

## Desarrollo y fabricación de prototipo de un medidor de redondez

Miriam Alba Castro<sup>1</sup>, Alejandro Loya<sup>1</sup>, Javier Molina Salazar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

### Resumen

Medir exige utilizar el instrumento y el procedimiento adecuados, en particular en las instituciones estudiantiles podemos comprender de manera superficial la importancia del control necesario de la metrología dimensional en una empresa, por lo que en el presente documento se propone la fabricación de un instrumento mecánico para la medición meramente didáctica del error de redondez y aplicable para prácticas escolares de tolerancias geométricas (Gonzalez, 1999).

**Palabras clave:** Metrología, tolerancias geométricas.

### Introducción

En el laboratorio de metrología se cuenta con un sujetador que es el encargado de mantener firme el elemento a medir, en este proyecto se realizará la base y el mecanismo para el movimiento mecánico de la pieza bajo prueba. Para lograr la validación del prototipo se recurrirá a los estudios estadísticos del error del instrumento mecánico pertinentes que satisfagan la simulación sugerida por el software y así poder comprobar la funcionalidad del medidor. Esta

validación será en la técnica de mínimos cuadrados que propone análisis numérico enmarcada dentro de la optimización matemática, en la que, dados un conjunto de pares ordenados: variable independiente, variable dependiente, y una familia de funciones, se intenta encontrar la función continua, dentro de dicha familia, que mejor se aproxime a los datos (un "mejor ajuste"), de acuerdo con el criterio de mínimo error cuadrático.

### Metodología

La determinación precisa de parámetros de forma tales como redondez, concentricidad y cilindricidad es un factor fundamental del proceso de aseguramiento de calidad, incluso las máquinas manuales para la verificación de la forma ofrecen una precisión muy elevada a la vez que alta velocidad, por lo que fabricar un medidor de redondez para fines educativos con el alcance de mostrar las bases para entender cómo se logra realizar la medición de la redondez de

productos determinados, donde se podrá apreciar de forma manual el proceso adecuado de medición (Morris, 1999).

## 2.1 Diagrama de flujo

En la figura 1 se observa el diagrama de flujo del proceso que sigue este documento, donde los cuadros con esquinas rectas describen la actividad que precede a las operaciones en cuadros con esquinas redondeadas.

