



---

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Probador Mecánico para Ensayos de Tracción  
Uniaxial en Materiales Suaves y Tejidos Biológicos.**

**T E S I S**  
Que para obtener el título de  
**INGENIERO MECÁNICO**

**P R E S E N T A:**  
**DANIEL OSWALDO FLORES VÁZQUEZ**

**DIRECTOR DE TESIS:**  
**DR. FRANCISCO MANUEL SÁNCHEZ ARÉVALO**



MÉXICO, D.F.

ENERO 2014

## RECONOCIMIENTOS

Gracias al **Dr. Francisco Manuel Sánchez Arévalo** por ser el guía de este trabajo, por su confianza, orientación, apoyo y su paciencia en momentos difíciles. Gracias por transmitirme su conocimiento invaluable y por darme la oportunidad de desarrollar este proyecto que ha sido un pilar de mi formación académica.

Gracias al **Dr. José Javier Cervantes Cabello** por el apoyo en la revisión de este trabajo de tesis.

Gracias al **M.C. Ubaldo Eduardo Márquez Amador** por el apoyo en la revisión de este trabajo de tesis.

Gracias al **Ing. Moisés Mendoza Linares** por el apoyo en la revisión de este trabajo de tesis.

Gracias al **Ing. Genaro Muñoz Hernández** por el apoyo en la revisión de este trabajo de tesis.

## DEDICATORIAS

Este trabajo es dedicado principalmente a mi familia que es el motor de toda mi existencia. Agradezco infinitamente a mi padre **Martín Flores** por haberme enseñado todo lo que hasta ahora sé de la vida. Gracias por forjar mi carácter, gracias por tu amor y tu apoyo incondicional, por tu compromiso y tus enseñanzas, por enseñarme a jugar fútbol, por alimentar mis sueños de conseguir lo que quiero de la vida, por todo tu trabajo, por creer en mí siempre. Por ser mi héroe. A mi madre **Rosario Vázquez** por ser la mujer más valiente de esta tierra, por cuidar siempre de mí, por ser tan amorosa y comprensiva, por guiarme en todo momento, por ser siempre un escudo incondicional y ser la mejor confidente, por tu paciencia y tu perseverancia, por el equilibrio que siempre me has ayudado a mantener, por todo tu amor y cariño. A mi hermana **Nancy Flores** por cuidar siempre de mí en momentos difíciles, por enseñarme a ser congruente en la vida, por enseñarme que en esta vida uno puede hacer lo que quiere siempre, y siempre que uno lo quiere, por todo tu amor, por tu carácter y tu fortaleza. A mi mejor amigo, mi hermano, mi cómplice, **Diego Flores**, por ser el ser humano más fiel, por tu lealtad incondicional, por ser mi apoyo, por ser mi consejero, por tu congruencia, por compartir conmigo tantas cosas, por tus peleas, tus enseñanzas y tus consejos, por nunca dejarme solo. A mi novia **Norma Herrera**, por ser el amor de mi vida, mi complemento y mi alma gemela. Por todo tu amor y sinceridad, por todo tu apoyo, por tu fidelidad, por toda tu fortaleza, por tu compromiso, por tu comprensión y tu resistencia, simplemente por enamorarme cada día.

A todas las personas que forman parte de mi vida.

Al fútbol, mi eterna pasión. Gracias por todo lo que me has dado.

A mí.

A la vida.

Gracias, porque sin ustedes no lo hubiese podido lograr.

Los amo.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A mi Universidad, la Universidad Nacional Autónoma de México.** Por brindarme la oportunidad de tener educación de excelencia. Hoy y siempre, orgullosamente Universitario.

**A mi facultad, la Facultad de Ingeniería, UNAM.** Por hacerme sentir tan orgulloso de pertenecer a ella. Por la oportunidad de ser mejor ser humano.

**Al Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM.** Por brindarme un espacio y las herramientas necesarias para el desarrollo de este proyecto y mi desarrollo profesional.

**A los proyectos PAPIIT-UNAM con número IA101211, IBI00512, IB100512-RR180512,** por proporcionar los recursos financieros para llevar a cabo el desarrollo de este trabajo de tesis, así como también agradezco el apoyo del **proyecto Conacyt-salud2010-141036.**

**A mis profesores.** Que han sabido formarme de la mejor manera, y por haber depositado en mí el conocimiento que tenían en sus manos.

**A todas las bibliotecas y laboratorios de la Universidad Nacional Autónoma de México.** Por todas las facilidades otorgadas para este trabajo y durante toda mi estancia académica.

**A mis amigos y compañeros de carrera.** Gracias a todos por los momentos que compartimos juntos.

**A mi asesor, el Dr. Francisco Manuel Sánchez Arévalo.** Por ser mi guía y compañero en este trabajo. Gracias por la oportunidad de desarrollar este proyecto.

