



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN
EQUIPO VERIFICADOR DE COMPARADORES DE RELOJ**

**AUTORES: TUTASI LOZADA RENÉ ALEJANDRO
BOADA FREIRE FRANKLIN ALEJANDRO**

DIRECTOR: ING. TUMIPAMBA TITUASÁN CÉSAR EMILIO

SANGOLQUÍ

2016



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO VERIFICADOR DE COMPARADORES DE RELOJ**” realizado por los señores **FRANKLIN ALEJANDRO BOADA FREIRE** y **RENÉ ALEJANDRO TUTASI LOZADA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio VIPER versión 4.1.91.3655, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **FRANKLIN ALEJANDRO BOADA FREIRE** y **RENÉ ALEJANDRO TUTASI LOZADA** para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 10 de marzo del 2016

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'C. Tumipamba'.

ING. CÉSAR EMILIO TUMIPAMBA TITUASÁN
DIRECTOR



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **FRANKLIN ALEJANDRO BOADA FREIRE**, con cédula de identidad N° 1803934254 y **RENÉ ALEJANDRO TUTASI LOZADA**, con cédula de identidad N° 1719940015, declaramos que este trabajo de titulación **“DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO VERIFICADOR DE COMPARADORES DE RELOJ”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 26 de febrero del 2016

RENÉ ALEJANDRO TUTASI LOZADA

C.C: 1719940015

FRANKLIN ALEJANDRO BOADA FREIRE

C.C: 1803934254



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **FRANKLIN ALEJANDRO BOADA FREIRE** y **RENÉ ALEJANDRO TUTASI LOZADA**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO VERIFICADOR DE COMPARADORES DE RELOJ**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 26 de febrero del 2016

Una firma manuscrita en tinta azul sobre una línea horizontal.

RENÉ ALEJANDRO TUTASI LOZADA

C.C: 1719940015

Una firma manuscrita en tinta azul sobre una línea horizontal.

FRANKLIN ALEJANDRO BOADA FREIRE

C.C: 1803934254

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre María de Lourdes y a mis abuelos María Elena y Arquímedes por haberme apoyado en la consecución de todas mis metas.

Franklin Alejandro Boada Freire

Dedico todo mi esfuerzo y dedicación en este trabajo a mis queridos padres, Carmen y René, a mis hermanos Daniela, Esteban y Angélica y a mis gratos amigos por su apoyo incondicional.

René Alejandro Tutasi Lozada

AGRADECIMIENTO

A Dios.

A los docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por compartir su conocimiento y experiencia para nuestra formación profesional; en especial al Ing. Emilio Tumipamba por su participación en el presente proyecto.

A nuestros compañeros de aula, quienes a lo largo de la carrera universitaria se convirtieron en verdaderos amigos.

Franklin Alejandro Boada Freire

René Alejandro Tutasi Lozada

ÍNDICE

Certificación	ii
Autoría de responsabilidad.....	iii
Autorización.....	iv
Agradecimiento.....	vi
Resumen.....	xx
CAPÍTULO I	1
Introducción	1
1.1. Definición del problema.....	1
1.2. Antecedentes	1
1.3. Objetivos.....	10
1.3.1. Objetivo general	10
1.3.2. Objetivos específicos	10
1.4. Justificación	10
1.5. Alcance	11
CAPÍTULO II	12
Marco teórico	12
2.1. Comparadores de reloj.....	12
2.1.1. Ejemplo de medición	13
2.1.2. Partes de un comparador de reloj.....	14
2.1.3. Funcionamiento del comparador de reloj y sus componentes	15
2.1.4. Medidas referenciales.....	16
2.2. Reloj comparador angular o universal	21
2.2.1. Partes de un reloj comparador universal	24
2.3. Comparador de reloj y comparador angular electrónico	24
2.4. Cabeza micrométrica.....	25
2.4.1. Principio de funcionamiento y componentes de una cabeza micrométrica.....	25
2.4.2. Tipos de cabezas micrométricas	26
2.4.3. Ejemplo	28

2.5. Verificador de comparador de reloj	29
2.5.1. Partes y funcionamiento del verificador de comparadores de reloj.....	30
2.6. Conceptos generales.....	31
2.6.1. Incertidumbre	31
2.6.2. Repetibilidad	31
2.6.3. Resolución.....	32
2.6.4. Precisión.....	32
2.6.5. Exactitud.....	32
2.6.6. Reproducibilidad.....	33
2.6.7. Temperatura de referencia.....	34
CAPÍTULO III	35
Diseño y simulación	35
3.1. Parámetros de diseño.....	35
3.1.1. Valores esperados de funcionamiento.....	35
3.1.2. Condiciones ambientales en las que debe trabajar el equipo:.....	35
3.1.3. Limitaciones de espacio:.....	35
3.1.4. Parámetros de operación:.....	36
3.1.5. Parámetros económicos:	36
3.2. Selección de la cabeza micrométrica.....	36
3.3. Diseño del mecanismo reductor de medidas	43
3.4. Análisis de materiales a usarse en la construcción del verificador de comparadores.....	44
3.5. Diseño de la carcasa del verificador de comparadores	48
3.5. Simulación carcasa.....	57
3.5.1. Tensión de von mises.....	58
3.5.2. Desplazamiento total	59
3.5.3. Factor de seguridad.....	60
3.6. Diseño del porta cabeza micrométrica.....	60
3.6.1. Selección de ajuste entre cilindro de agarre cabeza micrométrica – porta cabeza micrométrica.....	62
3.6.2. Selección de ajuste agujero entre la carcasa–porta cabeza micrométrica y la carcasa-porta husillo de medición.	66

3.6.3. Elección de tornillos y prisioneros en el porta cabeza micrométrica	67
3.7. Simulación porta cabeza micrométrica.....	68
3.7.1. Desplazamiento total	68
3.8. Diseño del husillo de medición y porta husillo.	69
3.9. Elección de los resortes	70
3.9.1. Resortes para mecanismo husillo – porta husillo.....	71
3.9.2. Simulación resortes para mecanismo husillo – porta husillo	74
3.9.3. Resortes para mecanismo de ajuste de comparadores	76
3.9.4. Simulación de los resortes para mecanismo de ajuste de comparadores.....	79
3.9.5. Resortes para mecanismo de soporte	81
3.9.6. Simulación resortes para mecanismo de soporte	83
3.9.7. Resortes para mecanismo reductor	85
3.9.8. Simulación del primer par de resortes para mecanismo reductor	92
3.9.9. Simulación del segundo par de resortes para mecanismo reductor	94
3.9.10. Constante de elasticidad del comparador de reloj	96
3.10. Análisis de fuerzas en el mecanismo	99
3.12. Simulación barra de reducción de medidas.....	103
3.12.1. Tensión de Von Mises	103
3.12.2. Desplazamiento total	104
3.12.3. Factor de seguridad.....	104
3.13. Simulación guías resortes estabilizadores de la barra	105
3.13.1. Tensión de Von Mises	105
3.13.2. Desplazamiento total	106
3.13.3. Factor de seguridad.....	106
 CAPÍTULO IV	 108
Construcción.....	108
4.1. Estudio de talleres para la fabricación de elementos de precisión	108
4.1.1. CRYO PROYECTOS INDUSTRIALES	108

4.1.2. FERPA	111
4.1.3. TESP.A.....	112
4.1.4. SERVICOR	113
4.1.5. Fábrica de municiones Santa Bárbara.....	114
4.2. Velocidades de mecanizado para torneado, fresado y taladrado	115
4.2.1 Torneado.....	115
4.2.2 Taladrado	118
4.2.3. Fresadora y rectificadora	120
4.3. Planos De taller	122
4.4. Hoja de procesos de las principales piezas	122
CAPÍTULO V	123
Toma de datos, ajuste de curvas, puesta a punto del equipo y pruebas	123
5.1. Selección del equipo o patrón para calibración del verificador de comparadores	123
5.1.1. Prueba para calcular errores del comparador digital Mitutoyo	124
5.1.2. Prueba para calcular desviaciones de medidas de los bloques patrón.....	126
5.2. Toma de datos y ajuste de curvas	128
5.2.1. Cabeza micrométrica por una constante.....	128
5.2.2. Cabeza micrométrica por ajuste lineal	131
5.2.3. Cabeza micrométrica por ajuste cuadrático.....	134
5.2.4. Cabeza micrométrica por ajuste cúbico	137
5.2.5. Cabeza micrométrica por ajuste polinómico de orden 4.....	140
5.2.6. Cabeza micrométrica por ajuste polinómico de orden 5.....	143
5.2.7. Cabeza micrométrica por ajuste polinómico de orden 6.....	146
5.3. Pruebas	149
5.3.1. Pruebas a un comparador de reloj Peacock de 0.001mm de apreciación y alcance 1mm	149
5.3.2. Pruebas a un comparador de reloj Mitutoyo de 0.001mm de apreciación y alcance 12.7mm.	152
5.3.3. Pruebas a un comparador universal Peacock de 0.001mm de apreciación y alcance 0.2mm	154

5.3.4. Pruebas a un comparador de reloj Steinmeyer de 0.01mm de apreciación y alcance 10mm.	157
CAPÍTULO VI	161
ANÁLISIS FINANCIERO	161
6.1 Costos de producción	161
6.1.1 Costos directos.....	161
6.1.2 Costos indirectos	170
6.1.3 Costo total	171
6.2 Precio de un verificador en el mercado	172
6.3 Comparación de valores	172
CAPÍTULO VII	174
Conclusiones y recomendaciones	174
7.1. Conclusiones.....	174
7.2. Recomendaciones.....	176
Bibliografía	178

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Verificación del estado actual de la cabeza micrométrica.....	4
Tabla 2. Verificación del estado actual del husillo de la cabeza micrométrica	5
Tabla 3. Verificación del estado actual del husillo de medición.....	6
Tabla 4. Verificación del estado actual de las patas de soporte	7
Tabla 5. Verificación del estado actual de la carcasa.....	8
Tabla 6. Verificación del estado actual de la base.....	9
Tabla 7. Características de distintas cabezas micrométricas en el mercado	37
Tabla 8. Datos extra sobre cabezas micrométricas antes mencionadas	40
Tabla 9. Selección de cabeza micrométrica	40
Tabla 10. Cabeza micrométrica elegida	42
Tabla 11. Propiedades mecánicas de materiales de posible uso.....	44
Tabla 12. Valoración de acuerdo a las propiedades mecánicas de los materiales de posible uso en la carcasa	45
Tabla 13. Valoración de acuerdo a las características y propiedades físicas de los materiales de posible uso en la carcasa.	46
Tabla 14. Valoración total de materiales (según tabla 12 y 13).....	47
Tabla 15. Características y propiedades del aluminio 6061	50
Tabla 16. Relación entre el mecanizado y la rugosidad	63
Tabla 17. Rugosidad y número de grado de rugosidad	64
Tabla 18. Ajustes recomendados	65
Tabla 19. Selección de tornillos y prisioneros para porta cabeza micrométrica	67
Tabla 20. Datos para hallar la constante de elasticidad del resorte.....	73
Tabla 21. Datos para hallar la constante de elasticidad del resorte.....	78
Tabla 22. Datos para hallar la constante de elasticidad del resorte.....	82
Tabla 23. Datos para hallar la constante de elasticidad del resorte.....	88
Tabla 24. Datos para hallar la constante de elasticidad del resorte.....	90
Tabla 25. Datos para hallar la constante de elasticidad del resorte.....	97
Tabla 26. Propiedades mecánicas de aluminios comerciales en Ecuador.....	102
Tabla 27. Valoración de propiedades físicas.....	103
Tabla 28. Máquinas que se utilizarán en la empresa CRYO PROYECTOS INDUSTRIALES.....	109
Tabla 29. Máquina que se utilizará en la empresa FERPA	111
Tabla 30. Máquina que se utilizará en la empresa TESPÁ	112
Tabla 31. Máquinas que se usarán en la empresa SERVICOR	113
Tabla 32. Máquinas que se usarán en la fábrica de municiones Santa Bárbara	114
Tabla 33. Velocidades de corte recomendadas para refrentado, cilindrado y rectificado	115

Tabla 34. Velocidad de avance, velocidad de corte para mecanizado de diferentes materiales en torno	116
Tabla 35. RPM para mecanizado en torno de acuerdo al diámetro de la pieza.....	116
Tabla 36. Velocidades de avance en fresadoras	119
Tabla 37. Velocidades de corte y avance en fresadoras	121
Tabla 38. Pruebas para verificar el estado del comparador digital	125
Tabla 39. Pruebas para verificar el estado de los patrones de caras paralelas	127
Tabla 40. Prueba para hallar una relación directa entre cabeza micrométrica y comparador digital.....	128
Tabla 41. Prueba para hallar una relación lineal entre cabeza micrométrica y comparador digital	131
Tabla 42. Prueba para hallar una relación cuadrática entre cabeza micrométrica y comparador digital	134
Tabla 43. Prueba para hallar una relación cúbica entre cabeza micrométrica y comparador digital	137
Tabla 44. Prueba para hallar una relación polinómica de orden 4 entre cabeza micrométrica y comparador digital	140
Tabla 45. Prueba para hallar una relación polinómica de orden 5 entre cabeza micrométrica y comparador digital	143
Tabla 46. Prueba para hallar una relación polinómica de orden 6 entre cabeza micrométrica y comparador digital	146
Tabla 47. Pruebas de verificación comparador de reloj analógico Peacock de apreciación 0.001mm y alcance 1mm	150
Tabla 48. Pruebas de verificación del comparador digital Mitutoyo de apreciación 0.001mm y alcance 12.7mm	152
Tabla 49. Pruebas de verificación del comparador universal peacock de apreciación 0.001mm y alcance 0.2mm.....	155
Tabla 50. Pruebas de verificación comparador de reloj analógico Steinmeyer de apreciación 0.01mm y alcance 10mm.....	158
Tabla 51. Costo de materiales del verificador de comparadores de reloj.....	161
Tabla 52. Costo de equipos metrológicos	167
Tabla 53. Costo de elementos de fijación.....	167
Tabla 54. Costo total de materiales y equipos metrológicos.....	168
Tabla 55. Costo total de mano de obra	169
Tabla 56. Costo total de trabajos realizados fuera del taller.....	169
Tabla 57. Costo total de los acabados	170
Tabla 58. Costo total uso del taller.....	170
Tabla 59. Costo total transporte	171
Tabla 60. Costo total.....	171
Tabla 61. Comparación de valores	173

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura.1. Verificador de comparadores Starret 0.002mm, 1647 dólares	2
Figura 2. Verificador de comparadores Mitutoyo 0.0002mm, 5390 dólares	2
Figura 3. Componentes del equipo Mitutoyo Series 521	3
Figura 4. Estado actual de la cabeza micrométrica	4
Figura 5. Estado actual del husillo de la cabeza micrométrica	5
Figura 6. Estado actual del husillo de medición	6
Figura 7. Estado actual de las patas de soporte	7
Figura 8. Estado actual de la carcasa	8
Figura 9. Estado actual de la base	9
Figura 10. Comparador de reloj.....	12
Figura 11. Lectura en un comparador de reloj.....	13
Figura 12. Partes de un comparador de reloj.....	14
Figura 13. Componentes del comparador de reloj.....	15
Figura 14. Verificación de planitud de una galga de espesores	16
Figura 15. Medición angular de un comparador de reloj con ayuda de una barra de senos	17
Figura 16. Medición de la altura de un triángulo rectángulo con un comparador de reloj.....	18
Figura 17. Medición de circularidad con un comparador de reloj.....	19
Figura 18. Medición concentricidad con un comparador de reloj.....	20
Figura 19. Medición excentricidad con un comparador de reloj	21
Figura 20. Reloj comparador universal o angular.....	21
Figura 21. Movimiento circular del husillo de medición del reloj comparador universal	22
Figura 22. Movimiento lineal del husillo de medición del reloj comparador.....	22
Figura 23. Verificación de patrones con un reloj comparador universal	23
Figura 24. Verificación de la circularidad interior de un cilindro de una bomba de inyección a diesel	23
Figura 25. Partes de un reloj comparador universal.....	24
Figura 26. Comparadores lineal y angular electrónicos.....	24
Figura 27. Cabeza micrométrica	25
Figura 28. Principio del mecanismo tornillo – tuerca	25
Figura 29. Componentes de la cabeza micrométrica.....	26
Figura 30. Cabeza micrométrica analógica	27
Figura 31. Cabeza micrométrica digital	28
Figura 32. Ejemplo de uso cabeza micrométrica	28
Figura 33. Verificador de comparador de reloj de sujeción múltiple	29

Figura 34. Esquema del verificador de comparador Mitutoyo Series 521.....	30
Figura 35. Incertidumbre de un flexómetro	31
Figura 36. Explicación precisión	32
Figura 37. Exactitud y precisión	33
Figura 38. Reproducibilidad de 3 operadores diferentes	34
Figura 39. Cabeza micrométrica series 164.....	37
Figura 40. Cabeza micrométrica series 350.....	38
Figura 41. Cabeza micrométrica series 148.....	38
Figura 42. Cabeza micrométrica series 153.....	38
Figura 43. Cabeza micrométrica series 197.....	39
Figura 44. Cabeza micrométrica electrónica	39
Figura 45. Cabeza micrométrica mecánica.....	39
Figura 46. Dimensiones de la cabeza micrométrica 164-163/164	42
Figura 47. Mecanismo reductor	43
Figura 48. Aluminio reusado para fabricación de carcasa.....	49
Figura 49. Peso de una muestra del aluminio a reusar	49
Figura 50. Dimensiones para futura carcasa.....	51
Figura 51. Forma y dimensiones de caja con material reusado	52
Figura 52. Fresado de carcasa	52
Figura 53. Dimensiones después de fresado	53
Figura 54. Ubicación del mecanismo reductor dentro de la carcasa	53
Figura 55. Opciones de ampliación de carcasa	54
Figura 56. Centros de gravedad de trapecio y rectángulo	54
Figura 57. Centro vertical del centro de gravedad.....	55
Figura 58. Aumento de peso en la base para aumentar estabilidad	55
Figura 59. Aumento de longitud de la base para mayor estabilidad	56
Figura 60. Forma final de la carcasa	57
Figura 61. Tensión de Von Mises simulación de la carcasa	58
Figura 62. Desplazamiento total simulación de la carcasa	59
Figura 63. Factor de seguridad simulación de la carcasa.....	60
Figura 64. Dimensiones necesarias para diseño de porta cabeza micrométrica.....	61
Figura 65. Porta cabeza micrométrica propuesta	62
Figura 66. Dimensiones del porta cabeza micrométrica	62
Figura 67. Ubicación del porta cabeza micrométrica en la carcasa	66
Figura 68. Ubicación de los prisioneros en el porta cabeza micrométrica.....	67
Figura 69. Ubicación de pernos Allen avellanados en el porta cabeza micrométrica.....	68
Figura 70. Desplazamiento total simulación de la carcasa	68
Figura 71. Medidas propuestas del husillo de medición y su soporte... 	69
Figura 72. Ubicación de pines para resortes.....	70
Figura 73. Husillo - porta husillo	71
Figura 74. Pines para resorte en el porta husillo	72

Figura 75. Pruebas de laboratorio para hallar la constante de elasticidad del resorte	72
Figura 76. Gráfica Peso - Longitud del resorte para porta husillo	73
Figura 77. Tensión de Von Mises simulación resortes husillo – porta husillo.....	74
Figura 78. Desplazamiento total simulación resortes husillo – porta husillo.....	75
Figura.79. Factor de seguridad simulación resortes husillo – porta husillo.....	76
Figura 80. Ubicación de resortes en el soporte de comparadores	77
Figura 81. Pruebas de laboratorio para hallar la constante de elasticidad del resorte.....	77
Figura 82. Gráfica Peso - Longitud del resorte para soporte de comparadores.....	78
Figura 83. Tensión de Von Mises simulación resortes para el ajuste del comparador	79
Figura 84. Desplazamiento total simulación resortes para el ajuste del comparador	80
Figura 85. Factor de seguridad simulación resortes para el ajuste del comparador	80
Figura 86. Ubicación del resorte estabilizador del patín del soporte.....	81
Figura 87. Espacio designado para colocación del resorte.....	82
Figura 88. Gráfica Peso-Longitud resorte estabilizador del patín.....	83
Figura 89. Tensión de Von Mises simulación resortes para mecanismo del soporte	84
Figura 90. Desplazamiento total simulación resortes para mecanismo del soporte	84
Figura 91. Desplazamiento total simulación resortes para mecanismo del soporte	85
Figura 92. Puntos de contacto en la barra reductora	86
Figura 93. Resortes del mecanismo reductor sin elongación	86
Figura 94. Resortes del mecanismo reductor máxima elongación	87
Figura 95. Pruebas de laboratorio para hallar K del resorte	87
Figura 96. Gráfica Peso - Longitud del primer par de resortes para mecanismo reductor	88
Figura 97. Pruebas de laboratorio para hallar la K del resorte	90
Figura 98. Peso - longitud del segundo par de resortes del mecanismo reductor	91
Figura 99. Tensión de Von Mises simulación del primer par de resortes del mecanismo reductor	92
Figura 100. Desplazamiento total simulación del segundo par de resortes del mecanismo reductor	93
Figura 101. Factor de seguridad simulación del primer par de resortes del mecanismo reductor	94

Figura 102. Tensión de Von Mises simulación del segundo par de resortes del mecanismo reductor	95
Figura 103. Desplazamiento total simulación del segundo par de resortes del mecanismo reductor	95
Figura 104. Factor de seguridad simulación del segundo par de resortes del mecanismo reductor	96
Figura 105. Fuerza del comparador de reloj.....	97
Figura 106. Gráfica Peso-longitud del comparador de reloj.....	98
Figura 107. Fuerzas que influyen en el mecanismo reductor	99
Figura 108. Descomposición de fuerzas.....	100
Figura 109. Fuerza máxima de la cabeza micrométrica.....	101
Figura 110. Barra reductora	102
Figura 111. Tensión de Von mises simulación barra reductora de medidas	103
Figura.112. Desplazamiento total simulación barra reductora de medidas	104
Figura.113. Factor de seguridad simulación barra reductora de medidas	104
Figura 114. Tensión de Von mises simulación guías resortes mecanismo reductor	105
Figura 115. Desplazamiento total simulación guías resortes mecanismo reductor	106
Figura 116. Factor de seguridad simulación guías resortes mecanismo reductor	106
Figura 117. Torno de Cryoproyectos Industriales	109
Figura 118. Fresadora de CRYO PROYECTOS INDUSTRIALES	110
Figura 119. Taladro de banco de Cryoproyectos Industriales.....	110
Figura 120. Rectificadora de FERPA.....	111
Figura 121. Cizalla hidráulica de TESP.....	112
Figura 122. Cortadora con agua a alta presión de la empresa SERVICOR.....	113
Figura 123. CNC de la fábrica de municiones Santa Bárbara.....	114
Figura 124. Comparador digital escogido para calibración del verificador de comparadores.....	124
Figura 125. Instalación para comparar variaciones de medidas entre el comparador digital y la cabeza micrométrica	125
Figura 126. Instalación para comparar variaciones de medidas entre el comparador digital y los patrones de caras paralelas	126
Figura 127. Gráfica de la relación directa entre cabeza micrométrica y comparador digital.....	130
Figura 128. Gráfica de la relación lineal entre cabeza micrométrica y comparador digital.....	133
Figura 129. Gráfica de la relación polinómica de orden 2 entre cabeza micrométrica y comparador digital	136

Figura 130. Gráfica de la relación polinómica de orden 3 entre cabeza micrométrica y comparador digital	139
Figura 131. Gráfica de la relación polinómica de orden 4 entre cabeza micrométrica y comparador digital	142
Figura 132. Gráfica de la relación polinómica de orden 5 entre cabeza micrométrica y comparador digital	145
Figura 133. Gráfica de la relación polinómica de orden 6 entre cabeza micrométrica y comparador digital	148
Figura 134. Montaje para la toma de datos en la verificación de un comparador de reloj analógico Peacock.....	149
Figura 135. Gráfica de exactitud del comparador de reloj analógico Peacock de apreciación 0.001mm y alcance 1mm	150
Figura 136. Gráfica de precisión del comparador de reloj analógico Peacock de apreciación 0.001mm y alcance 1mm	151
Figura 137. Montaje para la toma de datos en la verificación de un comparador digital Mitutoyo.....	152
Figura 138. Gráfica de exactitud del comparador digital Mitutoyo de apreciación 0.001mm y alcance 12.7mm	153
Figura 139. Gráfica de precisión del comparador digital Mitutoyo de apreciación 0.001mm y alcance 12.7mm	154
Figura 140. Montaje para la toma de datos en la verificación de un comparador universal Peacock.....	155
Figura 141. Gráfico de exactitud de un comparador universal Peacock de apreciación 0.001mm y alcance 0.2mm.....	156
Figura 142. Gráfico de precisión de un comparador universal Peacock de apreciación 0.001mm y alcance 0.2mm.....	157
Figura 143. Montaje para la toma de datos en la verificación de un comparador de reloj analógico Steinmeyer	158
Figura 144. Gráfica de exactitud del comparador de reloj analógico Steinmeyer de apreciación 0.01mm y alcance 10mm.....	159
Figura 145. Gráfico de precisión del comparador de reloj analógico Steinmeyer de apreciación 0.01mm y alcance 10mm.....	160
Figura 146. Cotización de un verificador de comparadores analógico Mitutoyo por parte de la empresa Cecuamaq	172

LISTADO DE ANEXOS

- Anexo A:** Planos de taller.
- Anexo B:** Hojas de proceso de fabricación.
- Anexo B1:** Hojas de proceso de fabricación del porta husillo de medición.
- Anexo B2:** Hojas de proceso de fabricación del husillo de medición.
- Anexo B3:** Hojas de proceso de fabricación de las guías resortes estabilizadores de la barra.
- Anexo B4:** Hojas de proceso de fabricación del porta cabeza micrométrica.
- Anexo B5:** Hojas de proceso de fabricación de la barra de reducción de medidas.
- Anexo B6:** Hojas de proceso de fabricación del soporte del pivote.

RESUMEN

El siguiente proyecto de investigación tiene como finalidad diseñar, construir y simular el primer equipo verificador de comparadores nacional, a manos de estudiantes egresados de la Carrera de Ingeniería Mecánica la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, con la finalidad de demostrar que la industria metalmecánica ecuatoriana posee las máquinas y herramientas necesarias para construir equipos de alta precisión que puedan competir en el mercado internacional y de ser necesario mediante desagregación tecnológica adquirir elementos que aún la tecnología nacional no se encuentra en la capacidad de construirlos. En el proyecto se realizan selecciones de materiales para las piezas de mayor importancia en el funcionamiento del equipo verificador de comparadores, a su vez se simularán desplazamientos tensión de Von Mises, desplazamientos máximos y factores de seguridad en dichas piezas para garantizar que al construirlas o adquirirlas funcionarán de manera correcta. Mediante hojas de procesos se mostrarán las mejores rutas de fabricación para las piezas de mayor importancia especificando paso a paso velocidades de corte, avances y revoluciones por minuto de las diferentes máquinas a usarse. Con un financiero completo se demostró demostrar que los costos de fabricación son menores que la adquisición del equipo verificador extranjero. Al finalizar el proyecto se obtuvo un equipo verificador de comparadores funcional y operativo.

PALABRAS CLAVE

- **VERIFICADOR.**
- **COMPARADOR.**
- **VÁSTAGO.**
- **ANGULAR.**
- **HUSILLO.**

ABSTRACT

This investigation project has the goals to design, simulate and built the first Ecuadorian indicator tester, produced by mechanical engineer students of the Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE; this project also demonstrates that the local metal mechanic industries has the necessary tools and machines to fabricate high precision equipment which can compete on international markets. This equipment includes the technology disaggregation, which means that this device only uses foreign technology in case that is impossible to build a part locally. In this project although shows the material selection for the most important parts of the indicator tester, a 3D simulation of Von Mises tension, safety factors and maximum displacements to guaranty that they won't fail after the construction. The best way to manufacture this equipment is shown in the process sheets of the most important parts, this sheets specifies step by step, cutting speed, advance and revolutions per minute that uses the different machines. With a complete financial analysis this project demonstrates that the price of making one indicator testes is lower than buying one in a foreign country. At the end of the project we achieve an operative and functional indicator tester.

KEYWORDS

- **TESTER.**
- **DIAL GAUGE.**
- **STEM.**
- **ANGULAR.**
- **SPINDLE.**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Definición del problema

El laboratorio de metrología de la Universidad de las Fuerzas Armadas presta servicios de verificación, calibración, medición de longitudes, ángulos y superficies para la industria metalmecánica. Además de capacitación académica en la formación de ingenieros mecánicos.

Como parte de este laboratorio se tiene un equipo verificador de comparadores, Mitutoyo Series 521, que no se encuentra en óptimas condiciones de trabajo; razón por la cual, el laboratorio ha reducido la competencia técnica para realizar los trabajos de verificación.

En casi todas las industrias relacionadas con la metalmecánica de precisión, las tolerancias de fabricación se están volviendo más exigentes debido a un mayor requerimiento de mecanismos más silenciosos, exactos y de alta calidad, por lo que el Departamento de Control de Calidad dentro de las empresas se encarga de la calibración periódica de los diversos instrumentos de medición, ya que la precisión de los componentes a producir y verificar, depende en gran medida de la precisión de los instrumentos de medición. Por lo que la calibración periódica de instrumentos de precisión en las empresas competitivas, es requisito para asegurar la calidad de los productos y mantenerse en el negocio.

1.2. Antecedentes

Uno de los instrumentos muy útiles en el montaje de maquinaria, control de procesos de fabricación de los metales, control de calidad de productos de precisión, son los comparadores de reloj, cuyo buen estado de operación debe

ser controlado, mediante los verificadores de comparadores de reloj; estos equipos están conformados por piezas fijas y móviles de estrechas tolerancias de precisión.

Los precios de los equipos verificadores de comparadores tipo analógico, varían entre mil seiscientos y cinco mil trescientos dólares americanos, sin incluir el precio de importación.



Figura 1. Verificador de comparadores Starret 0.002mm, 1647 dólares

(Starrett, 2015)



Figura 2. Verificador de comparadores Mitutoyo 0.0002mm, 5390 dólares

Sin embargo debido al precio y tiempo que implica la importación del equipo, es necesario considerar tecnologías de manufactura local que

permitan fabricar piezas de bajo costo, alta precisión y en el menor tiempo posible.

Como parte de nuestra investigación se constató que el Instituto Ecuatoriano de normalización - INEN, la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE y la Escuela Superior Politécnica del Litoral - ESPOL, disponen de equipos verificadores de comparadores, adquiridos hace aproximadamente treinta años.

El equipo Mitutoyo Series 521 del laboratorio de metrología de la Universidad de las Fuerzas armadas-ESPE se encuentra en las siguientes condiciones:

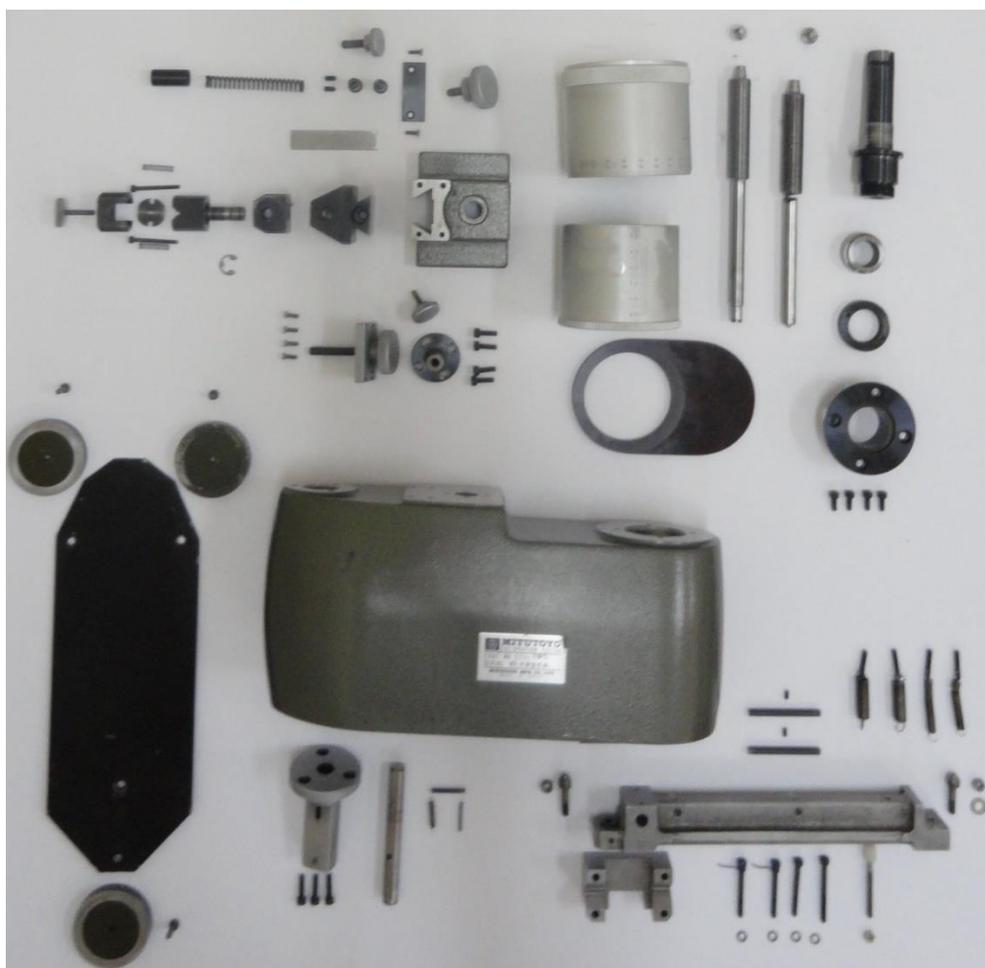


Figura 3. Componentes del equipo Mitutoyo Series 521

Tabla 1.
Verificación del estado actual de la cabeza micrométrica

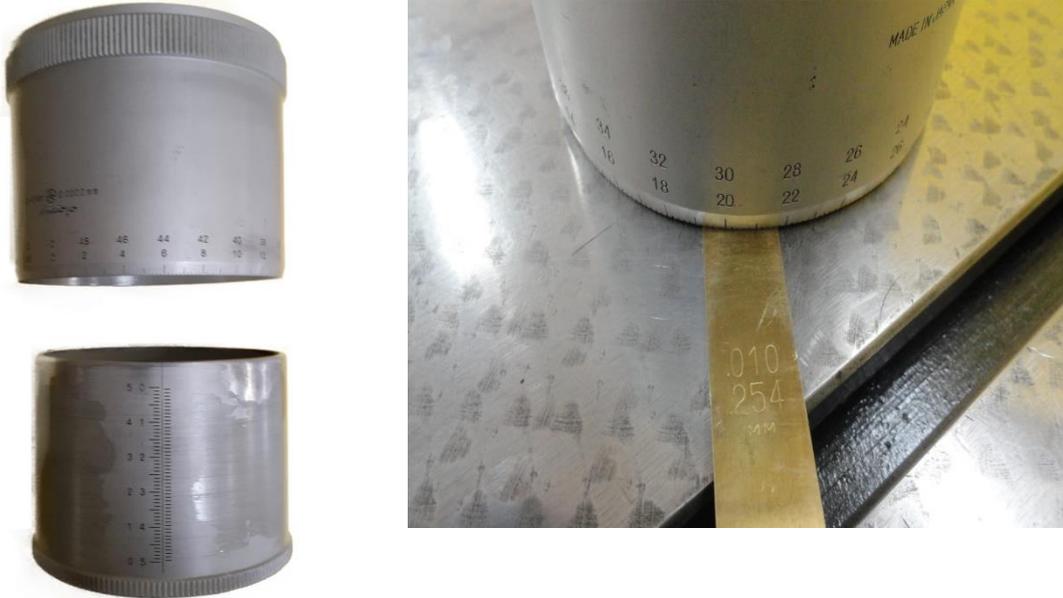
VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE LA CABEZA MICROMÉTRICA			
EQUIPO / COMPONENTE:		Tambor de cabeza micrométrica	
MARCA:		MITUTOYO	
FOTOGRAFÍA:			
			
Figura 4. Estado actual de la cabeza micrométrica			
ITEM	PARÁMETRO VERIFICADO	CALIFICACIÓN	OBSERVACIÓN
1	FUNCIONALIDAD	2	Proporciona datos erróneos
2	DEFORMACIÓN DE LA GEOMETRÍA	2	Pérdida de la circularidad
3	FISURAS	5	
4	RAYAONES	2	Rayones del cilindro por rozamiento con el tambor
5	CORROSIÓN	5	
6	ESTADO DE LA PINTURA	3	Desgaste del cilindro por rozamiento con el tambor
CALIFICACIÓN:			
1 = Muy malo, 2 = Malo, 3 = Regular, 4 = Bueno, 5 = Muy bueno			

Tabla 2.
Verificación del estado actual del husillo de la cabeza micrométrica

VERIFICACIÓN DEL ESTADO ACTUAL HUSILLO / ROSCA INTERNA DE LA CABEZA MICROMÉTRICA			
EQUIPO / COMPONENTE:		Husillo / Rosca interna	
MARCA:		MITUTOYO	
FOTOGRAFÍA:			
			
Figura 5. Estado actual del husillo de la cabeza micrométrica			
ITEM	PARÁMETRO VERIFICADO	CALIFICACIÓN	OBSERVACIÓN
1	FUNCIONALIDAD	5	
2	DEFORMACIÓN DE LA GEOMETRÍA	5	
3	FISURAS	3	Fisura en la punta de contacto
4	RAYAONES	5	
5	CORROSIÓN	5	
CALIFICACIÓN:			
1 = Muy malo, 2 = Malo, 3 = Regular, 4 = Bueno, 5 = Muy bueno			

Tabla 3.
Verificación del estado actual del husillo de medición

VERIFICACIÓN DEL ESTADO ACTUAL HUSILLO DE MEDICIÓN			
EQUIPO / COMPONENTE:		Husillo de medición	
MARCA:		MITUTOYO	
FOTOGRAFÍA:			
			
Figura 6. Estado actual del husillo de medición			
ITEM	PARÁMETRO VERIFICADO	CALIFICACIÓN	OBSERVACIÓN
1	FUNCIONALIDAD	5	
2	DEFORMACIÓN DE LA GEOMETRÍA	5	
3	FISURAS	5	
4	RAYAONES	5	
5	CORROSIÓN	4	Corroído en la punta inferior y en zonas de su superficie
6	ESTADO DE LA PINTURA	5	
CALIFICACIÓN:			
1 = Muy malo, 2 = Malo, 3 = Regular, 4 = Bueno, 5 = Muy bueno			

Tabla 4.
Verificación del estado actual de las patas de soporte

VERIFICACIÓN DEL ESTADO ACTUAL PATAS DE SOPORTE			
EQUIPO / COMPONENTE:		Patas de soporte	
MARCA:		MITUTOYO	
FOTOGRAFÍA:			
			
Figura 7. Estado actual de las patas de soporte			
ITEM	PARÁMETRO VERIFICADO	CALIFICACIÓN	OBSERVACIÓN
1	FUNCIONALIDAD	5	
2	DEFORMACIÓN DE LA GEOMETRÍA	5	
3	FISURAS	5	
4	RAYAONES	5	
5	CORROSIÓN	5	
6	ESTADO DE LA PINTURA	3	Desgaste por rozamiento con mesa.
CALIFICACIÓN:			
1 = Muy malo, 2 = Malo, 3 = Regular, 4 = Bueno, 5 = Muy bueno			

Tabla 5.
Verificación del estado actual de la carcasa

VERIFICACIÓN DEL ESTADO ACTUAL CARCASA			
EQUIPO / COMPONENTE:		Carcasa	
MARCA:		MITUTOYO	
FOTOGRAFÍA:			
			
Figura 8. Estado actual de la carcasa			
ITEM	PARÁMETRO VERIFICADO	CALIFICACIÓN	OBSERVACIÓN
1	FUNCIONALIDAD	5	
2	DEFORMACIÓN DE LA GEOMETRÍA	5	
3	FISURAS	5	
4	RAYAONES	5	
5	CORROSIÓN	5	
6	ESTADO DE LA PINTURA	4	Desgaste en zona izquierda
CALIFICACIÓN:			
1 = Muy malo, 2 = Malo, 3 = Regular, 4 = Bueno, 5 = Muy bueno			

Tabla 6.
Verificación del estado actual de la base

VERIFICACIÓN DEL ESTADO ACTUAL BASE			
EQUIPO / COMPONENTE:		Base	
MARCA:		MITUTOYO	
FOTOGRAFÍA:			
			
Figura 9. Estado actual de la base			
ITEM	PARÁMETRO VERIFICADO	CALIFICACION	OBSERVACIÓN
1	FUNCIONALIDAD	5	
2	DEFORMACIÓN DE LA GEOMETRÍA	5	
3	FISURAS	5	
4	RAYAONES	3	Presenta rayones en toda su superficie
5	CORROSIÓN	3	Corroído en los rayones
6	ESTADO DE LA PINTURA	3	Muy desgastada
CALIFICACIÓN:			
1 = Muy malo, 2 = Malo, 3 = Regular, 4 = Bueno, 5 = Muy bueno			

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Construir un verificador de comparadores de reloj para el laboratorio de metrología de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

1.3.2. Objetivos específicos

- Definir los parámetros de diseño del equipo de verificación de comparadores de reloj para su respectiva construcción.
- Realizar los cálculos y selección de materiales en el mercado nacional, para los principales elementos del equipo, así como su respectiva simulación en un software de modelado 3D.
- Construir el verificador de comparadores de reloj.
- Ejecutar las pruebas de funcionamiento y de puesta a punto del equipo.
- Verificar un comparador de reloj de una apreciación de una milésima de milímetro con alcance de cero a cinco milímetros.
- Realizar la implementación del verificador de comparador de reloj en el laboratorio de metrología

1.4. Justificación

Tomando en consideración los elevados precios de los equipos verificadores de comparadores de reloj, el laboratorio de metrología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, no se encuentra en posibilidades de adquirir uno, debido al escaso presupuesto disponible; por lo que se pretende disponer de un verificador de comparadores de bajo precio, calibrado y funcional con el fin de renovar las prácticas para estudiantes y ofertar nuevamente los servicios externos.

Mediante desagregación tecnológica se innovará en el campo de la fabricación de equipos de alta precisión a nivel nacional implementando

conocimientos del egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica para vencer el desafío tecnológico que implica la construcción de elementos mecánicos de alta precisión.

Actualmente solo se fabrican equipos verificadores de comparadores analógicos, por lo que se busca acoplar equipos electrónicos para facilitar las lecturas y la adquisición de datos al operador.

Es de gran importancia que los futuros ingenieros mecánicos se familiaricen con los verificadores de comparadores no solo en el uso de los mismos, sino también con el principio de funcionamiento y la fabricación de sus componentes ya que estos equipos son partes fundamental de la industria metalmeccánica de alta precisión.

1.5. Alcance

Una vez culminado el proyecto se proveerá a la institución beneficiaria de un equipo verificador de comparadores funcional y operativo, además se entregará simulaciones de tensión equivalente de Von Mises, deformación total y factores de seguridad de los principales componentes fijos y móviles.

Se realizará un programa en Excel con lectura de datos en tiempo real del verificador de comparadores construido.

Se realizará una guía de laboratorio detallada con el fin de que el estudiante sustente sus conocimientos sobre el equipo verificador.

También entregara un manual de usuario junto a los planos de taller y de ensamblaje.

Para finalizar se entregará un comparador de reloj digital marca Mitutoyo de apreciación 0.001 mm, un Interruptor de pedal Mitutoyo 937179T, un equipo de entrada USB Mitutoyo 264-012-10, un generador de pulsos y un cable de conexión SPC Mitutoyo 959149 de cuarenta pulgadas de largo con un botón de salida de datos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Comparadores de reloj

Los comparadores de reloj son instrumentos de gran precisión y como lo indica su nombre sirven para realizar medidas de comparación con otras piezas de dimensiones conocidas y próximas a las de referencia.



Figura 10. Comparador de reloj

Estos se encuentran basados en sistemas de amplificación que permiten que al realizar un pequeño desplazamiento de la punta de palpación

este desplazamiento sea amplificado mecánicamente y se transmita a una aguja indicadora, proporcionando de esta manera lecturas exactas y fáciles.