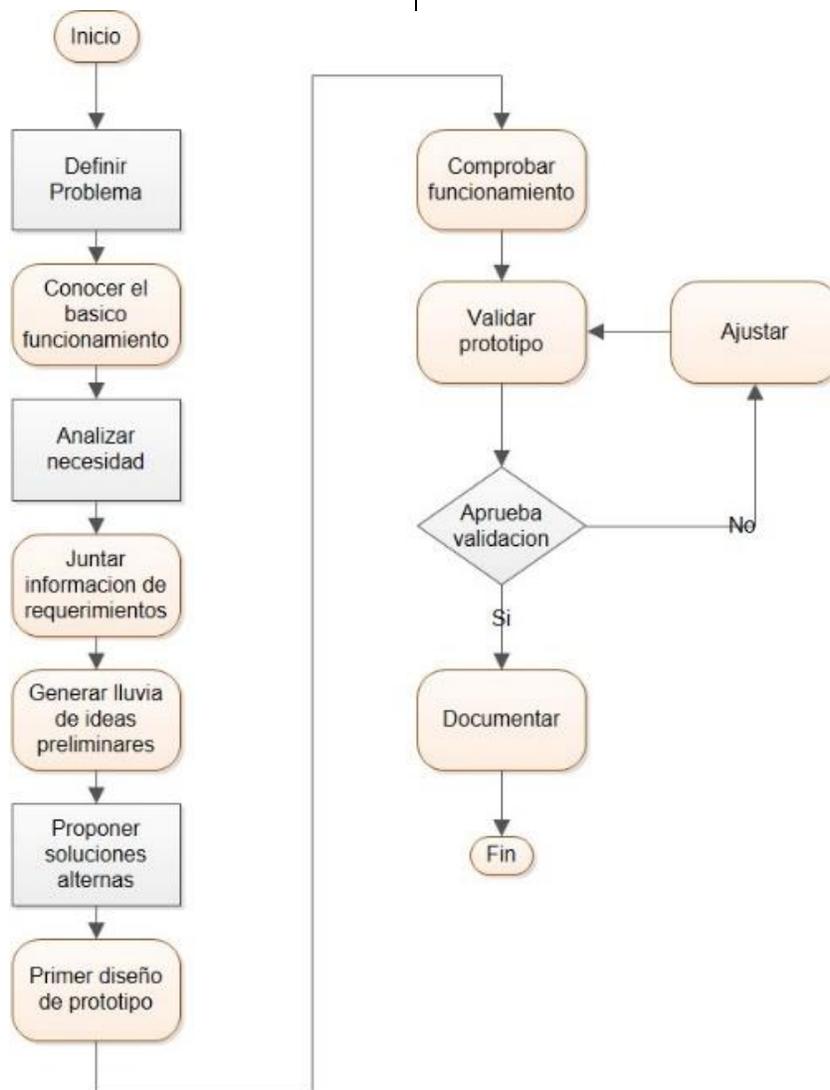


Figura 1. Diagrama de flujo. Metodología de todo el proyecto.

### 2.1.1 Definir problema

Con respecto al análisis con el que se llegó a conocer las necesidades en el departamento de metrología de la Universidad se define que no se cuenta con un medidor de redondez para medir de manera manual, mecánica y didáctica para aplicar prácticas escolares de tolerancias geométricas.

### 2.1.2 Conocer el básico funcionamiento

Un palpador en contacto con la superficie de la pieza de trabajo gira alrededor de un

eje vertical, las variaciones en el radio de la pieza de trabajo transmiten al palpador movimientos, los cuales son radiales con respecto al eje de rotación. Estos movimientos radiales son convertidos en señales eléctricas por un transductor (llamado colector). Las señales son amplificadas y usadas para operar un registro polar, las cuales producen un diagrama sobre una carta polar (circular). La medición de desviaciones de redondez en la industria se realiza con una gran variedad de métodos, la Tabla 1., presenta algunos de los métodos empleados (Sanches, 1999).

Elemento principal del instrumento	Ejemplo	Exactitud $\mu\text{m}$	Costo aprox. USD
Husillo de alta exactitud de giro. <i>Ejemplo:</i> Máquinas especializadas en medición de redondez		0,025 - 0,08	Desde 5 000 Hasta 200 000
Guías de alta exactitud en rectitud y perpendicularidad. <i>Ejemplo:</i> Máquinas de medición por coordenadas.		0,4 - 10	Desde 100 000 Hasta 1 000 000
Indicador y elemento circular caracterizado. <i>Ejemplo:</i> Medición entre puntos.		2 - 10	Empieza en 400
Indicador y bloque en "V". <i>Ejemplo:</i> Medición sobre bloques "V"		5 - 10	Empieza en 300
Indicador. <i>Ejemplo:</i> Instrumento de dos puntas		10 - 25 y en algunos casos <b>nula</b>	Empieza en 200
Plantilla circular caracterizada. <i>Ejemplo:</i> Proyector de perfiles.		200 - 500	Empieza en 5 000

Tabla 1. Métodos de medición de redondez

### 2.1.3 Analizar necesidad

Primeramente al conocer la falta de medidor de redondez en la universidad,

es la pauta principal que se considera en este proyecto ya que suplir este requerimiento didáctico cumpliría con el propósito general del estudio, el alcance escolar de este medidor de tolerancias geométricas ayudará directamente a la mejor adaptación del alumno con las máquinas que se le presentarán en el campo de trabajo, esto potenciará el desarrollo tecnológico de conocimiento a los alumnos que usen este dispositivo y sobre todo facilitará el discernimiento en cuestiones de tolerancias geométricas enfocado directamente a la medición de redondez.

#### 2.1.4 Información de requerimientos

Los equipos fueron creados para realizar tareas repetitivas y evitar los errores producidos por otros instrumentos de medición y personas. Estos deben contar con repetibilidad y reproducibilidad, es decir, tener una medición exacta en cada uno de los diferentes intentos. Estas

características no son fáciles de conseguir, pero es lo que separa la calidad de un mecanismo respecto a otro. Existen muchos factores que intervienen durante la medición de una pieza. Entre ellos tenemos a la persona que operará el equipo, su conocimiento y manejo del equipo influirá en el resultado final. También tenemos la pieza a medir la cual debe estar centrada y bien posicionada para evitar el error de excentricidad. La excentricidad consiste en la separación entre el centro esperado y el centro del círculo de referencia. Debido a la distribución de los puntos tomados alrededor de la pieza, el centro cambia de posición para adecuarse mejor al perfil de puntos (Gutierrez, 2015).