**A mi familia.** Por todo su amor y su apoyo incondicional, por darme la fuerza para seguir adelante.

**Al Ing. Fernando Molina y al Sr. Miguel Díaz del taller del IIM-UNAM, al Ing. Miguel Zepeda del taller de manufactura del IIM-UNAM, al Sr. Adrián Gallardo y al Sr. Oscar Martínez técnicos del IIM-UNAM.** Por su colaboración en la manufactura por control numérico y manual de este trabajo de tesis.

**Ing. Alfredo Pérez, al Ing. Celso Briones y a la Ing. Marisol Garnica.** Por su colaboración, ayuda y orientación en la parte del diseño electrónico y control.

**A la Dra. Michelin Álvarez Camacho y a la Ing. Mariana Roldan Espinosa** por su apoyo en el desarrollo de la parte electrónica de los circuitos para los dispositivos del probador mecánico.

**A mis sinodales.** Por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>14</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>15</b>
<b>OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>16</b>
<b>OBJETIVOS PARTICULARES.....</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES .....</b>	<b>17</b>
1.1 Materiales suaves y tejidos biológicos.....	17
1.2 Ensayo de Tracción Uniaxial en materiales suaves y tejidos biológicos.....	17
1.3 Materiales suaves y tejidos de origen vegetal .....	18
1.3.1 Elastómeros .....	19
1.4 Materiales naturales y tejidos biológicos.....	20
1.4.1 Relación Esfuerzo-deformación .....	22
1.4.2 Relación esfuerzo-razón de elongación .....	23
1.4.3 Módulo Secante.....	25
1.4.4 Módulo de corte y Módulo de Young .....	25
1.5 Equipos para el ensayo de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos .....	26
1.6 Probeta de trabajo normalizada. Geometría y características.....	27
1.7 Aplicaciones de los materiales suaves y los tejidos biológicos .....	27
1.8 Necesidades, problemáticas y limitaciones .....	30
<b>CAPÍTULO 2. DISEÑO MECÁNICO Y MANUFACTURA DEL PROBADOR MECÁNICO. ....</b>	<b>31</b>
2.1 Diseño en ingeniería.....	31
2.2 Definición del problema .....	32
2.3 Estudio de mercado .....	33
2.3.1 Equipos INSTRON.....	33
Instron serie 3300 y serie 5900.....	34
2.3.2 Equipos MTS .....	36
2.3.3 Equipos SHIMADZU.....	38
2.3.4 Equipos BOSE.....	40
2.4 Delimitación del problema.....	42
2.5 Requerimientos del Probador Mecánico .....	42
2.6 Especificaciones del Probador mecánico .....	44
2.7 Requerimientos vs especificaciones.....	45
2.8 Diseño conceptual.....	46
2.9 Sistemas funcionales del Probador Mecánico. ....	46
2.10 Definición de los sistemas funcionales del Probador mecánico .....	47
2.10.1 Sistemas primarios.....	47
2.10.2 Sistemas secundarios.....	47
2.10.3 Diagrama de funciones del Probador mecánico .....	48
2.11 Generación y evaluación de alternativas. Lluvia de ideas.....	48
2.11.1 Alterativas para los Sistemas primarios.....	49
2.11.2 Alterativas para los Sistemas secundarios .....	50
2.12 Criterios de diseño del Probador mecánico .....	50
2.13 Evaluación de alternativas de solución. Matriz de decisión.....	52
2.14 Funcionamiento de la matriz de decisión .....	52
2.15 Matrices de decisión de los sistemas funcionales del Probador mecánico .....	53
2.16 Selección de la solución .....	56
2.17 Propuesta final .....	57
2.18 Esquema general del Probador Mecánico .....	57
2.19 Diseño mecánico. Memoria de cálculo del Probador mecánico .....	58
2.20 Sistema de Estructura y estabilidad del Probador Mecánico.....	59
2.20.1 Columnas de estabilidad y estructura-guías.....	59