2.1.1. Ejemplo de medición



Figura 11. Lectura en un comparador de reloj

La medida marcada es de 0.42 mm

2.1.2. Partes de un comparador de reloj

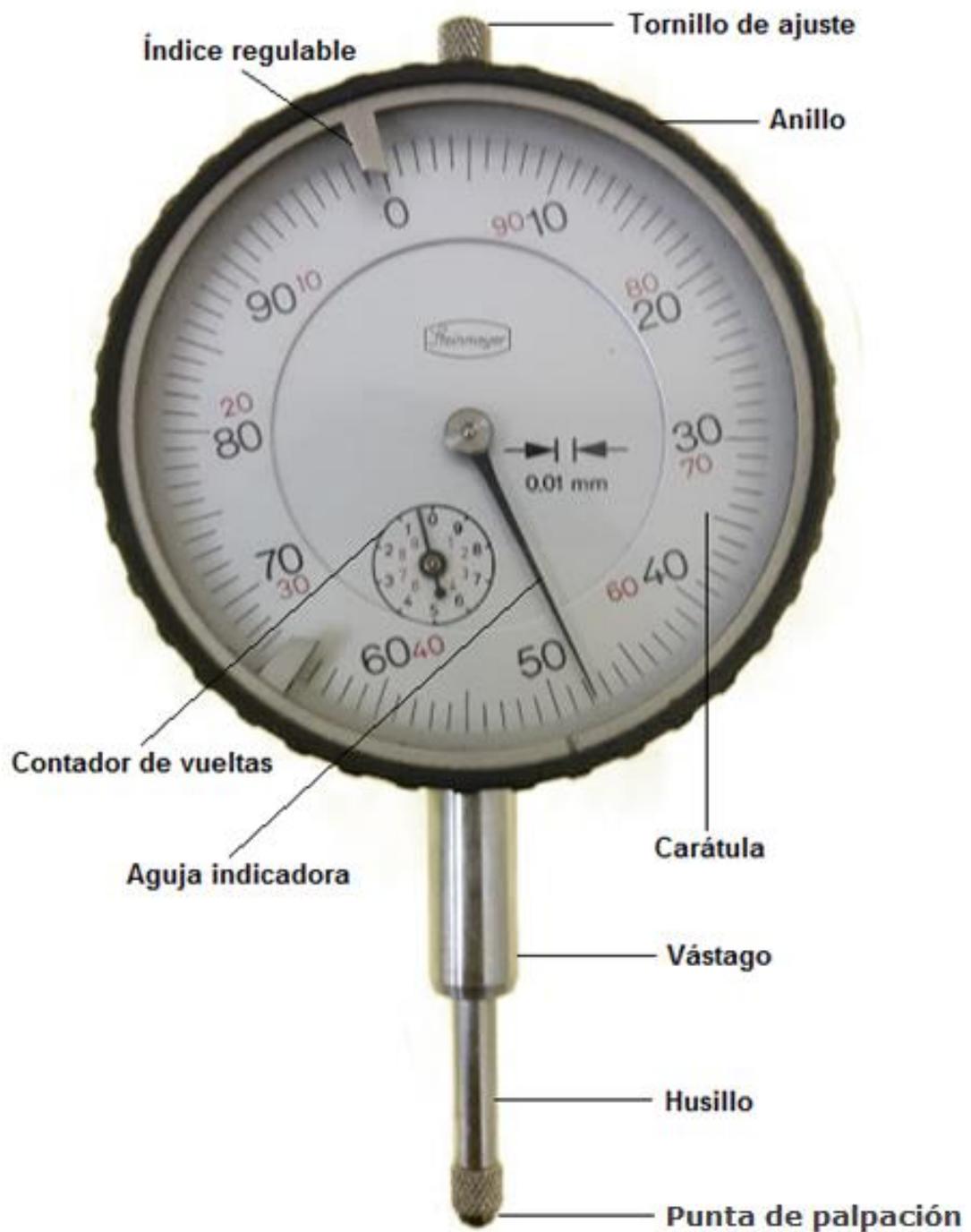


Figura 12. Partes de un comparador de reloj

2.1.3. Funcionamiento del comparador de reloj y sus componentes

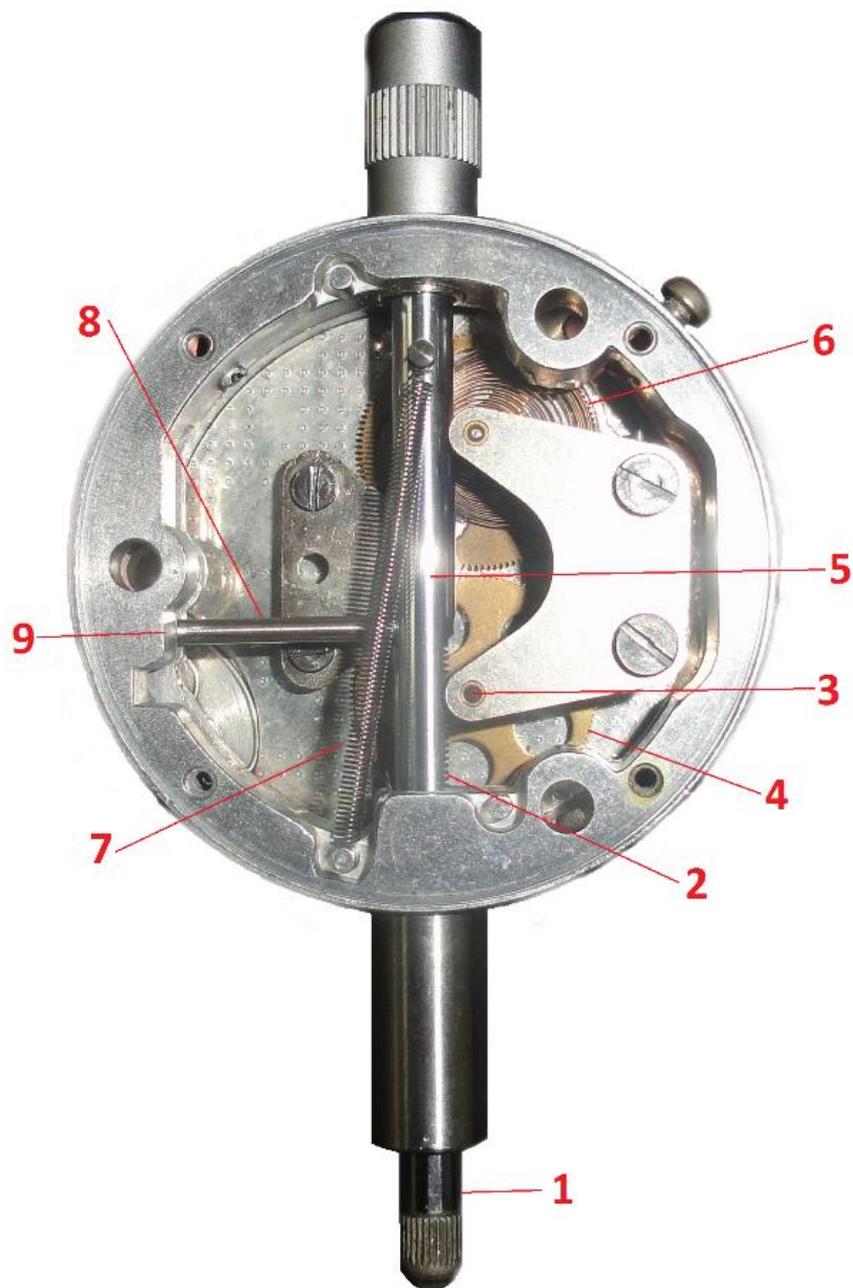


Figura 13. Componentes del comparador de reloj

En la varilla (1) va tallada una cremallera (2) que engrana con el piñón (3), solidario con éste va la rueda dentada (4) que se encarga de transmitir el movimiento a un segundo piñón (5), que acciona la aguja indicadora del comparador de reloj.

El muelle en espiral (6), está montado sobre una rueda auxiliar que engrana con el piñón (5) y tiene como finalidad eliminar los juegos entre dientes de los distintos engranajes. El resorte (7) constituye el muelle de presión y tiene la finalidad es asegurar el contacto entre la punta de palpación y pieza. El movimiento de la varilla (1) está asegurada por medio del pasador (8), que se aloja en la ranura (9).

2.1.4. Medidas referenciales

Estas buscan un punto de referencia contra la medida menor para poder determinar las demás.

Al realizar mediciones con un comparador de reloj este debe completarse con algún dispositivo que permita sujetarlo firmemente y alinearlo en la dirección en la que se realizará la medición y además contar con una superficie de referencia con respecto a la cual realizar las mediciones.

Como principales superficies de referencia para medición tenemos:

2.1.4.1. Plana

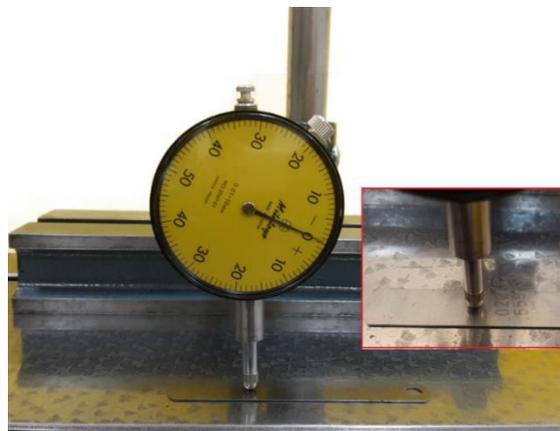


Figura 14. Verificación de planitud de una galga de espesores

En el caso de tener una superficie con irregularidades en su longitud, se coloca el reloj comparador en el soporte correspondiente, una vez que estén en contacto la punta de palpación con la superficie a medir se localiza el punto más bajo, que se emplea como referencia, luego deslizando el reloj iremos viendo la variación de medida en los distintos puntos de la superficie.

2.1.4.2. Angular

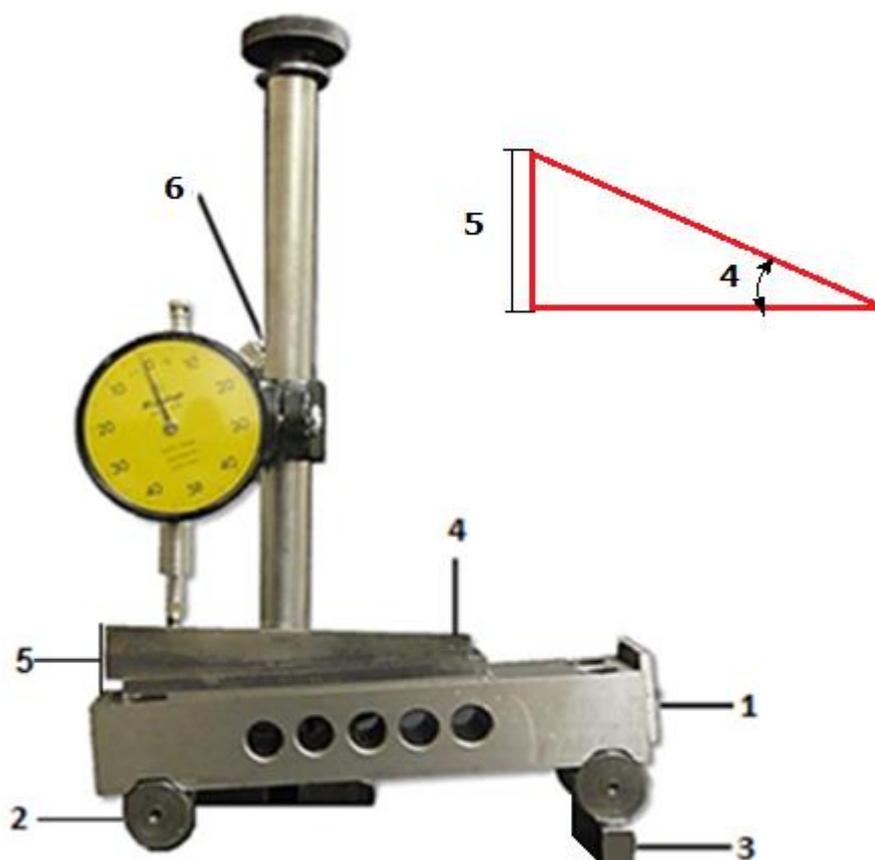


Figura 15. Medición angular de un comparador de reloj con ayuda de una barra de senos

En una barra de senos (1) se puede determinar la medida de un ángulo o ajustar una pieza al ángulo requerido. Uno de los cilindros de la barra de

senos (2) se apoya sobre una superficie plana y en la base del otro se agregan las galgas o bloques patrón (3) para lograr un ángulo necesario. La medida dada por los bloques patrón es igual a la medida de elevación perpendicular (5) del triángulo formado por el ángulo a medir (4), esto provoca que la superficie angular sea paralela a la superficie plana. Con ayuda del comparador de reloj bien sujeto al soporte (6) verificamos que sea paralela en toda su longitud.

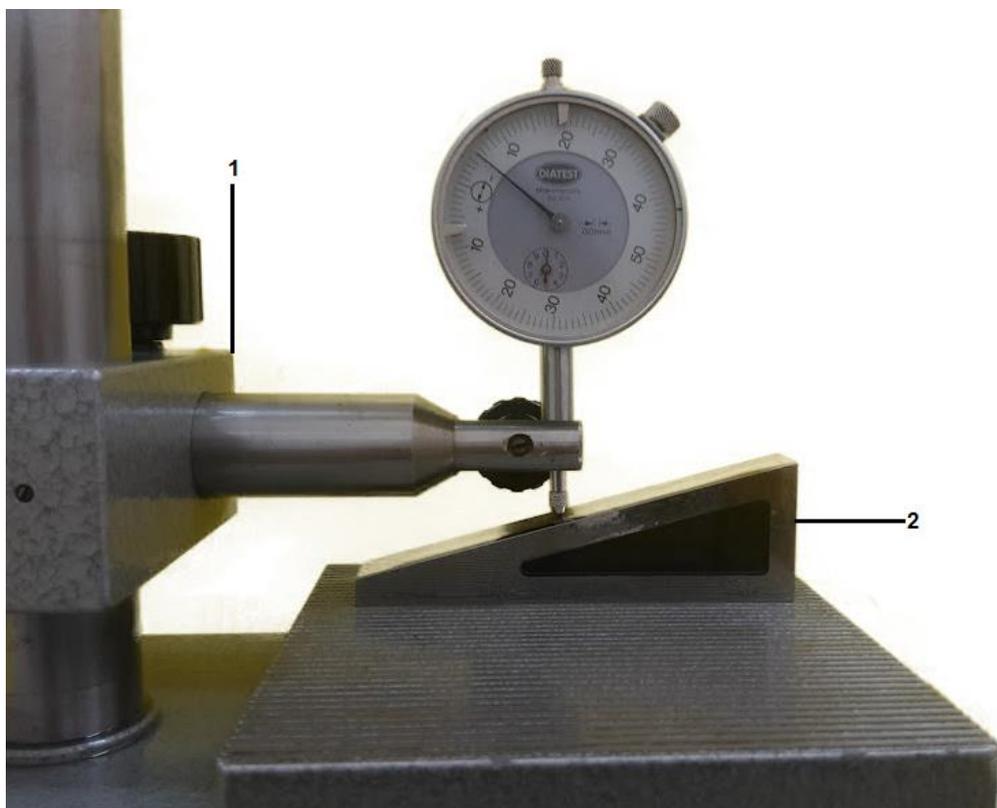


Figura 16. Medición de la altura de un triángulo rectángulo con un comparador de reloj

En el caso de tener una superficie angular (1), se coloca el reloj comparador en el soporte correspondiente (2) y se ubica la punta de palpación en el punto más bajo como referencia, luego se desliza el reloj a lo largo de toda la superficie y se observa la variación de medida en los distintos puntos.

2.1.4.3. Circunferencial

2.1.4.3.1. Circularidad

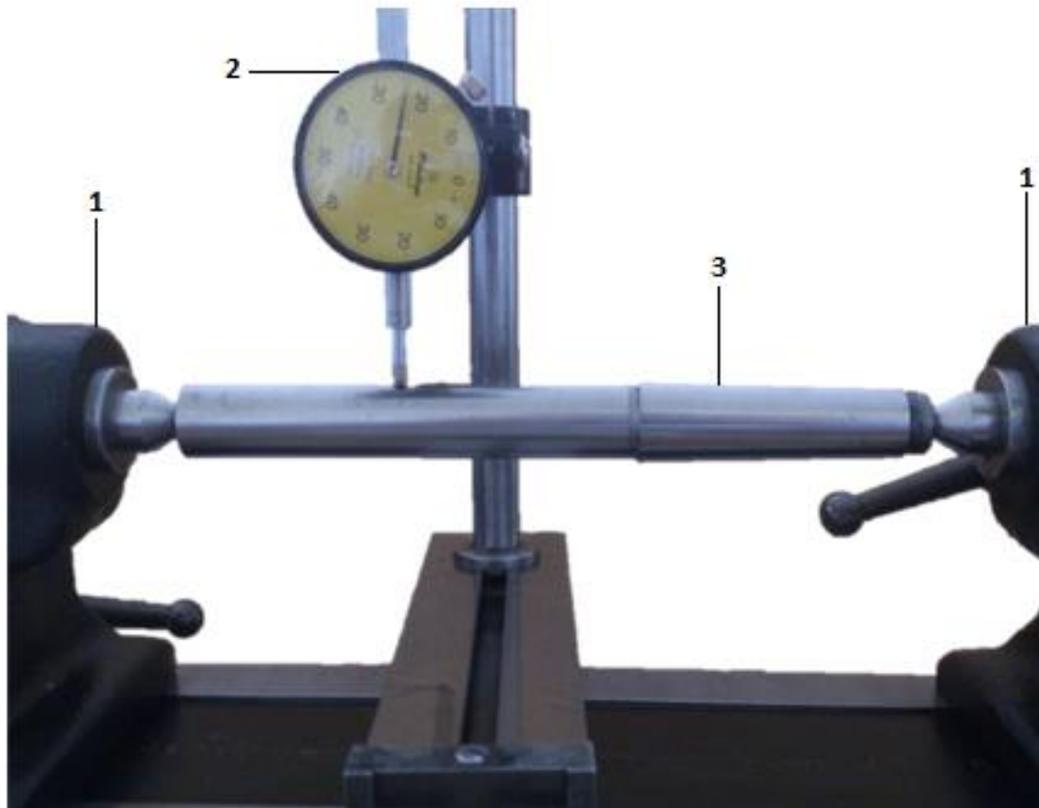


Figura 17. Medición de circularidad con un comparador de reloj

Para comprobar la circularidad de un eje, lo colocamos entre puntos (1), de modo que pueda girar libremente, usando el comparador de reloj (2) en sentido radial respecto del eje a comprobar, hacemos girar el cilindro (3) y en la carátula del comparador de reloj observaremos la variación de radio en toda la periferia de la superficie.

2.1.4.3.2. Concentricidad



Figura 18. Medición concentricidad con un comparador de reloj

Al igual que la circularidad para comprobar la concentricidad de un eje, lo colocamos entre puntos (1), de modo que pueda girar libremente, usando dos comparadores de reloj en dos circunferencias del mismo cilindro en sentido radial respecto del eje a comprobar, hacemos girar el cilindro y en la carátula de los comparadores de reloj observaremos la variación de radio en toda la periferia de las superficies. Si las medidas en los dos comparadores de reloj son las mismas podemos decir que la barra entre los puntos de contacto de los palpadores A y B es concéntrica.

2.1.4.3.3. Excentricidad

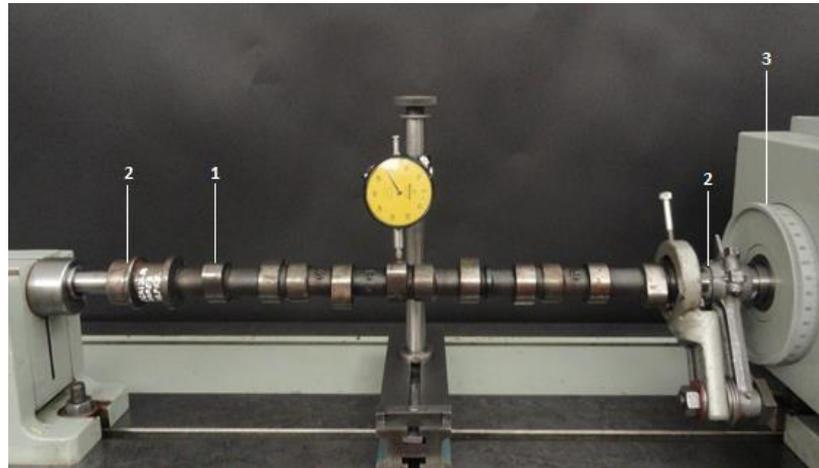


Figura 19. Medición excentricidad con un comparador de reloj

Para comprobar la excentricidad de una leva, colocamos el árbol de levas (1) entre puntos (2) y de modo que pueda girar libremente, usando el comparador de reloj en sentido radial respecto del eje a comprobar y con ayuda del goniómetro (3) hacemos girar el árbol de levas en los intervalos de ángulos que se requiera y en la carátula del comparador de reloj observaremos la variación de radio en toda la periferia de la superficie de la leva.

2.2. Reloj comparador angular o universal



Figura 20. Reloj comparador universal o angular

Mientras que la mayoría de los comparadores de reloj miden por medio del desplazamiento lineal del husillo, los del tipo angular lo hacen por medio el movimiento circular mediante una palanca que posee una punta de contacto en su extremo.

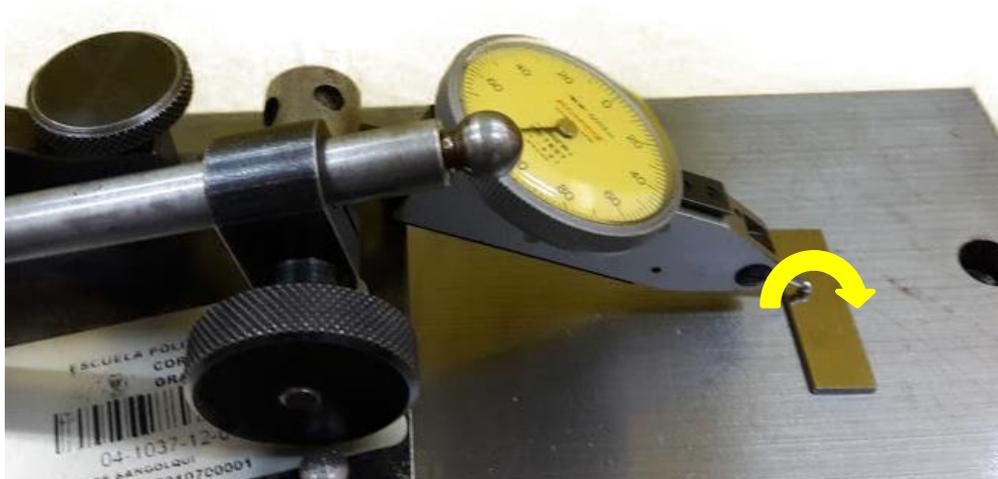


Figura 21. Movimiento circular del husillo de medición del reloj comparador universal

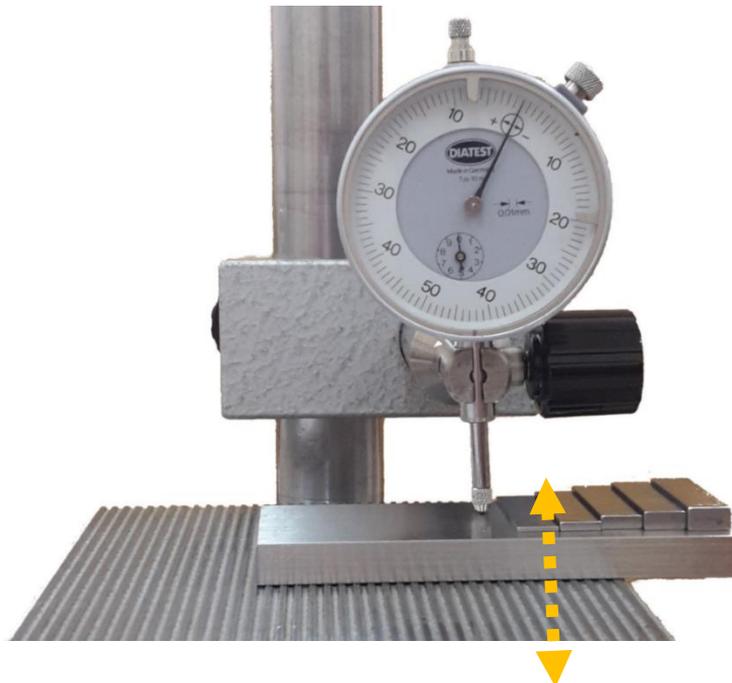


Figura 22. Movimiento lineal del husillo de medición del reloj comparador

Se los usa frecuentemente en mediciones interiores, por la facilidad que la punta brinda para ingresar en espacios donde no se puede ingresar con comparadores de reloj normales.

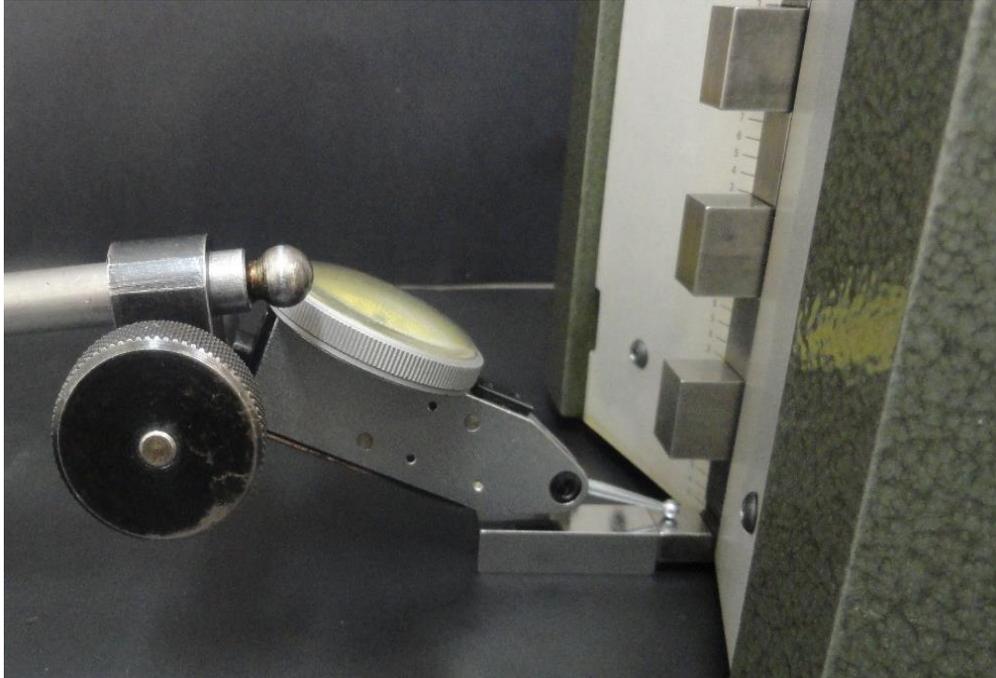


Figura 23. Verificación de patrones con un reloj comparador universal



Figura 24. Verificación de la circularidad interior de un cilindro de una bomba de inyección a diesel

2.2.1. Partes de un reloj comparador universal

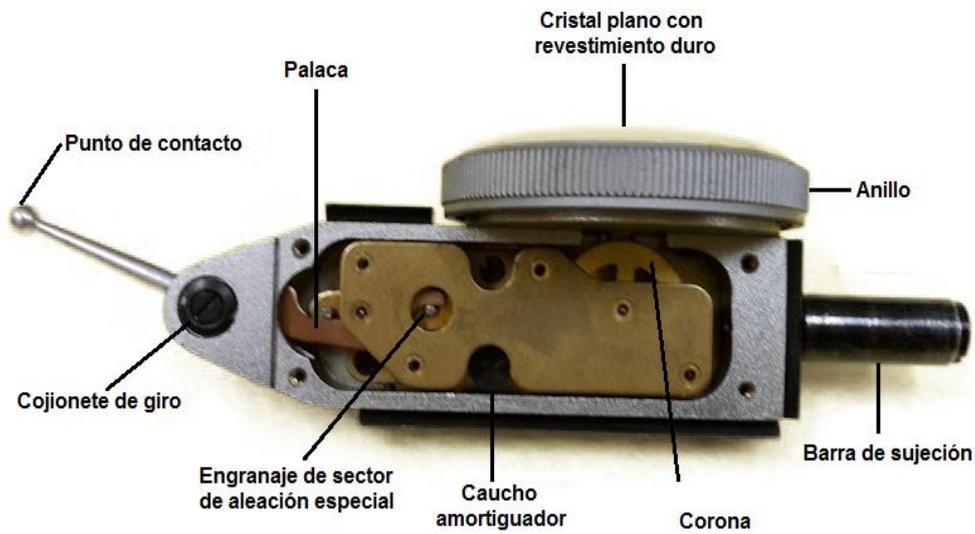


Figura 25. Partes de un reloj comparador universal

2.3. Comparador de reloj y comparador angular electrónico

Son instrumentos de alta precisión que funcionan electrónicamente y proporcionan medidas mediante sensores especializados colocados en su interior. Estos instrumentos generan las lecturas de sus mediciones en un equipo de medición que se conecta tanto al comparador de reloj como al reloj comparador universal electrónico.

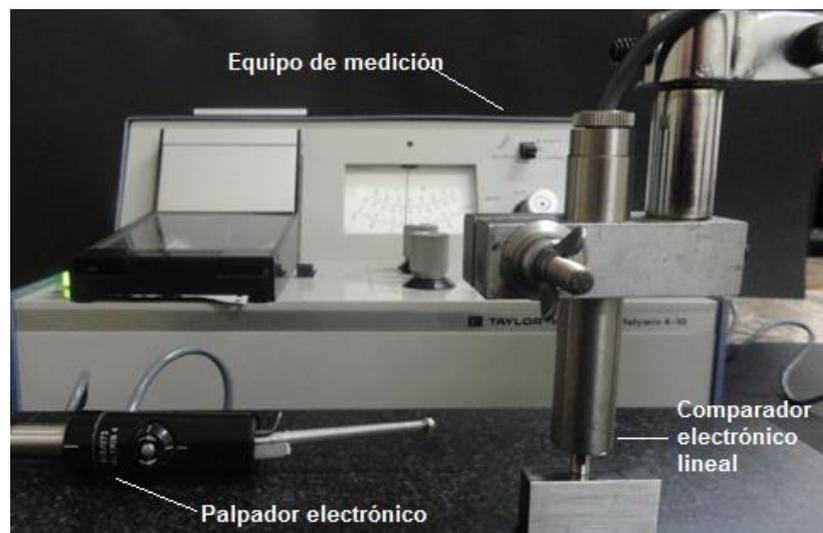


Figura 26. Comparadores lineal y angular electrónicos

2.4. Cabeza micrométrica

Las cabezas micrométricas son herramientas diseñadas para el uso en equipos que requieran un ajuste muy fino, para máquinas herramientas, calibradores y dispositivos especiales.



Figura 27. Cabeza micrométrica

2.4.1. Principio de funcionamiento y componentes de una cabeza micrométrica

El principio de funcionamiento se basa en el concepto de unión mediante el mecanismo tornillo-tuerca.

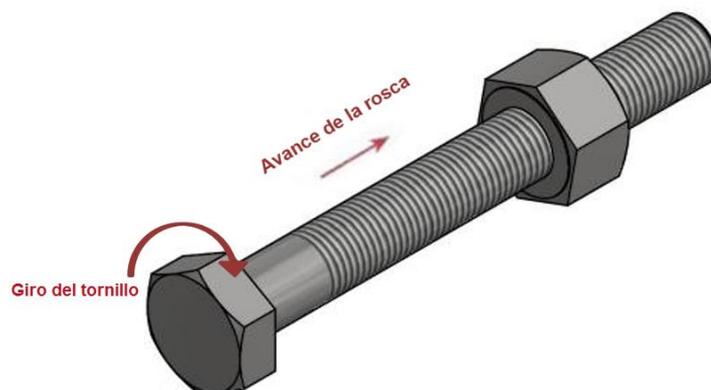


Figura 28. Principio del mecanismo tornillo – tuerca

El avance del tornillo sobre la tuerca vendrá determinado por el paso que presente la rosca de ambos. De tal manera cuando gira el tornillo sobre la tuerca, el desplazamiento por vuelta será igual al paso del tornillo.

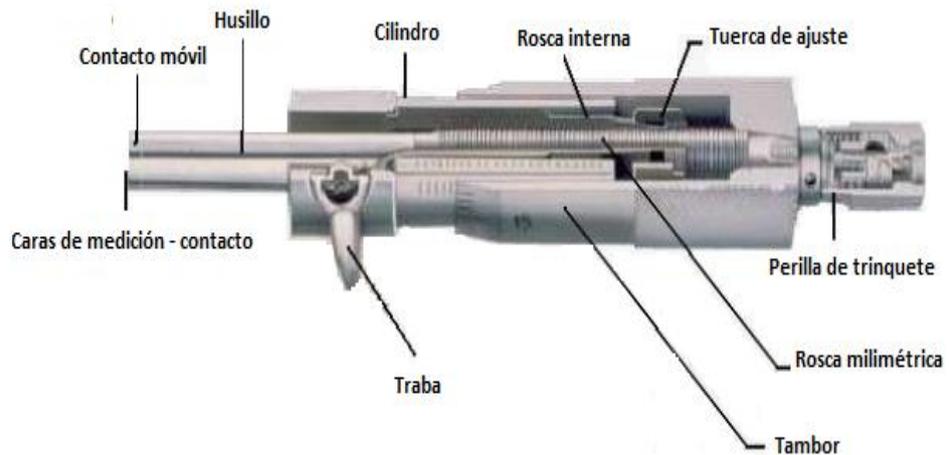


Figura 29. Componentes de la cabeza micrométrica

(Proyecto wae, s.f.)

Al final del husillo va tallada una rosca milimétrica que se conecta con una tuerca de ajuste la cual se encarga del movimiento del tambor, solidario con éste va el cilindro que al igual que en el tambor se encuentran impresas las divisiones de medición.

Ya en contacto la cara de medición con la superficie a medir se acciona la perilla de trinquete para asegurar el contacto, fijamos la traba para evitar errores en la medida.

2.4.2. Tipos de cabezas micrométricas

2.4.2.1. Analógicas

- Todas las graduaciones son de lectura directa.
- Las superficies de lectura tienen líneas y números nítidos sobre el acabado.

- Cilindros y tambores con graduaciones escalonadas, para una fácil lectura.
- La punta del husillo es de metal duro para una larga vida.
- Husillo de una sola pieza, extremadamente duro y firme, para una mayor precisión y larga vida.



Figura 30. Cabeza micrométrica analógica

2.4.2.2. Digitales:

- La pantalla digital LCD de alto contraste y tamaño ideal, facilita la lectura y reduce los errores.
- Microprocesador diseñado.
- Batería suministrada con energía.
- Apagado automático
- Conversión instantánea milímetro / pulgada.
- Posibilidad de poner en cero el instrumento en cualquier posición.



Figura 31. Cabeza micrométrica digital

2.4.3. Ejemplo

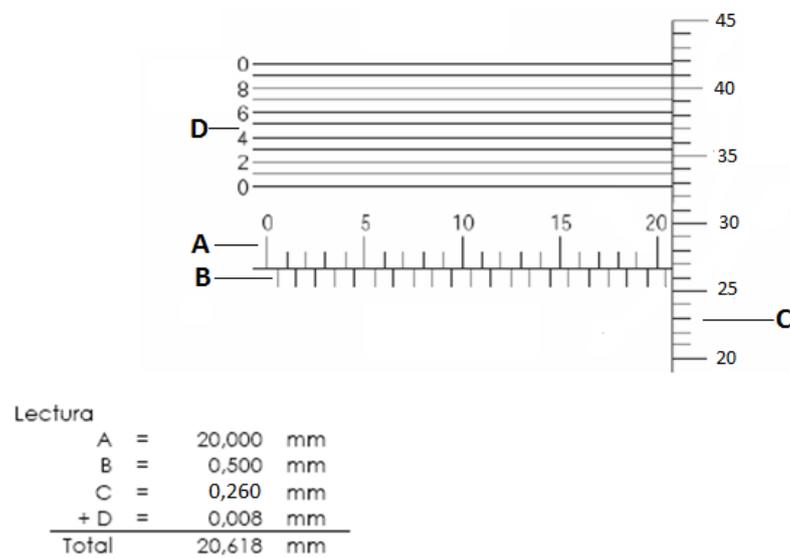


Figura 32. Ejemplo de uso cabeza micrométrica

2.5. Verificador de comparador de reloj



Figura 33. Verificador de comparador de reloj de sujeción múltiple

El verificador de comparador de reloj está especialmente diseñado para calibrar o verificar la precisión de medición de indicadores de línea de corto alcance.

La precisión de un equipo de verificación debe ser de 3 a 10 veces más preciso que los indicadores a ser verificados. Para ello, este equipo posee una cabeza micrométrica con líneas de graduación muy espaciadas para una mejor legibilidad dando lectura directa de 0.002mm. Esto es adecuado para las pruebas de equipos comparadores de 0.01mm.

2.5.1. Partes y funcionamiento del verificador de comparador de reloj

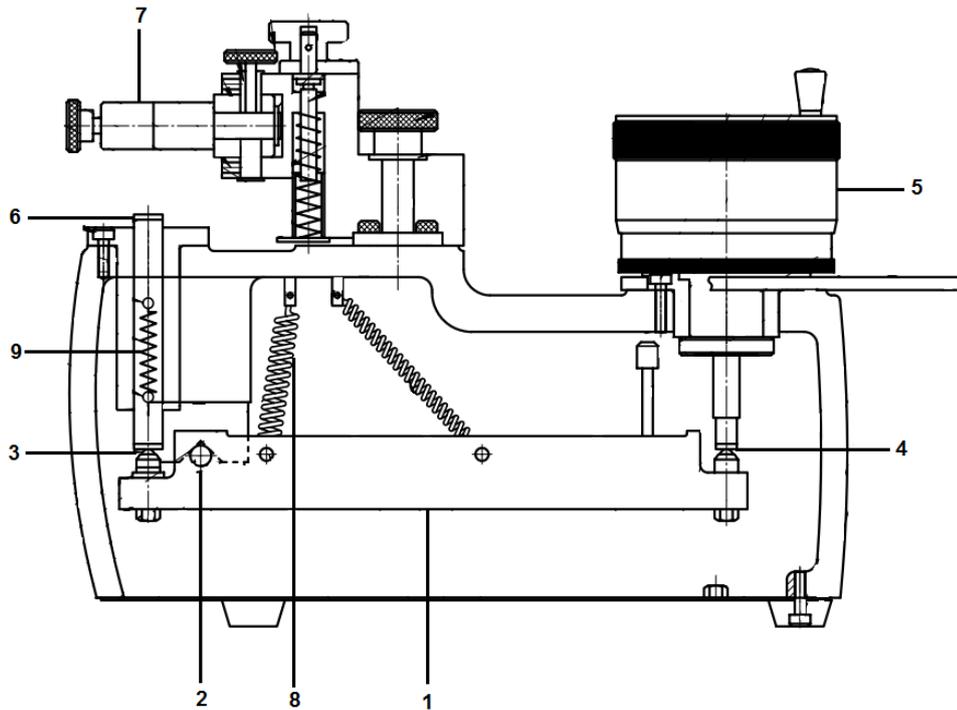


Figura 34. Esquema del verificador de comparador Mitutoyo Series 521

(Mitutoyo, 2015)

En la barra (1) se encuentra colocado un pivote (2) que tiene la función de disminuir la longitud de avance del contacto (3) en comparación del contacto (4) mediante una relación (10:1).

La cabeza micrométrica (5) se encarga de transferir movimiento a la barra la cual mediante el pivote antes mencionado transfiere dicho movimiento a un husillo de medición (6) el que se encarga de dar la medida que se leerá en el equipo comparador que se colocará en el soporte (7).

Los resortes (8) tienen como función dar estabilidad a la barra, mientras que los resortes (9) permiten que el husillo de medición siempre este en contacto con el contacto (3).

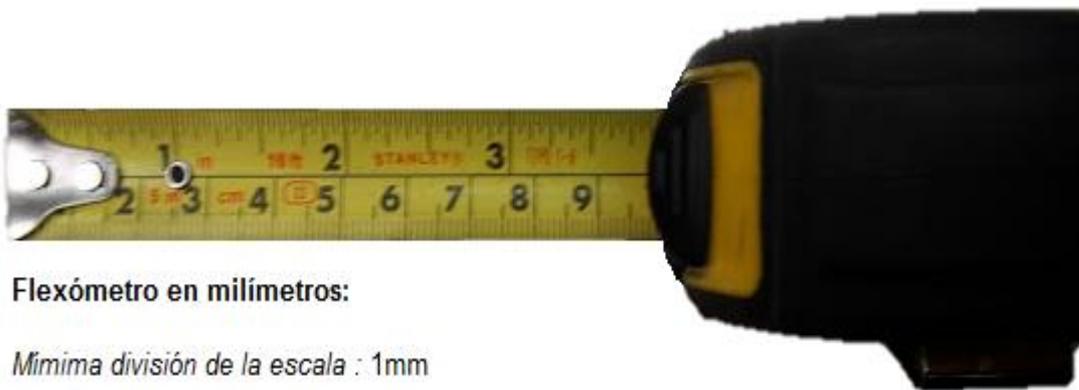
2.6. Conceptos generales

2.6.1. Incertidumbre

Es la cuantificación de la duda que se tiene sobre el resultado de una medición; en toda medición, aún en las más cuidadosas, existe siempre un margen de duda. Por esto se necesitan dos números para cuantificar una incertidumbre. Uno es el ancho de este margen, llamado tolerancia, el otro es el nivel de confianza, el cual establece qué tan seguros estamos del “valor verdadero” dentro de ese margen.

Por ejemplo:

Si decimos que la longitud de una barra mide 20 cm, más o menos ± 1 cm, con un 95% de confianza decimos: “20 cm ± 1 cm, con un nivel de confianza del 95%”. Esto significa que en 95 de cada 100 mediciones la longitud de la barra está comprendida entre 19 y 21 centímetros.



Flexómetro en milímetros:

Mínima división de la escala : 1mm

Incertidumbre de la medida: ± 0.50 mm

Figura 35. Incertidumbre de un flexómetro

2.6.2. Repetibilidad

Es el grado de concordancia de un conjunto de mediciones de una misma magnitud que se llevan a cabo por el mismo operario utilizando el

mismo instrumento, el mismo método, en el mismo laboratorio y en intervalos de tiempo pequeños.

2.6.3. Resolución

Es la mínima diferencia entre indicaciones visualizadas, que puede percibirse de forma significativa.

2.6.4. Precisión

La precisión es lo cerca que los valores medidos están unos de otros.

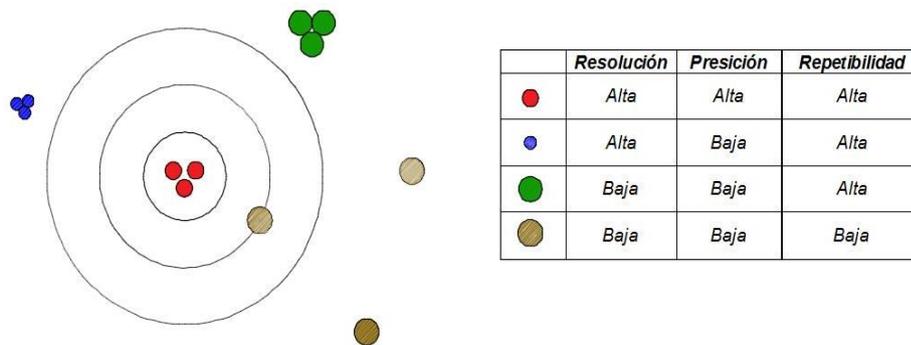


Figura 36. Explicación precisión

2.6.5. Exactitud

La exactitud es lo cerca que el resultado de una medición está del valor verdadero.