#### 2.1.5 Lluvia de ideas

Gracias a Edward Mac se pudo realizar un diagrama de lluvia de ideas en las que se logró analizar el material con el que se fabricará el prototipo de medición de redondez, en la figura 2 se muestra este diagrama.



Figura 2. Diagrama Lluvia de ideas

### 2.1.6 Primer diseño de prototipo

Durante el primer semestre del transcurso de la maestría se tomó la materia de Análisis y Diseño de Producto, en la cual, como proyecto final, fue realizar un mecanismo de transferencia en equipo, este mecanismo se hizo con la finalidad de utilizar el sistema de coordenadas para mover/sacar/meter algún elemento con el mecanismo. Este diseño prototipo es la

base del estudio del medidor de redondez que se explica a detalle en este documento ya que ya se tiene el sistema mecánico de coordenadas. Luego de ser aceptado este dispositivo, se propuso modificarlo para los fines de medición de redondez y siguientes ajustes y mejoras para lograr el propósito de este estudio. A continuación, se muestra el proceso de diseño del prototipo del mecanismo de transferencia.



Figura 3. Proceso de diseño del mecanismo de transferencia

### 2.1.7 Comprobar funcionamiento

Se tomaron mediciones con el centro de bancos que se encuentra en el laboratorio de metrología de la Universidad, 5 piezas las mismas que se midieron con el medidor de redondez propuesto en este documento. La base giratoria se niveló con baleros para que ajustara el cabezal con mordazas y así poder abrirlo y ajustar de manera manual el elemento a medir. El palpador que se ajustó al eje Y, se maquinó una pieza de para poder atornillarlo. Los elementos al quedar ajustados en el cabezal, y tocándolo con el palpador, ayudando la dirección de este con los ejes X, y Z manualmente, se

logra el funcionamiento requerido de medición de redondez

### 2.1.8 Validar Prototipo

Para comprobar que el prototipo es funcional y sirve para la medición didáctica de redondez, se busca validarlo por medio del método matemático estadístico para concluir la hipótesis propuesta en este proyecto.

Por lo que se toman mediciones de cinco piezas pin-gauges de diferentes medidas en treinta ocasiones cada una de ellas con el prototipo de medidor de redondez fabricado y con el banco de centros que se encuentra en el laboratorio de

metrología de la Universidad, primero se capturaron en una hoja de Excel para su manipulación y mejor manejo de datos como se observa en la figura 4, luego se pasaron de manera compatible a MiniTab

© para correr los estudios pertinentes que más adelante se detallan en el presente artículo como se puede comparar en la figura 5.