2.20.2 Soportes de cruz .....	60
2.20.3 Cabezal Fijo .....	62
2.20.4 Cabezal móvil .....	63
2.20.5 Soporte de motor .....	64
2.20.6 Selección de materiales para el sistema de estabilidad y estructura del Probador .....	66
2.21 Sistema de Potencia del Probador mecánico .....	71
2.21.1 Tornillo de potencia .....	71
2.21.2 Paso del tornillo .....	72
2.22 Sistema de transmisión del Probador Mecánico .....	76
2.22.1 Cople de auto alineación .....	76
2.22.2 Selección de material para el sistema de transmisión del Probador Mecánico .....	77
2.23 Sistema de Movimiento del Probador Mecánico .....	77
2.23.1 Motor a pasos .....	77
2.23.2 Torque de motor requerido .....	78
2.23.3 Selección del actuador .....	79
2.24 Sistema de desplazamiento .....	81
2.24.1 Columnas de guía y desplazamiento .....	81
2.24.2 Tuerca de potencia .....	82
2.24.3 Bujes de desplazamiento .....	84
2.24.4 Rodamiento .....	88
2.25 Sistemas Secundarios del Probador Mecánico .....	91
2.26 Sistema de Sujeción .....	91
2.26.1 Sistema de mordazas .....	92
2.27 Sistema de control .....	94
2.27.1 Sensor de fuerza .....	94
2.27.2 Sensor de desplazamiento .....	95
2.28 Conformado del Probador Mecánico .....	95
2.29 Selección de Procesos de Manufactura para el Probador Mecánico .....	98
2.30 Ensamble del Probador Mecánico .....	100
2.30.1 Elementos de la estructura general del Probador Mecánico .....	100
2.30.2 Elementos fuera de la estructura general .....	100
2.31 Renderizado y acabado final .....	101
2.32 Conformado del probador Mecánico .....	103
2.33 Justificación de la fabricación del Probador Mecánico .....	104
<b>CAPÍTULO 3. INSTRUMENTACIÓN Y ELECTRÓNICA DEL PROBADOR MECÁNICO .....</b>	<b>105</b>
3.1 Dispositivos asociados al Probador Mecánico .....	105
3.1.1 Motor a pasos 8718L-02S .....	105
3.1.2 Driver R710 .....	107
3.1.3 Fuente PW-100-24 .....	108
3.1.4 Diagrama principal de conexiones de los elementos del motor .....	109
3.1.5 Interface NI-UMI7774 .....	110
3.1.6 Diagrama principal de conexiones de los elementos del motor a la Interface NI-UMI7774 .....	110
3.1.7 Plataforma NI- PXI 1036 .....	111
3.1.8 Tarjeta NI-PXI6281 .....	112
3.1.9 Tarjeta NI-PXI7350 .....	113
3.1.10 Tarjeta NI-PXI8331 .....	114
3.1.11 Diagrama principal de conexiones de las tarjetas NI DAQ, asociadas al chasis NI-PXI 1036 .....	114
3.1.12 Esquema general de conexión de los dispositivos asociados al PXI 1036 y la PC. ....	115
3.1.13 Bloque de conexiones NI-BNC 2090A .....	116
3.1.14 Esquema general de conexión de los dispositivos asociados al PXI 1036 y al bloque BNC 2090A. ....	117
3.2 Dispositivos de adquisición de datos .....	118
3.2.1 Celda de Carga Honeywell BR-34 .....	118

3.2.2 Fuente de alimentación para la Celda de Carga Honeywell BR 15 [Kg]	119
3.2.3 LVDT HR4000	120
3.2.4 Alimentación, acondicionamiento y rectificación de la señal del LVDT	121
3.2.5 Diagrama de conexiones general de todos los dispositivos asociados al PXI-1036	122
3.2.6 Escala Mitutoyo Digimatic Absolute Serie 572	123
3.2.7 Esquema de conexión de la regla de calibración Mitutoyo y el Probador mecánico hacia la PC	124
3.3 Instrumentación y electrónica del Probador mecánico	125
3.3.1 Esquema general de instrumentación y la electrónica del Probador mecánico	125
<b>CAPÍTULO 4. LOGÍCA Y CONTROL</b>	<b>129</b>
4.1 Herramienta virtual de programación gráfica. LABVIEW®	129
4.2 Entorno en LABVIEW	130
4.2.1 Diagrama de bloques	133
4.2.2 Panel Frontal	134
4.3 Control del Probador mecánico	135
4.3.1 Diagrama de bloques del Probador mecánico	135
4.4 Programación del control. Interface de control del Probador mecánico	136
4.4.1 Inicio del programa. (Pantalla principal)	137
4.4.2 Calibración de parámetros. (Pantalla principal)	138
4.4.3 Posicionamiento manual (subpantalla)	139
4.4.4 Guardado de los datos del material y los datos de la probeta de prueba (subpantalla)	140
4.4.5 Inicio de la prueba de ensayo de tracción (pantalla principal)	141
4.4.6 Finalizar el ensayo de tracción (subpantalla)	141
4.4.7 Resultados numéricos (pantalla principal)	142
4.4.8 Gráficos de resultados (pantalla principal)	142
4.4.9 Adquisición de datos (pantalla principal)	143
4.5 Calibración de velocidad y aceleración del Probador	144
4.6 Calibración de Fuerza del Probador. Celda de carga	144
4.6.1 Instrumento virtual de calibración de fuerza	144
4.6.2 Procesamiento de datos para la calibración de Fuerza del Probador	145
4.6.3 Modelo matemático de calibración de fuerza	146
4.7 Calibración de posición y desplazamiento	146
4.7.1 Instrumento virtual de calibración Posición y desplazamiento	146
4.7.2 Procesamiento de datos para la calibración de desplazamiento del Probador	147
4.7.3 Modelo matemático de calibración de desplazamiento	147
<b>CAPÍTULO 5. DESEMPEÑO Y APLICACIÓN DEL PROBADOR MECÁNICO</b>	<b>148</b>
5.1 Ensayo de tracción de pericardio bovino	148
5.2 Probetas de prueba	148
5.2.1 Probeta de Pericardio bovino 1	148
5.2.2 Probeta de pericardio bovino 2	149
5.2.3 Probeta de pericardio bovino 3	149
5.2.4 Probetas sometidas al ensayo de tracción en el probador mecánico	149
5.3 Resultados del ensayo de tracción uniaxial en probetas de pericardio bovino	150
5.4 Gráficas Esfuerzo-Deformación	151
5.4.1 Probeta de Pericardio bovino 1	151
5.4.2 Probeta de Pericardio bovino 2	151
5.4.3 Probeta de Pericardio bovino 3	152
5.5 Gráficas Esfuerzo-Elongación	152
5.5.1 Probeta de Pericardio bovino 1	152
5.5.2 Probeta de Pericardio bovino	153
5.5.3 Probeta de Pericardio bovino 3	153
5.6 Esfuerzo-Razón de Elongación	153
5.6.1 Probeta de Pericardio bovino 1	154
5.6.2 Probeta de Pericardio bovino 2	154