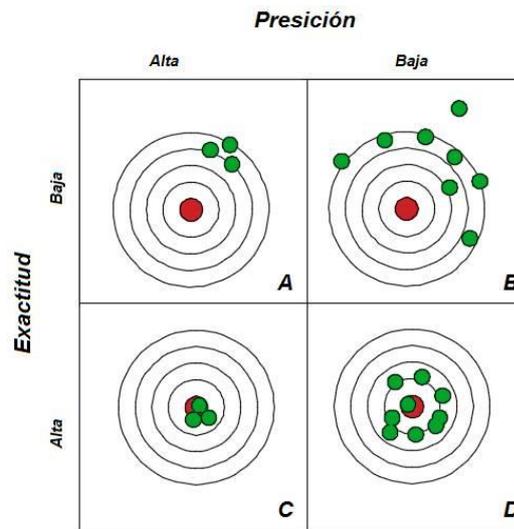


Figura 37. Exactitud y precisión

2.6.6. Reproducibilidad

Proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones del mismo objeto o patrón realizadas bajo condiciones variables de medición.

Notas:

1. Una expresión válida de reproducibilidad requiere que se especifiquen las condiciones que variaron.
2. Las condiciones que variaron pueden incluir:
 - Principio de medición
 - Método de medición
 - Observador
 - Instrumento de medición
 - Patrón de referencia
 - Lugar
 - Condiciones de uso
 - Tiempo

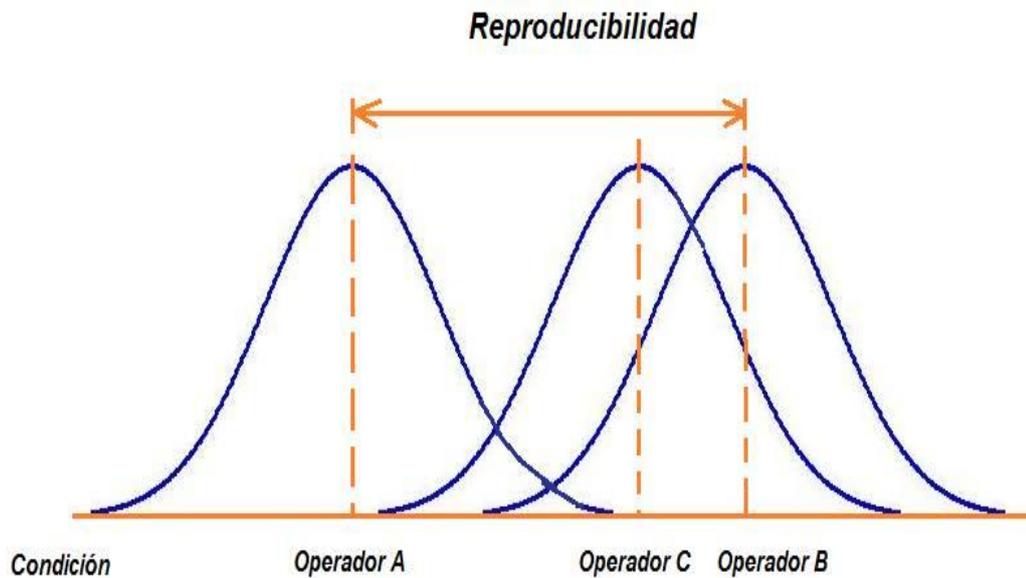


Figura 38. Reproducibilidad de 3 operadores diferentes

2.6.7. Temperatura de referencia

Las mediciones de precisión deben ser realizadas bajo ciertas condiciones, una de las cuales guarda relación con la temperatura ambiente, la norma ISO nos proporciona la temperatura de 20°C, que es la indicada para los laboratorios y salas de calibración en las que se lleven a cabo medidas de gran precisión.

Esta misma norma fija tolerancias respecto a la temperatura de referencia para las distintas operaciones metrológicas:

Mediciones de precisión: Temperatura comprendida en 20°C \pm 2°C

Calibraciones: Temperatura comprendida en 20°C \pm 1°C

Mediciones interferométricas: Temperatura comprendida en 20°C \pm 0.1°C.

CAPÍTULO III

DISEÑO Y SIMULACIÓN

3.1. Parámetros de diseño

3.1.1. Valores esperados de funcionamiento

- **Alcance del equipo:** 5mm.
- **Apreciación del equipo:** 0.001mm.
- **Error absoluto:** 0.0003mm.

3.1.2. Condiciones ambientales en las que debe trabajar el equipo:

- Temperatura de medición $20^{\circ}\text{C}\pm 0.5$.
- Humedad relativa 50%, requerida en los procesos de medición.
- Iluminación adecuada, reduce los errores del proceso de medición y requiere menor esfuerzo del operador.
- El puesto de trabajo debe estar exento de polvo, el equipo trabajará sobre una mesa de trabajo rígida, la cual evitara la presencia de vibraciones que alteren el proceso de medición.

3.1.3. Limitaciones de espacio:

- **Ergonomía:** La operación del verificador no debe afectar la postura del usuario; y al desplegarlos resultados en la computadora evitará que el mismo tenga que realizar esfuerzo visual.
- **Movilidad:** A pesar de que es recomendable que los equipos metrológicos permanezcan fijos en su estación de trabajo, el tamaño y peso del verificador le permitirán desplazarse fácilmente.

3.1.4. Parámetros de operación:

- **Operación:** El equipo debe ser de fácil operación y los datos que resulten de la verificación del comparador se almacenaran en un software, el cual automáticamente finalizadas las mediciones nos indicará la desviación estándar, los errores absoluto, relativo y porcentual; junto con las gráficas de precisión y exactitud.
- **Mantenibilidad:** Los componentes del equipo deben ser de fácil acceso, tanto para el mantenimiento preventivo como correctivo, la mayor parte de elementos mecánicos deberán ser de fácil recambio.
- **Montaje:** El armado del verificador debe ser lo más sencillo posible, de modo que un usuario con una capacitación mínima lo pueda hacer.

3.1.5. Parámetros económicos:

- **Costo:** El costo del verificador de comparadores debe ser significativamente menor al precio de un equipo de similares características en el mercado nacional.
- **Fabricación:** El diseño debe ser lo más simple posible, de modo que pueda ser manufacturado en cualquier taller del país.
- **Materiales:** Todos los materiales que conforman el equipo son de fácil acceso en el mercado local.

3.2. Selección de la cabeza micrométrica

La selección de la cabeza micrométrica es de vital importancia en la construcción del verificador de comparadores y mediante desagregación tecnológica será adquirida como componente dentro del diseño.

Esta cabeza micrométrica debe tener altos niveles de precisión y exactitud en sus lecturas.

A continuación se citaran distintos tipos de cabeza micrométrica para una buena elección.

Tabla 7.
Características de distintas cabezas micrométricas en el mercado

Cabezas micrométricas	Apreciación (mm)	Exactitud (mm)	Alcance (mm)
	0.001	± 0.0003	0 - 50
<p>Figura 39. Cabeza micrométrica series 164 Fuente especificada no válida.</p>	0.001	± 0.00015	0 - 50

Continúa →

 <p>Figura 40. Cabeza micrométrica series 350 Fuente especificada no válida.</p>	0.001	± 0.002	0 - 25
 <p>Figura 41. Cabeza micrométrica series 148 Fuente especificada no válida.</p>	0.002	± 0.005	0 - 6.5
 <p>Figura 42. Cabeza micrométrica series 153 Fuente especificada no válida.</p>	0.001	± 0.003	0 - 25

Continua →

 <p>Figura 43. Cabeza micrométrica series 197 Fuente especificada no válida.</p>	0.005	± 0.005	0 - 50
 <p>Figura 44. Cabeza micrométrica electrónica Fuente especificada no válida.</p>	0.001	± 0.003	0 - 25
 <p>Figura 45. Cabeza micrométrica mecánica Fuente especificada no válida.</p>	0.001	± 0.00075	0 - 25

Tabla 8.
Datos extra sobre cabezas micrométricas antes mencionadas

Cabeza micrométrica	Marca	Salida de datos	Unidad de salida de datos	Precio aproximado
164-163	Mitutoyo	Digital	mm/pulg	870\$
164-164	Mitutoyo	Digital	mm/pulg	820\$
350-254-10	Mitutoyo	Digital	mm	350\$
148-243	Mitutoyo	Analógico	mm	115\$
153-202	Mitutoyo	Analógico	mm	150\$
197-101	Mitutoyo	Analógico	mm	410\$
762MEXFL-25	Starrett	Digital	mm/pulg	450\$
V263MRL	Starrett	Analógico	mm	105\$

Tabla 9.
Selección de cabeza micrométrica

Cabeza micrométrica	Marca		Apreciación		Exactitud		Alcance		Salida de datos		Unidad de lectura de datos		Precio aproximado		Adaptabilidad		Calificación total
	Calificación	Carga total 5%	Calificación	Carga total 20%	Calificación	Carga total 20%	Calificación	Carga total 20%	Calificación	Carga total 5%	Calificación	Carga total 10%	Calificación	Carga total 10%	Calificación	Carga total 10%	
164-163	5	0,3	5	1	4	0,8	5	1	5	0,3	5	0,5	3	0,3	5	0,5	4,6
164-164	5	0,3	5	1	5	1	5	1	5	0,3	5	0,5	3	0,3	5	0,5	4,8
350-254-10	5	0,3	5	1	3	0,6	4	0,8	5	0,3	4	0,4	4	0,4	5	0,5	4,2

Continua →

148-243	5	0,3	4	0,8	2	0,4	3	0,6	4	0,2	4	0,4	5	0,5	3	0,3	3,4 5
153-202	5	0,3	5	1	2	0,4	4	0,8	4	0,2	4	0,4	5	0,5	3	0,3	3,8 5
197-101	5		3	0,6	2	0,4	5	1	4	0,2	4	0,4	4	0,4	3	0,3	3,5 5
762MEXFL -25	4	0,2	5	1	2	0,4	4	0,8	5	0,3	5	0,5	4	0,4	5	0,5	4,0 5
V263MRL	4	0,2	5	1	4	0,8	4	0,8	4	0,2	4	0,4	5	0,5	3	0,3	4,2
Calificación:																	
1= Innecesario 2= Poco necesario 3= Aceptable 4= Necesario 5= Muy necesario																	

Se han tomado en cuenta características indispensables para la elección de la cabeza micrométrica como:

La marca: Esta nos garantiza que es un equipo confiable, que tiene garantía y el nivel de su tecnología.

Apreciación: Como objetivo del proyecto se verificará comparadores de reloj de apreciación 0.001mm por lo que se buscan cabezas micrométricas de apreciaciones iguales o menores.

Exactitud: La exactitud es de gran importancia en el diseño de equipos metrológicos ya que mientras menor sea la exactitud menor serán los errores.

Alcance: Mientras mayor alcance se tenga en la cabeza micrométrica mayor será el alcance de lectura del comparador de reloj.

Salida de datos: Una salida de datos digital proporciona una menor incertidumbre en la toma de datos que una analógica.

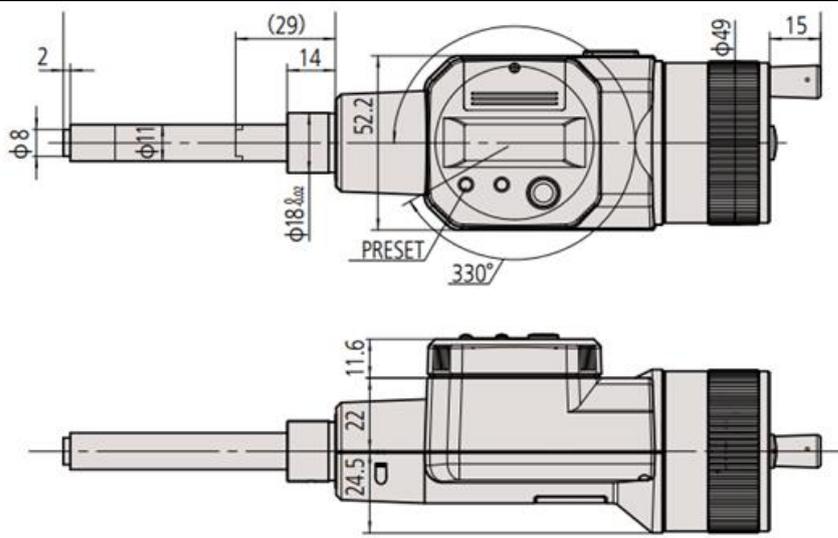
Unidad de salida de datos: Adquirir un equipo que proporcione una salida de datos tanto en milímetros como en pulgadas nos da un valor agregado al proyecto que solo uno equipo que maneje una sola unidad de medida.

Precio aproximado: Menores precios de los componentes del equipo significan menores precios de venta del equipo terminado.

Flexibilidad: Las cabezas micrométricas digitales proporcionan mayor flexibilidad en su uso, ya que estas poseen puertos de salida de datos a computadores y permiten el manejo de estos datos mediante diferentes software en los computadores, además de tener una gran gama de conexiones, como bluetooth, wireless, etc.

Después del análisis se opta por elegir la cabeza micrométrica Mitutoyo 164-164 que obtuvo una calificación de 4,8 puntos por lo que cumple con la mayoría de las necesidades del proyecto siendo así la más óptima para su uso.

Tabla 10.
Cabeza micrométrica elegida

Cabeza micrométrica Mitutoyo 164-164					
					
<p>Figura 46. Dimensiones de la cabeza micrométrica 164-163 / 164-164</p> <p>Fuente especificada no válida.</p>					
Apreciación (mm)	Exactitud (mm)	Alcance (mm)	Lectura de datos	Unidad de lectura de datos	Precio aproximado
0.001	± 0.00015	0 – 50	Digital	mm/pulg	820\$

3.3. Diseño del mecanismo reductor de medidas

Teniendo en cuenta lo citado en la sección 2.5 que dice que la precisión de un equipo de verificación debe ser de 3 a 10 veces más preciso que los indicadores a ser verificados y sabiendo que uno de los objetivos de este proyecto es verificar comparadores de reloj de 0.001mm de apreciación se tiene que:

$$\frac{0.001\text{mm}}{3} \geq \text{Apreciación del equipo verificador} \geq \frac{0.001\text{mm}}{10}$$

$$0.0003\text{mm} \geq \text{Apreciación del equipo verificador} \geq 0.0001\text{mm}$$

El equipo verificador de comparadores que se va a diseñar debe tener una apreciación mínima de 0.0001mm y máxima de 0.0003mm.

Este mecanismo tiene la finalidad de transferir la mínima apreciación de la cabeza micrométrica de 0.001mm a 0.0001mm aproximadamente.

Por lo que se procede a diseñar dimensionalmente el mecanismo reductor.

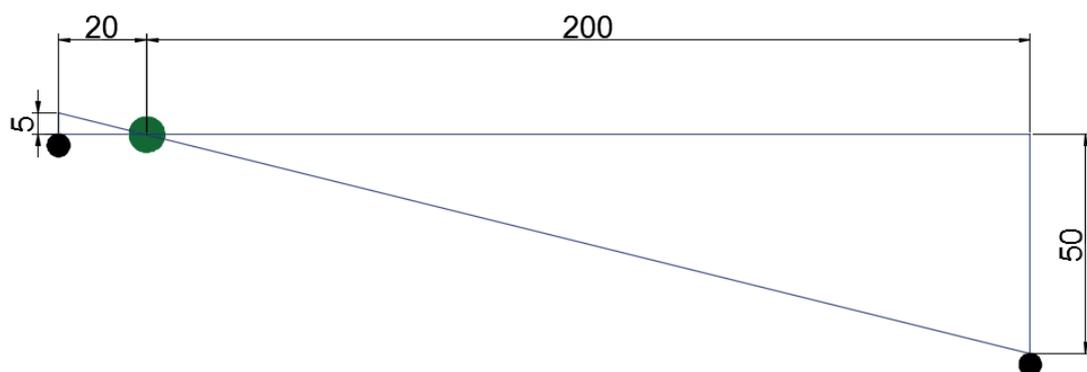


Figura 47. Mecanismo reductor

Con el dato ya conocido del alcance de la cabeza micrométrica (50mm) se procede a obtener el alcance que se propuso como objetivo del proyecto que es verificar comparadores de reloj con un alcance mínimo de 5mm, y mediante un esquema en AUTOCAD se obtiene una relación 10:1.

Esta relación también asegura que la apreciación del equipo verificador de comparadores será 10 veces menor que el de la cabeza micrométrica, es decir que por cada 0.001mm medidos en la cabeza micrométrica el equipo verificador dará una salida de datos igual a 0.0001mm cumpliendo así lo citado en la sección 2.5.

3.4. Análisis de materiales a usarse en la construcción del verificador de comparadores

Teniendo en cuenta que existirán distintas condiciones en el uso de los componentes del verificador de comparadores, es de crucial importancia realizar una buena selección de materiales.

A continuación se cita una lista de los posibles materiales a utilizarse con información de sus propiedades físicas de mayor relevancia en el proyecto.

Tabla 11.
Propiedades mecánicas de materiales de posible uso

Propiedades mecánicas				
Materiales	Densidad	Dureza	Módulo elástico	Coefficiente de dilatación (20 - 100°C)
	g/cm ³	Brinell	Mpa	10 ⁻⁶ °C ⁻¹
Acero al carbono	7.8	120	206000	12
Aluminio	2.8	20	71700	24
Bronce	8.4	35	103000	17.5
Acero inoxidable	7.8	250	189600	17.3
Latón	8.6	40	110300	18
Hierro fundido	7.2	400	103400	12
Plástico mecanizable	1.4	25	80000	52

Conocidas las propiedades mecánicas de los 7 materiales antes mencionados se puede cuantificar la necesidad de usar estos materiales en la construcción de la carcasa, siendo 1 innecesario su uso y siendo 5 un uso muy necesario.

Tabla 12.
Valoración de acuerdo a las propiedades mecánicas de los materiales de posible uso en la carcasa

Propiedades mecánicas					
Materiales	Densidad	Dureza	Módulo elástico	Coefficiente de dilatación (20 - 100°C)	Total
Acero al carbono	5	3	5	5	4.5
Aluminio	4	5	4	4	4.25
Bronce	5	4	4	5	4.5
Acero inoxidable	5	2	5	5	4.25
Latón	5	4	5	4	4.5
Hierro fundido	5	1	5	5	4
Plástico mecanizable	1	5	3	1	2.5
Calificación: 1= Innecesario 2= Poco necesario 3= Aceptable 4= Necesario 5= Muy necesario					

Se han tomado en cuenta características indispensables para la elección del material a usar:

Densidad: Nos permitirá predecir el futuro peso y tamaño de la carcasa.

Dureza: Mayor dureza dificulta el mecanizado.

Módulo elástico: Es inversamente proporcional a la deformación por lo que un mayor módulo de elasticidad significaría una menor deformación.

Coefficiente de dilatación: Es directamente proporcional a la longitud dilatada por aumento de temperatura de la pieza, por lo que podemos anticipar que mientras mayor es el coeficiente de dilatación menor será el aumento de longitud por aumento de temperatura.

En este proyecto los elementos no se encontrarán sometidos a esfuerzos de deformación altos ni a altas temperaturas por lo que la elección final dependerá de características más ligadas al dimensionamiento y producción.

Por lo que la calificación de la tabla anterior representará solo un 20% de la necesidad total.

Para concretar la selección de materiales se optó por un nuevo análisis dirigido a características de producción de los materiales antes mencionados que representará un 80% de la necesidad total.

Tabla13.

Valoración de acuerdo a las características y propiedades físicas de los materiales de posible uso en la carcasa.

Características y propiedades físicas					
Materiales	Resistencia a la corrosión	Mecanizado	Precio relativo	Acabado superficial	Total
<i>Acero al carbono</i>	3	5	5	5	4.5
<i>Aluminio</i>	5	5	4	5	4.75
<i>Bronce</i>	5	4	3	5	4.25

Continua →

<i>Acero inoxidable</i>	5	2	2	5	3.5
<i>Latón</i>	5	4	3	5	4.25
<i>Hierro fundido</i>	4	1	5	3	3.25
<i>Plástico mecanizable</i>	5	5	5	4	4.75
Calificación: 1= Innecesario 2= Poco necesario 3= Aceptable 4= Necesario 5= Muy necesario					

Dentro de la producción de equipos y elementos de alta presión la resistencia a la corrosión permite evitar alteraciones químicas y dimensionales de las piezas manufacturadas, también es de vital importancia la facilidad de mecanizado ya que una pieza poco maquinable representa mayores costos de producción y para finalizar mientras mejor sea su acabado superficial; mejor será su apariencia, y se obtendrán mejores holguras y aprietes entre piezas.

Tabla 14.
Valoración total de materiales (según tabla 12 y 13)

Tabla final de elección de materiales					
Materiales	Calificaciones tabla 12	Carga total 20%	Calificaciones tabla 13	Carga total 80%	Total
Acero al carbono	4.5	0.9	4.5	3.6	4.5
Aluminio	4.25	0.85	4.75	3.8	4.65
Bronce	4.5	0.9	4.25	3.4	4.3
Acero inoxidable	4.25	0.85	3.5	2.8	3.65
Latón	4.5	0.9	4.25	3.4	4.3

Continua →

Hierro fundido	4	0.8	3.25	2.6	3.4
Plástico mecanizable	2.5	0.5	4.75	3.8	4.3
Calificación:					
1= Innecesario 2= Poco necesario 3= Aceptable 4= Necesario 5= Muy necesario					

La tabla 14 recoge los datos de las tablas 12 y 13 y nos indica que las mejores opciones de materiales para usarse en la construcción de los elementos del verificador de comparadores son:

Aluminio con un puntaje de 4.65/5 y el acero al carbono con un puntaje de 4.5/5; estos materiales serán usados en la mayoría de los elementos durante el diseño y la construcción de todos los componentes del verificador de comparadores.

3.5. Diseño de la carcasa del verificador de comparadores

La carcasa tiene la finalidad de proteger el mecanismo interno de una máquina y de soporte de elementos y equipos complementarios que permitan el correcto funcionamiento de la máquina.

Con el fin de abaratar costos y de disminuir tiempos de construcción se ha optado por reutilizar partes o componentes de máquinas halladas en recicladoras para adaptarlas al uso exclusivo del verificador de comparadores que se quiere construir.



Figura 48. Aluminio reusado para fabricación de carcasa

Se encontró un elemento de aluminio que nos servirán para la construcción de la carcasa.

A continuación se procede a hallar que tipo de aluminio es mediante la densidad, para lo cual se toma una muestra del material, para medirla y pesarla.



Figura 49. Peso de una muestra del aluminio a reusar

Entonces decimos que:

$$\delta = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

$$\delta = \frac{45g}{\frac{(32mm * 52mm * 10mm)}{1000}}$$

$$\delta = 2.704 \frac{g}{cm^3}$$

Esta densidad pertenece a un aluminio 6061 que es comercializado por la empresa Cedal a nivel nacional.

A continuación se citan las propiedades del aluminio 6061.

Tabla 15.
Características y propiedades del aluminio 6061

Dureza brinell: 65

Elemento	Minimo(%)	Máximo(%)
Silicio	0.4	0.8
Hierro	0	0.7
Cobre	0.15	0.4
Manganeso	0	0.15
Magnesio	0.8	1.2
Cromo	0.04	0.35
Zinc	0	0.25
Titanio	0	0.15

Continua →

Propiedades Físicas				Presentaciones
Densidad [gr/cm ³] ^o	2.7	Coef. De dilatacion (0 a 100oC) [oC-1 x 10 ⁶]	23.6	Angulo
Rango de fusion [oC]	575-650	Conductividad Termica (0 a 100 oC) [W/m oC]	Temple T6: 167	Canal
Modulo de elasticidad [MPa]	69500	Resistividad a 20 oC [μOcm]	Temple T6: 4.0	Cuadrado
Coeficiente de Poisson	0.33	Calor especifico (0 a 100 oC)	940	Lámina
				Placa
				Redondo
				Solera
				Tubular Redondo, Rectangular y Cuadrado

(Aluminios y Metales Unicornio, 2013)

Dimensionalmente la carcasa queda limitada al tamaño del elemento de aluminio encontrado en la recicladora.

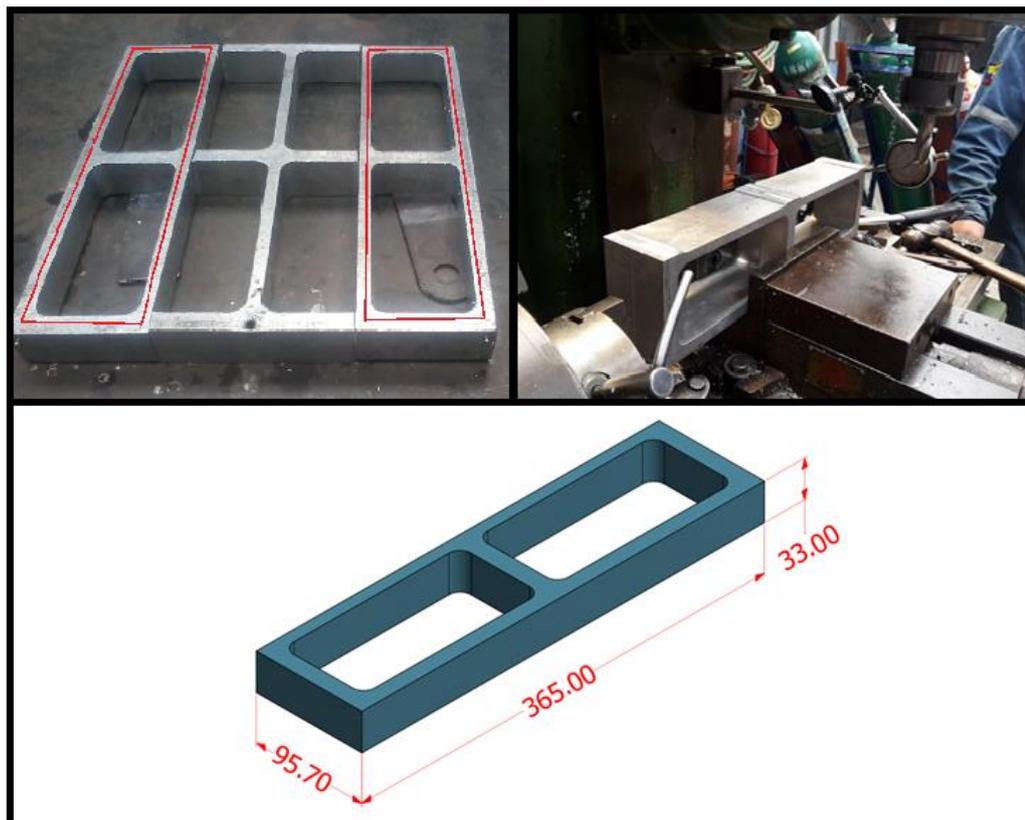


Figura 50. Dimensiones para futura carcasa

Con este elemento se logra construir dos pisos de la carcasa del verificador de comparadores, eliminando con fresadora la parte interna y colocando una plancha de media de pulgada como tapa obtenemos la caja que contendrá los componentes y el mecanismo principal del verificador de comparadores.

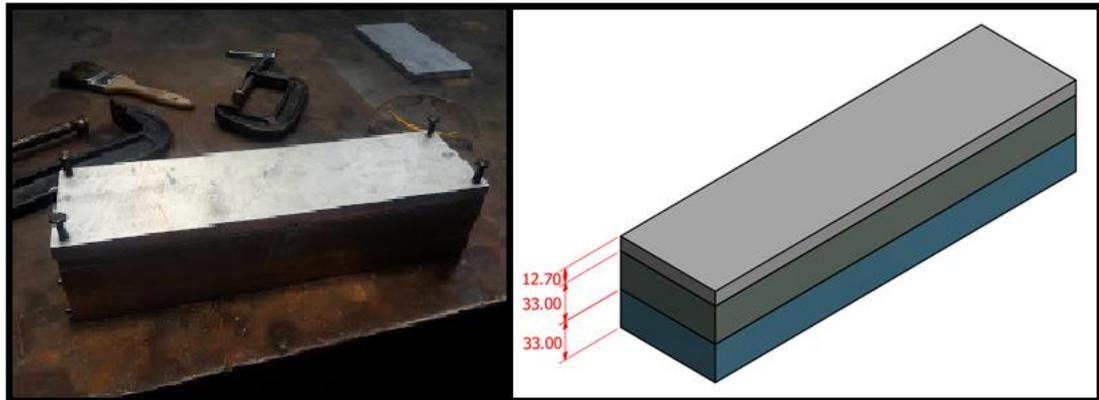


Figura 51. Forma y dimensiones de caja con material reusado

Tomando en cuenta la longitud de la cabeza micrométrica se decidió rebajar la medida del sector donde va colocado dicho equipo para darle mayor simetría al equipo verificador de comparadores.



Figura 52. Fresado de carcasa

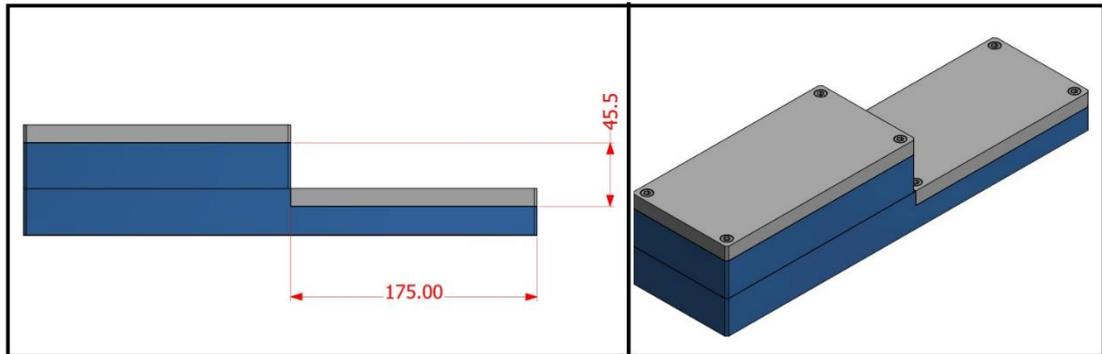


Figura 53. Dimensiones después de fresado

Al colocar esquemáticamente la cabeza micrométrica en el lugar aproximado de asignación se observa que aun hace falta una mayor longitud en la base de aproximadamente de 50 mm debajo de la base ya diseñada; tambien se asigna un espacio extra aproximado de 60mm con el fin de ingresar la palanca que transferirá las medidas. Entonces es necesario diseñar una ampliación de la carcasa de 106mm de altura.

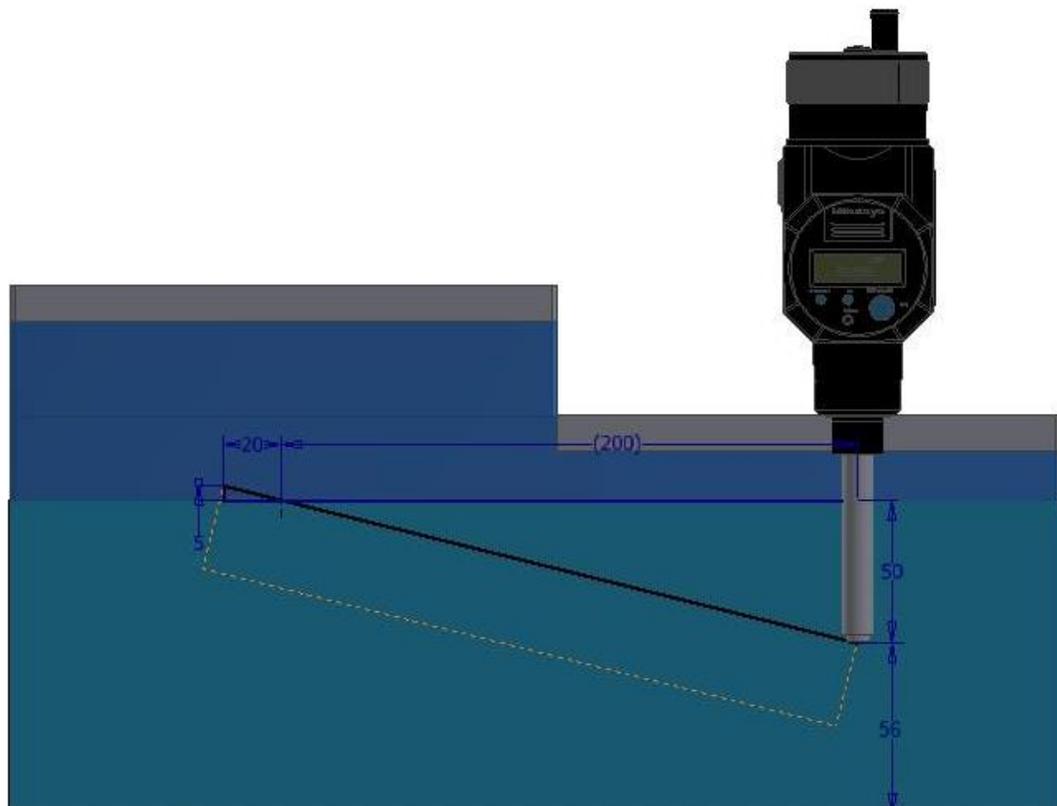


Figura 54. Ubicación del mecanismo reductor dentro de la carcasa

Entonces optamos por 2 opciones en la forma de la ampliación, una ampliación rectangular y una en forma de trapecio.

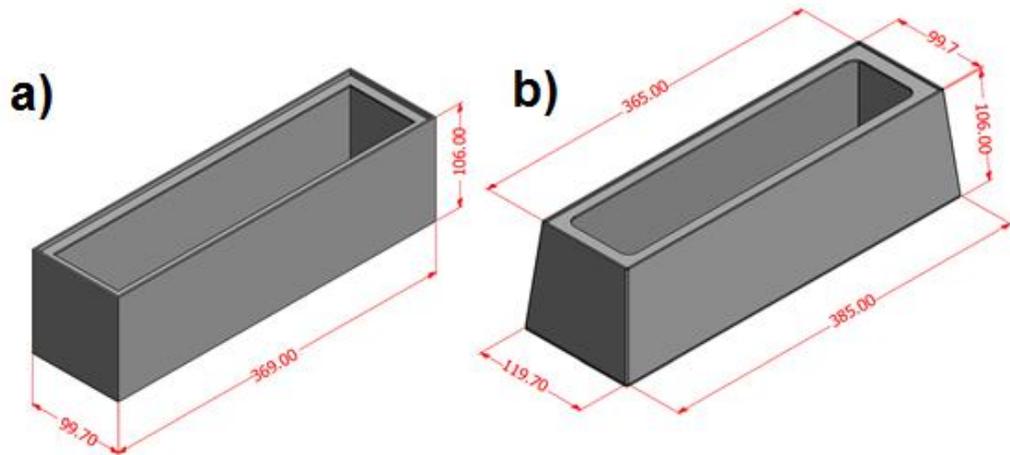


Figura 55. Opciones de ampliación de carcasa

El centro de gravedad marca la pauta para un diseño de estabilidad; por lo que se hallaron los centros de gravedad respectivos a cada forma.

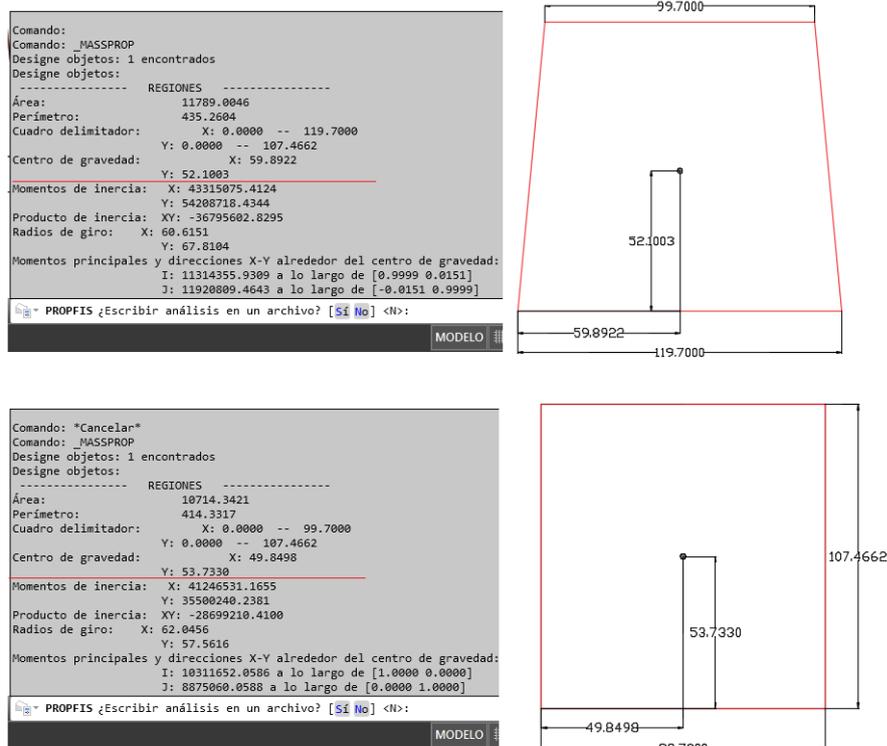


Figura 56. Centros de gravedad de trapecio y rectángulo

Sabemos que la condición para que un cuerpo no vuelque es que la vertical de su centro de gravedad caiga dentro de la base

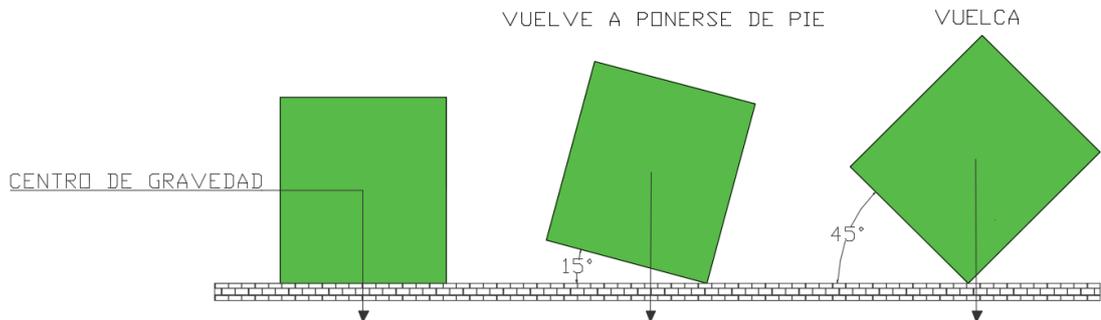


Figura 57. Centro vertical del centro de gravedad

Una de las formas para aumentar la estabilidad es poner mayor peso en la base, lo que equivale a bajar el centro de gravedad, pero esto también significa mayor costo en material y un posible sobrepeso en conjunto ensamblado dificultando su traslado.

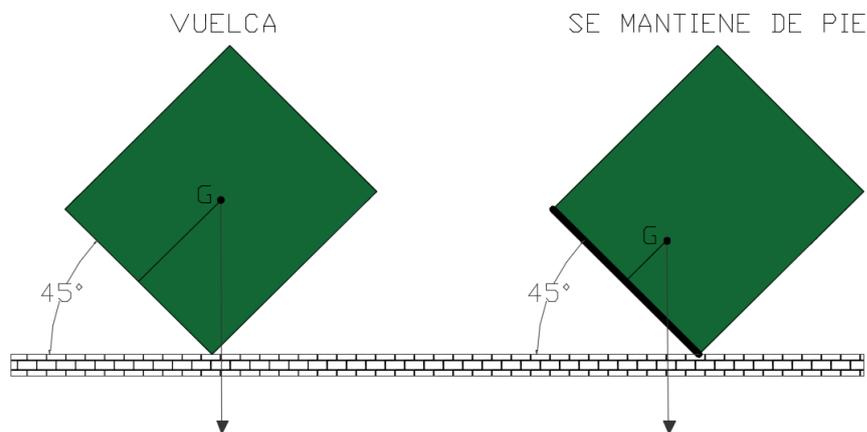


Figura 58. Aumento de peso en la base para aumentar estabilidad

Otra manera de aumentar la estabilidad es anclando el objeto al suelo, pero esto disminuye la cantidad de lugares óptimos de posicionamiento del verificador de comparadores o significa también mayores costos en el anclaje.

La última opción para aumentar la estabilidad es construir una base mas grande razón por la cual optamos por elegir la carcasa en forma de trapecio.

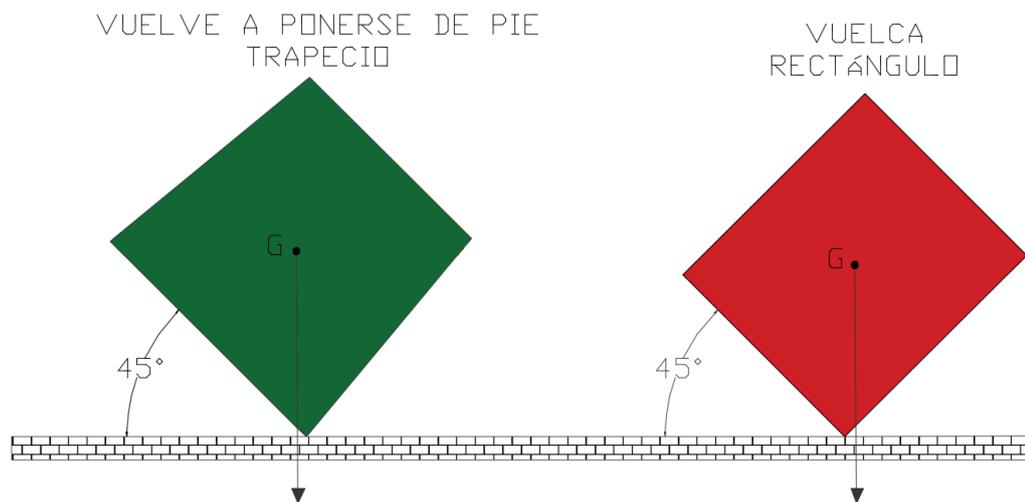


Figura 59. Aumento de longitud de la base para mayor estabilidad

Por lo que una base de forma trapezoidal es una mejor opción y se elige la forma "b" de la figura 55.

Se ensamblan las partes para obtener una forma final.

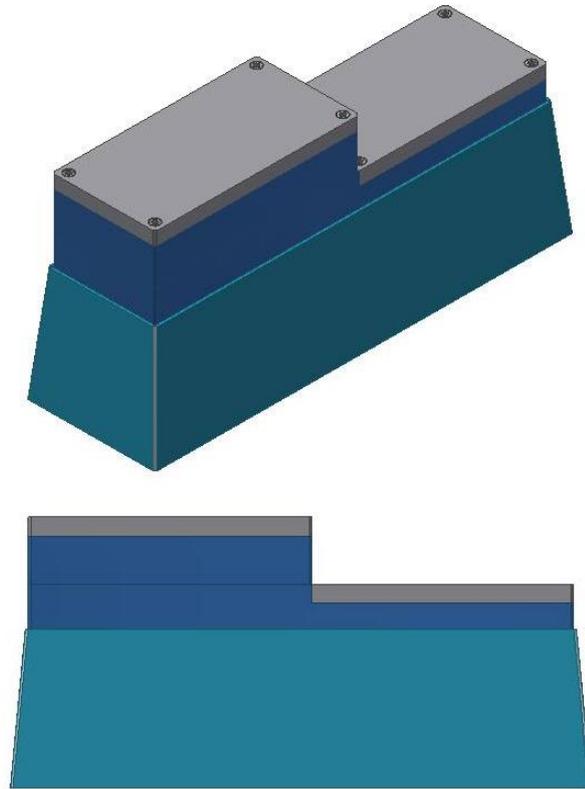


Figura 60. Forma final de la carcasa

Todos los demás elementos del verificador de comparadores se diseñarán dimensionalmente dentro de las restricciones de medida dadas por la carcasa.

3.5. Simulación carcasa

Se simula la carcasa con fuerzas puntuales ligeramente elevadas, de 50N las cuales representan el peso de los demás subconjuntos que irán montados en la carcasa, con el fin de verificar que la misma soporta estas cargas además de su propio peso.

