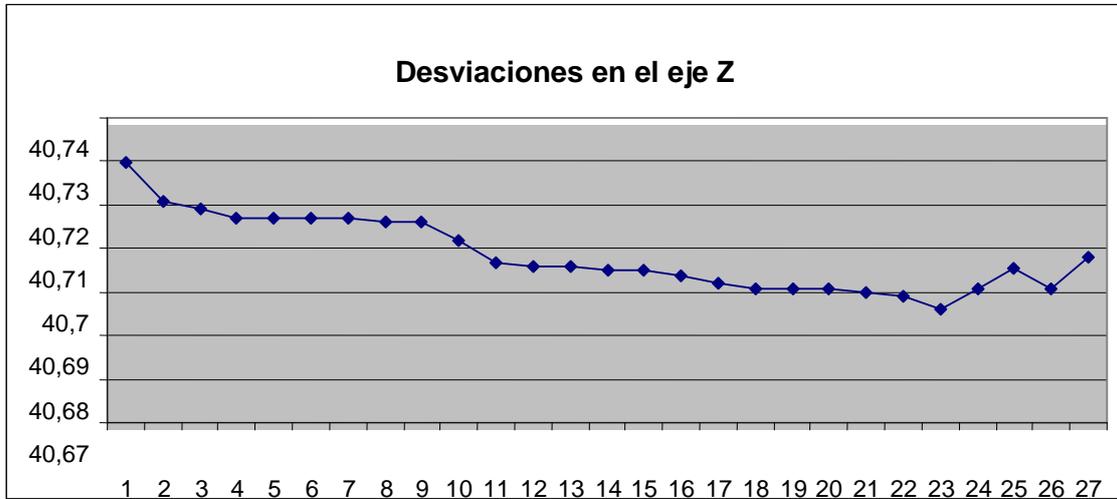
Las desviaciones sufridas por ensayo en cada eje son las que se muestran a continuación.



**Gráfico 7. Desviaciones ensayo amarre 3 del eje X. Fuente: Elaboración propia.**



**Gráfico 8. Desviaciones ensayo amarre 3 del eje X. Fuente: Elaboración propia.**



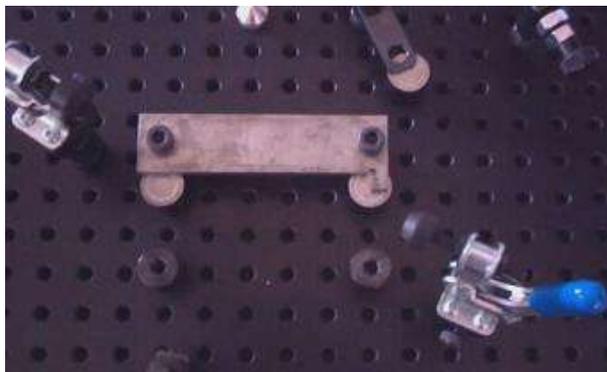
**Gráfico 9. Desviaciones ensayo amarre 3 del eje Z. Fuente: Elaboración propia.**

### CONCLUSIÓN AMARRE 3

Los resultados obtenidos son parecidos a los del amarre 1. El eje Z permanece igual pero los ejes, X y Y han mejorado respecto a este último un poco, el eje X más que el eje Y. Pero esta variación no influye demasiado en la elección. Observando las gráficas de desviación en los ejes se concluye que este amarre no es el adecuado, no solo por los errores en cada eje, sino porque la evolución de los puntos en cada grafica es decreciente y significa que a largo plazo las medidas variarían un porcentaje elevado para la máquina de medición por coordenadas.