5.6.3	Probeta de Pericardio bovino 3 .....	154
5.7	Análisis del comportamiento de las gráficas de esfuerzo-Razón de Elongación .....	155
5.7.1	Probeta de Pericardio bovino 1 .....	155
5.7.2	Probeta de Pericardio bovino 2 .....	155
5.7.3	Probeta de Pericardio bovino 3 .....	156
5.7.4	Comparación del comportamiento de las tres probetas de pericardio bovino .....	156
5.8	Módulo de Corte. Zona lineal de las gráficas Esfuerzo-Razón de elongación .....	157
5.8.1	Gráfica de módulo de corte de probeta pericardio 1 .....	157
5.8.2	Gráfica de módulo de corte de probeta pericardio 2 .....	157
5.8.3	Gráfica de módulo de corte de probeta pericardio 3 .....	158
5.8.4	Comparación del comportamiento de las tres probetas de pericardio bovino .....	158
5.8.5	Modelos matemáticos del comportamiento del pericardio bovino .....	159
5.8.6	Gráfica de módulo de corte de probeta pericardio 1 con ajuste.....	159
5.8.7	Gráfica de módulo de corte de probeta pericardio 2 con ajuste.....	159
5.8.8	Gráfica de módulo de corte de probeta pericardio 3 con ajuste.....	160
5.8.9	Comparación del comportamiento de las tres probetas de pericardio bovino con ajuste .....	160
5.9	Obtención del Módulo Corte de las probetas de pericardio bovino.....	161
5.9.1	Módulo de Corte G de la probeta pericardio 1.....	161
5.9.2	Módulo de Corte G de la probeta pericardio 2.....	161
5.9.3	Módulo de Corte G de la probeta pericardio 3.....	161
5.10	Obtención del Módulo de Young del pericardio bovino .....	162
5.10.1	Módulo de Young de la probeta pericardio 1.....	162
5.10.2	Módulo de Young de la probeta pericardio 2.....	162
5.10.3	Módulo de Young de la probeta pericardio 3.....	162
5.11	Comparativo del módulo de corte y módulo de Young del pericardio bovino .....	163
5.12	Errores de medición durante el ensayo de tracción uniaxial .....	163
5.12.1	Tabla de error de la probeta de pericardio bovino 1.....	164
5.12.2	Tabla de error de la probeta de pericardio bovino 2.....	164
5.12.3	Tabla de error de la probeta de pericardio bovino 3.....	164
5.12.4	Gráfica de barras de error de las tres probetas de pericardio bovino.....	165
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>166</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>168</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA.....</b>		<b>171</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>173</b>
1.	Planos de manufactura .....	173
2.	Planos de ensamble.....	182
3.	Hojas de datos.....	185