3.5.1. Tensión de von mises

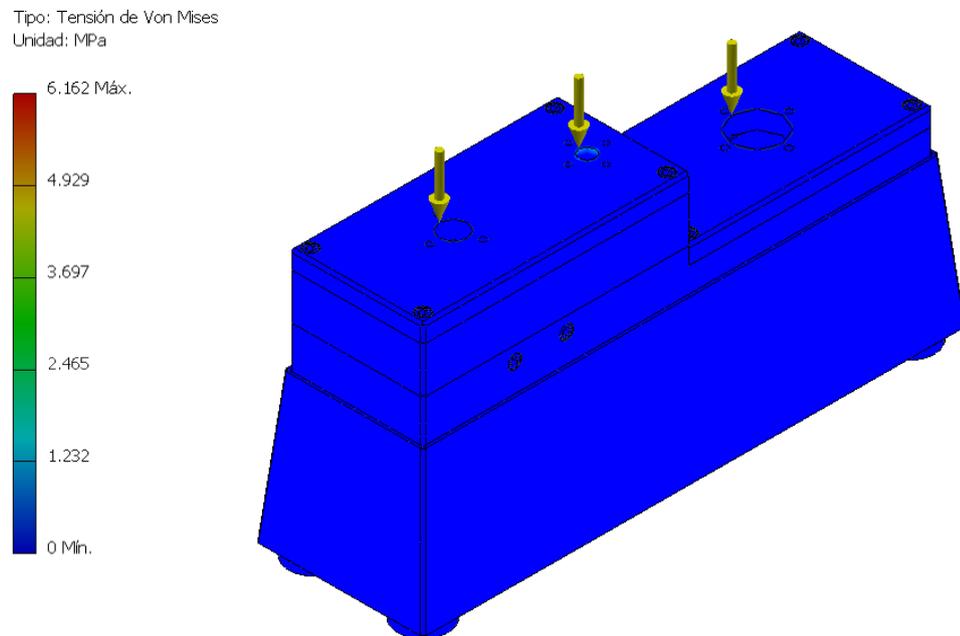


Figura 61. Tensión de Von Mises simulación de la carcasa

No existe ninguna zona en la cual el esfuerzo sobrepase 1.232 MPa, por lo que el elemento analizado no presenta riesgo alguno de presentar deformaciones permanentes a causa de las fuerzas debidas tanto al peso de los demás subconjuntos del equipo, como a la de su propio peso.

3.5.2. Desplazamiento total

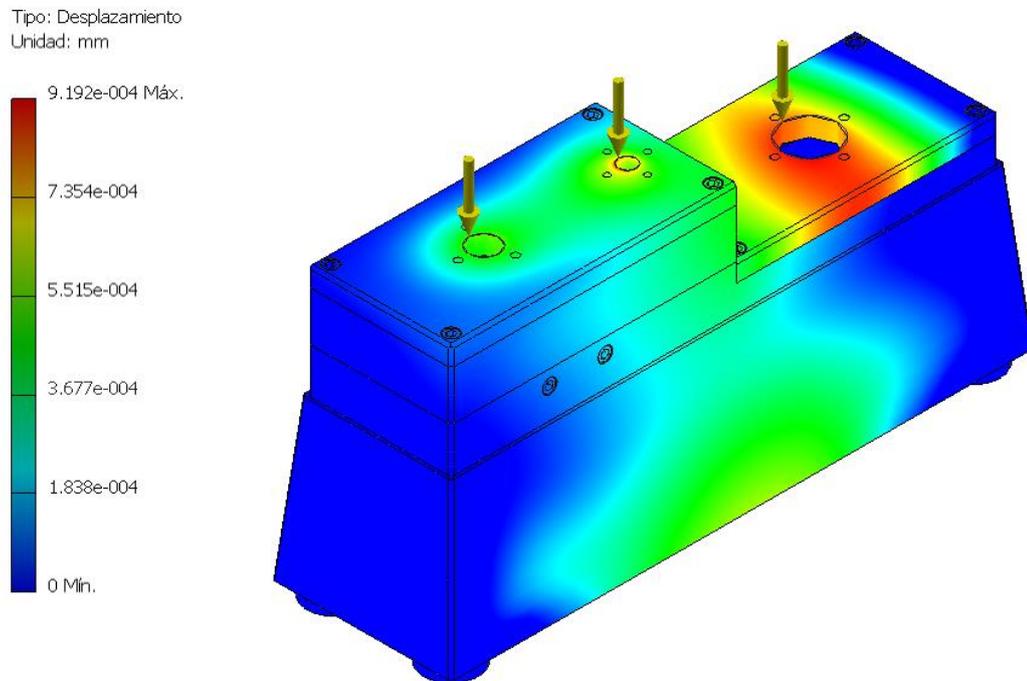


Figura 62. Desplazamiento total simulación de la carcasa

El desplazamiento máximo que se presenta al aplicar las fuerzas antes mencionado es de 9.192×10^{-4} , tomando en cuenta que los valores de estas fuerzas son considerablemente mayores a las de operación del equipo completo, por lo que, tanto la geometría como los materiales del subconjunto bastidor soportan satisfactoriamente las condiciones de trabajo del verificador de comparadores.

3.5.3. Factor de seguridad

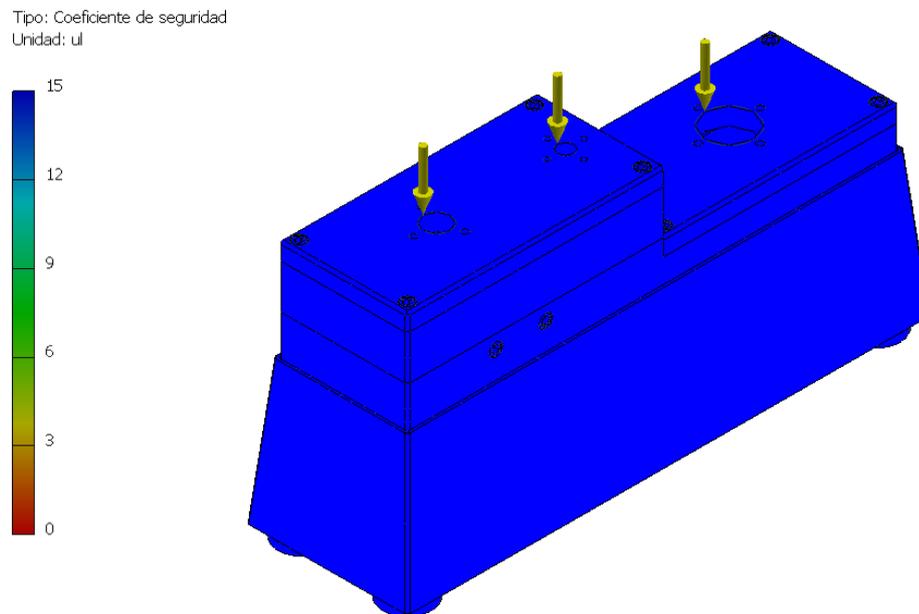


Figura 63. Factor de seguridad simulación de la carcasa

A pesar de que el resultado es un factor de seguridad elevado, no se considera que el bastidor este sobre dimensionado ya que al tratarse de un equipo de alta precisión cualquier variación geométrica por pequeña que esta aparente ser puede llegar a ser perceptible y genera errores en la medida de referencia con la cual se verificarán los comparadores de reloj.

3.6. Diseño del porta cabeza micrométrica

Se busca diseñar un elemento de soporte que cumpla con la función de sujetar la cabeza micrométrica a la carcasa y sea dimensionalmente adaptable en el equipo.

Para esto partimos de las dimensiones proporcionadas por la carcasa, que es el lugar en el que se colocará el elemento de soporte, y en las dimensiones de la cabeza micrométrica que es el elemento para el que se

diseñará el soporte, estas dimensiones nos proporcionan los límites máximos de dimensionamiento del mismo.

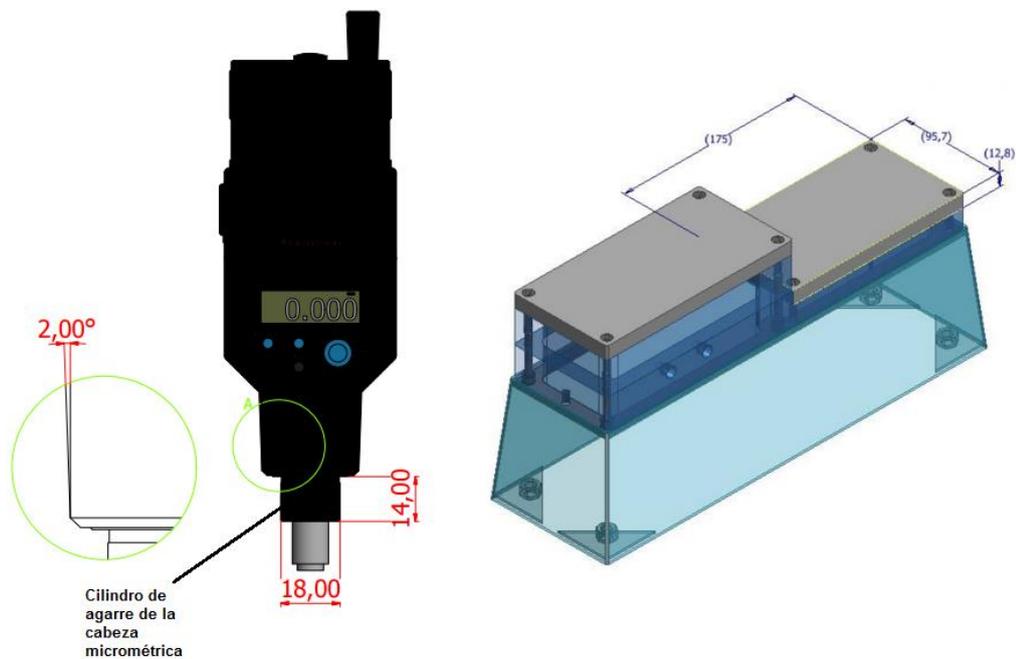


Figura 64. Dimensiones necesarias para diseño de porta cabeza micrométrica

Como se observa en la figura anterior la cabeza micrométrica posee un cilindro de agarre único que es un cilindro de diámetro 18mm y longitud 14mm, estas medidas son datos para diseñar la perforación en el soporte, conociendo estos datos se propone un tipo de diseño de soporte.



Figura 65. Porta cabeza micrométrica propuesta

A su vez las medidas dadas por el sector de la carcasa donde irá colocado el soporte; el soporte no excederá una longitud de 175mm, un ancho de 95.7mm; por ende dada la forma de la figura anterior sabemos que no excederá de 95.7mm de diámetro; mientras que el espesor nos permitirá dar el agarre necesario bajo condiciones necesarias de diseño.

A continuación se muestra la forma y dimensionamiento del soporte previo a su terminación.



Figura 66. Dimensiones del porta cabeza micrométrica

3.6.1. Selección de ajuste entre cilindro de agarre cabeza micrométrica – porta cabeza micrométrica.

Tabla 16.
Relación entre el mecanizado y la rugosidad

Mecanizado	Rugosidad R_a (μm)											
	0,025	0,050	0,100	0,20	0,40	0,80	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50
Rebado, cizallado, corte a la llama												
Torneado, fresado, limado												
Taladrado												
Cepillado												
Alesado												
Brochado												
Rectificado												
Branido												
Superacabado (lapeado)												
Pulido especular												
Granallado												
Laminado en caliente												
Colado en arena												
Forjado												
Colado en coquilla												
Colado a presión												
Laminado, cilindrado y trefilado en frío												
Extruido												
Electroerosión												

(Larburu, 1989)

En la figura se observa que un mecanizado de torneado promedio nos proporciona una rugosidad aproximada a 1.6 micras.

Tabla 17.
Rugosidad y número de grado de rugosidad

Valor de rugosidad R_a μm	Número del grado de rugosidad
50	N 12
25	N 11
12,5	N 10
6,3	N 9
3,2	N 8
1,6	N 7
0,8	N 6
0,4	N 5
0,2	N 4
0,1	N 3
0,05	N 2
0,025	N 1

(Larburu, 1989)

Esta rugosidad proporciona un grado de rugosidad (índice de calidad) N7.

Tabla 18.
Ajustes recomendados

Ajustes		AJUSTES RECOMENDADOS				TABLA 9 . 8	
ESPECIFICACION DE LOS ASIENOS							
Grado del ajuste	Calidades superficiales	SISTEMA				ASIENTO	
		Agujero único		Eje único		Clase	Características
		Agujero	Eje	Eje	Agujero		
PRECISION		H 6	h 5	p 5	P 6	Forzado muy duro	Piezas montadas por dilatación o contracción; no necesitan seguro contra giro.
				n 5	N 6	Forzado duro	Piezas montadas o desmontadas a presión; necesitan seguro contra giro.
				k 5	K 6	Forzado medio	Piezas que han de montarse o desmontarse con gran esfuerzo; seguro para giro y deslizamiento.
	j 5			J 6	Forzado ligero	Montaje y desmontaje sin gran esfuerzo; necesitan seguro contra giro y deslizamiento.	
	h 5			H 6	Deslizante	Piezas lubricadas que se montan y desmontan sin gran trabajo, a mano.	
	g 5			G 6	Giratorio	En piezas lubricadas el giro y deslizamiento puede efectuarse a mano.	
FINO		H 7	h 6	s 6	S 7	Forzado muy duro	Montaje por dilatación o contracción; no necesita seguro contra giro.
				r 6	R 7	Forzado muy duro	Montaje por dilatación o contracción; no necesita seguro contra giro.
				n 6	N 7	Forzado duro	Montado o desmontado a presión; necesita seguro contra giro.
				k 6	K 7	Forzado medio	Montado y desmontado con gran esfuerzo (mediante martillo de plomo); necesita seguro contra giro y deslizamiento.
	j 6			J 7	Forzado ligero	Montado y desmontado sin gran esfuerzo (mediante mazo de madera); necesita seguro contra giro y desplazamiento.	
	h 6			H 7	Deslizante	En piezas lubricadas, deslizamiento a mano.	
	g 6			G 7	Giratorio	En piezas lubricadas, su juego es apreciable.	
	f 7			F 8	Holgado medio	En piezas lubricadas, su juego es más apreciable.	
e 8	E 8	Más holgado	En piezas lubricadas, el juego es muy apreciable.				
ESMERADO		H 8	h 9	j 9	J 8	Forzado ligero	Piezas que se han de montar y desmontar con facilidad.
				h 9	H 8	Deslizante	Piezas que deben montarse sin esfuerzo y que deben desplazarse en su funcionamiento.
				e 9	E 8	Giratorio	Piezas móviles con juego desde perceptible a amplio.
				d 9	D 8	Holgado	Piezas móviles con juego muy amplio.
POCO ESMERADO		H 11	h 11	h 11	H 11	Deslizante	Montaje fácil de gran tolerancia y con pequeño juego.
				d 11	E 11	Giratorio	Piezas móviles con gran tolerancia y juego no excesivo.
	c 11			C 11	Holgado	Piezas móviles con gran tolerancia y juego.	
	a 11			A 11	Muy holgado	Piezas móviles con gran tolerancia y mucho juego.	

(Larburu, 1989)

Entonces eligiendo eje único, se escoge un ajuste H7h6 ya que se requiere que la pieza sea deslizante sin juego, para montaje y desmontaje de la cabeza micrométrica.

3.6.2. Selección de ajuste agujero entre la carcasa–porta cabeza micrométrica y la carcasa-porta husillo de medición.

Siguiendo los pasos anteriores usando las tablas 16, 17 y 18 se calculara el ajuste entre el agujero de la carcasa y el cilindro exterior del soporte.

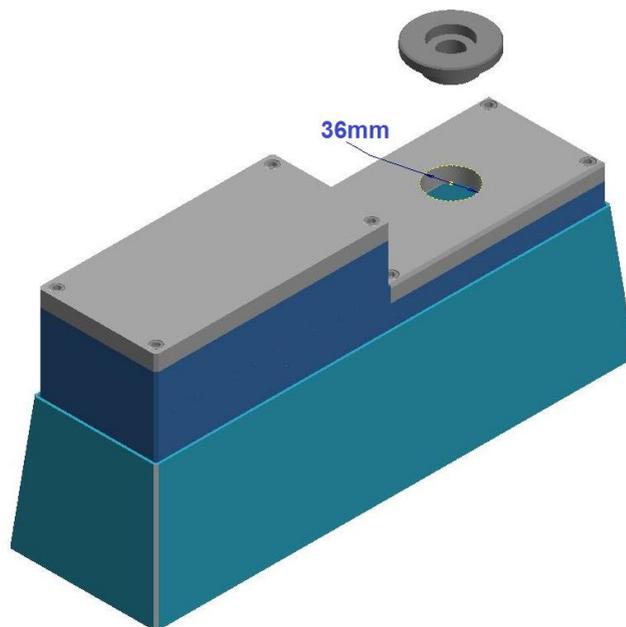


Figura 67. Ubicación del porta cabeza micrométrica en la carcasa

En la tabla 16 se observa que un mecanizado de torneado promedio proporciona una rugosidad aproximada a 1.6 micras.

En la tabla 17 esta rugosidad proporciona un grado de rugosidad (índice de calidad) N7.

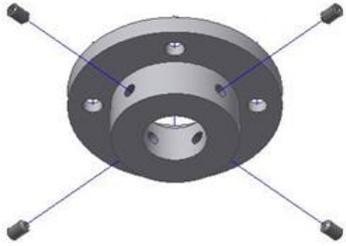
Entonces eligiendo eje agujero único en la tabla 18 (Los agujero se realizaron con CNC), se escoge un ajuste H7j6, que permite un ajuste con deslizamiento aplicando pequeña fuerza (golpe con martillo de goma).

3.6.3. Elección de tornillos y prisioneros en el porta cabeza micrométrica

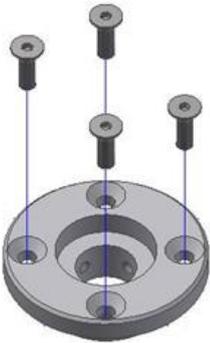
Como los 2 ajustes se necesitan seguros contra giro y desplazamiento como indica la tabla 18 se colocaran los siguientes pernos y prisioneros para dicho ajuste.

Como se muestra en la figura 63, existe un espacio destinado para prisioneros y pernos que ajustarán el porta cabeza micrométrica a la carcasa y a la cabeza micrométrica por lo que se eligió lo siguiente.

Tabla 19.
Selección de tornillos y prisioneros para porta cabeza micrométrica

Sujeción	Esquema	Elección
Sujeción cabeza micrométrica - porta cabeza micrométrica	 <p data-bbox="842 1473 1232 1599">Figura 68. Ubicación de los prisioneros en el porta cabeza micrométrica</p>	Prisionero M4 X 6mm

Continua →

<p>Sujeción porta cabeza micrométrica – carcasa</p>	 <p>Figura 69. Ubicación de pernos Allen avellanados en el porta cabeza micrométrica</p>	<p>Tornillo Allen avellanado o M5 X 16mm</p>
---	--	--

3.7. Simulación porta cabeza micrométrica

En este análisis se desea comprobar el número de prisioneros, y la precarga de los mismos para que la cabeza micrométrica no experimente desplazamiento alguno.

3.7.1. Desplazamiento total

Tipo: Desplazamiento
Unidad: mm

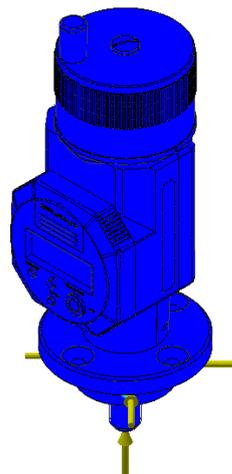
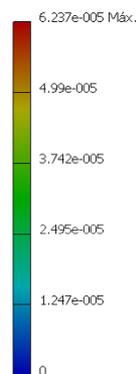


Figura 70. Desplazamiento total simulación de la carcasa

Como se puede observar el desplazamiento corresponde al orden de las diezmilésimas de milímetro, por lo cual se confirma que al colocar 4 prisioneros la cabeza micrométrica no experimenta desplazamiento alguno.

3.8. Diseño del husillo de medición y porta husillo.

Para el husillo de medición se eligió el acero plata, que a más de tener una alta resistencia a la corrosión posee un acabado superficial h6 de fábrica.

Este husillo debe tener una guía fija que permita el movimiento vertical por lo que se propone un tipo de porta husillo que además se encuentra dentro de las medidas propuestas en la carcasa.

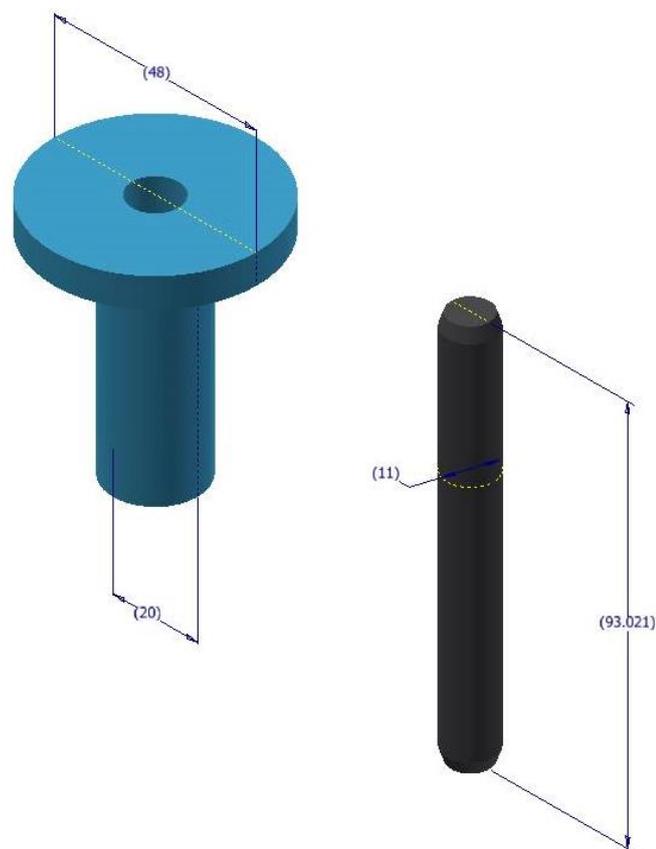


Figura 71. Medidas propuestas del husillo de medición y su soporte

En la tabla 16 se observa que un mecanizado de torneado promedio proporciona una rugosidad aproximada a 1.6 micras.

En la tabla 17 esta rugosidad proporciona un grado de rugosidad (índice de calidad) N7.

Entonces eligiendo eje único, se escoge un ajuste H7h6 ya que se requiere que la pieza sea deslizante sin juego para montaje y desmontaje del husillo de medición.

Se procede a colocar pines de sujeción para un resorte que tendrá la función de mantener siempre en contacto el husillo de medición con el comparador a verificar.



Figura 72. Ubicación de pines para resortes

3.9. Elección de los resortes

Los resortes cumplen la función de mantener siempre el contacto entre las piezas.

Unos resortes deben sustentar las fuerzas para mantener el contacto entre piezas, mientras que otros solo cumplen con mantener el contacto mas no dependen de fuerzas sino de dimensiones dentro del diseño.

Por lo que se elegirán resortes existentes en el mercado y de acuerdo a su utilidad en el diseño.

3.9.1. Resortes para mecanismo husillo – porta husillo



Figura 73. Husillo - porta husillo

En el mecanismo husillo – porta husillo se requieren resortes que mantengan el contacto entre el husillo y la barra reductora también se requiere que el husillo no se salga de su posición en el caso de girar el equipo verificador. El espacio designado para la elección de este resorte es de 2.68mm y la máxima elongación que debe soportar es de 5mm.

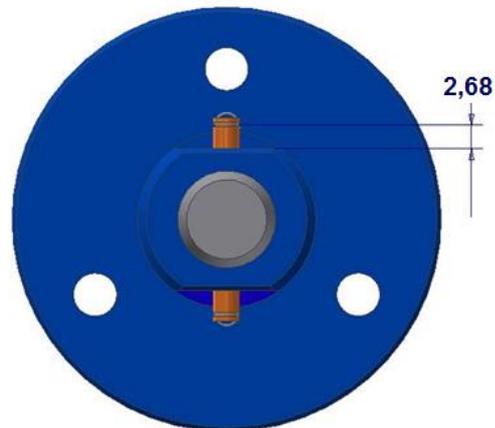


Figura 74. Pines para resorte en el porta husillo

Por lo que se probó si un resorte de 2.5mm de diámetro y con un alambre de 0.3mm de espesor cumple.



Figura 75. Pruebas de laboratorio para hallar la constante de elasticidad del resorte

Tabla 20.
Datos para hallar la constante de elasticidad del resorte

Datos para hallar la constante de elasticidad		
Elongación (m)	Peso (kgf)	Peso(Newton)
0,023	0	0
0,0256	0,1	0,98067
0,0288	0,2	1,96134
0,0326	0,3	2,94201
0,0362	0,4	3,92268
0,0399	0,5	4,90335

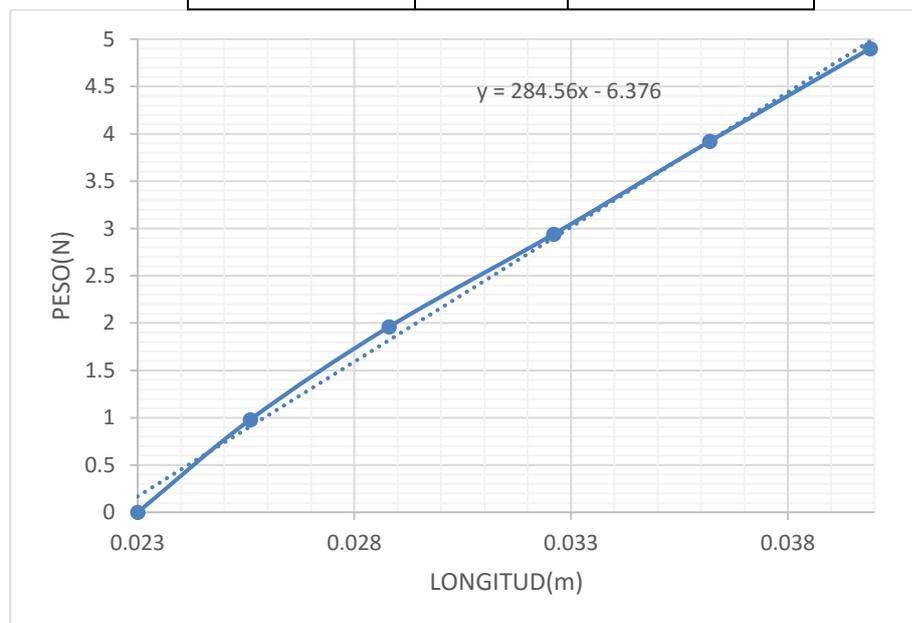


Figura 76. Gráfica Peso - Longitud del resorte para porta husillo

En la gráfica se observa que la elongación del resorte es directamente proporcional al peso que se le colocó, por lo que cumple la ley de Hooke y se obtiene su constante de elasticidad, que es igual a la pendiente de la recta obtenida, siendo en este caso 284,56 N/m.

También se observa que con un peso de 4,9N la elongación del resorte es de 39,9mm, y cumple con el requisito de elongación máxima de 5mm.

Por lo tanto, el resorte cumple con los requerimientos necesarios.

Esta constante, nos permite calcular la fuerza que ejerce el par de resortes en su máxima longitud de trabajo que es de 5mm.

$$F_{resorte} = 2(K * x)$$

$$F_{resorte} = 2(284,56N/m * 0,005m)$$

$$F_{resorte} = 2,846N$$

3.9.2. Simulación resortes para mecanismo husillo – porta husillo

Para la simulación de este resorte, se restringió el movimiento del gancho inferior, debido que ira sujeto en el porta husillo y también se re coloco la restricción de que el movimiento sea únicamente en la dirección del eje del resorte; se aplicó en el extremo libre una fuerza de 1.4N. A continuación se muestran los resultados de simulación:

3.9.2.1. Tensión de Von Mises

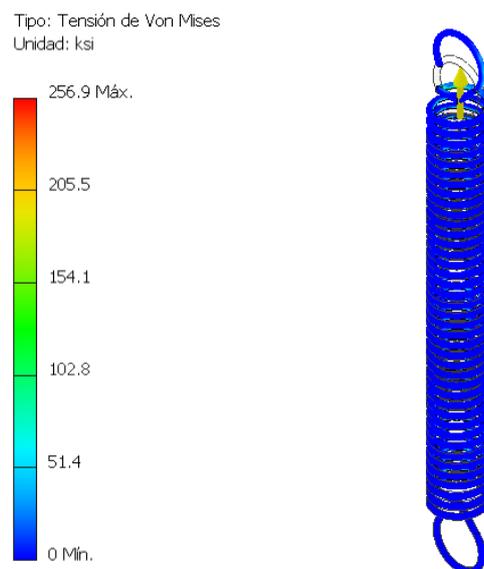


Figura 77. Tensión de Von Mises simulación resortes husillo – porta husillo

La tensión equivalente causada por la aplicación de la fuerza cuando el husillo asciende no provoca deformaciones permanentes en el resorte del porta husillo, lo cual le permite cumplir satisfactoriamente tanto con la función de mantener el contacto entre el husillo y la barra reductora de medidas, como la de impedir que el husillo salga del verificador de comparadores cuando este sea trasladado o girado para realizar actividades de inspección o mantenimiento.

3.9.2.2. Desplazamiento total

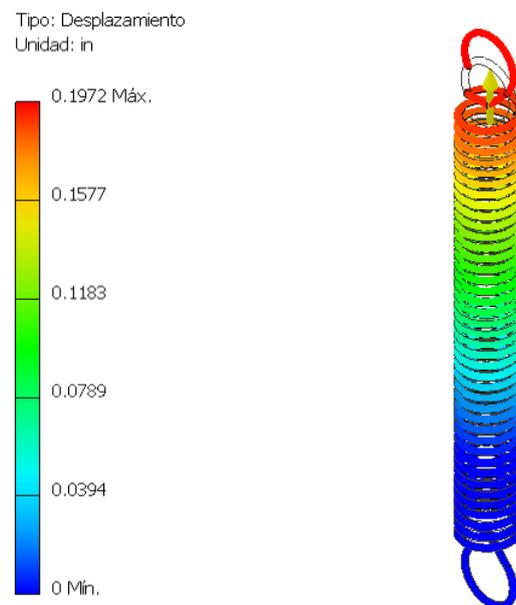


Figura 78. Desplazamiento total simulación resortes husillo – porta husillo

Con la tensión generada por esta fuerza el resorte alcanza el desplazamiento de 5mm deseado por el equipo, ya que este desplazamiento corresponde al alcance de los comparadores que van a ser verificados.

3.9.2.3. Factor de seguridad.

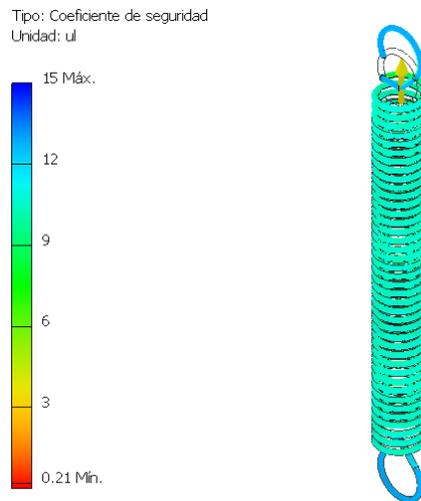


Figura 79. Factor de seguridad simulación resortes husillo – porta husillo

La relación entre la tensión equivalente y la tensión permisible en este caso es aproximadamente 10:1, además teniendo en cuenta que el canal por donde se desliza la guía de estos resortes permite un desplazamiento hasta de 11mm. Se puede proceder a la fabricación de los mismos sabiendo que no fallarán.

3.9.3. Resortes para mecanismo de ajuste de comparadores

En el mecanismo de ajuste de verificadores se requieren resortes que mantengan el contacto continuo entre la placa y el tornillo de sujeción. El espacio designado para la elección de este resorte es de 5.66mm y la máxima elongación que debe soportar es de 10.2mm.

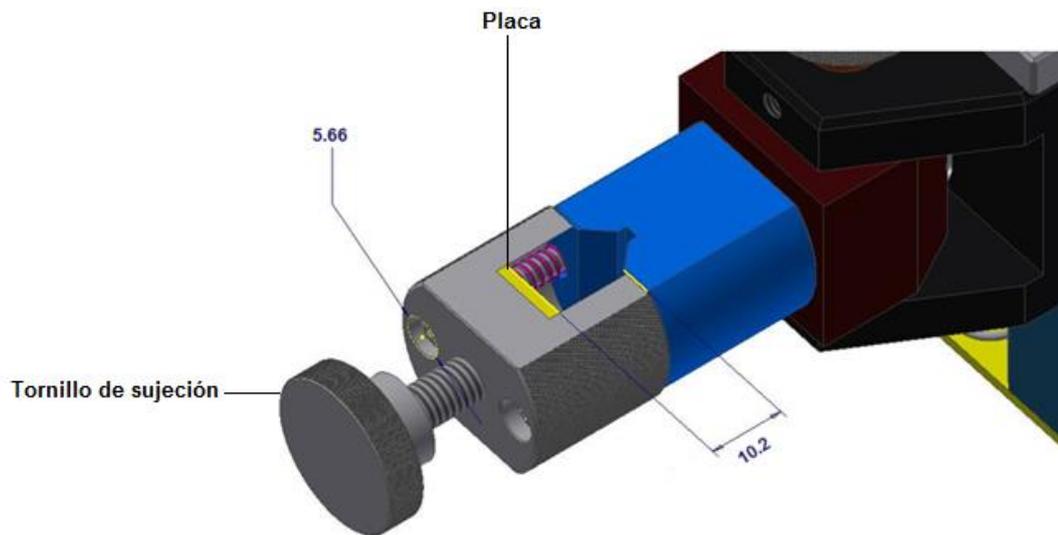


Figura 80. Ubicación de resortes en el soporte de comparadores

Por lo que se prueba si un resorte de 4.2mm de diámetro, con un alambre de 0.4mm y una longitud de 9mm de espesor cumple.



Figura 81. Pruebas de laboratorio para hallar la constante de elasticidad del resorte

Tabla 21.
Datos para hallar la constante de elasticidad del resorte

Datos para hallar la constante de elasticidad		
Elongación (m)	Masa (kg)	Peso(Newton)
0,02	0	0
0,025	0,1	0,98067
0,0291	0,2	1,96134
0,033	0,3	2,94201
0,0369	0,4	3,92268
0,042	0,5	4,90335

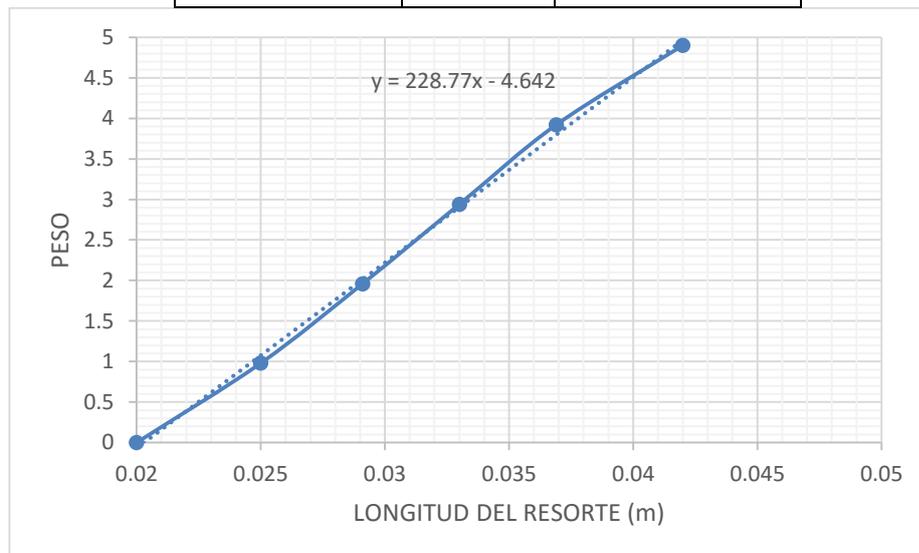


Figura 82. Gráfica Peso - Longitud del resorte para soporte de comparadores

En la gráfica se observa que la elongación del resorte es directamente proporcional al peso que se le colocó, por lo que cumple la ley de Hooke y podremos obtener su constante de elasticidad, que es igual a la pendiente de la recta obtenida, siendo en este caso 228,77N/m.

También se observa que con un peso de 4,9N la elongación del resorte es de 42mm, y cumple con el requisito de compresión máxima de 10,2mm.

Entonces se puede ver que el resorte cumple con los requerimientos necesarios.

3.9.4. Simulación de los resortes para mecanismo de ajuste de comparadores

Para el estudio de este elemento se colocaron las restricciones de movimiento en uno de los extremos del resorte y únicamente se permite el desplazamiento del mismo en sentido axial; se aplicó una fuerza puntual al extremo libre de 1.5N, simulando las condiciones en donde ira montado.

3.9.4.1. Tensión de von mises

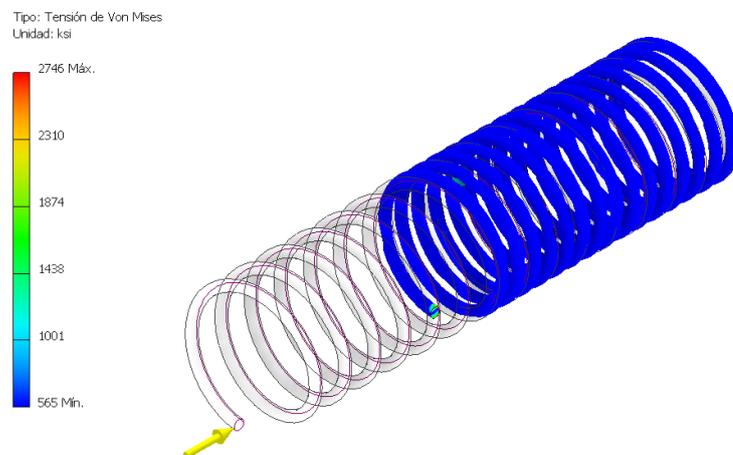


Figura 83. Tensión de Von Mises simulación resortes para el ajuste del comparador

Como se puede observar en el resultado del análisis el esfuerzo al cual está sometido este componente del equipo verificador de comparadores, no sobrepasa el límite de fluencia, lo cual nos indica que cumplirá satisfactoriamente su función de regresar a su posición inicial manteniendo el contacto entre la perilla de ajuste y la placa que ajusta al comparador de reloj.

3.9.4.2. Desplazamiento total

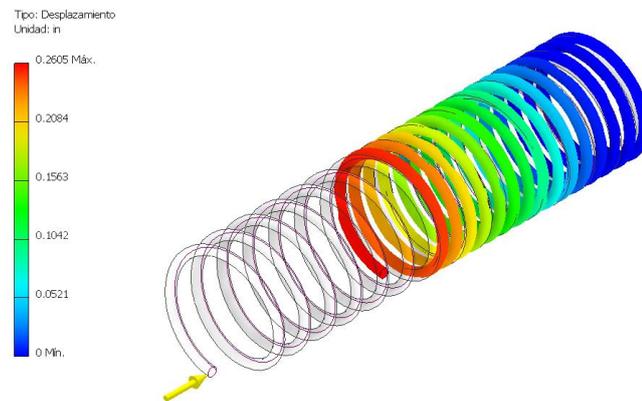


Figura 84. Desplazamiento total simulación resortes para el ajuste del comparador

Para las condiciones indicadas anteriormente se obtiene un desplazamiento máximo de 6.62mm, el cual nos deja un espacio de aproximadamente 4mm para el montaje de los comparadores en el verificador; este espacio es adecuado, tomando en cuenta que el diametro promedio de un comparador de reloj es de 8mm.

3.9.4.3. Factor de seguridad

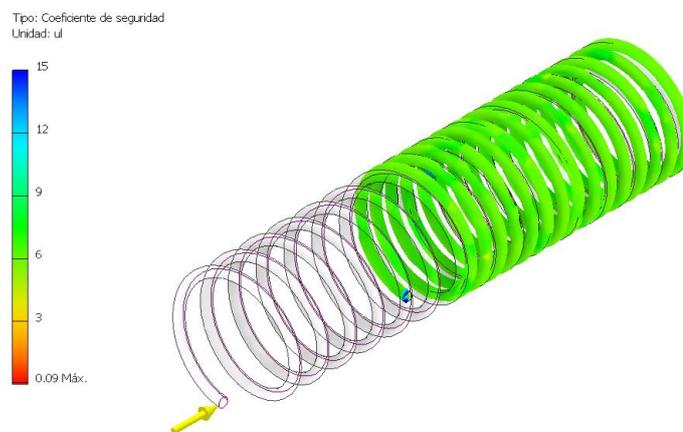


Figura 85. Factor de seguridad simulación resortes para el ajuste del comparador

Con un factor de seguridad 4 se asegura que el elemento no fallará y se puede proceder con la fabricación de estos resortes.

3.9.5. Resortes para mecanismo de soporte

En el mecanismo de soporte se requiere un resorte que mantenga el contacto constante entre el eje roscado y la rosca interna del patín.

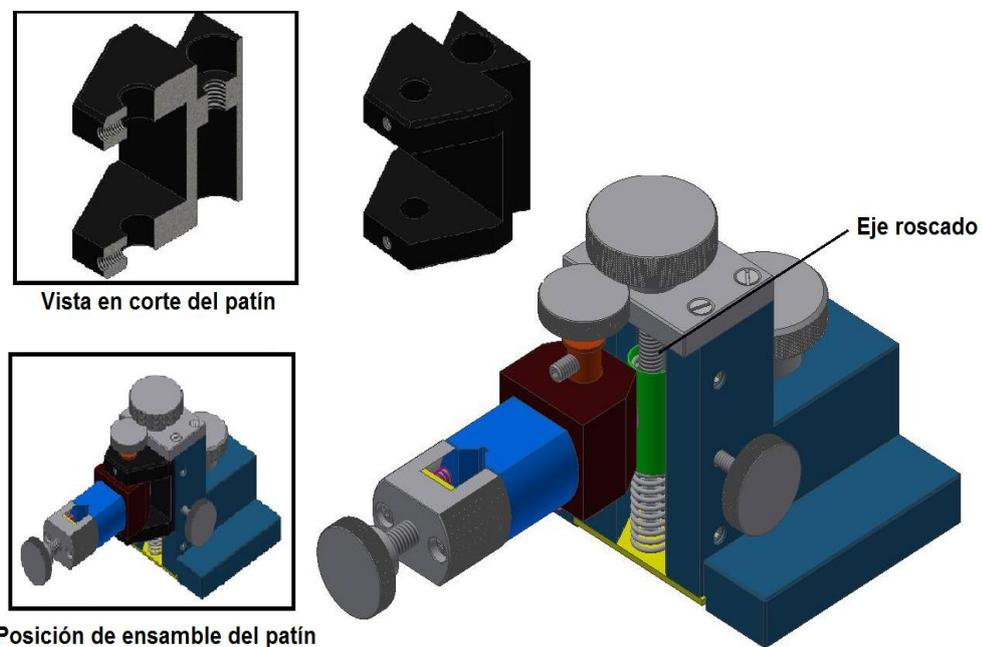


Figura 86. Ubicación del resorte estabilizador del patín del soporte

El espacio designado para la elección de este resorte es de 15.13mm y la máxima elongación que debe soportar es de 22.85mm.