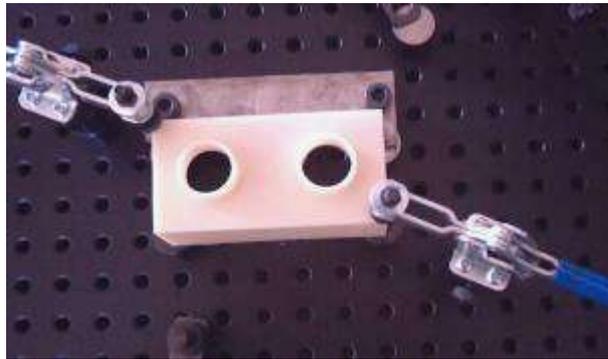
### DESCRIPCIÓN AMARRE 4

El siguiente amarre está formado por una plataforma de base que está formada por cuatro piezas cilíndricas que formaran el apoyo en las cuatro esquinas inferiores de la pieza, y una pequeña placa metálica que actuara de pared de la pieza.



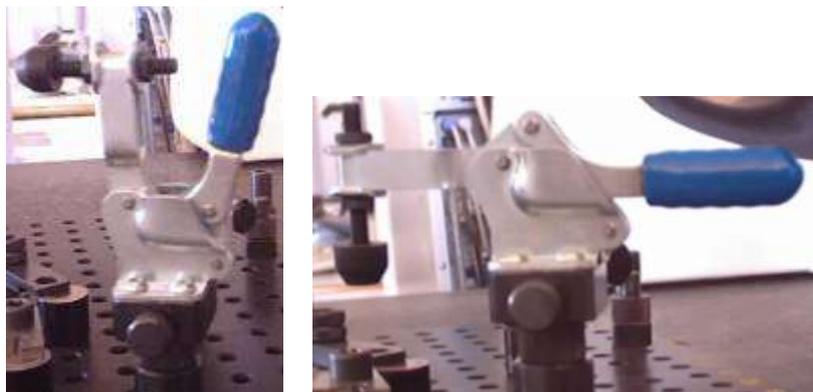
**Fotografía 15. Sistema de amarre 3. Fuente: Elaboración propia.**

La pieza queda amarrada por dos martillos, uno a cada extremo de la pieza, tocando la punta cada esquina.



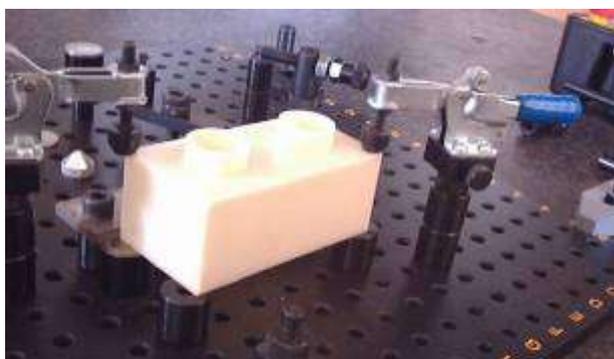
**Fotografía 16.** Pieza amarrada por dos martillos. Fuente: Elaboración propia.

Cada martillo tiene en su extremo un taco de caucho que sujeta la pieza con más suavidad y las deformaciones provocadas son mínimas.



**Fotografía 17.** Pieza amarrada por dos martillos. Fuente: Elaboración propia.

La fuerza aplicada en la pieza es la suficiente para que quede bien sujeta.



**Fotografía 18.** Pieza amarrada por dos martillos. Fuente: Elaboración propia.

**Ventajas:**

- La pieza solo se amarra en el eje Z.
- Solo se utiliza la placa metálica como apoyo de la pieza en el eje XY.
- Las deformaciones producidas en la pieza por el amarre son despreciables.
- Fácil montaje y desmontaje del amarre.
- Fácil colocación de la pieza.

**Desventajas:**

- En el programa de control numérico hay que tomar mayor número de puntos de aproximación, porque los dos martillos que sujetan la pieza, forman un pequeño obstáculo.