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ensayo de tracción Uniaxial bajo los estándares de la ASTM [3].	18
Figura 2. Comportamiento de un material termoplástico [4].	19
Figura 3. Gráfica de esfuerzo-razón de elongación de materiales biológicos suaves. [5].	20
Figura 4. Gráfica de comportamiento en los materiales suaves y tejidos biológicos [6].	21
Figura 5. Gráfica característica de esfuerzo-deformación para los materiales convencionales [7].	22
Figura 6. Comportamiento típico de los materiales suaves así como el módulo de corte G [7].	23
Figura 7. Equipo Instron para ensayos de tracción (izquierda). Sistema de mordazas (derecha).	26
Figura 8. Dimensiones de las probetas para realizar ensayos de tracción [9].	27
Figura 9. Prótesis de válvula mitral.	29
Figura 10. Prótesis de falange (izquierda) y prótesis ocular (derecha).	29
Figura 11. Esquema del proceso del diseño en ingeniería [18].	31
Figura 12. Modelo de caja negra del Probador mecánico.	46
Figura 13. Diagrama de funciones del Probador mecánico	48
Figura 14. Propuesta final. Definición de los sistemas funcionales del Probador mecánico.	58
Figura 15. Arreglo de doble columna.	60
Figura 16. Soportes de cruz.	61
Figura 17. Soportes de cruz sujetos a la base de barrenos M6.	61
Figura 18. Columnas de estabilidad y estructura sujetas con los soportes de cruz.	62
Figura 19. Cabezal fijo.	62
Figura 20. Cabezal fijo montado en columnas de estabilidad y estructura.	63
Figura 21. Cabezal móvil.	64
Figura 22. Soporte de motor.	65
Figura 23. Montaje del soporte de motor en columnas de estabilidad y estructura.	65
Figura 24. Configuración del sistema funcional de estabilidad y estructura.	66
Figura 25. Configuración general del sistema funcional de potencia. Tornillo de potencia.	71
Figura 26. Configuración del sistema funcional de transmisión. Cople mecánico.	76
Figura 27. Motor a pasos, actuador del Probador mecánico.	77
Figura 28. Configuración del sistema funcional de movimiento.	78
Figura 29. Motor a pasos 8718L-02S. Lin engineering [31].	80
Figura 30. Conexión entre el sistema de movimiento, el sistema de transmisión y el sistema de potencia.	81
Figura 31. Configuración del sistema funcional de estabilidad y estructura.	81
Figura 32. Tuerca de potencia.	84
Figura 33. Bujes de desplazamiento.	85
Figura 34. Tuerca de potencia y bujes de deslizamiento embebidos en el cabezal móvil.	85
Figura 35. Rodamiento de tipo bolas. Para el giro infinito de tornillo de potencia	89
Figura 36. Rodamiento embebido en el cabezal fijo para giro infinito de tornillo.	90
Figura 37. Primera vista Interacción de los sistemas funcionales del Probador Mecánico.	90
Figura 38. Segunda vista Interacción de los sistemas funcionales del Probador Mecánico.	91
Figura 39. Mordazas tipo tornillo.	92
Figura 40. Mordazas tipo tornillo abiertas. Doble sujeción.	92
Figura 41. Dimensiones de las mordazas de tipo tornillo, vista frontal.	93
Figura 42. Dimensiones de las mordazas de tipo tornillo, vista lateral.	93
Figura 43. Sensor de fuerza del Probador mecánico.	94
Figura 44. Ensamble general del sistema de mordazas.	95
Figura 45. Ensamble general del Probador Mecánico en vista isométrica.	96
Figura 46. Ensamble general del Probador Mecánico. Vista frontal	96
Figura 47. Vista lateral derecha, dimensiones generales del Probador Mecánico.	97
Figura 48. Vista frontal, dimensiones del Probador Mecánico.	97
Figura 49. Diagrama de flujo del proceso de CNC [36].	99
Figura 50. Ensamble por conexión a presión.	100
Figura 51. Ensamble por conexión atornillada.	100