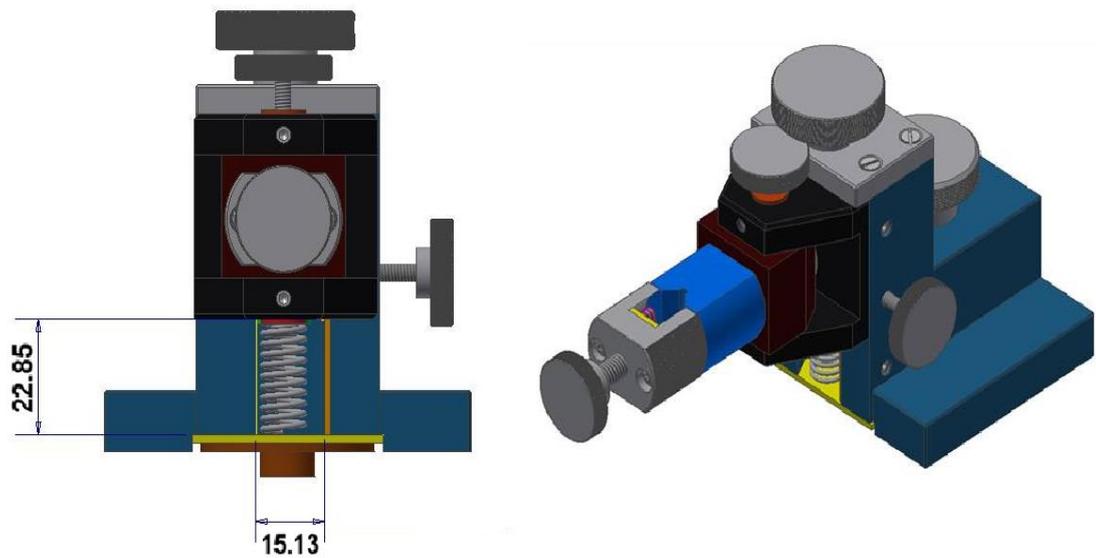


Figura 87. Espacio designado para colocación del resorte

Por lo que se prueba si un resorte de 9.2mm de diámetro, con un alambre de 1.3mm de espesor y una longitud de 25mm cumple.

Tabla 22.

Datos para hallar la constante de elasticidad del resorte

Datos para hallar la constante de elasticidad		
Elongación (m)	Masa (kg)	Peso(Newton)
0,026	0	0
0,065	1	9,8067
0,08	1,5	14,71005
0,096	2	19,6134
0,113	2,5	24,51675
0,13	3	29,4201
0,24	6	58,8502

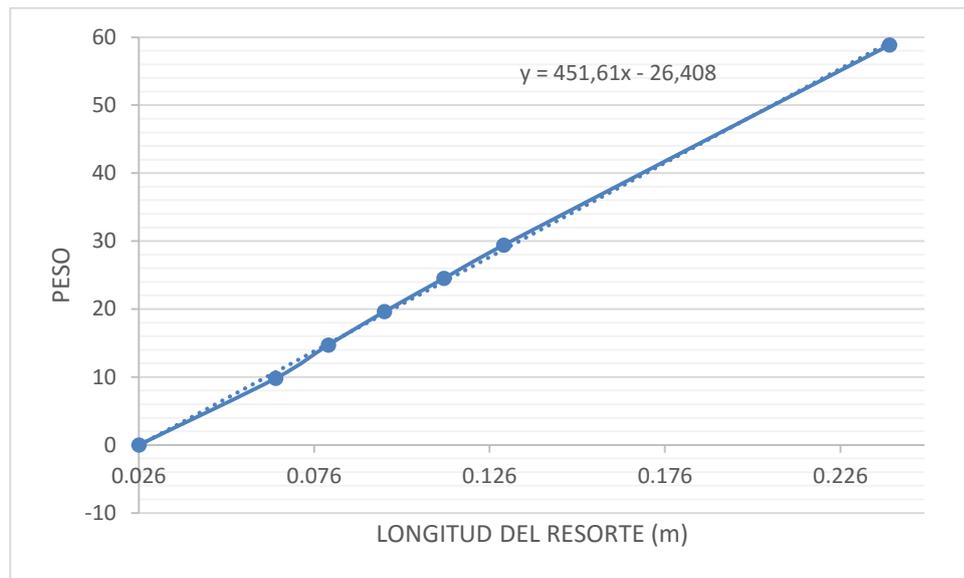


Figura 88. Gráfica Peso - Longitud del resorte estabilizador del patín

En la gráfica se puede observar que la elongación del resorte es directamente proporcional al peso que se le colocó, por lo que cumple la ley de Hooke y obtenemos su constante de elasticidad, que es igual a la pendiente de la recta obtenida, siendo en este caso 451,61N/m.

También se observa que con un peso de 58,8402N la elongación del resorte es de 24mm, y cumple con nuestra necesidad de compresión máxima de 22,85mm.

Entonces, se puede ver que, el resorte cumple con los requerimientos necesarios.

3.9.6. Simulación resortes para mecanismo de soporte

En el estudio de este resorte se considera un extremo fijo mientras en el otro se aplica una carga puntual indicada anteriormente, el movimiento del resorte está permitido únicamente en la dirección del eje del mismo.

3.9.6.1. Tensión de von mises

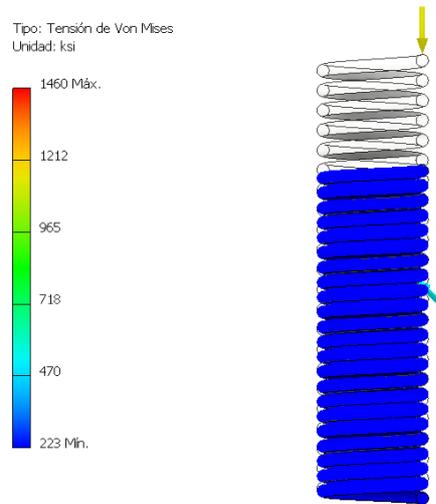


Figura 89. Tensión de Von Mises simulación resortes para mecanismo del soporte

No se presentan tensiones significativas que alteren de forma permanente la geometría del resorte.

3.9.6.2. Desplazamiento total

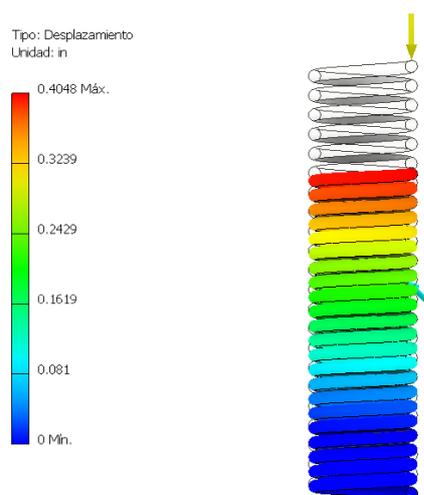


Figura 90. Desplazamiento total simulación resortes para mecanismo del soporte

El resorte es capaz de desplazarse 10.28mm y regresar a su posición inicial sin presentar deformación plástica, lo cual le permitirá desplazar verticalmente a todos los elementos móviles del soporte sin inconvenientes.

3.9.6.3. Factor de seguridad

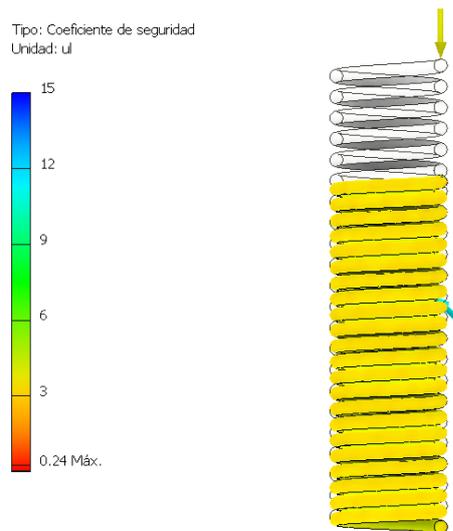


Figura 91. Desplazamiento total simulación resortes para mecanismo del soporte

Como el factor de seguridad es mayor que 1, el diseño es seguro y se sabe que una vez construido, este elemento no fallará con las cargas generadas al utilizar el verificador de comparadores.

3.9.7. Resortes para mecanismo reductor

En el mecanismo reductor se requieren resortes que mantengan el contacto continuo entre los punto de contacto de la barra con el husillo de medición y el husillo de la cabeza micrométrica.

A su vez un par de resorte cumple la función de mantener el pivote de la barra reductora en contacto con el soporte del pivote y el otro par de resortes

servirán a su vez de guía para que la barra no se incline y siempre gire en un eje.

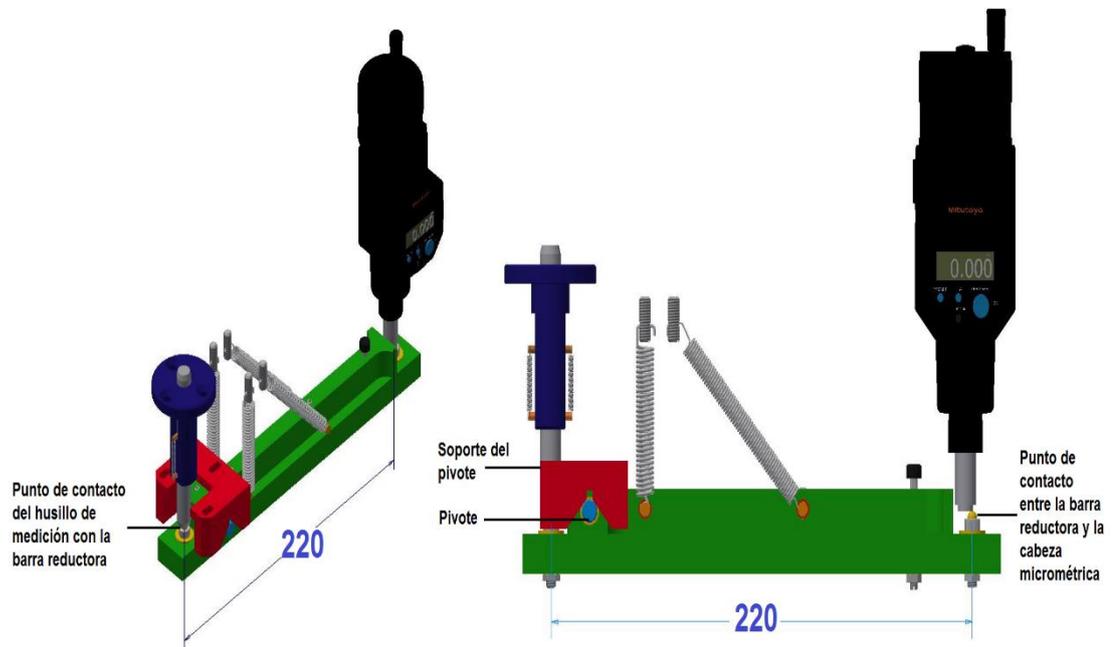


Figura 92. Puntos de contacto en la barra reductora

La longitud inicial designada para la elección del primer par de resortes es de 67,7mm y la máxima elongación que debe soportar es de 72.2mm.

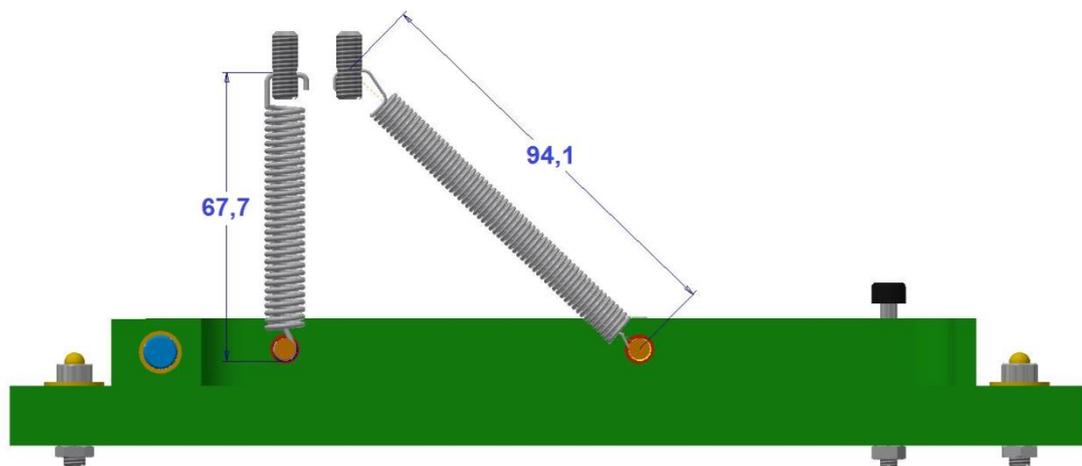


Figura 93. Resortes del mecanismo reductor sin elongación

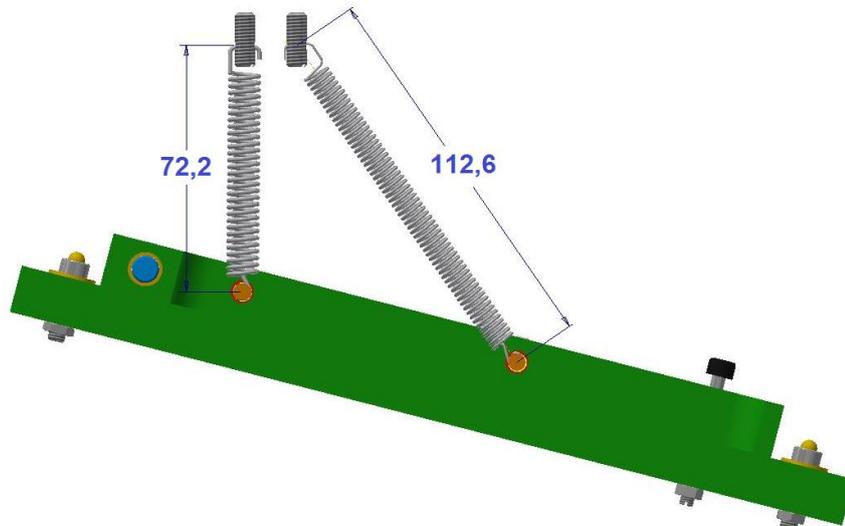


Figura 94. Resortes del mecanismo reductor con su máxima elongación

Por lo que se prueba si un resorte de 9.6mm de diámetro, con un alambre de 1.3mm de espesor y una longitud de 65mm cumple.



Figura 95. Pruebas de laboratorio para hallar la constante K del resorte

Tabla 23.
Datos para hallar la constante de elasticidad del resorte

Datos para hallar la constante de elasticidad		
Elongación (m)	Masa (kg)	Peso(Newton)
0,06	0	0
0,079	1	9,8067
0,09	1,5	14,71005
0,101	2	19,6134
0,114	2,5	24,51675
0,124	3	29,4201

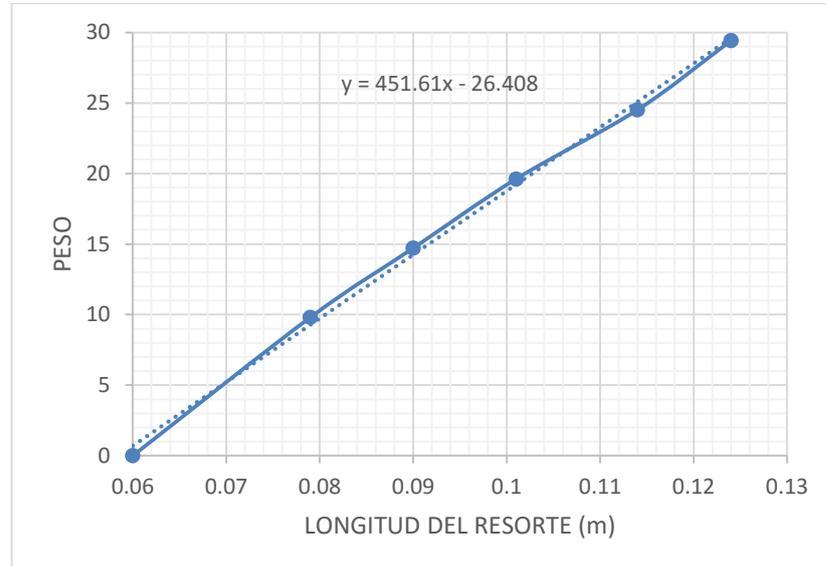


Figura 96. Gráfica Peso - Longitud del primer par de resortes para mecanismo reductor

En la gráfica se puede observar que la elongación del resorte es directamente proporcional al peso que se le colocó, por lo que cumple la ley

de Hooke y se obtiene su constante de elasticidad, que es igual a la pendiente de la recta obtenida, siendo en este caso 551,61N/m.

También se observa que con un peso de 29,4201N la elongación del resorte es de 12,4mm, y cumple con nuestra necesidad de elongación máxima de 4,5mm.

Entonces se puede ver que el resorte cumple con los requerimientos necesarios.

Esta constante de elasticidad, permite calcular la fuerza que ejerce el par de resortes en su máxima longitud de trabajo que es de 72,2mm.

$$F_{\text{primer par de resortes}} = 2(K * x)$$

$$F_{\text{primer par de resortes}} = 2(551,61N/m * 0,0722m)$$

$$F_{\text{primer par de resortes}} = 79,652N$$

La longitud inicial designada para la elección del segundo par de resortes es de 94,1mm y la máxima elongación que debe soportar es de 112,6mm.

Por lo que se prueba si un resorte de 6,2mm de diámetro, con un alambre de 1mm de espesor y una longitud de 90mm cumple.



Figura 97. Pruebas de laboratorio para hallar la constante K del resorte

Tabla 24.
Datos para hallar la constante de elasticidad del resorte

Datos para hallar la constante de elasticidad		
Elongación (m)	Masa (kg)	Peso(Newton)
0,114	0	0
0,164	0,1	0,98067
0,226	0,2	1,96134
0,297	0,3	2,94201
0,358	0,4	3,92268
0,422	0,5	4,90335

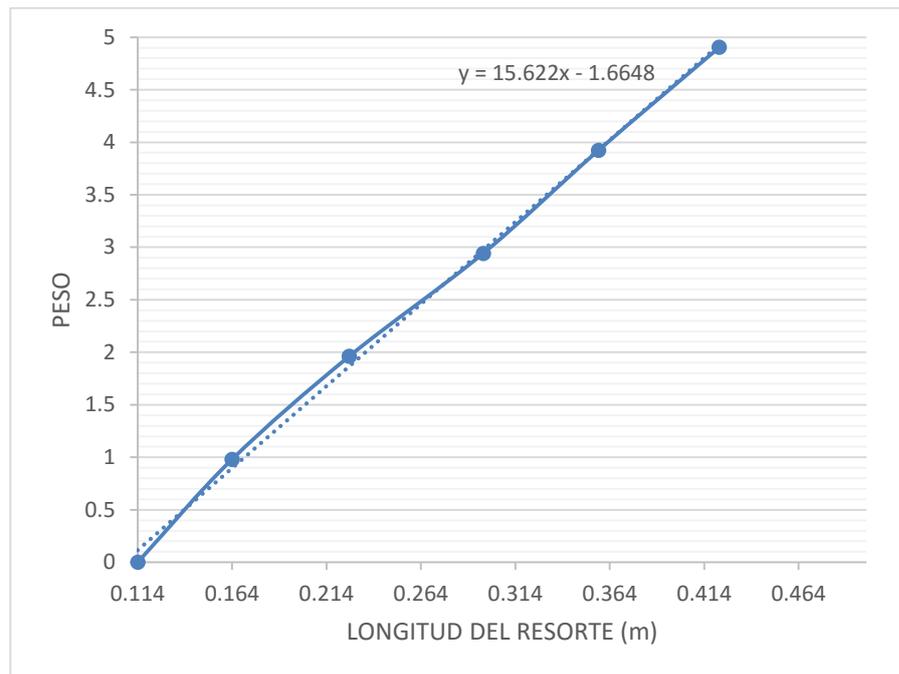


Figura 98. Peso - longitud del segundo par de resortes del mecanismo reductor

En la gráfica se observa que la elongación del resorte es directamente proporcional al peso que se le colocó, por lo que cumple la ley de Hooke y se obtiene su constante de elasticidad, que es igual a la pendiente de la recta obtenida, siendo en este caso 15,622N/m.

También se observa que con un peso de 4,90335N la elongación del resorte es de 42,2mm, y cumple con nuestra necesidad de elongación máxima de 18,5mm.

Entonces se puede ver que el resorte cumple con los requerimientos necesarios.

Esta constante de elasticidad nos permite calcular la fuerza que ejerce el par de resortes en su máxima longitud de trabajo que es de 112,6mm.

$$F_{\text{Segundo par de resortes}} = 2(K * x)$$

$$F_{\text{Segundo par de resortes}} = 2(15,662N/m * 0,1126m)$$

$$F_{\text{Segundo par de resortes}} = 3,5271N$$

3.9.8. Simulación del primer par de resortes para mecanismo reductor

Para el análisis de este elemento se colocaron restricciones de movimiento en el extremo del gancho inferior como y se permite el movimiento del mismo únicamente en la dirección del eje principal del resorte, tal como sucede en el funcionamiento del verificador de comparadores.

3.9.8.1. Tensión de Von Mises

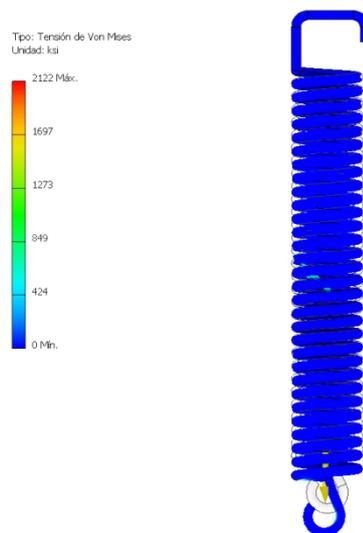


Figura 99. Tensión de Von Mises simulación del primer par de resortes del mecanismo reductor

Es apreciable que no existen zonas en donde se presente tensiones que alcancen el límite elástico, por lo que el resorte soporta satisfactoriamente la carga de trabajo.

3.9.8.2. Desplazamiento total

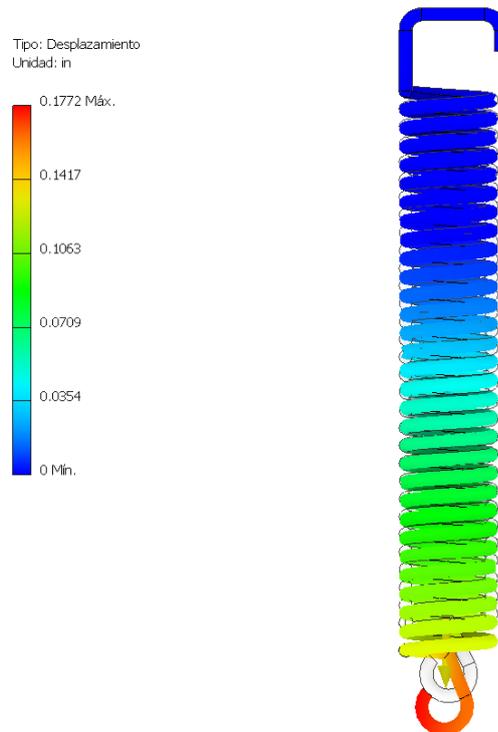


Figura 100. Desplazamiento total simulación del segundo par de resortes del mecanismo reductor

Con este análisis se comprueba que el resorte cumple con la ley de Hooke, y que el resorte puede alcanzar la elongación requerida de 4,5mm sin presentarse ningún tipo de falla. Desplazamiento requerido para el adecuado funcionamiento del mecanismo reductor de medidas.

3.9.8.3. Factor de seguridad

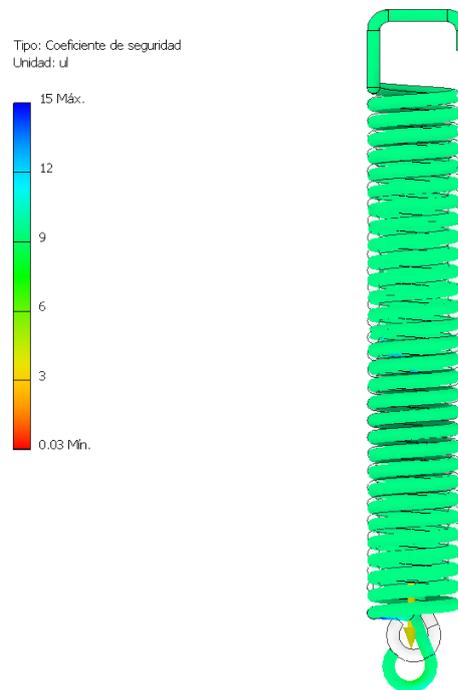


Figura 101. Factor de seguridad simulación del primer par de resortes del mecanismo reductor

Como se puede ver en el resultado de este estudio el factor de seguridad es considerablemente mayor que 1, por lo cual el funcionamiento de este resorte es adecuado ya que además de no alcanzar el límite elástico, la tensión que provoca evitará que existan vibraciones y por ende errores de medición al momento de realizar las mediciones con el equipo verificador de comparadores.

3.9.9. Simulación del segundo par de resortes para mecanismo reductor

Se restringe el movimiento a un solo eje, y se considera que el extremo superior está fijo, luego se aplican las cargas indicadas en el diseño.

3.9.9.1. Tensión de Von Mises

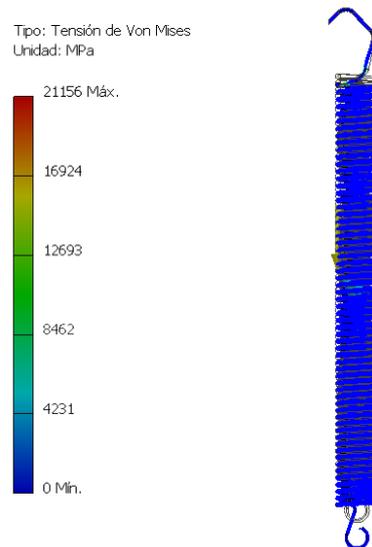


Figura 102. Tensión de Von Mises simulación del segundo par de resortes del mecanismo reductor

El análisis nos indica que una vez en operación el verificador de comparadores, este resorte no presenta zonas expuestas a una posible falla.

3.9.9.2. Desplazamiento total

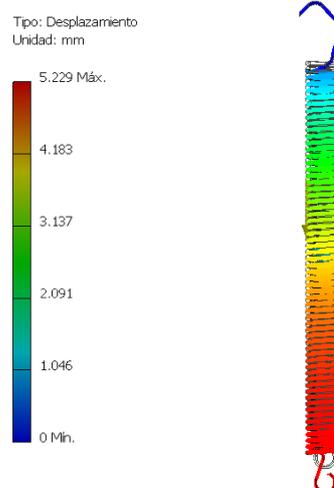


Figura 103. Desplazamiento total simulación del segundo par de resortes del mecanismo reductor

La elongación del resorte alcanza sin problemas los 18.5mm requeridos en el diseño, sin llegar a la zona de deformación plástica.

3.9.9.3. Factor de seguridad

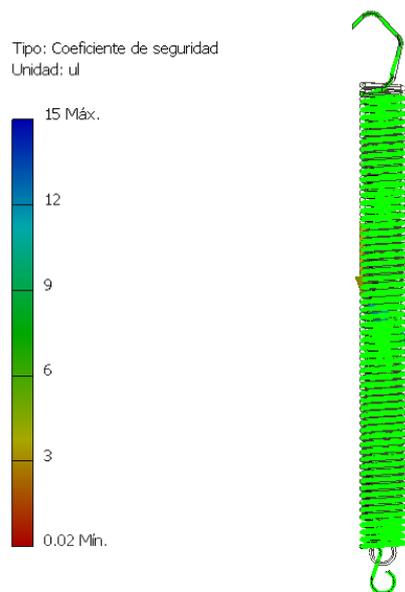


Figura 104. Factor de seguridad simulación del segundo par de resortes del mecanismo reductor

Siendo el factor de seguridad considerablemente mayor que 1 podemos proceder a la fabricación de estos resortes, sabiendo que se debe exceder por lo menos 4 veces la carga de trabajo para que estos fallen.

3.9.10. Constante de elasticidad del comparador de reloj

En el sistema el comparador de reloj ejerce una fuerza directamente sobre la barra reductora que se considerará para un próximo análisis de fuerzas en el mecanismo reductor.

Para lo cual se procedió a tomar los datos de la fuerza que ejerce el comparador de reloj sobre una balanza.

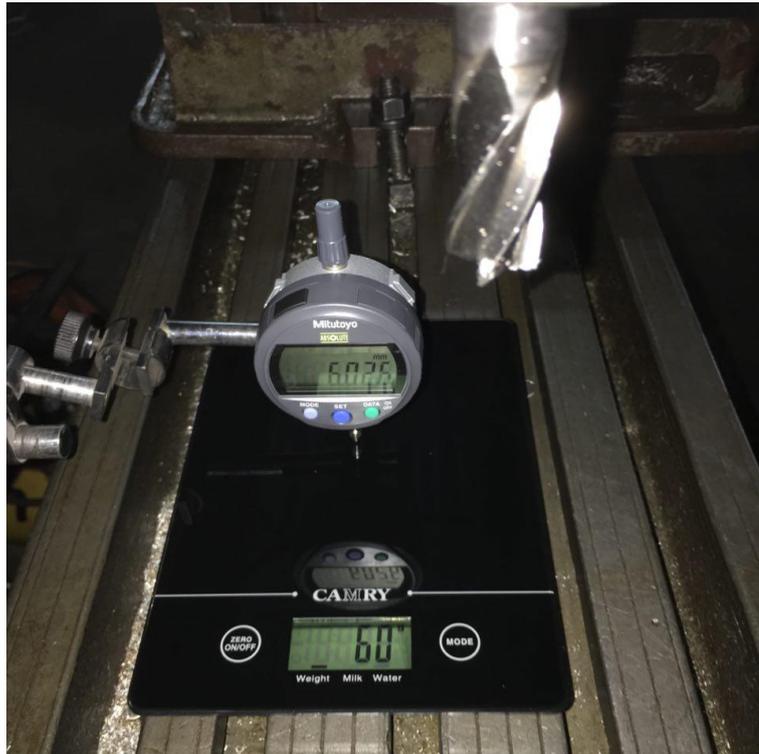


Figura 105. Fuerza del comparador de reloj

Tabla 25. Datos para hallar la constante de elasticidad del resorte

Datos para hallar la constante de elasticidad del comparador de reloj				
Longitud (m)	Longitud (mm)	Masa (gr)	Masa(kg)	Fuerza (newton)
0,0011	1,051	40	0,04	0,3923
0,0020	2,01	44	0,044	0,4315
0,0030	3	47	0,047	0,4609
0,0042	4,2	53	0,053	0,5198
0,0054	5,4	58	0,058	0,5688
0,0060	6,026	60	0,06	0,5884
0,0070	7	62	0,062	0,6080
0,0080	8,005	66	0,066	0,6472
0,0090	9,021	70	0,07	0,6865

Continua →

0,0098	9,8	73	0,073	0,7159
0,0111	11,091	80	0,08	0,7845
0,0121	12,061	85	0,085	0,8336

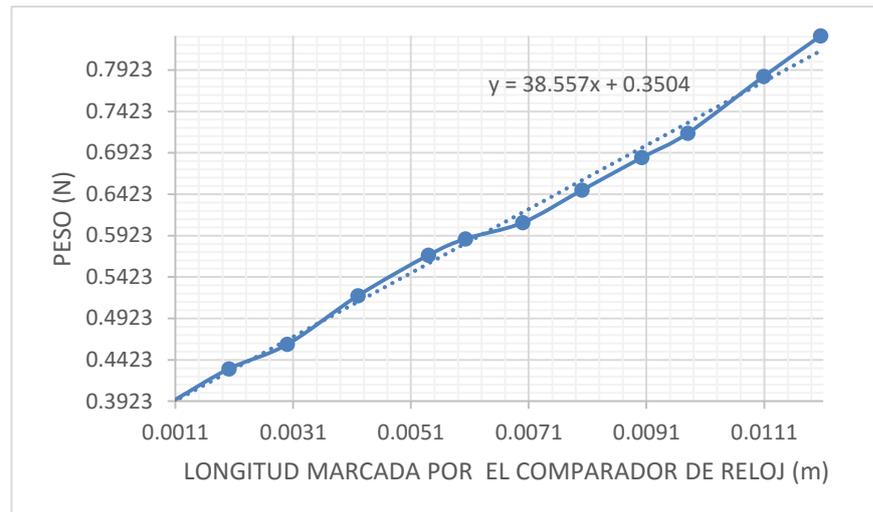


Figura 106. Gráfica Peso - longitud marcada por el comparador de reloj

En la gráfica se observa que el comparador de reloj se comporta como un resorte ya que la variación de longitud marcada por el equipo es directamente proporcional al peso que se le colocó, por lo que cumple la ley de Hooke y podremos obtener su constante K que es igual a la pendiente de la recta obtenida, siendo en este caso 38,557N/m.

Esta constante de elasticidad, nos permite calcular la fuerza que ejerce el reloj en su máxima longitud de trabajo que es de 5mm.

$$F_{\text{Comparador de reloj}} = K * x$$

$$F_{\text{Comparador de reloj}} = 38,557N/m * 0,005m$$

$$F_{\text{Comparador de reloj}} = 0.192785N$$

3.10. Análisis de fuerzas en el mecanismo

El mecanismo reductor se encuentra sometido a distintas fuerzas que ejercen equipos externos (comparador de reloj y cabeza micrométrica) como elementos internos del mecanismo (resortes).

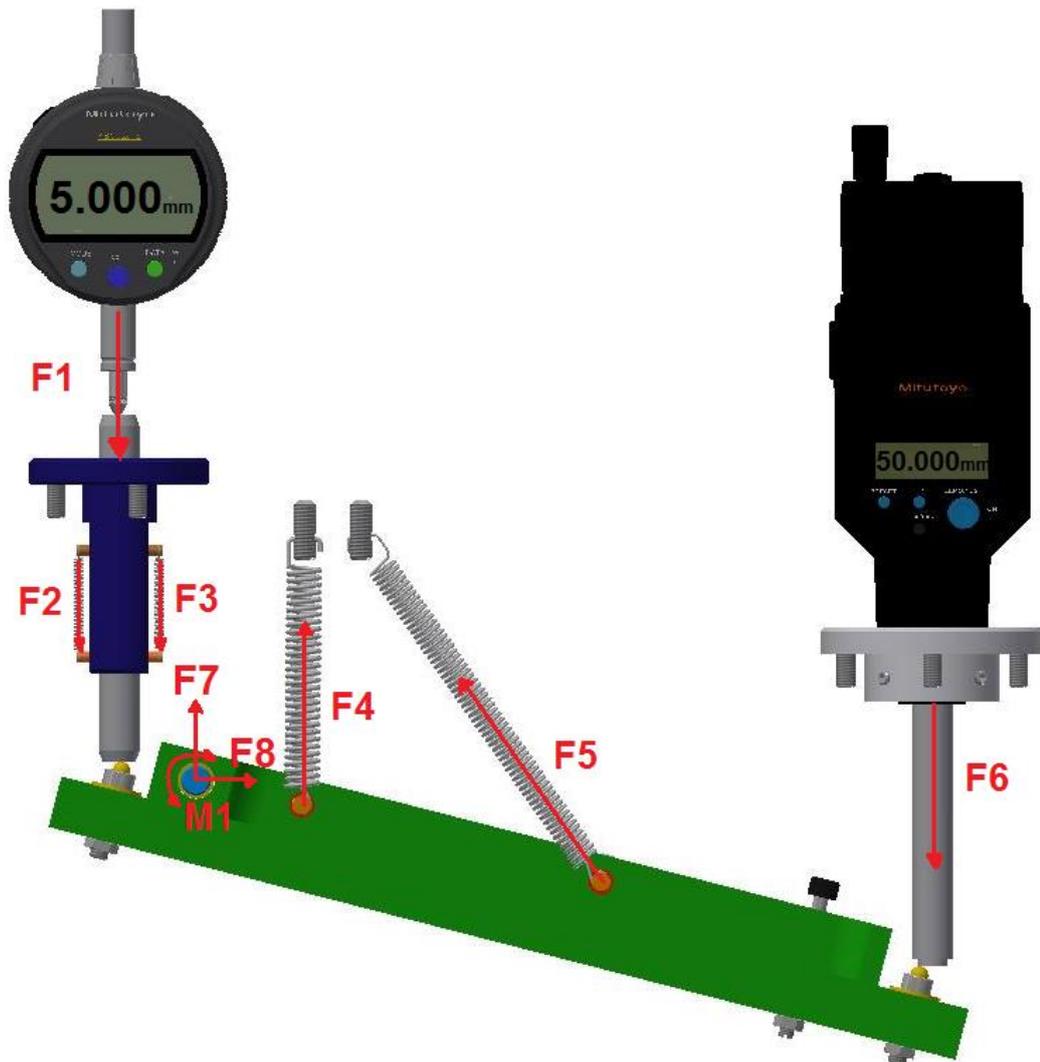


Figura 107. Fuerzas que influyen en el mecanismo reductor

En la imagen anterior se pueden observar todas las fuerzas que se ejercen sobre la barra reductora.

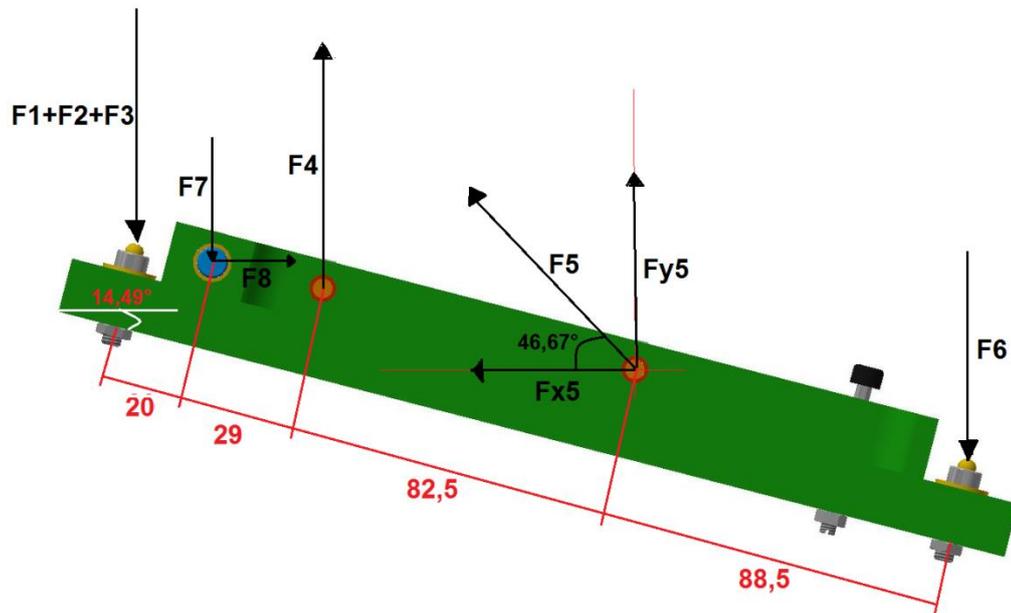


Figura 108. Descomposición de fuerzas

Mediante la figura anterior se hace el análisis completo de fuerzas en la barra.

Anteriormente obtuvimos los siguientes datos:

$$F_1 = 0,1923N$$

$$F_2 + F_3 = 2,846N$$

$$F_4 = 79,652N$$

$$F_5 = 3,527N$$

$$F_{y5} = 2,566N$$

$$F_{x5} = 2,42N$$

Entonces se halla la fuerza que debe ejercer la cabeza micrométrica en el sistema.

$$\sum M_{Pivote} = ((F1 + F2 + F3)\cos(14,49^\circ)*0,02) + (F4\cos(14,49^\circ)*0,029) \\ + (Fy5\cos(14,49^\circ)*0,1115) - (Fx5\sin(14,49^\circ)*0,1115) - (F6\cos(14,49^\circ)*0,2) = \\ 0$$

$$\sum M_{Pivote} = ((3,0383N/m)\cos(14,49^\circ)*0,02m) + \\ (79,652N/m*\cos(14,49^\circ)*0,029m) + (2,566N/m*\cos(14,49^\circ)*0,1115m) - \\ (2,42N/m*\sin(14,49^\circ)*0,1115m) - (F6\cos(14,49^\circ)*0,2m) = 0$$

$$\sum M_{Pivote} = 0,058N + 2,236N + 0,277N - 0,675N - 0,194F6 = 0$$

$$F6 = -9.77N$$

Esta cantidad en kilogramos fuerza es:

$$F6 = \text{Fuerza de la cabeza micrométrica en el sistema} = 0.1\text{Kgf}$$

Se probó la cabeza micrométrica en una balanza antes de que llegue a su mayor esfuerzo y que el equipo no se averíe y se obtuvo que la cabeza micrométrica antes de fallar ejerce 4,884 kilogramos fuerza por lo que se deduce que la cabeza micrométrica es capaz de sustentar la fuerza suficiente para hacer funcionar el mecanismo reductor sin averiarse.



Figura 109. Fuerza máxima de la cabeza micrométrica

3.11. Selección de material para barra reductora



Figura 110. Barra reductora

La barra reductora es el componente principal del mecanismo reductor de medidas del verificador de comparadores. Por esto y según la sección 3.3 de este documento la mejor opción es usar aluminio.

A continuación se analizan los tipos de aluminio que existen el mercado nacional.

Tabla 26.
Propiedades mecánicas de aluminios comerciales en ecuador

Propiedades físicas	Densidad	Módulo elástico	Coeficiente de dilatación (20 - 100°C)
	g/cm^3	Mpa	$10^{-6} \text{ } ^\circ C^{-1}$
Aluminio 6005	2.71	68600	24
Aluminio 6061	2.7	69500	23.6
Aluminio 6063	2.69	68300	23.4

Tabla 27.

Valoración de propiedades físicas

Propiedades mecánicas					
N°	Aluminio	Densidad	Módulo elástico	Coefficiente de dilatación (20 - 100°C)	Total
1	<i>Aluminio 6005</i>	5	4	4	13
2	<i>Aluminio 6061</i>	5	5	5	15
3	<i>Aluminio 6063</i>	4	4	5	13

Calificación:
 1= Innecesario 2= Poco necesario 3= Aceptable 4= Necesario 5= Muy necesario

Por lo que se elige al aluminio 6061.

3.12. Simulación barra de reducción de medidas

En esta simulación se ha colocado la barra en su posición final, cuando el husillo de la cabeza micrométrica se ha desplazado 50mm, punto en el cual se presentan la mayor tensión de todos los resortes.

3.12.1. Tensión de Von Mises

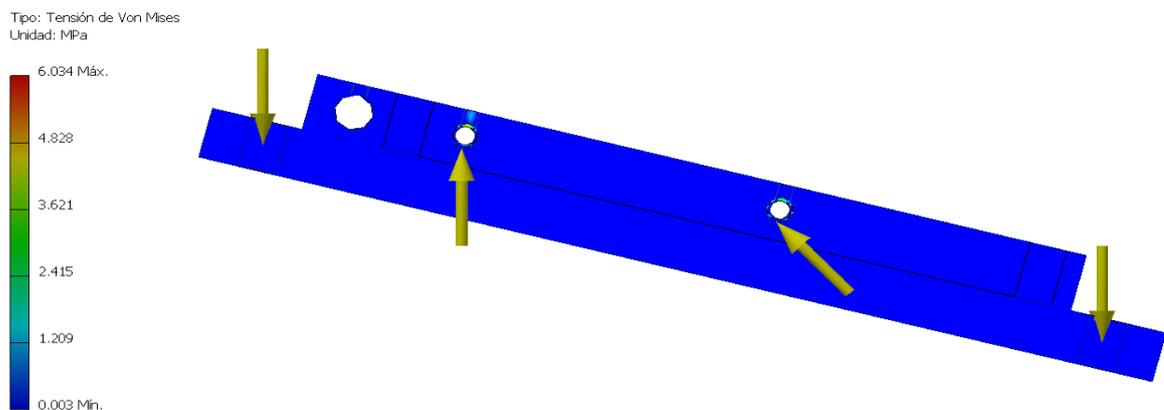


Figura 111. Tensión de Von mises simulación barra reductora de medidas

La mayor tensión es causada por los resortes estabilizadores, la cual puede ser soportada por los bocines de acero; la barra de aluminio no soporta tensiones importantes.