**RESULTADOS OBTENIDOS DEL AMARRE 4**

El sistema es correcto si no influyen en él ni el día de la medición, ni la persona que posiciona la pieza a medir. El sistema de amarre debe ser independiente de estos dos elementos. Para ello se tiene que realizar el siguiente ensayo. Tres operarios realizarán tres medidas, en los tres ejes, tres días distintos, obteniendo 27 medidas pata cada eje.

Ensayo	Día 1º	Día 2º	Día 3º
<b>Operario 1</b>	1	10	19
	2	11	20
	3	12	21
<b>Operario 2</b>	4	13	22
	5	14	23
	6	15	24
<b>Operario 3</b>	7	16	25
	8	17	26
	9	18	27

Tabla 9. Resultados ensayo amarre 4. Fuente: Elaboración propia.

Obteniendo los siguientes resultados:

	X		Y		Z
1	99,4620		50,2295		38,8574
2	99,4590		50,2275		38,8594
3	99,4610		50,2285		38,8594
4	99,4561		50,2315		38,8584
5	99,4600		50,2325		38,8594
6	99,4650		50,2265		38,8604
7	99,4650		50,2275		38,8594
8	99,4660		50,2255		38,8604
9	99,4650		50,2285		38,8594
10	99,4630		50,2350		38,8584
11	99,4650		50,2265		38,8574
12	99,4590		50,2350		38,8574
13	99,4640		50,2355		38,8584
14	99,4640		50,2305		38,8584
15	99,4600		50,2345		38,8564
16	99,4660		50,2245		38,8564
17	99,4610		50,2350		38,8564
18	99,4600		50,2245		38,8574

19	99,4670		50,2245		38,8584
20	99,4650		50,2215		38,8594
21	99,4661		50,2235		38,8584
22	99,4670		50,2215		38,8594
23	99,4601		50,2345		38,8584
24	99,4631		50,2315		38,8584
25	99,4650		50,2275		38,8584
26	99,4620		50,2295		38,8574
27	99,4660		50,2245		38,8604
Promedio	99,4631	Promedio	50,2288	Promedio	38,8585
desviación	0,00290601	desviación	0,00435301	desviación	0,00117427
Rango	0,0080	Rango	0,0140	Rango	0,0040
3 sigma	0,00871804	3 sigma	0,01305904	3 sigma	0,00352282
6 sigma	0,01743607	6 sigma	0,02611807	6 sigma	0,00704564

**Tabla 10. Resultados ensayo amarre 4. Fuente: Elaboración propia.**

Las desviaciones sufridas por ensayo en cada eje son las que se muestran a continuación.



Gráfico 10. Desviaciones ensayo amarre 4 del eje X. Fuente: Elaboración propia.

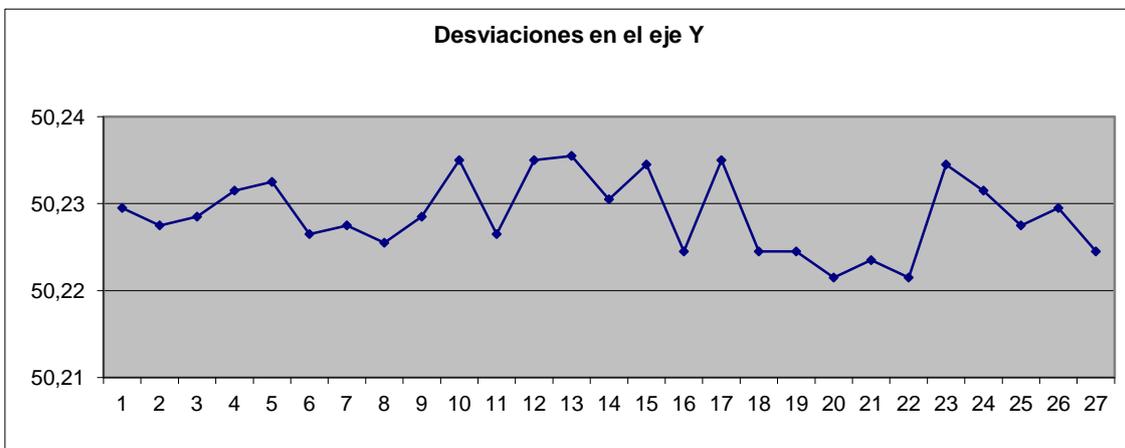


Gráfico 11. Desviaciones ensayo amarre 4 del eje Y. Fuente: Elaboración propia.