prototipo					bench center					pieza	protitpo	bench	prot/bench		
pieza 1	pieza 2	pieza 3	pieza 4	pieza 5	pieza 1	pieza 2	pieza 3	pieza 4	pieza 5						
1	0.0009	0.0008	0.0003	0.0008	0.0012	0.0011	0.0006	0.0009	0.0006	0.0018	1	0.0009	0.0011	-0.0002	prototipo
2	0.0009	0.0008	0.0005	0.0008	0.0013	0.0011	0.0008	0.0001	0.0006	0.0018	1	0.0011	0.0016	-0.0005	prototipo
3	0.0011	0.0008	0.0007	0.0005	0.0012	0.0016	0.0006	0.0008	0.0005	0.0016	1	0.0013	0.0011	0.0002	prototipo
4	0.0013	0.0009	0.0008	0.0005	0.0015	0.0011	0.0006	0.0007	0.0006	0.0016	1	0.0013	0.0012	0.0001	prototipo
5	0.0013	0.0009	0.0008	0.0006	0.0015	0.0012	0.0007	0.0008	0.0008	0.0016	1	0.0015	0.0019	-0.0004	prototipo
6	0.0015	0.0001	0.0009	0.0006	0.0019	0.0019	0.0006	0.0009	0.0008	0.0017	1	0.0011	0.0019	-0.0008	prototipo
7	0.0011	0.0002	0.0001	0.0004	0.0015	0.0019	0.0005	0.0001	0.0009	0.0018	1	0.0011	0.0017	-0.0006	prototipo
8	0.0011	0.0001	0.0008	0.0008	0.0015	0.0017	0.0005	0.0001	0.0007	0.0019	1	0.0016	0.0017	-0.0001	prototipo
9	0.0016	0.0002	0.0007	0.0008	0.0018	0.0017	0.0001	0.0008	0.0006	0.0018	1	0.0011	0.0018	-0.0007	prototipo
10	0.0011	0.0001	0.0008	0.0006	0.0018	0.0018	0.0001	0.0009	0.0004	0.0018	1	0.0012	0.0018	-0.0006	prototipo
11	0.0012	0.0001	0.0009	0.0006	0.0018	0.0018	0.0002	0.0011	0.0008	0.0019	1	0.0019	0.001	0.0009	prototipo
12	0.0019	0.0002	0.001	0.0005	0.0018	0.001	0.0002	0.0003	0.0009	0.0015	1	0.0019	0.001	0.0009	prototipo
13	0.0019	0.0002	0.001	0.0006	0.0016	0.001	0.0001	0.0003	0.0001	0.0016	1	0.0017	0.0018	-0.0001	prototipo
14	0.0017	0.0002	0.0008	0.0008	0.0016	0.0018	0.0008	0.0005	0.0008	0.0016	1	0.0017	0.0018	-0.0001	prototipo
15	0.0017	0.0002	0.0009	0.0008	0.0016	0.0018	0.0009	0.0005	0.0008	0.0017	1	0.0018	0.0018	0.0000	prototipo
16	0.0018	0.0001	0.0011	0.0009	0.0017	0.0018	0.0009	0.0003	0.0009	0.0017	1	0.0018	0.0019	-0.0001	prototipo
17	0.0018	0.0001	0.0003	0.0007	0.0018	0.0019	0.0001	0.0003	0.0009	0.0018	1	0.001	0.0018	-0.0008	prototipo
18	0.001	0.0002	0.0003	0.0006	0.0019	0.0018	0.0002	0.0005	0.0009	0.0018	1	0.001	0.0011	-0.0001	prototipo
19	0.001	0.0002	0.0005	0.0004	0.0018	0.0011	0.0001	0.0005	0.0009	0.0019	1	0.0018	0.0011	-0.0007	prototipo
20	0.0018	0.0001	0.0005	0.0008	0.0018	0.0011	0.0002	0.0005	0.0009	0.0019	1	0.0018	0.001	0.0008	prototipo
21	0.0018	0.0001	0.0003	0.0009	0.0019	0.001	0.0001	0.0003	0.0008	0.0018	1	0.0018	0.0018	0.0000	prototipo
22	0.0018	0.0002	0.0003	0.001	0.0019	0.0018	0.0001	0.0004	0.0005	0.0019	1	0.0019	0.0019	0.0000	prototipo
23	0.0019	0.0002	0.0005	0.0008	0.0017	0.0019	0.0002	0.0005	0.0006	0.0019	1	0.0018	0.0018	0.0000	prototipo
24	0.0018	0.0003	0.0005	0.0008	0.0019	0.0018	0.0002	0.0004	0.0008	0.0018	1	0.0011	0.0019	-0.0008	prototipo
25	0.0011	0.0002	0.0005	0.0009	0.0018	0.0019	0.0002	0.0008	0.0008	0.0019	1	0.0011	0.0015	-0.0004	prototipo
26	0.0011	0.0001	0.0003	0.0009	0.0016	0.0015	0.0002	0.0004	0.0009	0.0018	1	0.0011	0.0015	-0.0004	prototipo
27	0.0011	0.0001	0.0005	0.0009	0.0017	0.0015	0.0001	0.0004	0.0009	0.0019	1	0.0011	0.0015	-0.0004	prototipo
28	0.0011	0.0002	0.0009	0.0009	0.0018	0.0015	0.0001	0.0005	0.0009	0.0017	1	0.0013	0.0015	-0.0002	prototipo
29	0.0013	0.0002	0.0008	0.0009	0.0019	0.0015	0.0002	0.0005	0.0009	0.0017	1	0.001	0.001	0.0000	prototipo
30	0.001	0.0001	0.0008	0.0008	0.002	0.001	0.0002	0.0004	0.0009	0.0018	2	0.0008	0.0008	0.0000	prototipo