3.12.2. Desplazamiento total

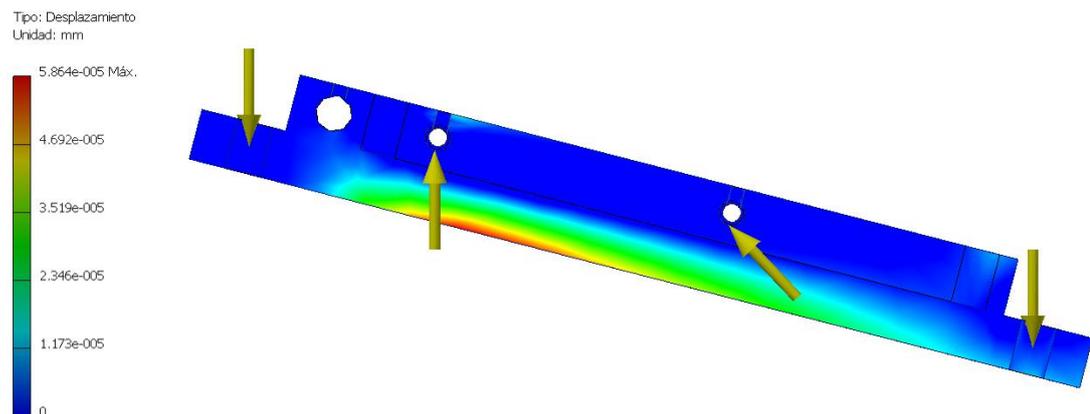


Figura 112. Desplazamiento total simulación barra reductora de medidas

El desplazamiento máximo es de 5.864×10^{-5} mm, por lo que se considera como despreciable.

3.12.3. Factor de seguridad

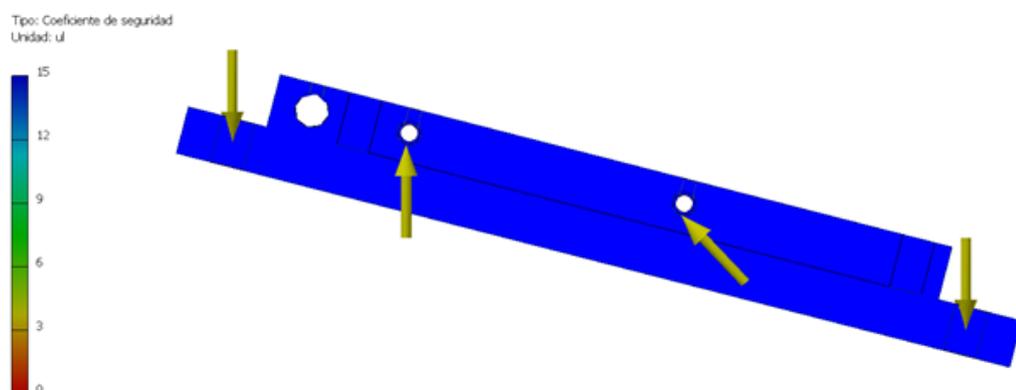


Figura 113. Factor de seguridad simulación barra reductora de medidas

El coeficiente de seguridad es elevado, lo cual al contrario de representar un sobredimensionamiento en la pieza o un exceso en las características del material, es conveniente para la construcción de equipos de medición de alta precisión ya que este valor aporta considerablemente a la estabilidad dimensional del verificador de comparadores.

3.13. Simulación guías resortes estabilizadores de la barra

Se aplican las cargas de trabajo en las guías de los resortes estabilizadores de la barra, para comprobar si estos resisten las cargas de operación.

3.13.1. Tensión de Von Mises

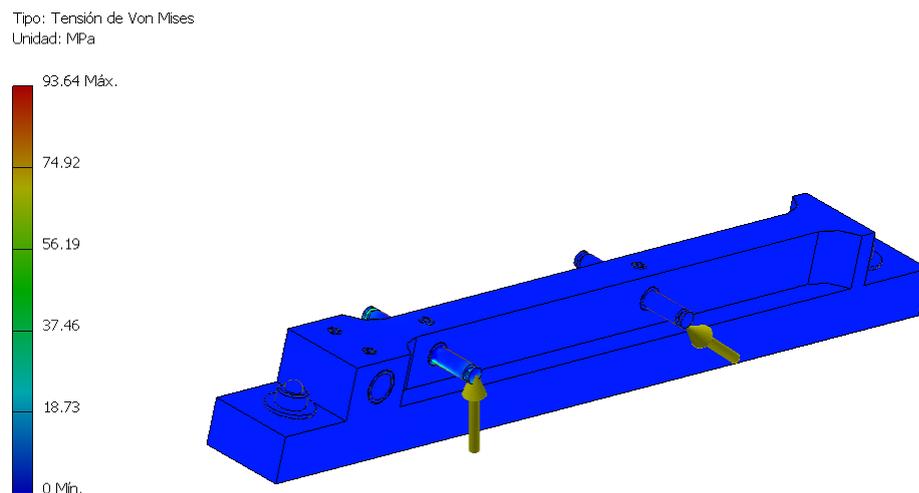


Figura 114. Tensión de Von mises simulación guías resortes mecanismo reductor

Las guías de acero son capaces de resistir la deformación sin llegar a deformarse permanentemente, podemos decir que tanto la geometría como la selección del material son adecuadas.

3.13.2. Desplazamiento total

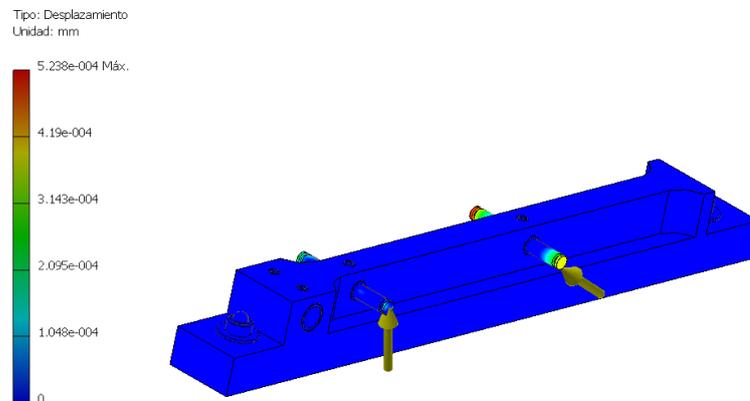


Figura 115. Desplazamiento total simulación guías resortes mecanismo reductor

El desplazamiento máximo de estos elementos se encuentra en el orden de las diezmilésimas, por lo cual este puede considerarse como despreciable.

3.13.3. Factor de seguridad

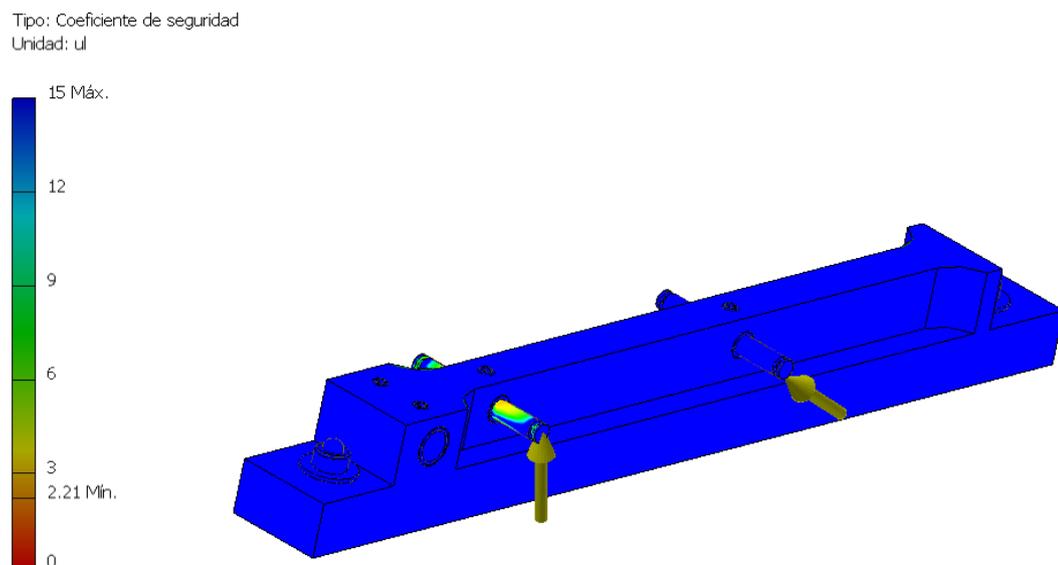


Figura 116. Factor de seguridad simulación guías resortes mecanismo reductor

Con un factor de seguridad mínimo de 2.21 se procede a la fase de fabricación del elemento, sabiendo que con las cargas de operación del equipo verificador de comparadores, no se presentarán fallas mecánicas.

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN

Para iniciar la construcción se debe contar con planos y diagramas de procesos de cada uno de los elementos diseñados, ya que la elaboración permitirán detallar la geometría y dimensiones de las piezas, estimar el tiempo de trabajo, velocidades de corte, prever recursos y máquinas a utilizarse, y conocer los pasos de fabricación necesarios bajo las necesidades de diseño.

Los principales procesos de manufactura a emplearse son: torneado, fresado, rectificado, taladrado, roscado, limado, escariado, corte y pintura. De las distintas empresas visitadas no existió una que posea todas las máquinas y herramientas necesarias por lo que la construcción del equipo verificador de comparadores se realizará en los talleres de distintas empresas que posean las herramientas y las máquinas capaces de complacer los requerimientos de diseño.

4.1. Estudio de talleres para la fabricación de elementos de precisión

4.1.1. CRYO PROYECTOS INDUSTRIALES

Es una empresa metalmecánica ubicada al sur de Quito de la que se hará uso de su fresadora, torno y taladro de banco. A continuación citaremos sus principales características.

Tabla 28.

Máquinas que se utilizarán en la empresa CRYO PROYECTOS INDUSTRIALES

				APRECIACIÓN			RPM	
MÁQUINA	MARCA	VOLTAJE (voltios)	POTENCIA	EJE X	EJE Y	EJE Z	MÍNIMO	MÁXIMO
TORNO	GRAZIOLI	380	4 KW	0.05mm	0.05mm	NA	20	2000
								
FRESADORA	CONTI	*	*	0.05mm	0.05mm	0.05mm	30	1100

Figura 117. Torno de Cryoproyectos Industriales

Continua →



Figura 118. Fresadora de CRYO PROYECTOS INDUSTRIALES

TALADRO DE BANCO	BIMAK	380	2 HP	0.05mm	0.05mm	0.05mm	60	2100
------------------	-------	-----	------	--------	--------	--------	----	------



Figura 119. Taladro de banco de Cryoproyectos Industriales

NA= No aplica

*= Datos no proporcionados por el fabricante.

4.1.2. FERPA

Empresa metalmecánica ubicada en Conocoto de la que se hará uso de su rectificadora de disco. A continuación citaremos sus principales características.

Tabla 29.
Máquina que se utilizará en la empresa FERPA

MÁQUINA	MARCA	POTENCIA (voltios) VOLTAJE	POTENCIA (voltios) VOLTAJE	MÍNIMA APRESIACIÓN			RPM	
				EJE X	EJE Y	EJE Z	MÍNIMO	MÁXIMO
RECTIFICADORA	GALMEYER	115	*	0.02pulg	NA	0.001pulg	20	2000
								
<p>Figura 120. Rectificadora de FERPA</p>								
<p>NA= No aplica</p> <p>*= Datos no proporcionados por el fabricante.</p>								

4.1.3. TESPA

Es una empresa metalmecánica ubicada al sur de Quito de la que se hará uso de su cizalladora.

Tabla 30.
Máquina que se utilizará en la empresa TESPA

MÁQUINA	MARCA	VOLTAJE	POTENCIA	ESPESOR DE CORTE MÁXIMO	PRESIÓN MÁXIMA
CIZALLA	OMAG	*	*	10mm	100Kp/mm ²



Figura 121. Cizalla hidráulica de TESPA

*= Datos no proporcionados por el fabricante.

4.1.4. SERVICOR

Empresa metalmecánica ubicada en sur de Quito de la que se hará uso de su cortadora con agua a alta presión.

Tabla 31.

Máquinas que se usarán en la empresa SERVICOR

MÁQUINA	MARCA	VOLTAJE	POTENCIA	ESPESOR MÁXIMO DE CORTE	MÁXIMA PRESIÓN	APRECIACIÓN MÍNIMA
CORTADORA CON AGUA A ALTA PRESIÓN	FLOW MASTER	*	*	1pulg	60psi	0.005pulg



Figura 122. Cortadora con agua a alta presión de la empresa SERVICOR

*= Datos no proporcionados por el fabricante.

4.1.5. Fábrica de municiones Santa Bárbara

Empresa metalmecánica ubicada en Sangolquí de la que se hará uso de su máquina CNC torno – fresadora.

Tabla 32.

Máquinas que se usarán en la fábrica de municiones Santa Bárbara

MÁQUINA	MARCA	VOLTAJE	POTENCIA	RPM MÁXIMA	APRECIACIÓN MÍNIMA
CNC TORNO - FRESADOR	ROMI	220 V	*	10000	0.001mm



Figura 123. CNC de la fábrica de municiones Santa Bárbara

*= Datos no proporcionados por el fabricante.

Todas las empresas antes mencionadas poseen personal capacitado profesionalmente en el área asignada, lo que nos garantizará una mejor construcción en las piezas y componentes que se detallarán a continuación.

En las siguientes hojas de procesos se especificarán velocidades de avance, longitud de desbaste y revoluciones por minuto referentes a cada proceso de fabricación; para esto se hará uso de tablas y ecuaciones para taladradoras, tornos y fresadoras, también se tendrá los datos necesarios para completar las hojas de ruta de las maquinas que se usarán para la fabricación de las diferentes partes.

4.2. Velocidades de mecanizado para torneado, fresado y taladrado.

4.2.1 Torneado

Tabla 33.
Velocidades de corte recomendadas para refrentado, cilindrado y rectificado

Refrendado, torneado, rectificación				
Material	Desbastado		Acabado	
	pies/min	m/min	pies/min	m/min
Acero de máquina	90	27	100	30
Acero de herramienta	70	21	90	27
Hierro fundido	60	18	80	24
Bronce	90	27	100	30
Aluminio	200	61	300	93

(Mikell Groover, 2007)

La tabla 33 proporciona velocidades de corte recomendadas para las operaciones de refrentado y cilindrado en torno, con este dato y el dato del material a usarse se ingresa en la tabla 34, en la cual se halla la velocidad de avance que se usará en el torno. La tabla 35 proporciona las revoluciones por minuto del torno mediante los datos del diámetro de la pieza y la velocidad de corte antes hallada.

Tabla 34.
Velocidad de avance, velocidad de corte para mecanizado de diferentes materiales en torno

Material	UIII	Ángulos corte		Avance - en mm rev ⁻¹						Avance - en mm rev ⁻¹			
		°	'	Velocidad de corte v _c en m/min						Fuerza específica de corte k _s Sección de tensiones IV/dm ²			
				0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	0,1	0,2	0,4	0,8
Acero sin alea St 34, St 37, St 42	S5 S	8 5	14 10	60	45	34	25	19	3800	2600	1900	1560	
St 50, St 60	S5 S	8 5	14 10	44	32	24	18	14	4100	2950	2150	1540	
St 70	S5 S	8 5	14 10	32	24	18	13	10	4400	3150	2300	1640	
Acero moldeado	S5 S	8 5	10 6	34	25	19	14	11	3600	2600	1900	1380	
Aceros aleados	S5 S	8 5	10 6	24	17	12	8,5	6	5000	3600	2600	1890	
Ac. Mn, ac. Cr-Ni Ac. Cr-Mo	S5 S	8 5	6 6	16	11	8	5,6		6300	3800	2750	2000	
y otros aceros aleados	S5 S	8 5	6 6	9,5	6	4,8	3,8	3,2	5700	4100	3000	2150	
Ac. de herramientas	S5 S	8 5	6 6	50	40	32	27	18,5	5700	4100	3000	2150	
Ac. duro al Mn	S5 S	8 5	6 6	40	32	25	20	16,7	6800	4800	3500	2520	
Hierro fundido GG-10, GG-15	G5 G	8 5	0 0	48	27	18	14	9,5	1900	1360	1000	720	
GG-20, GG-25	S5 H	8 5	0 0	32	18	13	9,5	6,3	2900	2080	1500	1080	
Fund. maleable	S5 S	8 5	10 10	43	28	20	13	9	2400	1750	1250	920	
Aleaciones de Cu latón	G5 G	8 5	0 6	125	85	56	36		1600	1150	850	600	
Latón rojo	G5 G	8 5	0 6	85	63	48	34	24	1400	1000	700	520	
Fund. de bronce	S5 G	8 5	0 6	63	53	43	36	28	3400	2450	1800	1280	
Metales ligeros Aluminio técnico	G5 G	12 12	30 30	400	300	200	118	75	1050	760	550	400	
Aleaciones de Al (11...13% Si)	S5 G	12 12	18 18	100	67	45	30		1400	1000	700	520	
Aleac. para émbolos GAl-Si (11...13% Si)	S5 G	12 12	14 14	25	22	20	18	17	1250	900	650	480	
Aleaciones de magnesio	S5 G	8 5	6 6	1000	900	800	750	710	580	420	300	220	
Mat. sintét. y prens. Goma dura	S5 G	12 12	10 10	300	280	250	224	200	480	350	250	180	
Masa prens. baquelita Novotex Pertinax	S5 G	12 12	14 14	280	217	170	132	100	480	350	250	180	

1) S5 = acero rápida (Schneidstahl); S, G, H, G = metal duro según DIN

(H.Jutz, 1984)

Tabla 35.
RPM para mecanizado en torno de acuerdo al diámetro de la pieza

Diámetro d	Nº revoluciones n — Velocidad de corte v — Diámetro d											
	Velocidad de corte v en m/min											$v = \pi d n$
	8	10	15	20	25	30	35	40	50	60	100	
Número de revoluciones por minuto												
10	265	318	478	637	796	956	1125	1274	1590	2550	3180	4800
11	231	289	434	580	724	868	1013	1157	1445	2310	2890	4350
12	212	265	398	531	663	796	928	1060	1325	2130	2660	4000
14	182	228	341	458	568	682	796	910	1136	1820	2280	3410
16	159	199	298	398	497	597	695	796	995	1590	1990	2980
18	142	177	265	354	443	530	620	708	885	1420	1770	2660
20	128	159	239	319	398	478	558	637	795	1270	1590	2390
22	116	148	217	290	362	434	505	579	723	1150	1450	2170
25	102	128	192	255	319	383	446	510	638	1020	1280	1910
28	91	114	171	227	284	341	398	455	568	910	1140	1710
32	80	100	149	199	249	298	348	398	498	800	1000	1490
36	71	89	133	177	221	265	310	354	442	710	890	1330
40	64	80	119	159	199	239	278	318	393	640	800	1200
45	57	71	106	142	177	214	248	283	354	570	710	1060
50	51	64	96	127	159	191	223	255	318	510	640	950
55	46	58	87	118	145	174	203	231	298	460	580	870
60	43	53	80	106	133	159	186	212	265	420	530	800
70	36	46	66	91	114	136	169	182	227	360	450	660
80	32	40	60	80	100	119	139	159	199	320	400	600
90	28	35	53	71	89	106	124	142	177	285	355	530
100	26	32	46	64	80	96	111	127	159	255	320	480
110	23	29	43	58	73	87	101	116	145	232	290	435
125	20	26	38	51	64	76	89	102	127	200	255	380
140	18	23	34	46	57	68	80	91	114	180	228	340
160	16	20	30	40	50	60	70	80	100	160	200	300
180	14	17	27	35	44	53	62	71	88	140	175	265
200	12	16	24	32	40	48	56	64	80	125	160	240
220	11,6	14	22	29	36	43	50	57	71	114	143	210
250	10,2	12,7	19	25	32	38	44	51	64	100	125	190
275	9,2	11,6	17	23	29	35	40	47	58	93	115	175
300	8,6	10,8	16	21	26	32	37	43	53	85	105	160
350	7,2	9,1	14	18	22	26	32	36	45	73	91	135
400	6,3	7,9	12	16	20	24	28	32	40	64	80	120

(H.Jutz, 1984)

Luego de hallar en las tablas antes mencionadas los datos de velocidad de corte, velocidad de avance y las revoluciones por minuto en las que trabajará el torno, se puede calcular el tiempo total de mecanizado de un eje tanto en un proceso de refrentado como en un proceso de cilindrado.

$$\mathbf{Tiempo}_{\text{refrentado}}(\text{min}) = \frac{L(\text{mm})}{s \left(\frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right) * n \left(\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right)}$$

Donde:

L= Longitud a torneear

s= Velocidad de avance

n= Revoluciones por minuto

$$\mathbf{Tiempo}_{\text{cilindrado}}(\text{min}) = \frac{r(\text{mm})}{s \left(\frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right) * n \left(\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right)}$$

Donde:

r= Radio a torneear

s= Velocidad de avance

n= Revoluciones por minuto

4.2.2 Taladrado

Ingresando con los datos del material a mecanizar y el diámetro de la broca a usarse la tabla 37 proporciona los datos de velocidades de avance y de corte.

Tabla 36.
Velocidades de avance en fresadoras

Velocidad de corte v — Avance s — Refrigeración									
	v = Velocidad de corte = velocidad periférica en m/min (dependiente del material de la pieza y de la broca, del avance y de la profundidad del agujero) s = Avance por revolución, en mm (dependiente del material de la pieza y de la broca, así como de su diámetro) Tabla de valores para longitud de duración = 2000 mm y profundidad de cada agujero $2 \cdot d$								
	Material	Velocidad de corte para caso de acero de herramientas	Velocidad de corte v en m/min para caso de acero rápido de situación baja						
Diámetro de la broca									
		Ø 8	Ø 10	Ø 15	Ø 20	Ø 25	Ø 30	Ø 35	
Acero hasta 380 N/mm ²	... 20	15	18	22	26	29	32	35	Taladrino o bien aceite de corte y refrigerante
hasta 580 N/mm ²	... 14	13	16	20	23	26	28	29	
hasta 780 N/mm ²	... 10	12	14	16	18	21	23	24	
hasta 980 N/mm ²	...	8	10	13	15	17	18	19	
más de 980 N/mm ²	...	0,015 0,17 mm/rev 6 ... 12 m/min							
Fundición gris hasta 180 N/mm ²	... 14	0,15	0,24	0,3	0,32	0,35	0,38	0,4	En seco o con taladrino abundante
hasta 220 N/mm ²	... 10	24	28	32	34	37	39	40	
hasta 280 N/mm ²	... 8	16	18	21	24	26	27	28	
Latón hasta 380 N/mm ²	... 40	0,1	0,15	0,22	0,27	0,3	0,32	0,36	Taladrino o aceites minerales
hasta 580 N/mm ²	... 25	60 ... 70 m/min							
Bronce hasta 280 N/mm ²	... 15	0,07	0,12	0,18	0,24	0,25	0,28	0,32	
hasta 680 N/mm ²	... 12	40 ... 60 m/min							
Aluminio técnico	... 50	0,1	0,15	0,22	0,27	0,3	0,32	0,36	Taladrino o aceites de corte y refrigerantes
aleaciones de aluminio	... 40	30 ... 40 m/min							
aleaciones de Magnesio	... 80	0,05	0,08	0,12	0,18	0,2	0,22	0,26	En seco o con aceites especiales
Materiales prensados, no estratificados	... 15	25 ... 35 m/min							
		0,05	0,12	0,2	0,3	0,35	0,4	0,46	Taladrino o aceites de corte y refrigerantes
		80 ... 120 m/min							
		0,12	0,2	0,3	0,4	0,46	0,5	0,6	En seco o con aceites especiales
		100 ... 150 m/min							
		0,15	0,2	0,3	0,38	0,4	0,45	0,5	Aire comprimido
		200 ... 250 m/min							
		0,04	0,05	0,07	0,1	0,12	0,15	0,17	Aire comprimido
		35 ... 45 m/min							

(H.Jutz, 1984)

Luego de hallar en las tablas antes mencionadas los datos de velocidad de corte y velocidad de avance en las que trabajará el taladro se podrá calcular el tiempo total de mecanizado y las revoluciones por minuto con las que trabajará el taladro.

$$Tiempo_{taladrado}(\text{min}) = \frac{(L(\text{mm}) + 0.3d(\text{mm})) * \pi * d(\text{mm})}{s\left(\frac{\text{mm}}{\text{rev}}\right) * v\left(\frac{\text{m}}{\text{min}}\right) * 1000}$$

Donde:

L= Longitud que atravesará la broca.

d= Diámetro de la broca

s= Velocidad de avance del taladro.

v= Velocidad de corte del taladro.

$$Revoluciones\ por\ minuto\left(\frac{rev}{min}\right) = \frac{L(\text{mm}) + 0.3d(\text{mm})}{s\left(\frac{\text{mm}}{\text{rev}}\right) * tiempo(\text{min})}$$

Donde:

L= Longitud que atravesará la broca.

d= Diámetro de la broca

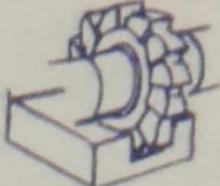
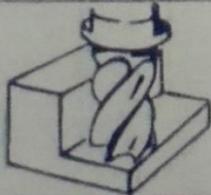
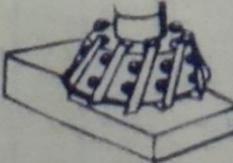
s= Velocidad de avance del taladro.

t= Tiempo de maquinado.

4.2.3. Fresadora y rectificadora

Conociendo los datos del material de la pieza y la orientación del útil para el corte, la tabla 38 proporciona los datos de las velocidades de avance y de corte, también permite elegir entre un mecanizados de desbaste y de afinado; las revoluciones por minuto serán dadas por la máquina q se usará y la experiencia del trabajador.

Tabla 37.
Velocidades de corte y avance en fresadoras

Valores de orientación para velocidad de corte y avance														
	Fresa cilíndrica				Fresa cilíndrica frontal				Fresa de disco					
														
Anchura fresado b									$b = 20 \text{ mm}$					
	Desbastado		Afinado		Desbastado		Afinado		Desbastado		Afinado			
Profund. corte a					$0,5 \text{ mm}$				10 mm					
	Veloc. corte	Avance	Veloc. corte	Avance	Veloc. corte	Avance	Veloc. corte	Avance	Veloc. corte	Avance	Veloc. corte	Avance	Veloc. corte	Avance
	v	s'	v	s'	v	s'	v	s'	v	s'	v	s'	v	s'
	m/min	mm/min	m/min	mm/min	m/min	mm/min	m/min	mm/min	m/min	mm/min	m/min	mm/min	m/min	mm/min
Ac. sin alea. hasta 840 N/mm ²	17	100	22	60	17	100	22	70	18	100	22	40		
Ac. aleado, recoc. hasta 740 N/mm ²	14	80	18	50	14	90	18	55	14	80	18	30		
Ac. aleado bonificado hasta 980 N/mm ²	10	50	14	36	10	55	14	42	12	50	14	25		
Fundición gris hasta 180 HB	12	120	18	60	12	140	18	70	14	120	18	40		
Latón	35	70	35	80	36	190	55	150	36	150	55	75		
Metal ligero	200	200	250	100	200	250	250	110	200	200	250	100		
	Fresa de vástago				Plato de cuchillos				Sierras					
														
Anchura fresado b	$b = 25 \text{ mm}$				$b = 180 \text{ mm}$				$b = 7,5 \text{ mm}$					
	Desbastado		Afinado		Desbastado		Afinado		Desbastado					
Profund. corte a	5 mm		$0,5 \text{ mm}$		5 mm		$0,5 \text{ mm}$		10 mm					
	Veloc. corte	Avance	Veloc. corte	Avance	Veloc. corte	Avance	Veloc. corte	Avance	Veloc. corte	Avance	Veloc. corte	Avance		
	v	s'	v	s'	v	s'	v	s'	v	s'	v	s'		
	m/min	mm/min	m/min	mm/min	m/min	mm/min	m/min	mm/min	m/min	mm/min	m/min	mm/min		
Ac. sin alea. hasta 840 N/mm ²	17	50	22	120	20	65	30	50	45	50				
Ac. aleado, recoc. hasta 740 N/mm ²	15	40	19	100	16	36	23	40	35	40				
Ac. aleado bonificado hasta 980 N/mm ²	13	20	17	65	14	20	18	30	25	30				
Fundición gris, hasta 180 HB	15	60	19	120	16	100	24	90	35	50				
Latón	35	80	55	120	50	200	60	120	350	200				
Metal ligero	160	90	180	120	250	250	300	90	320	180				

(H.Jutz, 1984)

Luego de hallar en la tabla antes mencionada los datos de velocidad de avance y con la longitud del trayecto de corte se calcula el tiempo total de mecanizado.

$$Tiempo_{fresado}(\text{min}) = \frac{L(\text{mm})}{s\left(\frac{\text{mm}}{\text{min}}\right)}$$

Donde:

L= Longitud del trayecto de trabajo según tabla 39.

s= Velocidad de avance de la fresadora

4.3. Planos De taller

Ver ANEXOS A

4.4. Hoja de procesos de las principales piezas manufacturadas.

Ver ANEXOS B

CAPÍTULO V

TOMA DE DATOS, AJUSTE DE CURVAS, PUESTA A PUNTO DEL EQUIPO Y PRUEBAS

5.1. Selección del equipo o patrón para calibración del verificador de comparadores

Para la calibración del equipo verificador de comparadores es necesario usar patrones de caras paralelas que garanticen errores mínimos y una mayor precisión; o instrumentos de menor apreciación certificados.

Se consideraron 2 alternativas:

- Un comparador de reloj preciso y exacto.
- Bloques patrón de caras paralelas del laboratorio de metrología de la Universidad de las Fuerzas armadas ESPE.

Debido a que el laboratorio de metrología de las Fuerzas Armadas ESPE no dispone de patrones de caras paralelas ni comparadores de reloj certificados; se optó por adquirir un comparador digital Mitutoyo 543-390B de 0.001mm de apreciación.



Figura 124. Comparador digital escogido para calibración del verificador de comparadores

5.1.1. Prueba para calcular errores del comparador digital Mitutoyo

Se asegura la cabeza micrométrica en el porta cabeza micrométrica, a su vez este se monta en el stand de transferencia con avance fino.

El comparador de reloj se coloca en un soporte magnético de modo que la punta palpadora haga contacto con la punta del husillo de la cabeza micrométrica, tal como se muestra en la figura 125.

Con el avance fino del stand de transferencia, encerrar los 2 equipos para iniciar la toma de medidas.

El objetivo de esta prueba es que el comparador digital sea verificado por la cabeza micrométrica.

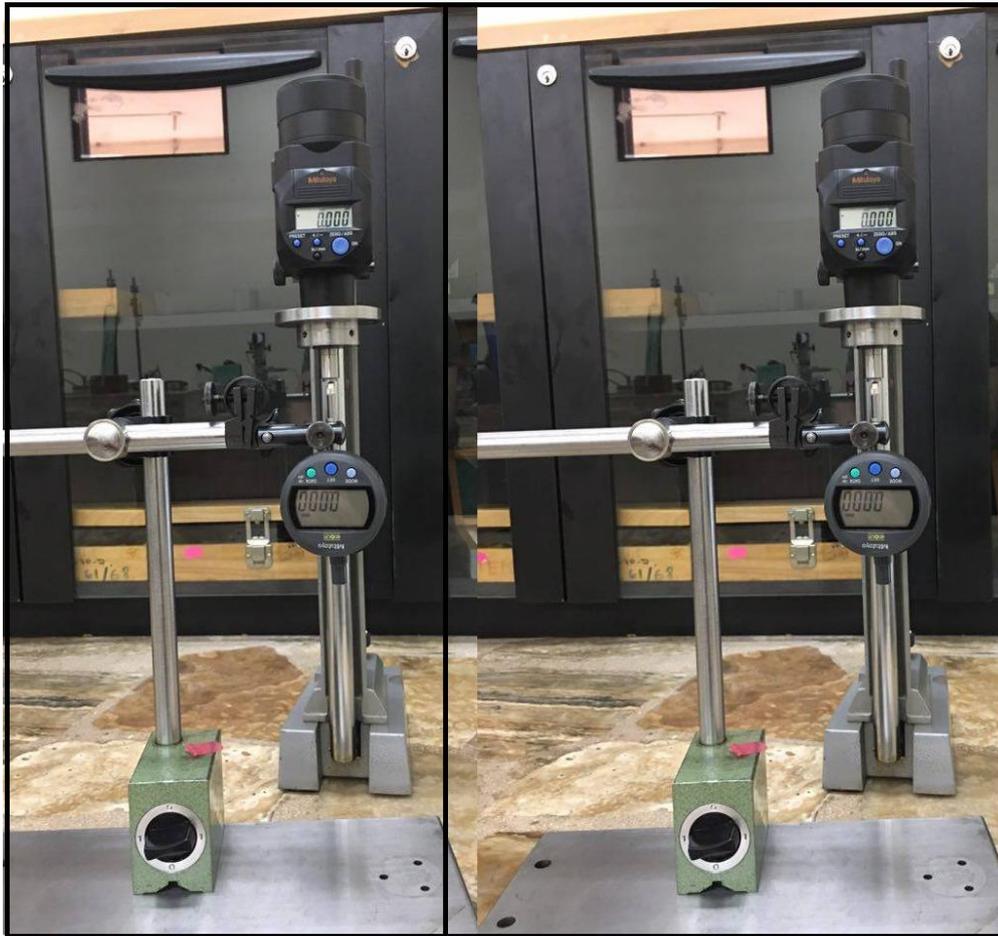


Figura 125. Instalación para comparar variaciones de medidas entre el comparador digital y la cabeza micrométrica

Tabla 38.

Pruebas para verificar el estado del comparador digital

Medida No.	Medida Pt	Medida Pp	Medidas del comparador (Xi)					\bar{x}_1	estándar Desviación	$(\bar{x}_1 - Pp)$ Desviación
			1	2	3	4	5			
1	1,588	1,600	1,598	1,597	1,598	1,600	1,602	1,599	0,002	-0,001
2	3,175	3,220	3,219	3,220	3,222	3,220	3,219	3,220	0,001	0,000
3	4,763	4,809	4,804	4,809	4,811	4,805	4,804	4,807	0,003	-0,002
4	6,350	6,400	6,394	6,396	6,404	6,400	6,401	6,399	0,004	-0,001

Continua →

5	7,938	8,005	8,003	8,007	8,005	8,000	8,003	8,004	0,003	-0,001
6	9,525	9,504	9,498	9,510	9,506	9,499	9,501	9,503	0,005	-0,001
7	11,113	11,104	11,101	11,104	11,100	11,110	11,104	11,104	0,004	0,000
<p>Pt= Medida teórica, resultado de dividir el alcance para 8.</p> <p>Pp= Medida practicable más próxima a Pt.</p>										

La prueba proporcionó una desviación máxima en el comparador digital de 0.002 milímetros verificando así que este equipo se encuentra en óptimas condiciones de trabajo; ya que los 2 equipos entregan un error máximo combinado de 0.006mm.

5.1.2. Prueba para calcular desviaciones de medidas de los bloques patrón



Figura 126. Instalación para comparar variaciones de medidas entre el comparador digital y los patrones de caras paralelas

Tabla 39.
Pruebas para verificar el estado de los patrones de caras paralelas

Medida No.	Medida Pt	Medida Pp	Patrones utilizados	Medidas del comparador (Xi)					\bar{x}_1	Desviación estándar	Desviación $(\bar{x}_1 - Pp)$
				1	2	3	4	5			
1	1,59	1,60	1,60	1,618	1,614	1,639	1,637	1,634	1,628	0,012	0,028
2	3,18	3,20	2.00+	3,196	3,185	3,208	3,207	3,206	3,200	0,010	0,000
			1.20								
3	4,76	4,80	3.00+	4,79	4,778	4,799	4,802	4,8	4,794	0,010	0,006
			1.80								
4	6,35	6,40	5.00+	6,385	6,375	6,406	6,402	6,396	6,393	0,012	0,007
			1.40								
5	7,94	8,00	8.00	7,961	7,952	7,977	7,972	7,973	7,967	0,010	0,033
			7.00+								
6	9,53	9,50	1.00+	9,474	9,458	9,482	9,485	9,483	9,476	0,011	0,024
			1.50								
7	11,11	11,10	10.00+	11,038	11,018	11,085	11,082	11,079	11,060	0,030	-0,040
			1.10								

Pt= Medida teórica, resultado de dividir el alcance para 8.
Pp= Medida practicable más próxima a Pt.

En esta prueba se colocó el comparador digital de tal manera que pueda verificar los bloques patrón como se muestra en la figura 126.

La prueba mostró una desviación máxima en los bloques patrón de 0.040 mm demostrándose así que los patrones no son adecuados para calibrar el equipo verificador.

Por los resultados anteriores se concluye que el equipo óptimo para calibrar el verificador de comparadores es el comparador digital Mitutoyo.

5.2. Toma de datos y ajuste de curvas

El valor de la medida del verificador se muestra en la pantalla de la computadora, para hallar este valor se consideraron los datos del comparador digital como referencia. Se tomaron 53 datos tanto del reloj digital como de la cabeza micrométrica y se modelaron varias ecuaciones; de modo que el programa al recibir los datos de la cabeza micrométrica, ingrese los mismos en la ecuación antes encontrada y se despliegue en la pantalla la medida del verificador de comparadores.

5.2.1. Cabeza micrométrica por una constante

Tabla 40. Prueba para hallar una relación directa entre cabeza micrométrica y comparador digital

COMPARADOR DIGITAL	CABEZA MICROMÉTRICA	RELACIÓN	CONSTANTE	DESVIACIÓN
1	2	3	5 (2÷4)	6 (5-1)
-0.100	-1.041	10.410	-0.1023	-0.0023
0.000	0.001			
0.100	1.030	10.300	0.1012	0.0012
0.200	2.059	10.295	0.2024	0.0024
0.300	3.090	10.300	0.3037	0.0037
0.400	4.112	10.280	0.4042	0.0042
0.500	5.141	10.282	0.5053	0.0053
0.600	6.165	10.275	0.6060	0.0060
0.700	7.190	10.271	0.7067	0.0067
0.800	8.212	10.265	0.8072	0.0072
0.900	9.234	10.260	0.9076	0.0076
1.000	10.252	10.252	1.0077	0.0077
1.100	11.274	10.249	1.1081	0.0081
1.200	12.285	10.238	1.2075	0.0075
1.300	13.304	10.234	1.3076	0.0076

Continua →

1.400	14.317	10.226	1.4072	0.0072
1.500	15.337	10.225	1.5075	0.0075
1.600	16.353	10.221	1.6073	0.0073
1.701	17.373	10.213	1.7076	0.0066
1.800	18.369	10.205	1.8055	0.0055
1.900	19.383	10.202	1.9051	0.0051
2.000	20.388	10.194	2.0039	0.0039
2.100	21.398	10.190	2.1032	0.0032
2.200	22.403	10.183	2.2020	0.0020
2.300	23.415	10.180	2.3014	0.0014
2.400	24.417	10.174	2.3999	-0.0001
2.500	25.423	10.169	2.4988	-0.0012
2.601	26.437	10.164	2.5985	-0.0025
2.700	27.431	10.160	2.6962	-0.0038
2.800	28.428	10.153	2.7942	-0.0058
2.900	29.429	10.148	2.8926	-0.0074
3.000	30.430	10.143	2.9909	-0.0091
3.100	31.438	10.141	3.0900	-0.0100
3.200	32.432	10.135	3.1877	-0.0123
3.300	33.436	10.132	3.2864	-0.0136
3.400	34.426	10.125	3.3837	-0.0163
3.500	35.425	10.121	3.4819	-0.0181
3.600	36.421	10.117	3.5798	-0.0202
3.700	37.417	10.113	3.6777	-0.0223
3.800	38.408	10.107	3.7751	-0.0249
3.900	39.401	10.103	3.8727	-0.0273
4.000	40.392	10.098	3.9701	-0.0299
4.100	41.385	10.094	4.0677	-0.0323
4.200	42.371	10.088	4.1646	-0.0354
4.300	43.366	10.085	4.2624	-0.0376
4.400	44.348	10.079	4.3589	-0.0411
4.500	45.332	10.074	4.4556	-0.0444
4.600	46.321	10.070	4.5529	-0.0471
4.700	47.306	10.065	4.6497	-0.0503

Continua →

4.800	48.290	10.060	4.7464	-0.0536
4.900	49.281	10.057	4.8438	-0.0562
5.000	50.290	10.058	4.9430	-0.0570
5.102	51.361	10.067	5.0482	-0.0538
PROMEDIO DE LA RELACIÓN		10.174		
4				

Se tomaron 53 datos del comparador digital vs los datos generados por la cabeza micrométrica, se buscó la relación entre estos datos y se obtuvo su promedio, este valor se dividirá a los datos de la cabeza micrométrica para adquirir el valor total del equipo verificador de comparadores.

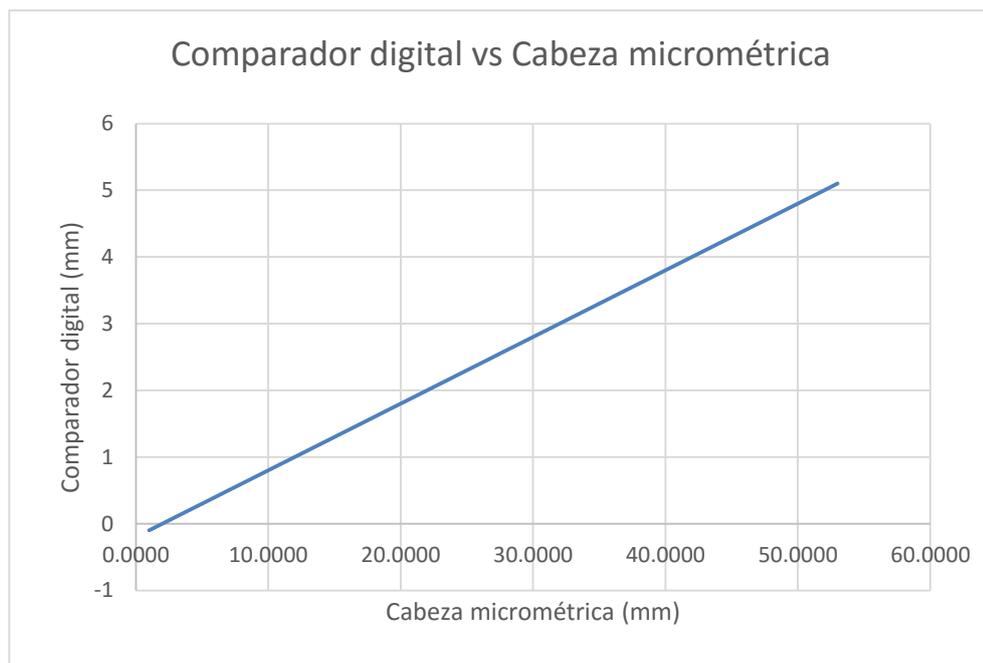


Figura 127. Gráfica de la relación directa entre cabeza micrométrica y comparador digital

Ya dividida la constante se obtiene un comportamiento lineal en la toma de datos, donde la desviación mínima entre las medidas del comparador digital y el verificador de comparadores es de -0.0001mm y la máxima es de -0.057mm , la tabla 47 muestra que se pueden verificar equipos comparadores

de 0.01mm de apreciación y de máximo 3mm de alcance ya que hasta ese alcance cumple con ser un equipo verificador más preciso que el comparador a verificar.