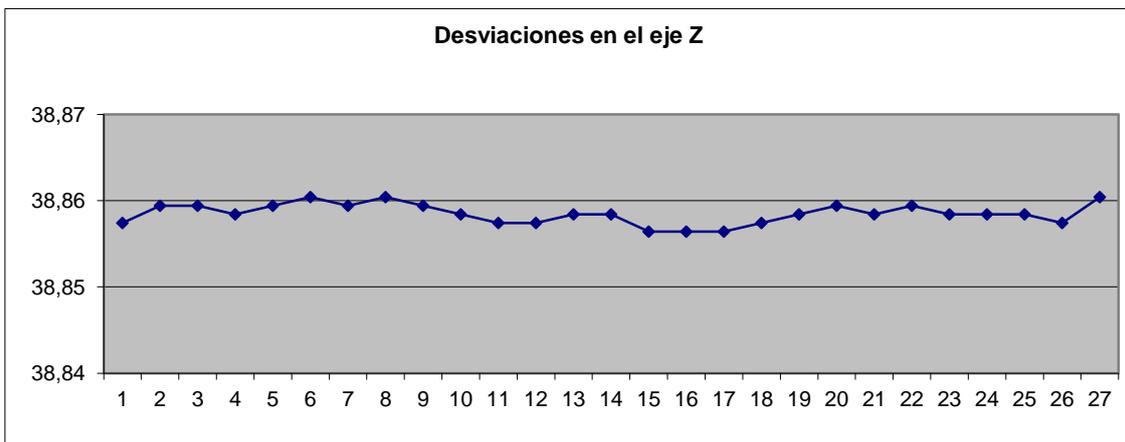


Gráfico 12. Desviaciones ensayo amarre 4 del eje z. Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIÓN AMARRE 4

Se puede observar que de los tres ejes el que más error tiene es el eje Y con  $\pm 0,014$ , y el que menos tiene es el Z con  $\pm 0,004$ , mientras que el eje X tiene  $\pm 0,008$ . Todos los amarres analizados han tenido en común que el eje Z el que menos error tiene, mientras que los otros dos dependiendo del amarre han variado.

En este amarre los tres ejes están mejor compensados que en los analizados con anterioridad, lo cual entre todos este se podría decir que es el más viable a utilizar como amarre definitivo.

Los ejes X y Z tienen un error que se puede considerar como apto para el tipo de elementos a medir, pero en cambio el eje Y dependiendo del elemento puede verse más o menos afectado. Por eso los planos, líneas y cilindros logran disminuir ese error porque al tomar varios puntos siempre se halla el elemento entre medio de ellos, pero en los puntos especiales sí que afecta, aunque hay que asegurarse de amarrar bien la pieza para que dicho error no exceda de su valor actual.



Fotografía 19. Sistema de amarre 4. Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Tras la exposición realizada, se puede concluir que para la medición de piezas en una máquina de medir por coordenadas, además de conocer el proceso de forma correcta, puede haber variaciones en los resultados de dichas mediciones. Estos resultados dependen en gran medida de cómo se ha efectuado la sujeción de la pieza sobre la bancada. En los casos evaluados, se aprecia claramente cómo el amarre nº 4 es el que mejor resultados ha proporcionado, debido a que era éste quien más impedía el movimiento de la pieza en cualquiera de los ejes durante el proceso de medición.

## REFERENCIAS

- [1]. <http://www.comflyer.com/strg/docs/j19ho55dcng.pdf>