Figura 4. Mediciones Excel

	C1	C2	C3-T	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
	pieza	medicion	prot/bench	resta	protitpo	bench							
1	1	0.0009	prototipo	-0.0002	0.0009	0.0011							
2	1	0.0009	prototipo	-0.0002	0.0009	0.0011							
3	1	0.0011	prototipo	-0.0005	0.0011	0.0016							
4	1	0.0013	prototipo	0.0002	0.0013	0.0011							
5	1	0.0013	prototipo	0.0001	0.0013	0.0012							
6	1	0.0015	prototipo	-0.0004	0.0015	0.0019							
7	1	0.0011	prototipo	-0.0008	0.0011	0.0019							
8	1	0.0011	prototipo	-0.0006	0.0011	0.0017							
9	1	0.0016	prototipo	-0.0001	0.0016	0.0017							
10	1	0.0011	prototipo	-0.0007	0.0011	0.0018							
11	1	0.0012	prototipo	-0.0006	0.0012	0.0018							
12	1	0.0019	prototipo	0.0009	0.0019	0.0010							
13	1	0.0019	prototipo	0.0009	0.0019	0.0010							
14	1	0.0017	prototipo	-0.0001	0.0017	0.0018							
15	1	0.0017	prototipo	-0.0001	0.0017	0.0018							
16	1	0.0018	prototipo	0.0000	0.0018	0.0018							
17	1	0.0018	prototipo	-0.0001	0.0018	0.0019							
18	1	0.0010	prototipo	-0.0008	0.0010	0.0018							
19	1	0.0010	prototipo	-0.0001	0.0010	0.0011							

Figura 5. Mediciones MiniTab ©

### 2.1.9 Ajustes

El prototipo de mecanismo de transferencia tenía algunos puntos a modificar para el ajuste perfecto esperado en los prototipos de medición que son de alta importancia, como la precisión que requiere para tomar las mediciones óptimas y el estudio realizado refleje a cabalidad la medida del elemento.

Se requirieron de cinco tornillos opresores para que los ejes se ajustaran de manera precisa para la medición.

El torneado de la parte central del cabezal fue necesario para que se ajustara de manera fija al girar la base, ya que este juego entre piezas no podía asegurar la medición idónea para el prototipo medidor de redondez.

Maquinar la base que se obtuvo del laboratorio también fue un ajuste incluido en el diseño para poner los puntos de referencia en cuatro puntos circulares para la tomar la medida con referencia, tomando en cuenta los métodos de medición de redondez. La pequeña pieza incrustada en el eje Y para detener el palpador fue ajustado exactamente para la entrada que ya tiene diseñada el palpador

que es un ajuste exacto para que se pueda poner en 0 el medidor. Luego de haber sido aceptado el prototipo de mecanismo de transferencia, basándose en los diseños ya en el mercado, y tomando en cuenta con el material que se tiene y se necesita, se fijó el principio del prototipo del diseño del medidor de redondez con base giratoria, ya que en el prototipo de mecanismo de transferencia ya utiliza el sistema de coordenadas para localización de algún elemento, este principio aplicado para el fin de este proyecto es aplicarlo a la colocación del palpador para así poder medir cualquier tipo de elemento redondo, que esté dentro de los parámetros de medición de este prototipo. Por ejemplo, si el elemento es más chico o delgado, aparte de poderlo ajustar en el cabezal de mordazas, también con el eje X, se podrá manipular la posición del palpador en el momento de tocar para empezar a medirlo.

A continuación, se muestra la serie de figuras donde va sufriendo el proceso de fabricación el prototipo de mecanismo de transferencia hasta que se estipula que el prototipo de medidor de redondez queda cumpliendo las condiciones propuestas en este documento.

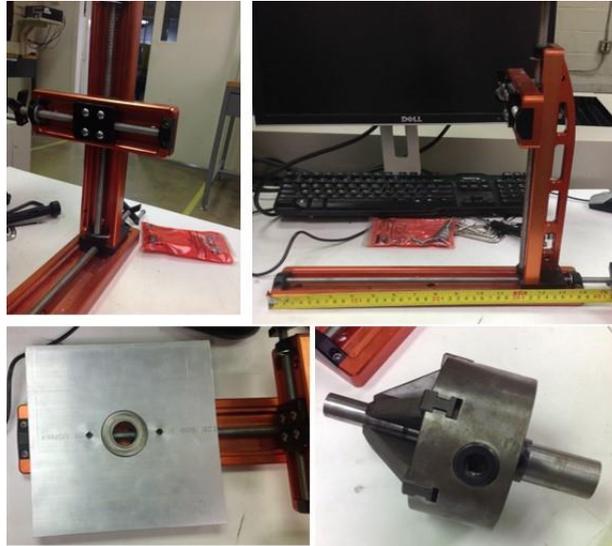


Figura 6. Serie de transformación del mecanismo de transferencia



Figura 7. Serie de transformación en el medidor

La base giratoria en el prototipo tiene dos baleros que giran al mismo tiempo, pero individualmente, esto con la finalidad de encontrar el punto exacto para colocar la pieza y su punto de referencia, así como también el palpador y colocar el punto 0, que es requerido para la medición óptima de redondez con un medidor análogo.