Figura 52. Acabado comercial del Ensamble general del Probador mecánico. ....	101
Figura 53. Acabado comercial isométrico del Ensamble general del Probador mecánico. ....	101
Figura 54. Acabado comercial isométrico del Ensamble del sistema de sujeción del Probador mecánico. ...	102
Figura 55. Mordaza de sujeción. Sistema de sujeción.....	102
Figura 56. Configuración general del Probador Mecánico.....	103
Figura 57. Sistema de mordazas.....	103
Figura 58. Motor a pasos 8718L-02S. Lin Engineering [37].....	106
Figura 59. Gráfica de torque contra velocidad Motor a pasos 8718L-02S [25]. ....	106
Figura 60. Driver R710 [38].....	107
Figura 61. Fuente PW-100-24[38].....	108
Figura 62. Diagrama de conexiones del motor.....	109
Figura 63. Interface NI-UMI7774 [40].....	110
Figura 64. Diagrama de conexiones del motor en comunicación con la tarjeta NI-UMI7774. ....	110
Figura 65. Plataforma NI- PXI 1036[40].....	111
Figura 66. Tarjeta NI-PXI6281 comunicación vía BNC [40].....	112
Figura 67. Tarjeta NI-PXI7350 controlador de motores [40]. ....	113
Figura 68. Tarjeta NI-PXI8331 comunicación serial con la PC, adquisición de datos [40]. ....	114
Figura 69. Diagrama del PXI-1036 que alberga a las tarjetas PXI.....	114
Figura 70. Esquema general de conexión de los dispositivos asociados al PXI 1036 y la PC. ....	115
Figura 71. Bloque BNC 2090A para la comunicación con dispositivos y sistemas DAQ [40]. ....	116
Figura 72. Esquema general de conexión de los dispositivos asociados al PXI 1036, bloque BNC 2090A y la PC.....	117
Figura 73. Celda de Carga Honeywell BR-34(15 [kg]) [33]. ....	118
Figura 74. Fuente de alimentación de alimentación asociada a la celda de carga HoneywellBR-34 (15 [kg]). .....	119
Figura 75. Circuito de alimentación asociada a la celda de cargaHoneywellBR-34 (15 [kg]). ....	119
Figura 76. Fuente de alimentación de alimentación, acondicionamiento de señal y rectificación asociada al LVDT HR4000.....	121
Figura 77. Diagrama de la fuente de alimentación de alimentación, acondicionamiento de señal y rectificación asociada al LVDT HR4000. ....	121
Figura 78. Diagrama de conexiones general de todos los dispositivos asociados al PXI. ....	122
Figura 79. Escala Digimatic Mitutoyo. ....	123
Figura 80. Convertidor USB.....	124
Figura 81. Diagrama general de conexiones de la escala Digimatic. ....	124
Figura 82. Diagrama de conexiones general de todos los dispositivos asociados al Probador. ....	125
Figura 83. Instrumentación del Probador mecánico. ....	126
Figura 84. Chasis PXI, con las tarjetas de comunicación asociadas.....	126
Figura 85. Multiconector BNC-2090A.....	127
Figura 86. Bloque conector BNC, con la PXI, mas comunicación con PC. ....	127
Figura 87. Instrumentación completa del Probador.....	128
Figura 88. Instrumentación completa del Probador y sus dispositivos e instrumentos asociados. ....	128
Figura 89. Panel de trabajo VI, de izquierda a derecha panel frontal y diagrama de bloques. ....	131
Figura 90. Menús flotantes. De izquierda a derecha, paleta de herramientas y paletas de funciones. ....	132
Figura 91. Menús flotantes. De izquierda a derecha, paleta de herramientas y paletas de funciones. ....	132
Figura 92. Vista del Diagrama de bloques del VI en LABVIEW. Detalle. ....	133
Figura 93. Barra de herramientas en pantalla principal. ....	134
Figura 94. Vista del Panel Frontal del VI en LABVIEW. Detalle. ....	134
Figura 95. Diagrama de bloques del Probador mecánico. ....	135
Figura 96. Interface de control del Probador mecánico por medio de la PC. ....	137
Figura 97. Pantalla principal Interface de control del Probador mecánico. ....	138
Figura 98. Pantalla principal Interface de control del Probador mecánico. Calibración de parámetros. ....	138
Figura 99. Pantalla Interface de control del Probador mecánico. Limpiar gráfica. ....	139
Figura 100. Pantalla de posicionamiento manual Interface de control del Probador mecánico. ....	139