5.2.2. Cabeza micrométrica por ajuste lineal

Tabla 41. Prueba para hallar una relación lineal entre cabeza micrométrica y comparador digital

COMPARADOR DIGITAL	CABEZA MICROMÉTRICA	EC. LINEAL	DESVIACIÓN
1	2	7	8
-0.100	-1.041	-0.1218	-0.0218
0.000	0.001	-0.0181	-0.0181
0.100	1.030	0.0843	-0.0157
0.200	2.059	0.1867	-0.0133
0.300	3.090	0.2893	-0.0107
0.400	4.112	0.3909	-0.0091
0.500	5.141	0.4933	-0.0067
0.600	6.165	0.5952	-0.0048
0.700	7.190	0.6972	-0.0028
0.800	8.212	0.7989	-0.0011
0.900	9.234	0.9006	0.0006
1.000	10.252	1.0019	0.0019
1.100	11.274	1.1036	0.0036
1.200	12.285	1.2042	0.0042
1.300	13.304	1.3055	0.0055
1.400	14.317	1.4063	0.0063
1.500	15.337	1.5078	0.0078
1.600	16.353	1.6089	0.0089
1.701	17.373	1.7104	0.0094

Continúa →

1.800	18.369	1.8095	0.0095
1.900	19.383	1.9104	0.0104
2.000	20.388	2.0104	0.0104
2.100	21.398	2.1109	0.0109
2.200	22.403	2.2109	0.0109
2.300	23.415	2.3116	0.0116
2.400	24.417	2.4113	0.0113
2.500	25.423	2.5114	0.0114
2.601	26.437	2.6123	0.0113
2.700	27.431	2.7112	0.0112
2.800	28.428	2.8104	0.0104
2.900	29.429	2.9100	0.0100
3.000	30.430	3.0096	0.0096
3.100	31.438	3.1099	0.0099
3.200	32.432	3.2088	0.0088
3.300	33.436	3.3087	0.0087
3.400	34.426	3.4072	0.0072
3.500	35.425	3.5066	0.0066
3.600	36.421	3.6057	0.0057
3.700	37.417	3.7048	0.0048
3.800	38.408	3.8034	0.0034
3.900	39.401	3.9022	0.0022
4.000	40.392	4.0008	0.0008
4.100	41.385	4.0996	-0.0004
4.200	42.371	4.1977	-0.0023
4.300	43.366	4.2967	-0.0033
4.400	44.348	4.3944	-0.0056
4.500	45.332	4.4923	-0.0077
4.600	46.321	4.5907	-0.0093
4.700	47.306	4.6887	-0.0113
4.800	48.290	4.7867	-0.0133

Continua →

4.900	49.281	4.8853	-0.0147
5.000	50.290	4.9857	-0.0143
5.102	51.361	5.0922	-0.0098

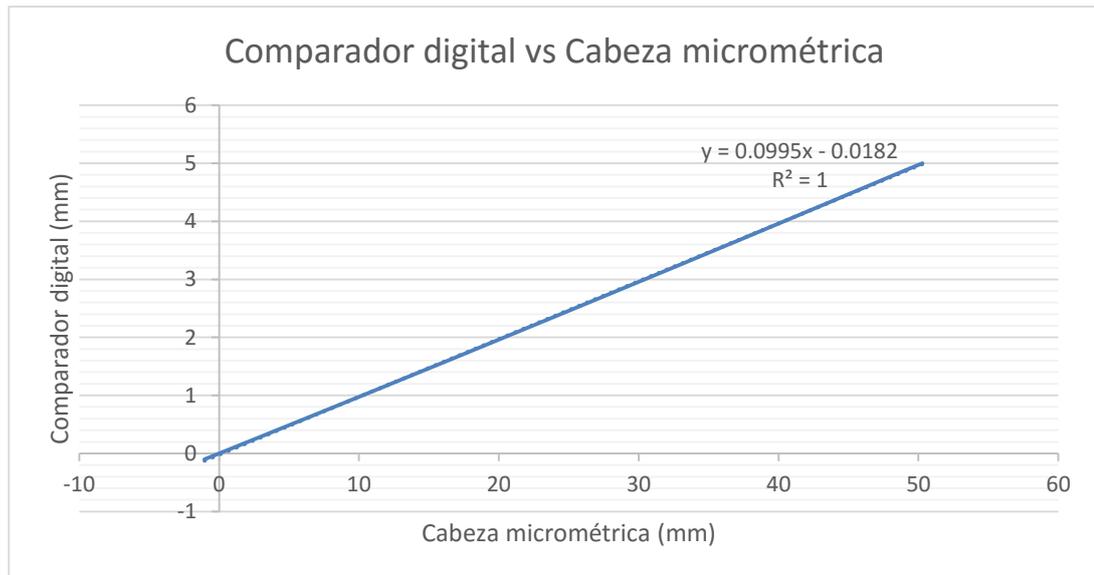


Figura 128. Gráfica de la relación lineal entre cabeza micrométrica y comparador digital

Se obtiene un comportamiento lineal en la toma de datos, luego se realiza un ajuste lineal a la recta, obteniendo así la relación $y = 0,0995x - 0,0182$, siendo “y” el comparador digital y “x” los datos de la cabeza micrométrica, ya aplicada la relación se observa una desviación mínima 0.0006mm y la máxima es de -0.0218mm entre el comparador digital y el verificador de comparadores, pero no se podrían verificar comparadores de 0.01mm ya que desde el primer dato genera variaciones de mayor valor que el comparador a verificar.

5.2.3. Cabeza micrométrica por ajuste cuadrático

Tabla 42.

Prueba para hallar una relación cuadrática entre cabeza micrométrica y comparador digital

<i>COMPARADOR DIGITAL</i>	<i>CABEZA MICROMÉTRICA</i>	<i>EC. CUADRÁTICA</i>	<i>DESVIACIÓN</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
-0.100	-1.041	-0.1006	-0.0006
0.000	0.001	-0.0005	-0.0005
0.100	1.030	0.0996	-0.0004
0.200	2.059	0.1997	-0.0003
0.300	3.090	0.3002	0.0002
0.400	4.112	0.3999	-0.0001
0.500	5.141	0.5004	0.0004
0.600	6.165	0.6005	0.0005
0.700	7.190	0.7009	0.0009
0.800	8.212	0.8010	0.0010
0.900	9.234	0.9012	0.0012
1.000	10.252	1.0011	0.0011
1.100	11.274	1.1016	0.0016
1.200	12.285	1.2010	0.0010
1.300	13.304	1.3014	0.0014
1.400	14.317	1.4013	0.0013
1.500	15.337	1.5019	0.0019
1.600	16.353	1.6023	0.0023
1.701	17.373	1.7031	0.0021
1.800	18.369	1.8017	0.0017
1.900	19.383	1.9022	0.0022
2.000	20.388	2.0019	0.0019
2.100	21.398	2.1022	0.0022

Continua →

2.200	22.403	2.2021	0.0021
2.300	23.415	2.3028	0.0028
2.400	24.417	2.4025	0.0025
2.500	25.423	2.5028	0.0028
2.601	26.437	2.6040	0.0030
2.700	27.431	2.7033	0.0033
2.800	28.428	2.8030	0.0030
2.900	29.429	2.9032	0.0032
3.000	30.430	3.0035	0.0035
3.100	31.438	3.1046	0.0046
3.200	32.432	3.2044	0.0044
3.300	33.436	3.3053	0.0053
3.400	34.426	3.4049	0.0049
3.500	35.425	3.5055	0.0055
3.600	36.421	3.6058	0.0058
3.700	37.417	3.7063	0.0063
3.800	38.408	3.8064	0.0064
3.900	39.401	3.9068	0.0068
4.000	40.392	4.0071	0.0071
4.100	41.385	4.1077	0.0077
4.200	42.371	4.2076	0.0076
4.300	43.366	4.3086	0.0086
4.400	44.348	4.4084	0.0084
4.500	45.332	4.5084	0.0084
4.600	46.321	4.6091	0.0091
4.700	47.306	4.7094	0.0094
4.800	48.290	4.8098	0.0098
4.900	49.281	4.9109	0.0109
5.000	50.290	5.0140	0.0140
5.102	51.361	5.1236	0.0216

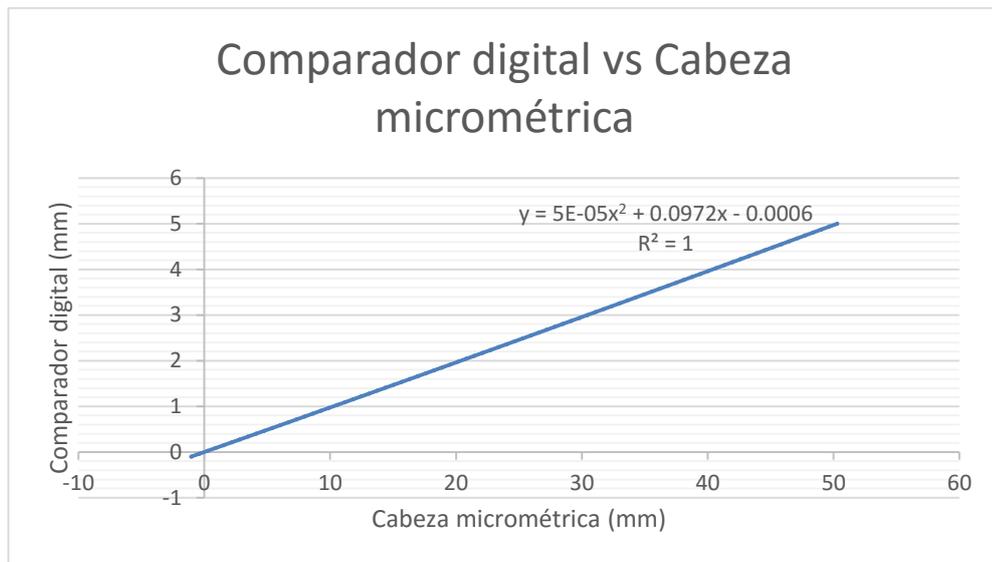


Figura 129. Gráfica de la relación polinómica de orden 2 entre cabeza micrométrica y comparador digital

Se realiza un ajuste cuadrático, obteniendo así la relación $y = 5E-05x^2 + 0,0972x - 0,0006$, siendo “y” el comparador digital y “x” los datos de la cabeza micrométrica, ya aplicada la relación se obtiene una desviación mínima de -0.0001mm y la máxima es de 0.0216mm entre el comparador digital y el verificador de comparadores, la tabla 42 muestra que se pueden verificar equipos comparadores de 0.001mm de apreciación y de máximo 0.7mm de alcance ya que hasta ese alcance cumple con ser un equipo verificador más preciso que el comparador a verificar, también muestra que se pueden verificar equipos comparadores de 0.01mm de apreciación y de máximo 4.8mm de alcance ya que hasta ese alcance cumple con ser un equipo verificador más preciso que el comparador a verificar.

5.2.4. Cabeza micrométrica por ajuste cúbico

Tabla 43.

Prueba para hallar una relación cúbica entre cabeza micrométrica y comparador digital

COMPARADOR DIGITAL	CABEZA MICROMÉTRICA	EC. CÚBICA	DESVIACIÓN
1	2	11	12
-0.100	-1.041	-0.1008	-0.0008
0.000	0.001	0.0002	0.0002
0.100	1.030	0.1001	0.0001
0.200	2.059	0.2001	0.0001
0.300	3.090	0.3004	0.0004
0.400	4.112	0.4000	0.0000
0.500	5.141	0.5003	0.0003
0.600	6.165	0.6003	0.0003
0.700	7.190	0.7006	0.0006
0.800	8.212	0.8006	0.0006
0.900	9.234	0.9008	0.0008
1.000	10.252	1.0006	0.0006
1.100	11.274	1.1010	0.0010
1.200	12.285	1.2004	0.0004
1.300	13.304	1.3007	0.0007
1.400	14.317	1.4006	0.0006
1.500	15.337	1.5012	0.0012
1.600	16.353	1.6015	0.0015
1.701	17.373	1.7023	0.0013
1.800	18.369	1.8009	0.0009
1.900	19.383	1.9013	0.0013
2.000	20.388	2.0010	0.0010
2.100	21.398	2.1012	0.0012

2.200	22.403	2.2011	0.0011
2.300	23.415	2.3017	0.0017
2.40	24.417	2.4014	0.0014
2.500	25.423	2.5016	0.0016
2.601	26.437	2.6027	0.0017
2.700	27.431	2.7019	0.0019
2.800	28.428	2.8015	0.0015
2.900	29.429	2.9016	0.0016
3.000	30.430	3.0017	0.0017
3.100	31.438	3.1027	0.0027
3.200	32.432	3.2023	0.0023
3.300	33.436	3.3030	0.0030
3.400	34.426	3.4024	0.0024
3.500	35.425	3.5027	0.0027
3.600	36.421	3.6029	0.0029
3.700	37.417	3.7031	0.0031
3.800	38.408	3.8029	0.0029
3.900	39.401	3.9029	0.0029
4.000	40.392	4.0028	0.0028
4.100	41.385	4.1030	0.0030
4.200	42.371	4.2026	0.0026
4.300	43.366	4.3031	0.0031
4.400	44.348	4.4024	0.0024
4.500	45.332	4.5020	0.0020
4.600	46.321	4.6021	0.0021
4.700	47.306	4.7019	0.0019
4.800	48.290	4.8016	0.0016
4.900	49.281	4.9021	0.0021
5.000	50.290	5.0045	0.0045
5.102	51.361	5.1133	0.0113

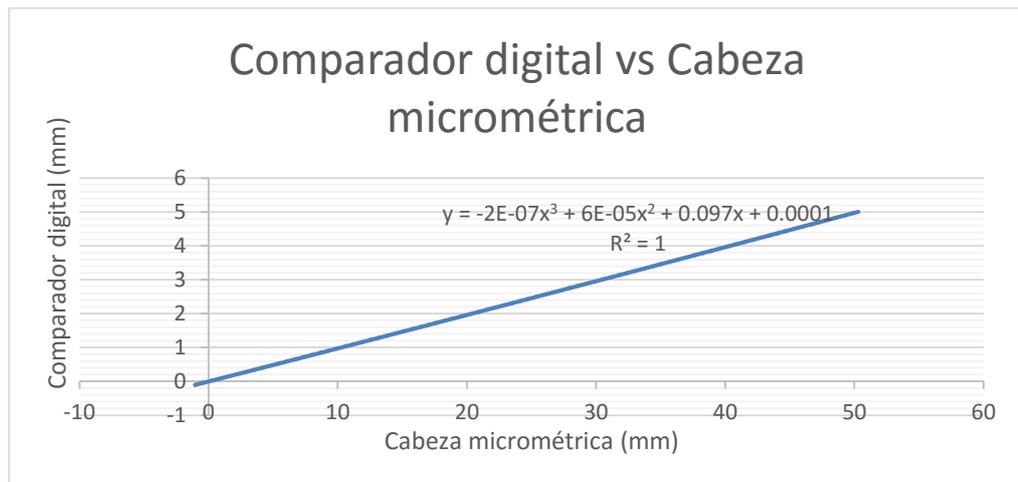


Figura 130. Gráfica de la relación polinómica de orden 3 entre cabeza micrométrica y comparador digital

Se realiza un ajuste polinómico de orden 3, obteniendo así la relación $y = -2E-07x^3 + 6E-05x^2 + 0,097x + 0,0001$, siendo “y” el comparador digital y “x” los datos de la cabeza micrométrica, ya aplicada la relación se obtiene una desviación mínima 0.0000mm y la máxima es de 0.0113mm entre el comparador digital y el verificador de comparadores, la tabla 43 muestra que se pueden verificar equipos comparadores de 0.001mm de apreciación y de máximo 1mm de alcance ya que hasta ese alcance cumple con ser un equipo verificador más preciso que el comparador a verificar, también esto muestra que se pueden verificar equipos comparadores de 0.01mm de apreciación y de máximo 5mm de alcance ya que hasta ese alcance cumple con ser un equipo verificador más preciso que el comparador a verificar.

5.2.5. Cabeza micrométrica por ajuste polinómico de orden 4

Tabla 44.

Prueba para hallar una relación polinómica de orden 4 entre cabeza micrométrica y comparador digital

COMPARADOR DIGITAL	CABEZA MICROMÉTRICA	EC. ORDEN 4	DESVIACIÓN
1	2	13	14
-0.100	-1.041	-0.1006	-0.0006
0.000	0.001	0.0003	0.0003
0.100	1.030	0.1001	0.0001
0.200	2.059	0.2000	0.0000
0.300	3.090	0.3002	0.0002
0.400	4.112	0.3996	-0.0004
0.500	5.141	0.4999	-0.0001
0.600	6.165	0.5998	-0.0002
0.700	7.190	0.6999	-0.0001
0.800	8.212	0.7998	-0.0002
0.900	9.234	0.8999	-0.0001
1.000	10.252	0.9996	-0.0004
1.100	11.274	1.0999	-0.0001
1.200	12.285	1.1992	-0.0008
1.300	13.304	1.2993	-0.0007
1.400	14.317	1.3990	-0.0010
1.500	15.337	1.4995	-0.0005
1.600	16.353	1.5997	-0.0003
1.701	17.373	1.7004	-0.0006
1.800	18.369	1.7988	-0.0012
1.900	19.383	1.8991	-0.0009
2.000	20.388	1.9985	-0.0015
2.100	21.398	2.0986	-0.0014

Continua →

2.200	22.403	2.1983	-0.0017
2.300	23.415	2.2988	-0.0012
2.400	24.417	2.3983	-0.0017
2.500	25.423	2.4984	-0.0016
2.601	26.437	2.5993	-0.0017
2.700	27.431	2.6984	-0.0016
2.800	28.428	2.7978	-0.0022
2.900	29.429	2.8977	-0.0023
3.000	30.430	2.9977	-0.0023
3.100	31.438	3.0985	-0.0015
3.200	32.432	3.1979	-0.0021
3.300	33.436	3.2985	-0.0015
3.400	34.426	3.3978	-0.0022
3.500	35.425	3.4980	-0.0020
3.600	36.421	3.5980	-0.0020
3.700	37.417	3.6981	-0.0019
3.800	38.408	3.7978	-0.0022
3.900	39.401	3.8978	-0.0022
4.000	40.392	3.9976	-0.0024
4.100	41.385	4.0978	-0.0022
4.200	42.371	4.1973	-0.0027
4.300	43.366	4.2978	-0.0022
4.400	44.348	4.3971	-0.0029
4.500	45.332	4.4967	-0.0033
4.600	46.321	4.5968	-0.0032
4.700	47.306	4.6967	-0.0033
4.800	48.290	4.7965	-0.0035
4.900	49.281	4.8971	-0.0029
5.000	50.290	4.9997	-0.0003

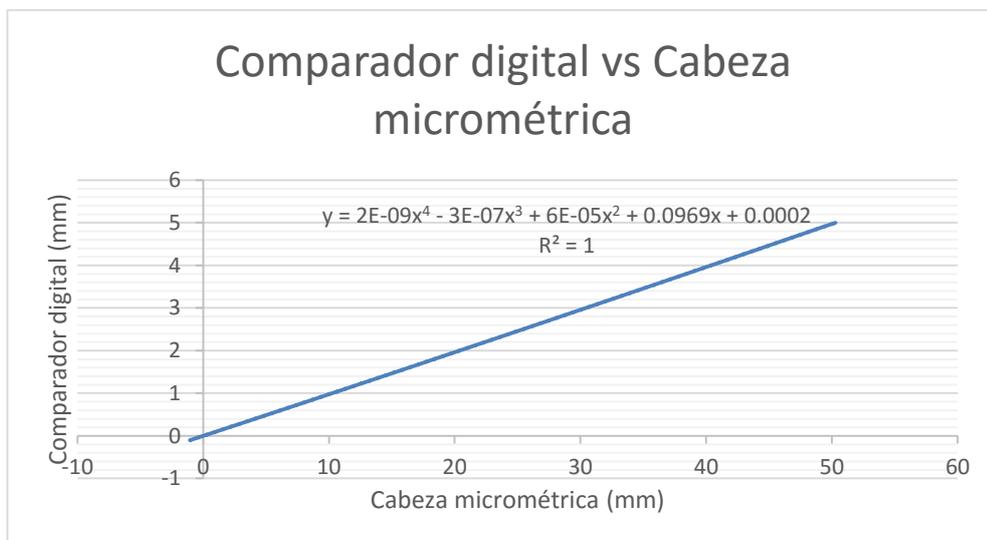


Figura 131. Gráfica de la relación polinómica de orden 4 entre cabeza micrométrica y comparador digital

Se realiza un ajuste polinómico de orden 4, obteniendo así la relación $y = 2E-09x^4 - 3E-07x^3 + 6E-05x^2 + 0,0969x + 0,0002$, siendo “y” el comparador digital y “x” los datos de la cabeza micrométrica, ya aplicada la relación se obtiene una desviación mínima 0.0000mm y la máxima es de 0.0066mm entre el comparador digital y el verificador de comparadores, la tabla 44 muestra que se pueden verificar equipos comparadores de 0.001mm de apreciación y de máximo 1.3mm de alcance ya que hasta ese alcance cumple con ser un equipo verificador más preciso que el comparador a verificar, también muestra que se pueden verificar equipos comparadores de 0.01mm de apreciación y de máximo 5mm de alcance ya que hasta ese alcance cumple con ser un equipo verificador más preciso que el comparador a verificar.

5.2.6. Cabeza micrométrica por ajuste polinómico de orden 5

Tabla 45.

Prueba para hallar una relación polinómica de orden 5 entre cabeza micrométrica y comparador digital

COMPARADOR DIGITAL	CABEZA MICROMÉTRICA	EC. ORDEN 5	DESVIACIÓN
1	2	15	16
-0.100	-1.041	-0.1002	-0.0002
0.000	0.001	0.0005	0.0005
0.100	1.030	0.1001	0.0001
0.200	2.059	0.1999	-0.0001
0.300	3.090	0.3001	0.0001
0.400	4.112	0.3996	-0.0004
0.500	5.141	0.4999	-0.0001
0.600	6.165	0.6000	0.0000
0.700	7.190	0.7002	0.0002
0.800	8.212	0.8003	0.0003
0.900	9.234	0.9006	0.0006
1.000	10.252	1.0006	0.0006
1.100	11.274	1.1012	0.0012
1.200	12.285	1.2008	0.0008
1.300	13.304	1.3013	0.0013
1.400	14.317	1.4013	0.0013
1.500	15.337	1.5022	0.0022
1.600	16.353	1.6028	0.0028
1.701	17.373	1.7040	0.0030
1.800	18.369	1.8029	0.0029
1.900	19.383	1.9037	0.0037
2.000	20.388	2.0038	0.0038
2.100	21.398	2.1045	0.0045

Continua →

2.200	22.403	2.2048	0.0048
2.300	23.415	2.3060	0.0060
2.400	24.417	2.4063	0.0063
2.500	25.423	2.5072	0.0072
2.601	26.437	2.6091	0.0081
2.700	27.431	2.7090	0.0090
2.800	28.428	2.8095	0.0095
2.900	29.429	2.9105	0.0105
3.000	30.430	3.0117	0.0117
3.100	31.438	3.1137	0.0137
3.200	32.432	3.2145	0.0145
3.300	33.436	3.3165	0.0165
3.400	34.426	3.4172	0.0172
3.500	35.425	3.5190	0.0190
3.600	36.421	3.6207	0.0207
3.700	37.417	3.7225	0.0225
3.800	38.408	3.8240	0.0240
3.900	39.401	3.9259	0.0259
4.000	40.392	4.0277	0.0277
4.100	41.385	4.1300	0.0300
4.200	42.371	4.2316	0.0316
4.300	43.366	4.3343	0.0343
4.400	44.348	4.4359	0.0359
4.500	45.332	4.5378	0.0378
4.600	46.321	4.6403	0.0403
4.700	47.306	4.7426	0.0426
4.800	48.290	4.8449	0.0449
4.900	49.281	4.9480	0.0480
5.000	50.290	5.0531	0.0531
5.102	51.361	5.1648	0.0628

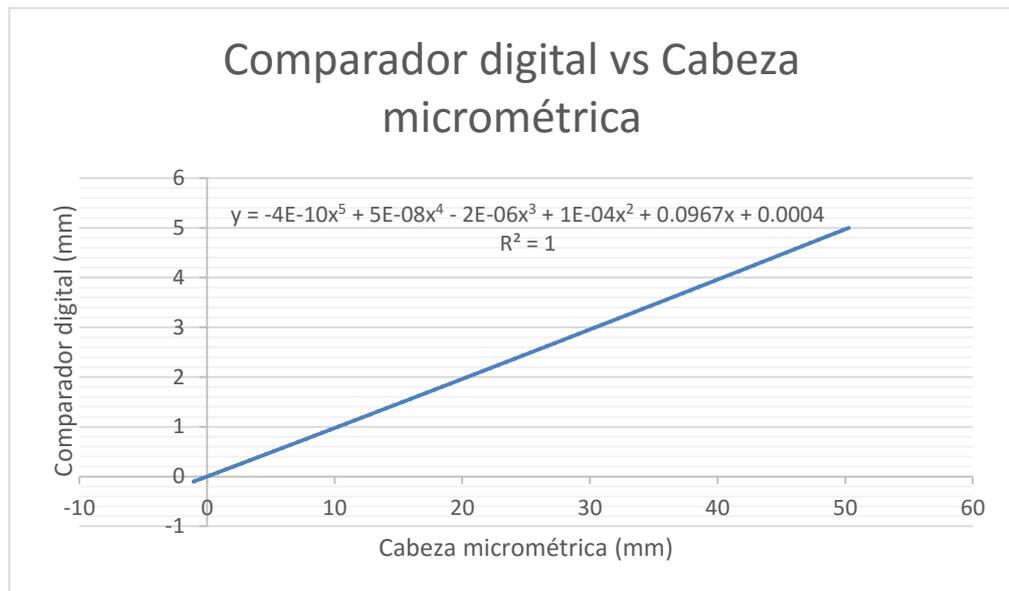


Figura 132. Gráfica de la relación polinómica de orden 5 entre cabeza micrométrica y comparador digital

Se realiza un ajuste polinómico de orden, obteniendo así la relación $y = -4E-10x^5 + 5E-08x^4 - 2E-06x^3 + 1E-04x^2 + 0,0967x + 0,0004$, siendo “y” el comparador digital y “x” los datos de la cabeza micrométrica, ya aplicada la relación se obtiene una desviación mínima 0.0000mm y la máxima es de 0.0628mm entre el comparador digital y el verificador de comparadores, la tabla 45 muestra que se pueden verificar equipos comparadores de 0.001mm de apreciación y de máximo 1mm de alcance ya que hasta ese alcance cumple con ser un equipo verificador más preciso que el comparador a verificar, también se observa que se podrían verificar equipos comparadores de 0.01mm de apreciación y de máximo 2.8mm de alcance ya que hasta ese alcance cumple con ser un equipo verificador más preciso que el comparador a verificar.

5.2.7. Cabeza micrométrica por ajuste polinómico de orden 6

Tabla 46.

Prueba para hallar una relación polinómica de orden 6 entre cabeza micrométrica y comparador digital

COMPARADOR DIGITAL	CABEZA MICROMÉTRICA	EC. ORDEN 6	DESVIACIÓN
1	2	17	18
-0.100	-1.041	-0.1007	-0.0007
0.000	0.001	0.0004	0.0004
0.100	1.030	0.1002	0.0002
0.200	2.059	0.2001	0.0001
0.300	3.090	0.3004	0.0004
0.400	4.112	0.3998	-0.0002
0.500	5.141	0.5001	0.0001
0.600	6.165	0.6000	0.0000
0.700	7.190	0.7002	0.0002
0.800	8.212	0.8003	0.0003
0.900	9.234	0.9005	0.0005
1.000	10.252	1.0006	0.0006
1.100	11.274	1.1013	0.0013
1.200	12.285	1.2012	0.0012
1.300	13.304	1.3021	0.0021
1.400	14.317	1.4028	0.0028
1.500	15.337	1.5044	0.0044
1.600	16.353	1.6061	0.0061
1.701	17.373	1.7085	0.0075
1.800	18.369	1.8091	0.0091
1.900	19.383	1.9119	0.0119
2.000	20.388	2.0146	0.0146
2.100	21.398	2.1184	0.0184
2.200	22.403	2.2225	0.0225

Continúa →

2.300	23.415	2.3284	0.0284
2.400	24.417	2.4342	0.0342
2.500	25.423	2.5418	0.0418
2.601	26.437	2.6516	0.0506
2.700	27.431	2.7608	0.0608
2.800	28.428	2.8722	0.0722
.900	29.429	2.9860	0.0860
3.000	30.430	3.1021	0.1021
3.100	31.438	3.2217	0.1217
3.200	32.432	3.3425	0.1425
3.300	33.436	3.4677	0.1677
3.400	34.426	3.5948	0.1948
3.500	35.425	3.7269	0.2269
3.600	36.421	3.8631	0.2631
3.700	37.417	4.0041	0.3041
3.800	38.408	4.1498	0.3498
3.900	39.401	4.3015	0.4015
4.000	40.392	4.4594	0.4594
4.100	41.385	4.6246	0.5246
4.200	42.371	4.7962	0.5962
4.300	43.366	4.9778	0.6778
4.400	44.348	5.1659	0.7659
4.500	45.332	5.3641	0.8641
4.600	46.321	5.5739	0.9739
4.700	47.306	5.7943	1.0943
4.800	48.290	6.0267	1.2267
4.900	49.281	6.2742	1.3742
5.000	50.290	6.5411	1.5411
5.102	51.361	6.8421	1.7401

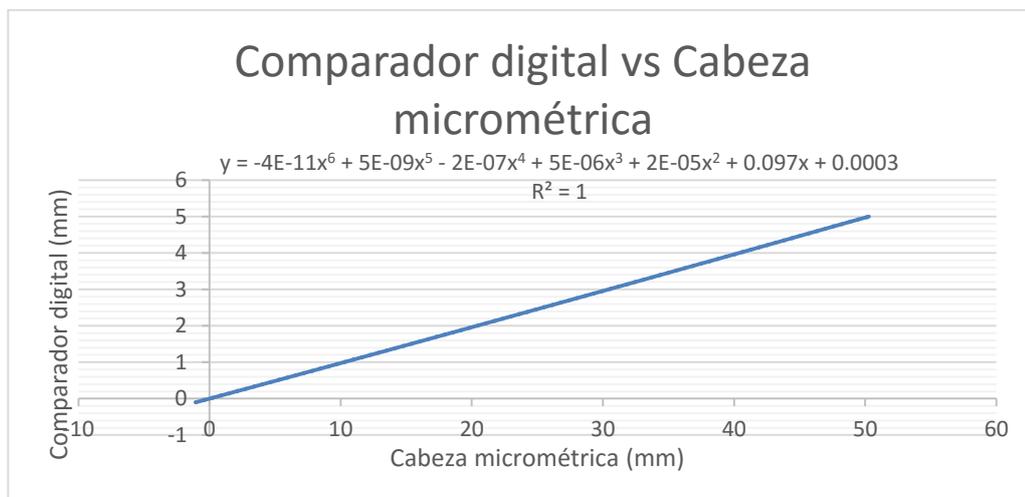


Figura 133. Gráfica de la relación polinómica de orden 6 entre cabeza micrométrica y comparador digital

Se realiza un ajuste polinómico de orden 6, obteniendo así la relación $y = -4E-11x^6 + 5E-09x^5 - 2E-07x^4 + 5E-06x^3 + 2E-05x^2 + 0,097x + 0,0003$, siendo “y” el comparador digital y “x” los datos de la cabeza micrométrica, ya aplicada la relación se obtiene una desviación mínima 0.0000mm y la máxima es de 1.7401mm entre el comparador digital y el verificador de comparadores, la tabla 46 muestra que se pueden verificar equipos comparadores de 0.001mm de apreciación y de máximo 1mm de alcance ya que hasta ese alcance cumple con ser un equipo verificador más preciso que el comparador a verificar, también se observa que se podrían verificar equipos comparadores de 0.01mm de apreciación y de máximo 1.8mm de alcance ya que hasta ese alcance cumple con ser un equipo verificador más preciso que el comparador a verificar.

Después de este análisis se hace evidente que el modelo que mejor se ajusta a las necesidades del verificador de comparadores es el ajuste polinómico de cuarto orden, por lo que se procede a sustituir los valores de las medidas de la cabeza micrométrica en esta ecuación.

De esta manera se puede concluir que el equipo verificador de comparadores construido, está diseñado para verificar comparadores de línea de 0.001mm de apreciación con un alcance máximo de 1.2mm. Y comparadores de línea de 0.01mm de apreciación con un alcance máximo de 5mm.

5.3. Pruebas

5.3.1. Pruebas a un comparador de reloj Peacock de 0.001mm de apreciación y alcance 1mm

Se realizaron pruebas a un comparador de reloj Peacock de 0.001mm de apreciación y alcance 1mm y los resultados fueron los siguientes:

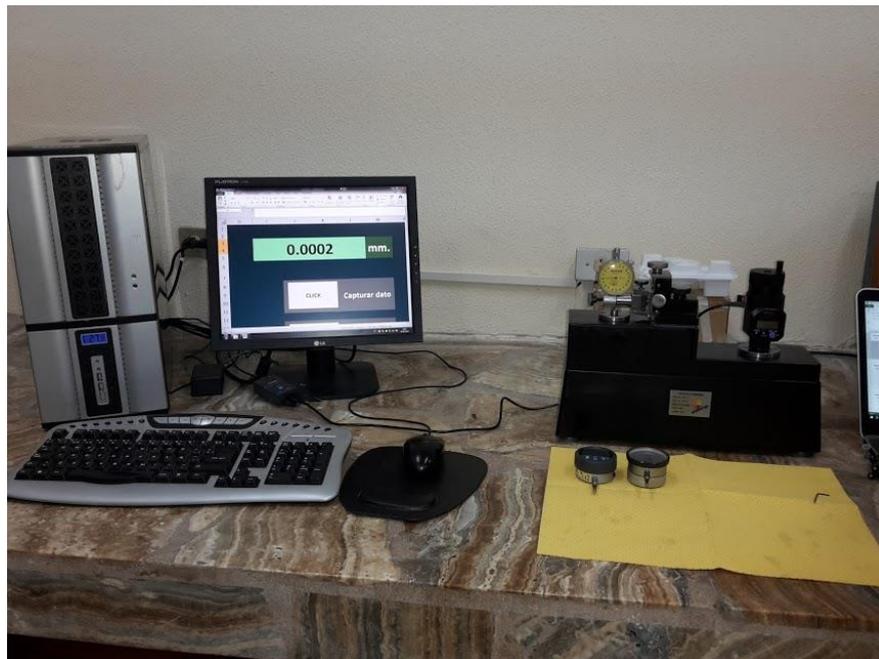


Figura 134. Montaje para la toma de datos en la verificación de un comparador de reloj analógico Peacock

Tabla 47.

Pruebas de verificación del comparador de reloj analógico Peacock de apreciación 0.001mm y alcance 1mm

COMPARADOR DE RELOJ DE VÁSTAGO PEACOCK 0.001 – 1mm										
Medida No.	Medida Pt	Medida Pp	Medidas Xi					\bar{x}_1	Desviación Estándar	Desviación $(\bar{x}_1 - Pp)$
			1	2	3	4	5			
1	0,125	0,125	0,125	0,125	0,124	0,124	0,124	0,124	0,0005	-0,0006
2	0,250	0,250	0,251	0,251	0,250	0,250	0,250	0,250	0,0005	0,0004
3	0,375	0,375	0,375	0,375	0,374	0,374	0,375	0,375	0,0005	-0,0004
4	0,500	0,500	0,500	0,500	0,499	0,499	0,499	0,499	0,0005	-0,0006
5	0,625	0,625	0,626	0,626	0,625	0,625	0,625	0,625	0,0005	0,0004
6	0,750	0,750	0,750	0,751	0,750	0,750	0,750	0,750	0,0004	0,0002
7	0,875	0,875	0,876	0,876	0,875	0,875	0,875	0,875	0,0005	0,0004
									Desviación promedio	0,0000

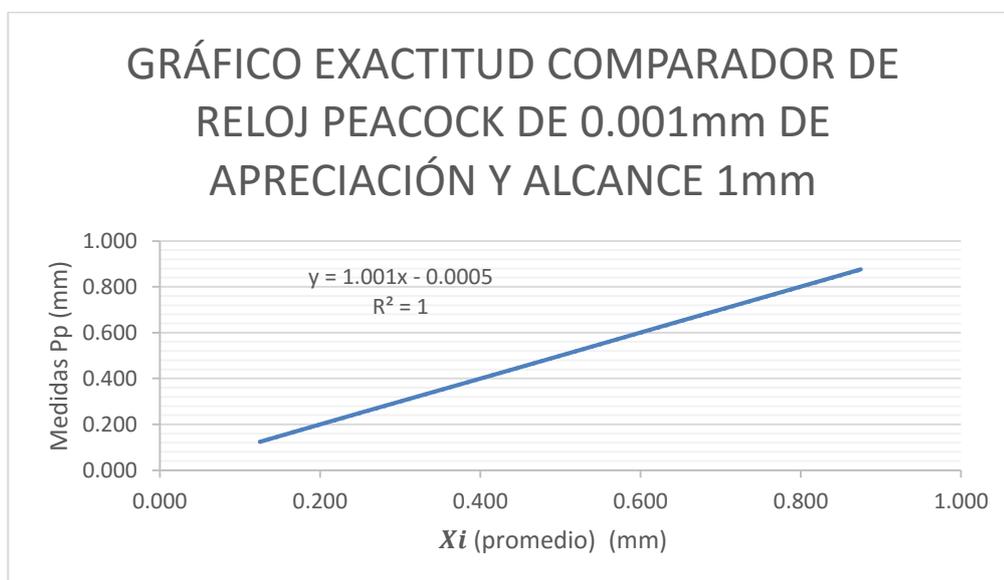


Figura 135. Gráfica de exactitud del comparador de reloj analógico Peacock de apreciación 0.001mm y alcance 1mm

Como el valor de la pendiente en esta gráfica es 1.001; la misma que representa la exactitud, se puede hablar de un instrumento de gran exactitud.

Presenta una ligera desviación respecto del origen (0.0005) nos lleva a concluir que el estado del resorte interno es muy bueno puesto que presenta mucha sensibilidad al contacto.

El valor de la correlación que el comparador con respecto al verificador es de 1; el mismo que se lo consideraba como valor esperado dado la íntima y coherente relación de ambos equipos.

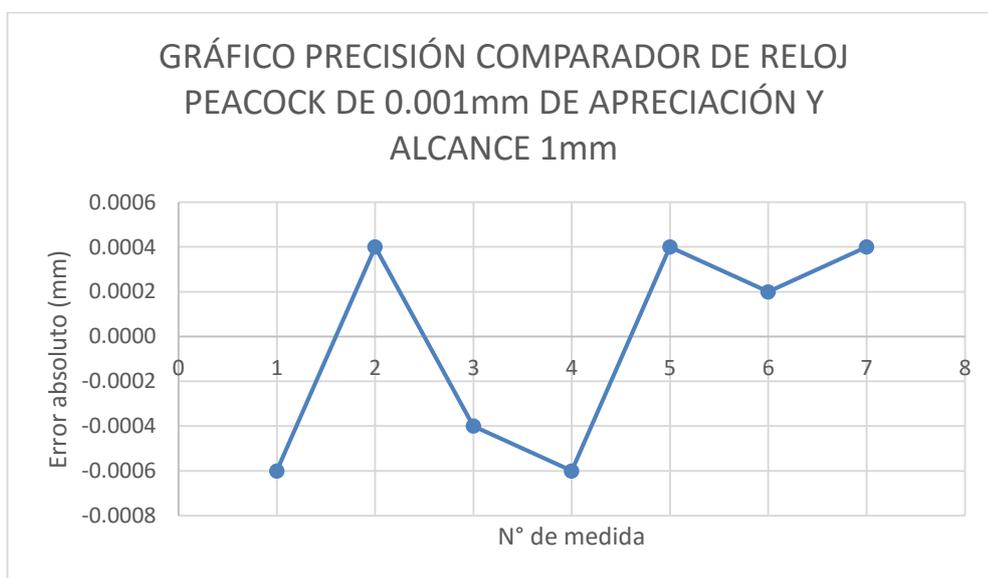


Figura 136. Gráfica de precisión del comparador de reloj analógico Peacock de apreciación 0.001mm y alcance 1mm

Como se puede verificar en la gráfica, la mayor distancia entre un punto mínimo y un punto máximo (dispersión) para el comparador se producen en la medida número 2 y la medida número 5, respectivamente; cuyo valor es de (0.0004). Este valor refleja la precisión del comparador. Por lo que podemos decir que el comparador es muy preciso pero no netamente preciso ya que posee una leve falla.

5.3.2. Pruebas a un comparador de reloj Mitutoyo de 0.001mm de apreciación y alcance 12.7mm.

Se realizaron pruebas a un comparador de reloj Mitutoyo de 0.001mm de apreciación y alcance 12.7mm y los resultados fueron los siguientes:

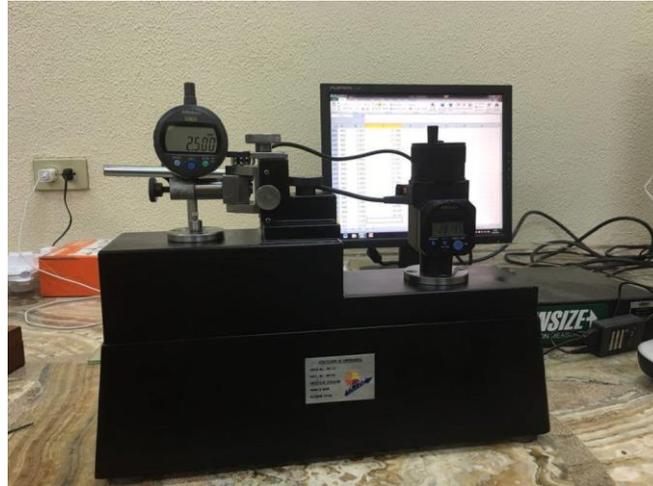


Figura 137. Montaje para la toma de datos en la verificación de un comparador digital Mitutoyo

Tabla 48.

Pruebas de verificación del comparador digital Mitutoyo de apreciación 0.001mm y alcance 12.7mm

COMPARADOR DE RELOJ DE VÁSTAGO MITUTOYO 543-390B 0.001 - 12.7mm										
Medida No.	Medida Pt	Medida Pp	Medidas Xi					\bar{x}_1	Desviación Estándar	Desviación $(\bar{x}_1 - Pp)$
			1	2	3	4	5			
1	0,125	0,125	0,124	0,124	0,124	0,125	0,125	0,124	0,0005	-0,0006
2	0,250	0,250	0,249	0,250	0,249	0,249	0,249	0,249	0,0004	-0,0008
3	0,375	0,375	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,0000	-0,0010
4	0,500	0,500	0,499	0,499	0,499	0,499	0,500	0,499	0,0004	-0,0008
5	0,625	0,625	0,624	0,624	0,624	0,625	0,625	0,624	0,0005	-0,0006
6	0,750	0,750	0,749	0,750	0,749	0,749	0,750	0,749	0,0005	-0,0006
7	0,875	0,875	0,874	0,874	0,874	0,875	0,875	0,874	0,0005	-0,0006
									Desviación promedio	-0,0007

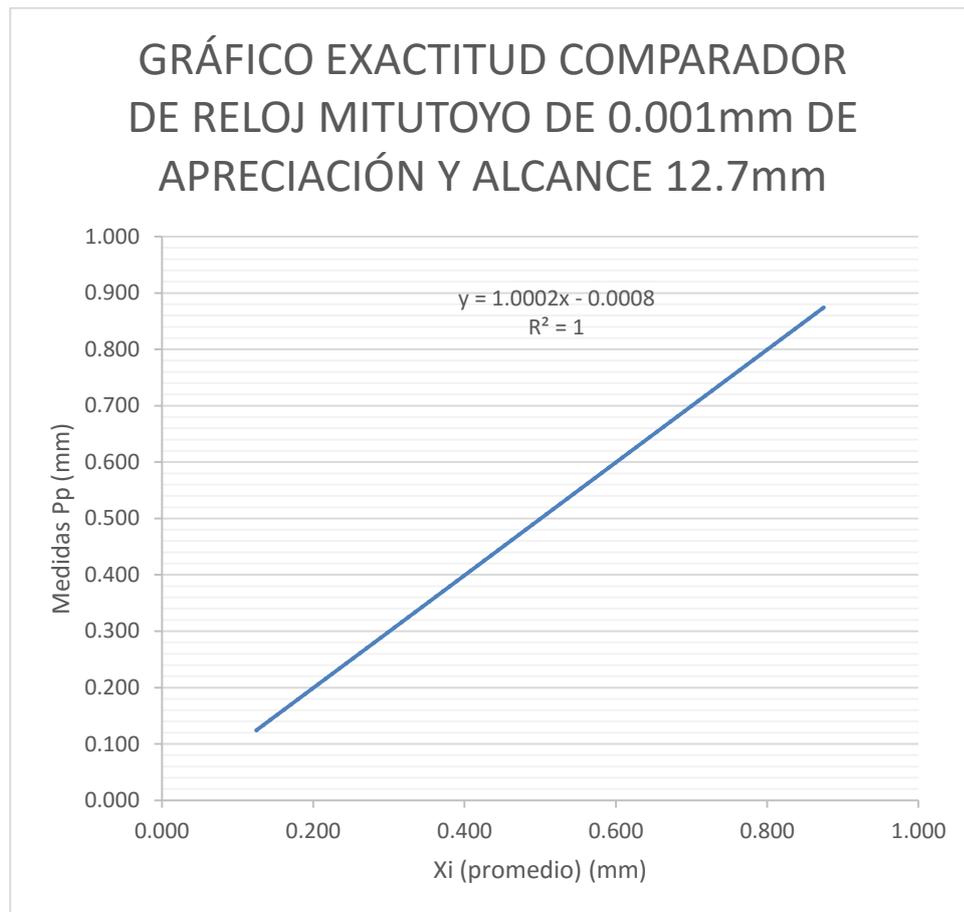


Figura 138. Gráfica de exactitud del comparador digital Mitutoyo de apreciación 0.001mm y alcance 12.7mm

Como el valor de la pendiente en esta gráfica es 1.0002; la misma que representa la exactitud, se puede hablar de un instrumento exacto, teniendo en cuenta que presenta mayor exactitud que el comparador Peacock.