El cabezal entra de manera justa en la parte central de la base, y sale de la misma manera, esto para poder ajustar el elemento a medir con las mordazas, y el palpador está en el eje Y para su movimiento y ajuste en la pieza.

## Resultados

Después de observar la normalidad en la resta de las mediciones como se muestra en la siguiente figura 8, así como las del prototipo y la de centro de bancos, con una prueba de t-pareada considerando el

99 %, se tiene suficiente información estadística para no rechazar H0 considerando los resultados en MiniTab © como se aprecia en la figura 9.

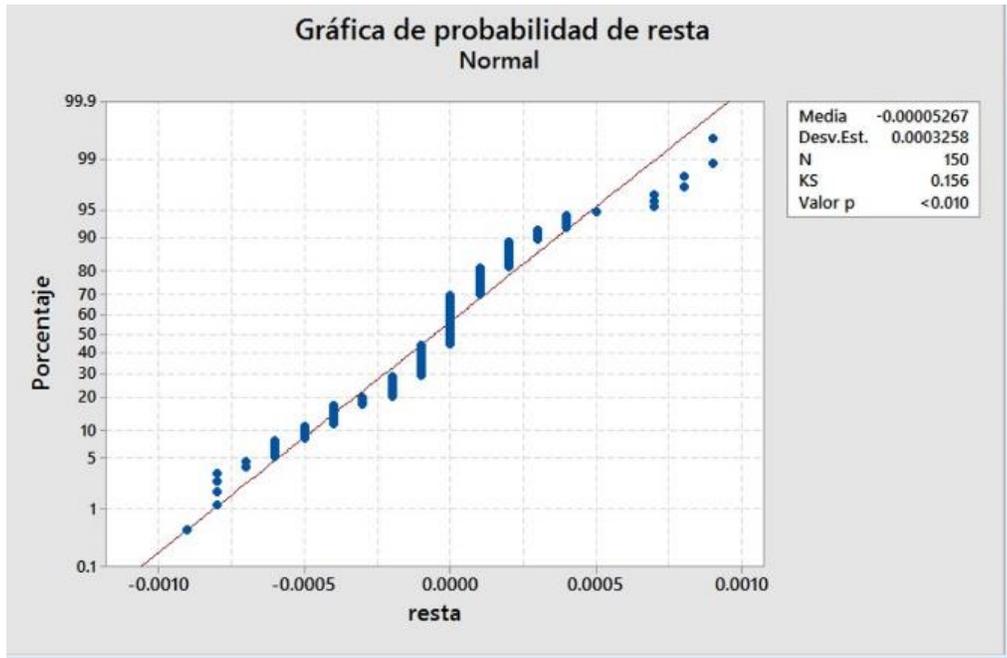


Figura 8. Prueba de normalidad

### IC y Prueba T pareada: protitpo, bench

T pareada para protitpo - bench

	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
protitpo	150	0.000945	0.000581	0.000047
bench	150	0.000997	0.000603	0.000049
Diferencia	150	-0.000053	0.000326	0.000027

IC de 99% para la diferencia media: (-0.000122, 0.000017)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs. ≠ 0): Valor T = -1.98 Valor p = 0.050

Figura 9. T-pareada

Lo que nos dice que las mediciones no son diferentes y el prototipo de medidor de

redondez cumple con los requisitos para poder medir con la misma capacidad de

confianza que con el banco de centros.

## Conclusiones

Considerando las limitaciones manuales, mecánicas y económicas que el presente prototipo tiene, se concluye que por medio de un trabajo de investigación en conjunto del conocimiento adquirido a través de los tres semestres del curso de la maestría en ingeniería en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez se puede fabricar y diseñar un medidor de redondez con las capacidades técnicas

que se requiere en el laboratorio de dicha casa de estudios para fines académicos y didácticos, que tiene como fin principal poder realizar prácticas escolares didácticas sin tener que recurrir a algún aparato automatizado que para fines académicos se pierde el principio de que el estudiante comprenda a cabalidad la manera de medir y la base de la característica de redondez en específico.

## Referencias

Gonzalez, C. G. (1999). Metrologia. MC Graw Hill.

Gutierrez, L. E. (2015). Implementacion de 4 algoritmos para la Medicion de Redondez Mediante una Interfaz Grafica deUsuario. Tesis UACJ .

Morris, A. S. (1999). Principios de mediciones e instrumentacion. Prentice Hall.

Sanches, R. G. (1999). Metrologia Geometrica Dimensional. AGT Editor S.A.