Figura 101. Pantalla de guarda datos manual Interface de control del Probador mecánico. ....	140
Figura 102. Aplicación de desplazamiento e inicio de prueba. ....	141
Figura 103. Botón de finalización de prueba. ....	141
Figura 104. Casillas de reporte de resultados numéricos. ....	142
Figura 105. Casillas de reporte de resultados gráficos. ....	142
Figura 106. Adquisición de datos simultánea al movimiento del Probador. ....	143
Figura 107. Vi de programa para la calibración de fuerza. ....	145
Figura 108. Modelo gráfico de la calibración de la celda de carga. ....	145
Figura 109. Modelo matemático de la calibración de la celda de carga. ....	146
Figura 110. Vi de programa para la calibración de desplazamiento y posición. ....	147
Figura 111. Modelo gráfico y matemático de la calibración del lvdt. ....	147
Figura 112. Modelo matemático de la calibración del lvdt. ....	147
Figura 113. Probeta de pericardio bovino 1. ....	148
Figura 114. Probeta de pericardio bovino 2. ....	149
Figura 115. Probeta de pericardio bovino 3. ....	149
Figura 116. Probeta de pericardio bovino montada en el sistema de sujeción del Probador mecánico. ....	149
Figura 117. Probetas de pericardio bovino al finalizar el ensayo de tracción. De izquierda a derecha se encuentran probeta de pericardio bovino 1, probeta de pericardio bovino 2, probeta de pericardio bovino 3, respectivamente. ....	150
Figura 118. Probeta de pericardio bovino 1 y Gráficas de comportamiento Esfuerzo-Deformación. ....	151
Figura 119. Probeta de pericardio bovino 2 y Gráficas de comportamiento Esfuerzo-Deformación. ....	151
Figura 120. Probeta de pericardio bovino 2 y Gráficas de comportamiento Esfuerzo-Deformación. ....	152
Figura 121. Probeta de pericardio bovino 1 y Gráficas de comportamiento Esfuerzo-Elongación. ....	152
Figura 122. Probeta de pericardio bovino 2 y Gráficas de comportamiento Esfuerzo-Elongación. ....	153
Figura 123. Probeta de pericardio bovino 3 y Gráficas de comportamiento Esfuerzo-Elongación. ....	153
Figura 124. Probeta de pericardio bovino 1 y Gráficas de comportamiento Esfuerzo- Razón de Elongación. ....	154
Figura 125. Probeta de pericardio bovino 2 y Gráficas de comportamiento Esfuerzo- Razón de Elongación. ....	154
Figura 126. Probeta de pericardio bovino 3 y Gráficas de comportamiento Esfuerzo- Razón de Elongación. ....	154
Figura 127. Probeta de pericardio bovino 1 y Gráficas de Esfuerzo-Razón de Elongación cuadrada. ....	155
Figura 128. Probeta de pericardio bovino 1 y Gráficas de Esfuerzo-Razón de Elongación circular. ....	155
Figura 129. Probeta de pericardio bovino 3 y Gráficas de Esfuerzo-Razón de Elongación triangular. ....	156
Figura 130. Comparativo de Gráficas de Esfuerzo-Razón de Elongación de la probeta pericardio bovino 1 cuadrada, probeta pericardio bovino 2 circular y probeta pericardio bovino 3 triangular. ....	156
Figura 131. Sección lineal de la gráfica Esfuerzo-Razón de Elongación de la probeta pericardio 1. ....	157
Figura 132. Sección lineal de la gráfica Esfuerzo-Razón de Elongación de la probeta pericardio 2. ....	157
Figura 133. Sección lineal de la gráfica Esfuerzo-Razón de Elongación de la probeta pericardio 3. ....	158
Figura 134. Figura 133. Comparativo de Gráficas del módulo de corte G, obtenido a partir de la gráfica de Esfuerzo-Razón de Elongación de la probeta pericardio bovino 1 cuadrada, probeta pericardio bovino 2 circular y probeta pericardio bovino 3 triangular. ....	158
Figura 135. Sección lineal de la gráfica Esfuerzo-Razón de Elongación de la probeta pericardio 1 con ajuste y su modelo matemático asociado. ....	159
Figura 136. Sección lineal de la gráfica Esfuerzo-Razón de Elongación de la probeta pericardio 2 con ajuste y su modelo matemático asociado. ....	159
Figura 137. Sección lineal de la gráfica Esfuerzo-Razón de Elongación de la probeta pericardio 3 con ajuste y su modelo matemático asociado. ....	160
Figura 138. Comparativo de Gráficas del módulo de corte G con ajuste, obtenido a partir de la gráfica de Esfuerzo-Razón de Elongación de la probeta pericardio bovino 1 cuadrada, probeta pericardio bovino 2 circular y probeta pericardio bovino 3 triangular. ....	160
Figura 139. Modelo matemático obtenido a partir del ensayo de tracción uniaxial, para la probeta de pericardio bovino 1. ....	161

Figura 140. Modelo matemático obtenido a partir del ensayo de tracción uniaxial, para la probeta de pericardio bovino 2.....	161
Figura 141. Modelo matemático obtenido a partir del ensayo de tracción uniaxial, para la probeta de pericardio bovino 3.....	161
Figura 142. Gráfica del Módulo de Young y el Módulo de Corte de las probetas de pericardio bovino .....	163
Figura 143. Tabla de error de la probeta de pericardio bovino 1 .....	164
Figura 144. Tabla de error de la probeta de pericardio bovino 2.....	164
Figura 145. Tabla de error de la probeta de pericardio bovino 3.....	164
Figura 146. Gráfica de barras de error del ensayo de tracción uniaxial en las probetas de pericardio bovino. .....	165