Presenta una ligera desviación respecto del origen (0.0008) nos lleva a concluir que el estado del resorte interno es muy bueno puesto que presenta mucha sensibilidad al tope, pero menor sensibilidad que el comparador Peacock.

El valor de la correlación que el comparador con respecto al verificador es de 1; el mismo que se lo consideraba como valor esperado dado la íntima y coherente relación de ambos equipos.

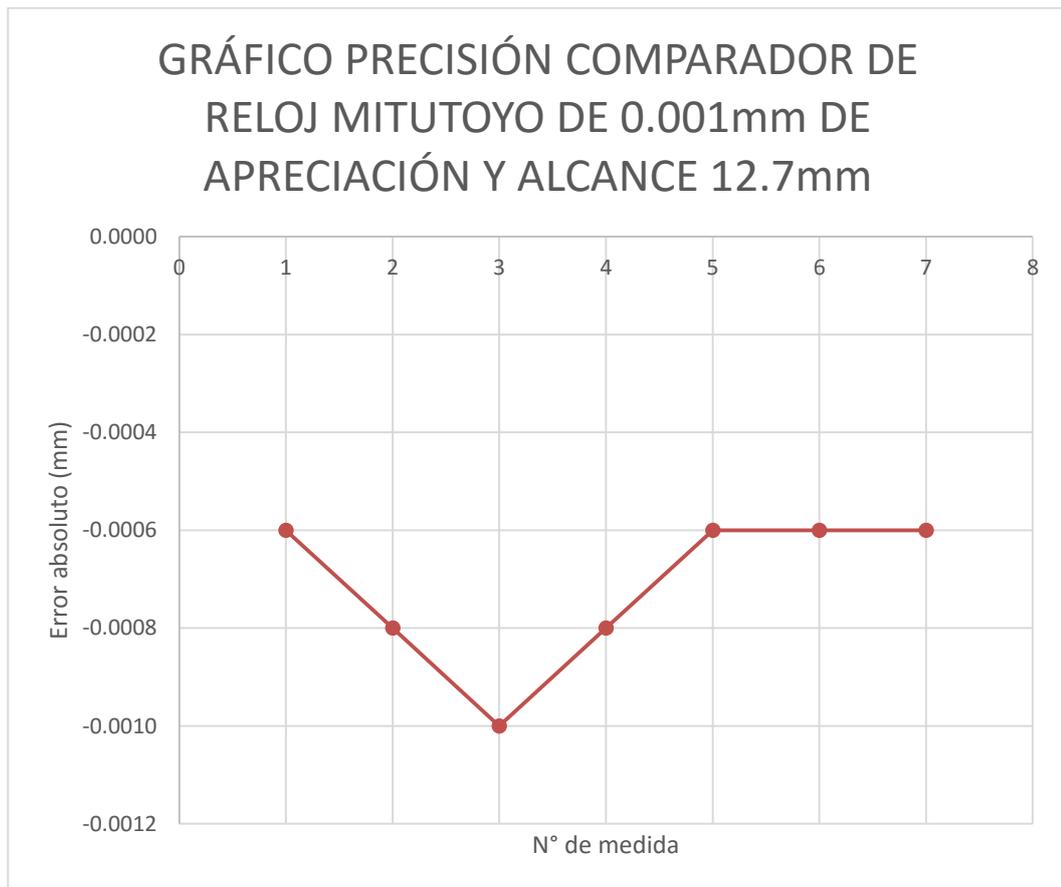


Figura 139. Gráfica de precisión del comparador digital Mitutoyo de apreciación 0.001mm y alcance 12.7mm

Como se puede verificar en la gráfica, la mayor distancia entre un punto mínimo y un punto máximo (dispersión) para el comparador se producen en la medida número 3; cuyo valor es de (0.001). Este valor refleja la precisión del comparador. Por lo que podemos decir que el comparador es menos preciso que el comparador Peacock.

5.3.3. Pruebas a un comparador universal Peacock de 0.001mm de apreciación y alcance 0.2mm

Se realizaron pruebas a un comparador universal Peacock de 0.001mm de apreciación y alcance 0.2mm y los resultados fueron los siguientes:



Figura 140. Montaje para la toma de datos en la verificación de un comparador universal Peacock

Tabla 49.

Pruebas de verificación del comparador universal peacock de apreciación 0.001mm y alcance 0.2mm

COMPARADOR DE RELOJ ANGULAR PEACOCK 0.002 - 0.2mm										
Medida No.	Medida Pt	Medida Pp	Medidas Xi					\bar{x}_i	Desviación Estándar	Desviación $(\bar{x}_i - Pp)$
			1	2	3	4	5			
1	0,025	0,030	0,032	0,034	0,032	0,032	0,032	0,032	0,0009	0,0024
2	0,050	0,050	0,052	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,0009	0,0036
3	0,075	0,080	0,084	0,086	0,086	0,088	0,088	0,086	0,0017	0,0064
4	0,100	0,100	0,110	0,108	0,108	0,100	0,108	0,107	0,0039	0,0068
5	0,125	0,130	0,140	0,142	0,142	0,142	0,142	0,142	0,0009	0,0116
6	0,150	0,150	0,162	0,162	0,162	0,164	0,164	0,163	0,0011	0,0128
7	0,175	0,180	0,178	0,186	0,184	0,188	0,190	0,185	0,0046	0,0052
									Error promedio	0,0070

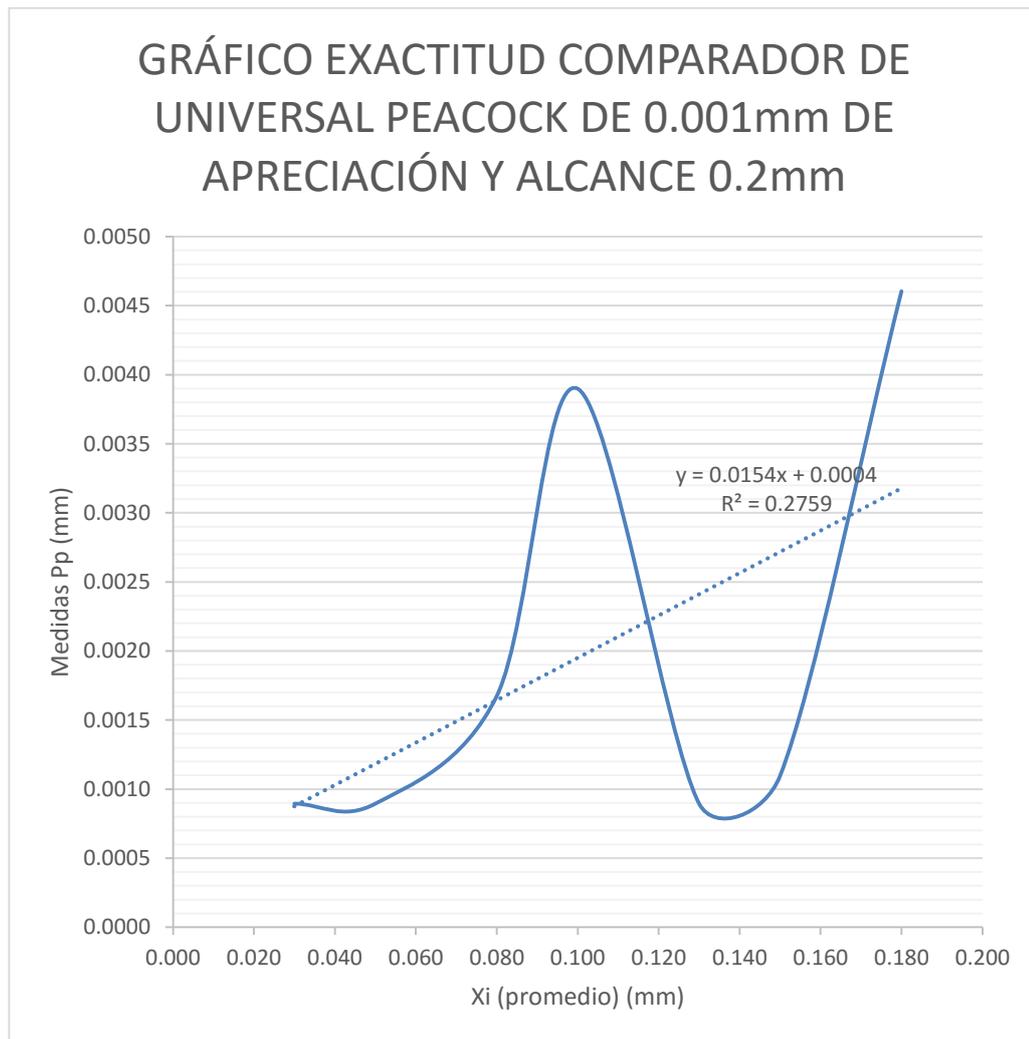


Figura 141. Gráfico de exactitud de un comparador universal Peacock de apreciación 0.001mm y alcance 0.2mm

Como el valor de la pendiente en esta gráfica es 0.0154; la misma que representa la exactitud, se puede hablar de un instrumento que se aleja mucho de la verdadera medida, por lo que podemos decir que no es exacto.

Presenta una ligera desviación respecto del origen (0.0004) nos lleva a concluir que el estado del resorte interno es muy bueno puesto que presenta mucha sensibilidad al tope.

El valor de la correlación que el comparador con respecto al verificador es de 0.02759; se puede decir que no hay íntima y coherente relación de ambos equipos.

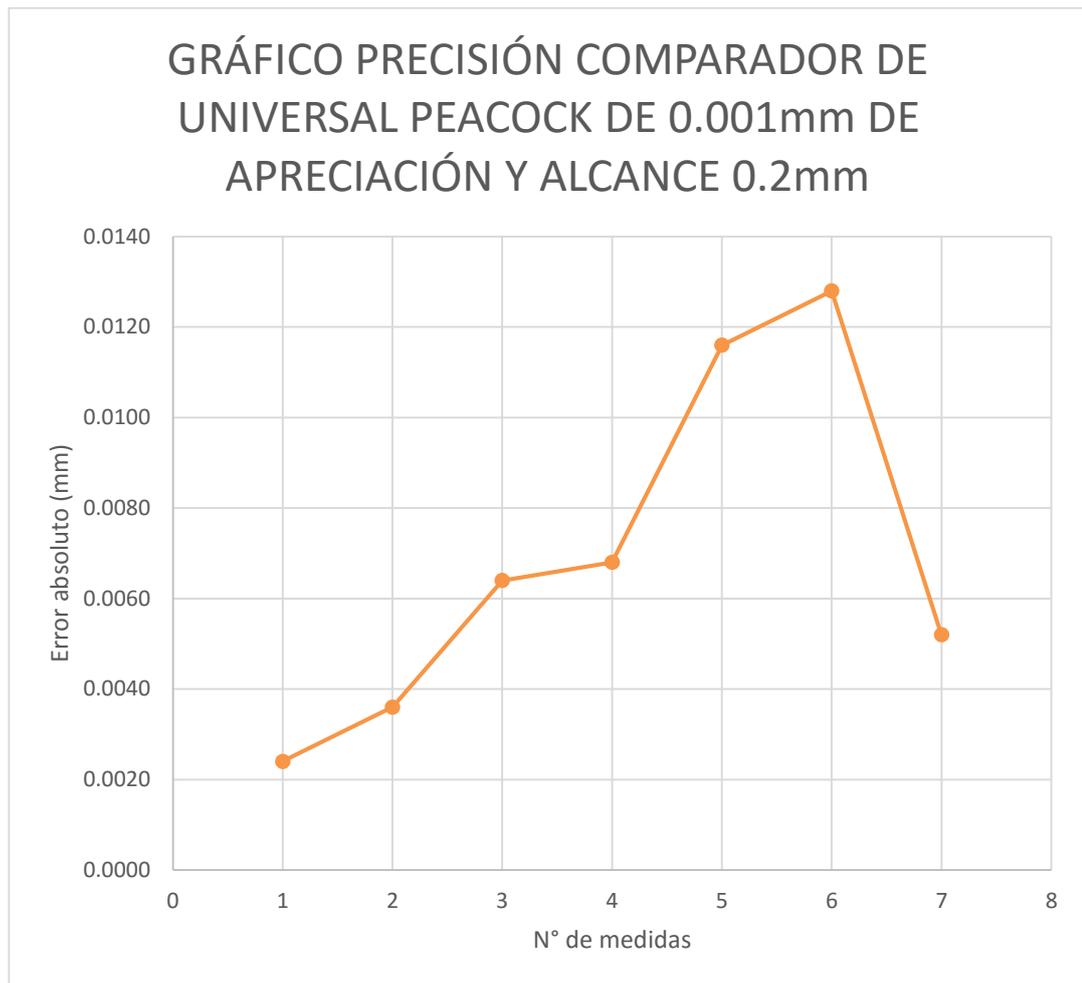


Figura 142. Gráfico de precisión de un comparador universal Peacock de apreciación 0.001mm y alcance 0.2mm

Como se puede verificar en la gráfica, la mayor distancia entre un punto mínimo y un punto máximo (dispersión) para el comparador se producen en la medida número 6; cuyo valor es de (0.0128). Este valor refleja la precisión del comparador. Por lo que podemos decir que el comparador no es preciso.

5.3.4. Pruebas a un comparador de reloj Steinmeyer de 0.01mm de apreciación y alcance 10mm.

Se realizaron pruebas a un comparador de reloj Steinmeyer de 0.01mm de apreciación y alcance 10mm y los resultados fueron los siguientes:



Figura 143. Montaje para la toma de datos en la verificación de un comparador de reloj analógico Steinmeyer

Tabla 50.

Pruebas de verificación del comparador de reloj analógico Steinmeyer de apreciación 0.01mm y alcance 10mm

COMPARADOR DE RELOJ DE VÁSTAGO STEINMEYER 0.01 - 10mm										
Medida No.	Medida Pt	Medida Pp	Medidas Xi					\bar{x}_1	Desviación Estándar	($\bar{x}_1 - Pp$) Desviación
			1	2	3	4	5			
1	0,63	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,650	0,0000	0,000
2	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,250	0,0000	0,000
3	1,88	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,900	0,0000	0,000
4	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,500	0,0000	0,000
5	3,13	3,15	3,16	3,15	3,15	3,16	3,15	3,154	0,0055	0,004
6	3,75	3,75	3,76	3,75	3,76	3,75	3,76	3,756	0,0055	0,006
7	4,38	4,40	4,41	4,41	4,41	4,41	4,41	4,410	0,0000	0,010
Desviación promedio										0,003

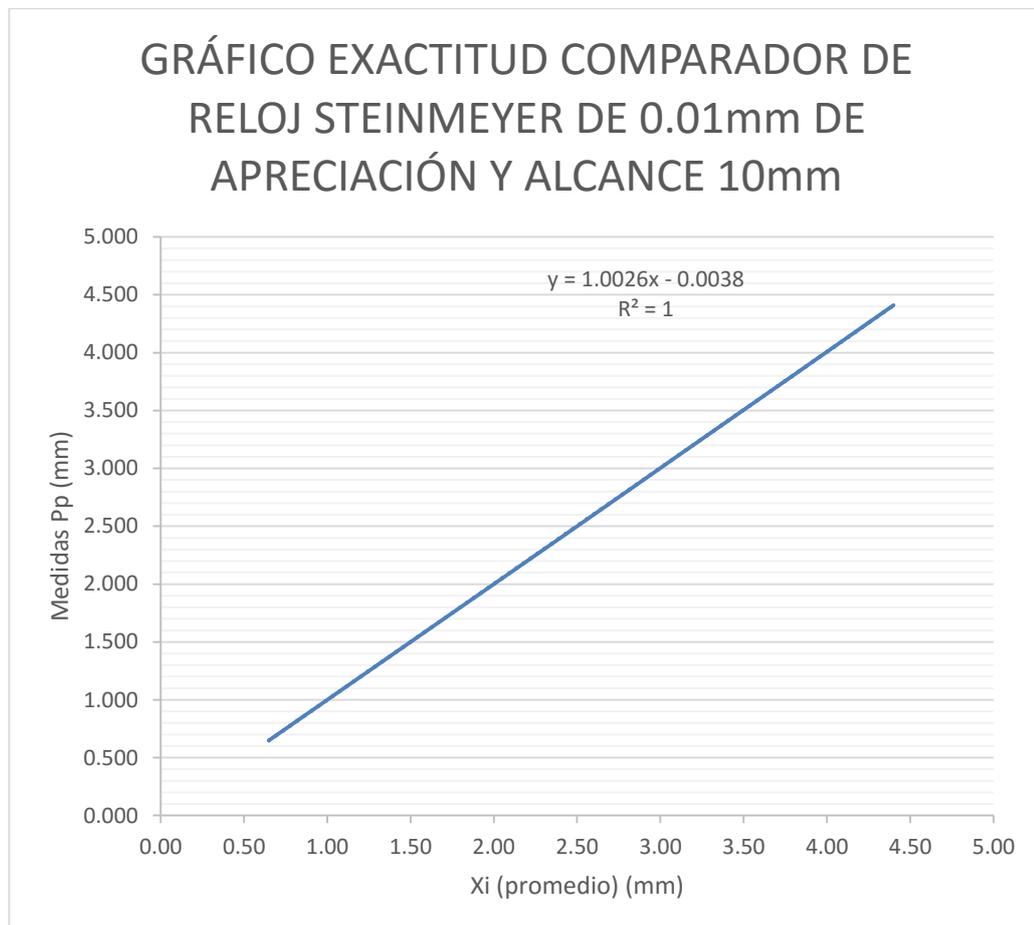


Figura 144. Gráfica de exactitud del comparador de reloj analógico Steinmeyer de apreciación 0.01mm y alcance 10mm

Como el valor de la pendiente en esta gráfica es 1.0026; la misma que representa la exactitud, se puede hablar de un instrumento que se aleja un poco más de la verdadera medida a comparación de los comparadores de reloj Mitutoyo y Peacock, por ende es menos precisos que los comparadores antes mencionados.

También presenta una mayor desviación respecto del origen (0.0038) esto nos lleva a concluir un mayor deterioro del resorte.

El valor de la correlación que el comparador con respecto al verificador es de 1; por lo que se predice una íntima y coherente relación de ambos equipos.

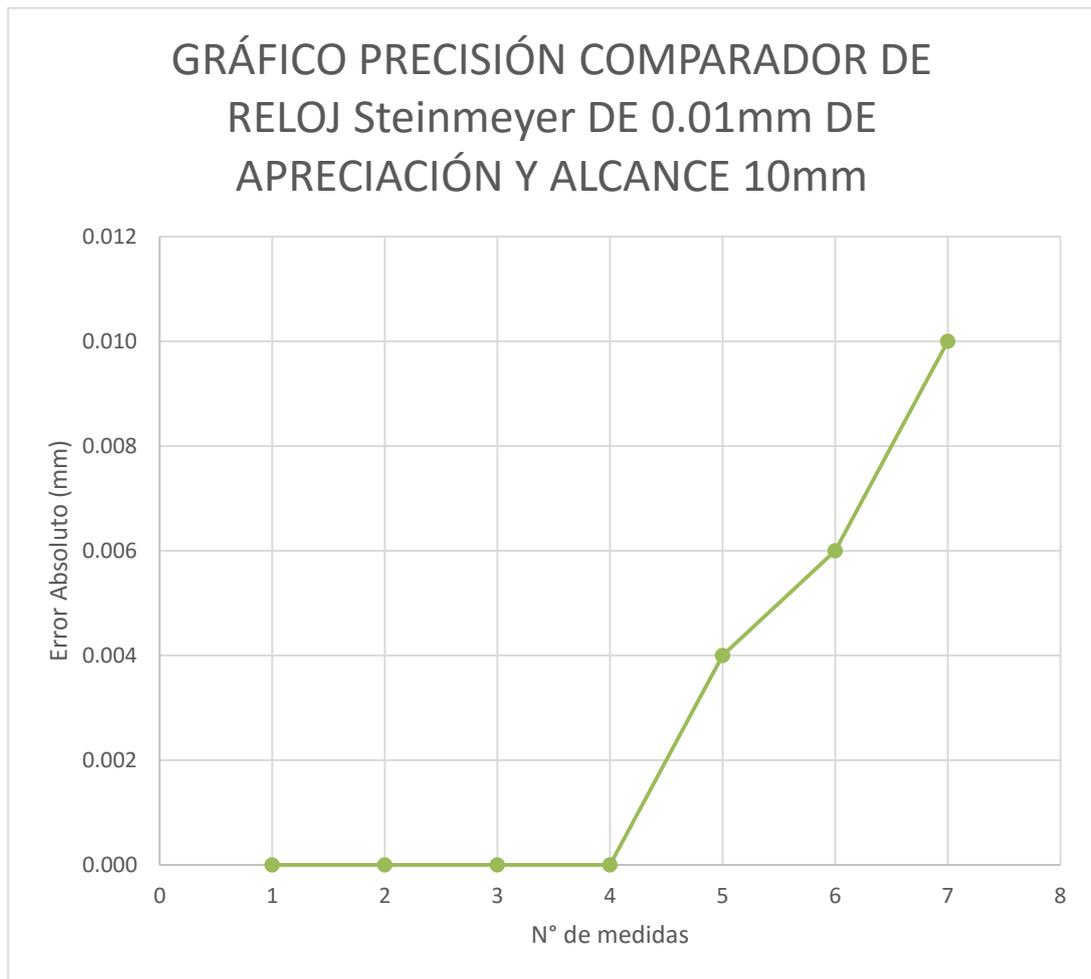


Figura 145. Gráfico de precisión del comparador de reloj analógico Steinmeyer de apreciación 0.01mm y alcance 10mm

Como se puede verificar en la gráfica, la mayor distancia entre un punto mínimo y un punto máximo (dispersión) para el comparador se producen en la medida número 7; cuyo valor es de (0.01). Este valor refleja la precisión del comparador. Por lo que podemos decir que el comparador es menos preciso que el comparador Peacock y el Mitutoyo.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS FINANCIERO

6.1 Costos de producción

6.1.1 Costos directos

Los costos directos son todos aquellos necesarios para la producción del verificador de comparadores de reloj.

6.1.1.1 Costo de materiales y equipos metrológicos

Tabla 51.

Costo de materiales del verificador de comparadores de reloj

COMPONENTE	MATERIAL	DIMENSIONES (mm)	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
TAPA DEL BLOQUE INFERIOR DE LA CARCASA	Acero inoxidable AISI 304	600 x 400 x 2	1	40.00	40.00
TAPA DEL BLOQUE INFERIOR DE LA CARCASA	Acero inoxidable AISI 304				

Continua →

SOPORTE DE LAS PATAS	Acero inoxidable AISI 304				
PLACAS LATERALES BASE SOLDADA	Acero inoxidable AISI 304				
PLACAS FRONTALES BASE SOLDADA	Acero inoxidable AISI 304				
BASE DEL BLOQUE INTERMEDIO DE LA CARCASA	Acero inoxidable AISI 304				
PLACA - PORTA HUSILLO - SOPORTE	Aluminio 6061	500 x 100 x 12.7	1	70.00	70.00
PLACA - PORTA CABEZA MICROMÉTRICA	Aluminio 6061				
BASE DEL SOPORTE DEL PIVOTE	Aluminio 6061				
BLOQUE INTERMEDIO DE LA CARCASA	Aluminio 6061	570 x 100 x 35	1	20.00	20.00
BLOQUE SUPERIOR DE LA CARCASA	Aluminio 6061	Pieza reutilizada			
TOPE DE BRONCE PARA PUESTA A PUNTO DEL EQUIPO	Bronce	Ø12 x 22	1	3.00	3.00
SUBCONJUNTO 1 HUSILLO DE MEDICIÓN					

Continua →

RESORTES - PORTA HUSILLO	Acero AISI 5150	D= 2.5, d=0.3, l=23	2	3.00	6.00
GUÍA 2 DEL RESORTE DEL PORTA HUSILLO	Acero AISI 1144	Ø5 x 10	2	0.85	1.70
GUÍA 1 DE LOS RESORTES DEL PORTA HUSILLO	Acero AISI 1144	Ø5x25	1	2.15	2.15
PORTA HUSILLO DE MEDICIÓN	Acero AISI 1018	Ø50 x 60	1	4.66	4.66
HUSILLO DE MEDICIÓN	ACERO PLATA	Ø12x 100	1	1.80	1.80
SUBCONJUNTO 2 SOPORTE DEL COMPARADOR					
PERILLA DE BLOQUEO DEL SOPORTE	Acero, AISI 1018	Ø30x 35	1	0.98	0.98
PERILLA DE REGULACIÓN DE ALTURA DEL SOPORTE 1	Acero, AISI 1018	Ø30 x 20	1	0.56	0.56
TAPA DE LA BASE DEL SOPORTE	Acero AISI 1018	40 x 30 x 6	1	1.15	1.15
PERILLA DE REGULACIÓN DE ALTURA DEL SOPORTE 2	Acero AISI 1018	Ø12.7 x 65	1	0.32	0.32
PERILLA DE AJUSTE DEL COMPARADOR	Acero AISI 1018	Ø30 x 35	1	0.98	0.98
MANILLA MOLETEADA	Acero AISI 1018	Ø30 x 25	1	0.70	0.70

Continúa →

RESORTES PARA AJUSTE DEL COMPARADOR	Acero AISI 5150		2	1.50	3.00
PLACA DE CONTACTO CON EL COMPARADOR	Acero AISI 1018	Ø25.4 x 15	1	0.30	0.30
ACCESORIO GIRATORIO AXIAL	Acero AISI 1018	Ø25.4 x 60	1	1.20	1.20
ACCESORIO GIRATORIO TRANSVERSAL	Acero AISI 1018	30 x 30 x 30	1	8.00	8.00
CORREDERA DEL SOPORTE	Acero AISI 1018	45 x 45 x 45	1	10.00	10.00
BLOQUEO DEL ACCESORIO GIRATORIO AXIAL	Acero AISI 1018	Ø25.4 x 30	1	0.60	0.60
BOCÍN ROSCADO DEL SOPORTE	Acero AISI 1018	Ø10 x 35	1	0.30	0.30
BOCÍN GUÍA DEL SOPORTE	Acero AISI 1018	Ø 10 x 25	1	0.30	0.30
PLACA DE AJUSTE DE LA CORREDERA DEL SOPORTE	Acero inoxidable	62 x 15 x 1.5	1	1.80	1.80

Continúa →

BOCIN DEL RESORTE DE REGULACIÓN DE ALTURA	Acero AISI 1020	Ø12.5 x 25.4	1	0.55	0.55
RESORTE DE REGULACION DE ALTURA DEL SOPORTE	Acero AISI 6150		1	2.50	2.50
PERILLA DE AJUSTE DE LA CORREDERA DEL SOPORTE	Acero AISI 1018	Ø30x 30	1	0.84	0.84
BASE DEL SOPORTE	Acero AISI 1018	85 x 70 x 70	1	16.50	16.50
PLACA INFERIOR DEL SOPORTE	Acero inoxidable AISI 304	43 x 15 x 2	1	0.50	0.50
ACCESORIO PARA LA ROTACIÓN DEL SOPORTE	Acero AISI 1018	Ø40 x 50	1	2.50	2.50
SUBCONJUNTO 3 PORTA CABEZA MICROMÉTRICA					
PORTA CABEZA MICROMÉTRICA	Acero AISI 1018	Ø 60.32 x 25	1	2.83	2.83
SUBCONJUNTO 4					
SEGUROS - PIVOTE - BARRA	Acero AISI 5051		2	0.75	1.50
BARRA DE REDUCCIÓN DE MEDIDAS	Aluminio 6061	250 x 30 x 30	1	11.00	11.00

Continua →

RESORTES ESTABILIZADORES 2 DE LA BARRA	Acero AISI 6150		1	3.00	3.00
RESORTES ESTABILIZADORES 1 DE LA BARRA	Acero AISI 6150		1	2.50	2.50
GUÍA 2 DE LOS RESORTES ESTABILIZADORES DE LA BARRA	Acero AISI 1144	Ø10 x 50	1	0.60	0.60
GUÍA 1 DE LOS RESORTES ESTABILIZADORES DE LA BARRA	Acero AISI 1144	Ø10 x 50	1	0.60	0.60
PIVOTE - BARRA	ACERO PLATA	Ø10 x 60	1	1.08	1.08
BOCÍN - GUÍAS RESORTES ESTABILIZADORES	Acero AISI 1020	Ø 20 x 20	2	0.40	0.80
BOCIN - PIVOTE - BARRA	Acero AISI 1020	Ø10 x 30	1	0.30	0.30
BOCIN ROSCADO DE LA BARRA	Acero AISI 1144	Ø20 x 20	2	0.40	0.80
SOPORTE PIVOTE	Acero AISI 1018	60 x 50 x 25	1	6.70	6.70
				TOTAL	234.60

Tabla 52.
Costo de equipos metrológicos

EQUIPO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
CABEZA MICROMÉTRICA MITUTOYO 164-164	1	960.00	960.00
COMPARADOR DIGITAL MITUTOYO 543-390B	1	249.45	249.45
CABLE MITUTOYO DIGIMATIC 95914	1	30.35	30.35
PEDAL MITUTOYO 937170T	1	50.99	50.99
PROCESADOR USB MITUTOYO 264-012-10 USB	1	149.60	149.60
		TOTAL	1440.39

Tabla 53.
Costo de elementos de fijación

ELEMENTOS DE FIJACIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
ANSI B18.3.1M - M4x0,7 x 40	2	0.09	0.18
ANSI B18.22M - 4 N	2	0.06	0.12
ANSI B18.2.4.5M - M5 x 0.8	2	0.12	0.24
ANSI B18.3.6M - M4x0,7 x 4	2	0.05	0.10
ANSI B18.3.1M - M4x0,7 x 20	1	0.07	0.07
ANSI B18.6.7M - A - M3x10	4	0.06	0.24
ANSI B18.3 - 8 - 32 x 3/8	2	0.07	0.14
ANSI B18.6.3 - 5-40 UNC x 1,25	2	0.16	0.32
IFI 512-S - 2	3	0.37	1.11
ANSI B18.3 - 8 - 32 x 1/4	2	0.07	0.14
ANSI B18.6.7M -A - M2x6	2	0.05	0.10

Continúa →

ASME/ANSI B18.3.5M - M4x20	4	0.07	0.28
ANSI B18.2.2 - 3/8 - 16	4	0.08	0.32
ANSI B18.3.1M - M6x1 x 12	7	0.12	0.84
ANSI B18.3.1M - M6x1 x 25	4	0.24	0.96
ANSI B18.3.1M - M6x1 x 20	3	0.22	0.66
ASME/ANSI B18.3.5M - M5x16	7	0.14	0.98
ANSI B18.3.6M - M4x0,7 x 6	8	0.08	0.64
ANSI B18.3.1M - M6x1 x 35	4	0.33	1.32
ANSI B18.3.1M - M6x1 x 12	4	0.12	0.48
ANSI B 18.2.4.1 M - M4 x 0,7	3	0.05	0.15
ELEMENTO ROSCADO - PUESTA A PUNTO DEL EQUIPO	1	0.80	0.80
SOPORTE ESFERAS DE CONTACTO M5 x 35	2	0.18	0.36
ESFERAS DE CONTACTO	2	0.26	0.52
PATAS LAVADORA	4	1.25	5.00
		TOTAL	16.07

Tabla 54.

Costo total de materiales y equipos metrológicos

RUBRO	VALOR
MATERIALES	234.60
EQUIPOS METROLÓGICOS	1 440.39
ELEMENTOS DE FIJACIÓN	16.07
TOTAL	1 691.06

6.1.1.2 Costo de mano de obra

Tabla 55.
Costo total de mano de obra

TRABAJADOR	HORA/HOMBRES	HORAS	VALOR
TORNERO Y FRESADOR	4.00	90.00	360.00
SOLDADOR	3.00	7.00	21.00
INVESTIGADORES	4.20	90.00	378.00
DIRECTOR DE PROYECTO	5	10.00	50.00
TOTAL			809.00

6.1.1.3 Costo de trabajos realizados fuera del taller

Tabla 56.
Costo total de trabajos realizados fuera del taller

TRABAJO	VALOR
CORTE POR AGUA	36.00
CORTE POR CIZALLA	8.00
PIEZAS RECTIFICADAS	60.00
TOTAL	104.00

6.1.1.4 Costo de acabados

Tabla 57.
Costo total de los acabados

CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1 lt	WASH - PRIMER	12.00	12.00
1 lt	PINTURA POLIURETANO NEGRO MATE	10.80	10.80
1 lt	BARNIZ MATE	11.40	14.40
2 lt	THINNER	0.70	1.40
1/2 lb	MACILLA AUTOMOTRIZ	1.40	1.40
		TOTAL	40.00

6.1.2 Costos indirectos

Los costos indirectos son los que no se atribuyen directamente a la producción del verificador de comparadores de reloj sino a la parte operativa del taller y la producción.

6.1.2.1 Costo de uso del taller

Tabla 58.
Costo total uso del taller

MÁQUINA	PRECIO/HORA	HORAS	TOTAL
TORNO	15.00	24.00	360.00
FRESADORA	15.00	30.0	450.00
TALADRO DE BANCO	8.00	20.00	160.00
		TOTAL	970.00

6.1.2.2 Costo de transporte

Tabla 59.
Costo total transporte

RUBRO	VALOR
TRANSPORTE DE MATERIALES	100.00
TRANSPORTE PIEZAS CORTADAS POR AGUA	15.00
TRANSPORTE PIEZAS CORTADAS EN CIZALLA	15.00
TRANSPORTE PIEZAS RECTIFICADAS	15.00
TRANSPORTE VERIFICADOR DE COMPARADORES	15.00
TOTAL	160.00

6.1.3 Costo total

El costo total es la suma de los costos directos que intervienen en la fabricación del verificador de comparadores de reloj

Tabla 60.
Costo total

RUBRO	VALOR
COSTO DE MATERIALES Y EQUIPOS METROLÓGICOS	1691.06
COSTO DE MANO DE OBRA	809.00
COSTO TRABAJOS REALIZADOS FUERA DEL TALLER	104.00
COSTO DE ACABADOS	40.00
COSTO DE USO DEL TALLER	970.00
COSTO DE TRANSPORTE	160.00
TOTAL	3774.06

6.2 Precio de un verificador en el mercado

En nuestro país se adquieren verificadores de comparadores únicamente bajo importación, el equipo que más se asemeja al de este proyecto es el verificador Mitutoyo 521, del cual a continuación se muestra su cotización:

	    
CORPORACION ECUATORIANA INDUSTRIAL DE MAQUINARIA C. A.	
Cliente: CRYO PROIND RUC: 0991298657001	
Ruc.: . Cod: 0	COTIZACION No. 090049
Att.: ING. RENÉ TUTASI	Fecha: 27/octubre/2015
Ciudad: GUAYAQUIL	Validez de oferta: 20 días
Telf.: Fax:	Forma de Pago: Contado
Page 1 of 1 27/10/2015 09:57	Atendido Por: V09 TREJO NICHOLAS

PONEMOS A CONSIDERACION ESTA OFERTA DE HERRAMIENTAS Y EQUIPOS PROFESIONALES E INDUSTRIALES						
ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	V.UNIT	%DES	V. TOTAL
1	MT-521-105	CALIBRADOR DE INDICADORES 0-5MM x 0,0002MM. MITUTOYO El calibrador de indicadores está especialmente diseñado para calibrar indicadores de carátula, indicadores de carátula tipo palanca y otros sensores electrónicos con intervalo de medición corto. CARACTERÍSTICAS - La mordaza universal acepta cualquier indicador de carátula, indicador de carátula tipo palanca, palpador electrónico de MuChecker sin necesidad de algún accesorio adicional. - Capacidad de sujeción: ø4mm - ø10mm - Doble color en la dirección de la graduación para facilitar las mediciones.	1	7,700.010	30.00	5,390.007

LOS PRODUCTOS GOZAN DE GARANTIA POR DEFECTOS DE FABRICACION. LOS PRECIOS SE MANTIENEN SIEMPRE Y CUANDO NO SE PRODUZCAN CAMBIOS OFICIALES Y/O GRAVAMENES QUE AFECTEN A LAS IMPORTACIONES DEJANDO SIN COMPROMISO PARA CECUAMAQ C.A.	SUBTOTAL: 5,390.01 IVA 12%: 646.80 TOTAL US\$: 6,036.81
--	--

Observaciones: IMPORTACION - ENTREGA EN 90 DIAS, SEGUN CONFIRMACION DE PEDIDO. . .

Figura 146. Cotización de un verificador de comparadores analógico Mitutoyo por parte de la empresa Cecumamaq

6.3 Comparación de valores

La comparación de valores se realizará entre el precio de producción del verificador de comparadores y el precio de compra de un equipo de similares características en el mercado local.

Tabla 61.
Comparación de valores

VALOR DE PRODUCCIÓN	VALOR DE ADQUISICIÓN	DIFERENCIA
3774.06	6036.81	2262.75

El producir un verificador de comparadores en el taller CRYOPROIND S.A representa un ahorro del 37% en relación al precio del mercado, lo cual beneficia significativamente a la industria metalmecánica ecuatoriana por cuanto facilita el acceso a estos equipos, además de impulsar el desarrollo de la manufactura de equipos de precisión a nivel nacional.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- El verificador de comparadores construido es funcional y reúne los parámetros de diseño propuestos en la fase de diseño. El equipo es ergonómico, de fácil operación, montaje, y movilidad. Rezagada
- Pese a que la tecnología de la industria metalmecánica nacional no está bien desarrollada en la construcción de instrumentos de medición, es capaz de producir verificadores de comparadores a un menor costo que los que se pueden adquirir en el mercado local, vía importación.
- Todos los materiales utilizados en la fabricación, se encuentran con facilidad en el medio local y son de fácil maquinabilidad. Además como se puede observar en las simulaciones realizadas en el software, los factores de seguridad son considerablemente mayores a 2, por lo que la geometría del equipo resiste satisfactoriamente las cargas de trabajo y le brinda al mismo la estabilidad adecuada para que no existan variaciones en el proceso de toma de medidas.
- Para obtener las medidas de referencia, la calibración del verificador de comparadores se realizó con un comparador digital de vástago marca Mitutoyo. En este proceso se cotejaron 53 datos de la cabeza micrométrica con los obtenidos en el comparador digital y se encontró que, para obtener

el valor de la medida del verificador de comparadores es necesario ingresar el dato de la cabeza micrométrica (variable dependiente) en la ecuación que resulta de la regresión polinómica de cuarto orden.

- El verificador de comparadores, tiene la capacidad de verificar comparadores de reloj con apreciación 0.001mm con un alcance máximo de 1.0 mm. Y comparadores con 0.01mm de apreciación y alcance máximo de 5mm.
- El error más grande que se presenta en la verificación de comparadores de apreciación 0.001 mm es de 0.0004mm; mientras que en la verificación de comparadores de 0,01 mm de apreciación se tiene un error máximo de 0.0035 mm.
- Para agilizar el proceso de verificación de comparadores se desarrolló un programa en Excel, programa en el cual el usuario puede escoger el tipo de comparador a verificar, ingresar en qué estado se encuentra, aprender sobre el funcionamiento del verificador y el correcto montaje de los comparadores en el mismo. Y visualizar los resultados de la verificación del comparador automáticamente una vez terminada la toma de datos.
- El tiempo que le toma al operador realizar la verificación en este equipo es significativamente menor al tiempo requerido para realizar el mismo proceso en un equipo analógico como el Mitutoyo series 521, ya que la forma en la que se obtienen las medidas requiere un menor esfuerzo visual.
- Una vez calibrado el equipo, se realizó la verificación de varios comparadores del laboratorio de metrología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, determinándose el estado de los mismos, como se puede observar en la sección 5.3.

- La inversión para la realización de este proyecto fue de USD 3 440.06, lo que represento un ahorro de USD 2 596,7 con respecto al costo de importación de un verificador de similares características.
- En el laboratorio de metrología de la Universidad de la Fuerzas Armadas-ESPE, se adecuo el espacio de trabajo para el equipo verificador de comparadores y se realizó la entrega formal junto con los planos de taller y manual operación.

7.2. RECOMENDACIONES

3.5.1. Condiciones ambientales en las que debe trabajar el equipo:

- En la fabricación de las diferentes piezas que hacen parte del verificador de comparadores, se recomienda el uso de máquinas CNC para conseguir piezas más precisas, mejorando así el funcionamiento de los distintos subconjuntos que conforman el equipo.
- En la toma de datos para la calibración del equipo verificador de comparadores se aconseja tomar una mayor cantidad de datos para que la ecuación adquirida se ajuste de mejor manera disminuyendo así los errores en las lecturas.
- Mantener un constante chequeo y una buena lubricación de las distintas piezas del verificador de comparadores, principalmente del husillo de medición, la cabeza micrométrica, el pivote, el soporte del pivote y los resortes, ya que de estropearse dichas piezas, el verificador de comparadores no funcionaría de manera óptima y emitiría lecturas erróneas.
- El verificador de comparadores es un equipo de alta precisión por lo que se recomienda un manejo cuidadoso del mismo.

- Si se desea transportar el verificador de comparadores, colocar el elemento roscado para puesta a punto del equipo, ya que este evita las vibraciones del mecanismo reductor de medidas, que a su vez es el mecanismo principal del equipo verificador de comparadores.
- Evitar las vibraciones del mecanismo reductor de medidas previene daños en las esferas de contactos, en el husillo de medición y el husillo de la cabeza micrométrica.
- Para un mejor funcionamiento, mantener el equipo en un lugar adecuado, a 20°C y con una humedad relativa del 50%.
- Antes de iniciar cualquier verificación de comparadores, observar que las manillas del soporte ajusten correctamente el comparador a verificar.
- Evitar el uso de personas sin previa capacitación, el mal uso del equipo puede causar daños en los componentes.

BIBLIOGRAFÍA

- Aluminios y Metales Unicornio. (2013). Aluminio 6061. Obtenido de <http://www.aluminiosmetalesunicornio.com.mx/6061.html>*
- H.Jutz. (1984). Prontuario de metales. Reverté.*
- Larburu. (1989). Maquinas prontuario. S.A. Ediciones Paraninfo.*
- Mikell Groover. (2007). Fundamentos de manufactura moderna. México: Mc Graw Hill. Obtenido de <http://www.aprendizaje.com.mx/curso/proceso2/practicass/torno-desarrollo/capi8.htm>*
- Mitutoyo. (2015). Indicator tester series 521. Obtenido de <http://www.mitutoyo.com/Images/002/289/521-106.pdf>*
- Projeto wae. (s.f.). Micrômetro. Obtenido de <https://projetowae.wordpress.com/sobre-o-wae/>*
- Starret. (2014). Starret oficial site. Obtenido de URL: <http://www.starrett.com/metrology/product-detail/716X>*
- Starrett. (2015). Starrett. Obtenido de <http://www.starrett.com/metrology/product-detail/716X>*
- Avalos Costa, D. (2014, January 5). Reloj comparador. Reloj Comparador. Obtenido de <https://hunterdjb.files.wordpress.com/2014/05/01-tema-4.pdf>*
- López, M. De Vicente (2015, 1). Estabilidad y Centro de Gravedad. Estabilidad Y Centro De Gravedad Obtenido de <http://es.slideshare.net/tecnoparador/estabilidad-y-centro-de-gravedad>*