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modelo Instron 3340[20].....	34
Tabla 2. Modelo Instron 5942 [20].....	34
Tabla 3. Modelo Instron 5943 [20].....	35
Tabla 4. Modelo Instron 5944 [20].....	35
Tabla 5. Modelo MTS Criterion 42 [21].....	36
Tabla 6. Modelo MTS Criterion 43 [21].....	37
Tabla 7. Modelo MTS Criterion 44 [21].....	37
Tabla 8. Modelo Shimadzu EZ-SX [22].....	38
Tabla 9. Modelo Shimadzu EZ-LXHS [22].	39
Tabla 10. Modelo Shimadzu EZ-LX [22].....	39
Tabla 11. Modelo Bose electro Force 3100 [23].	40
Tabla 12. Modelo Bose ElectroForce 3200 [23].....	41
Tabla 13. Modelo Bose ElectroForce 3200EC [23].	41
Tabla 14. Tabla de requerimientos contra especificaciones del Probador mecánico.	45
Tabla 15. Alternativas de solución para el sistema de estructura y estabilidad.	49
Tabla 16. Alternativas de solución para el sistema de Potencia.	49
Tabla 17. Alternativas de solución para el sistema de Transmisión.	49
Tabla 18. Alternativas de solución para el sistema de Movimiento.	49
Tabla 19. Alternativas de solución para el sistema de Desplazamiento.	49
Tabla 20. Alternativas de solución para el sistema de Sujeción.	50
Tabla 21. Alternativas de solución para el sistema de Control.....	50
Tabla 22. Tabla de los criterios de diseño para el Probador mecánico.	51
Tabla 23. Tablas de valores para los criterios de diseño.....	51
Tabla 24. Tabla de valores asignados a la calificación por solución.	52
Tabla 25. Matriz de decisión para el sistema de Estabilidad y Estructura.	53
Tabla 26. Matriz de decisión para el sistema de Potencia.	53
Tabla 27. Matriz de decisión para el sistema de Transmisión.	54
Tabla 28. Matriz de decisión para el sistema de Movimiento	54
Tabla 29. Matriz de decisión para el sistema de Desplazamiento.	55
Tabla 30. Matriz de decisión para el sistema de Sujeción.	55
Tabla 31. Matriz de decisión para el sistema de Control.	56
Tabla 32. Selección de la solución en función de los sistemas funcionales.	56
Tabla 33. Características físicas y mecánicas del acero inoxidable y el acero aleado.	67
Tabla 34. Resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables.	68
Tabla 35. Puntuación del acero inoxidable AISI 316.	69
Tabla 36. Características del cople mecánico.	76
Tabla 37. Tabla comparativa de motores para el Probador mecánico [30].....	79
Tabla 38. Especificaciones del motor a pasos 8718L-02S [31].....	80
Tabla 39. Coeficientes de rozamiento de algunos metales [26].....	86
Tabla 40. Propiedades físicas de algunos metales [26].	87
Tabla 41. Propiedades del Bronce sinterizado SAE 841 [29].....	88
Tabla 42. Materiales de manufactura de los componentes del Probador Mecánico.	98
Tabla 43. Costo del Probador mecánico.	104
Tabla 44. Especificaciones del motor a pasos 8718L-02S.	106
Tabla 45. Especificaciones de la Fuente PW-100-24 [38].....	108
Tabla 46. Especificaciones de la celda de Carga Honeywell BR-34 [33].	118
Tabla 47. Salida de voltaje y corriente de la celda de carga Honeywell BR-34 (15 [kg]).	119
Tabla 48. Especificaciones de la fuente de alimentación para la Celda de Carga [34].....	120
Tabla 49. Voltaje y Amperaje de salida para Celda de Carga Honeywell BR 15 [Kg].	121

## RESUMEN

Este trabajo de tesis se realizó con el objetivo de diseñar un equipo con las características físicas necesarias y las prestaciones adecuadas para realizar los ensayos de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos. Es importante mencionar que en el mercado existen equipos destinados para ensayos de tracción y compresión uniaxial; sin embargo, estos equipos son diseñados para ensayar materiales convencionales como los aceros. Estos equipos tienden a ser muy robustos en sus marcos de carga y sus sensores no poseen la sensibilidad necesaria para realizar el ensayo de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos como lo pueden ser: piel, colágeno, tejidos naturales, pericardio bovino, látex, tejido muscular, o algún tejido de tipo cartilaginoso. Por otra parte los equipos comerciales tienen actuadores que ofrecen un desplazamiento limitado en su configuración; lo anterior se traduce en una carrera corta en su espacio de trabajo, por lo tanto, no son útiles para estudiar los materiales con grandes deformaciones como los que se mencionaron anteriormente. Por otra parte, los equipos comerciales especialmente diseñados para el ensayo de tracción en tejidos biológicos son de muy alto costo, además de ser equipos con una configuración predeterminada por el fabricante. En este caso si la configuración original quiere modificarse, el equipo estará en riesgo de perder precisión. Por lo tanto se cuenta con sólo una versión del equipo, la modernización y actualización se le deja solamente al fabricante.

Para el desarrollo de este equipo fue indispensable identificar todas y cada una de las necesidades para realizar la caracterización mecánica de materiales suaves y los tejidos biológicos. A partir de dichas necesidades y conociendo las características y el funcionamiento de los equipos comerciales, se pudo plantear un diseño conceptual adecuado. Este diseño tomó en cuenta las ventajas, desventajas y limitaciones de los equipos comerciales. Lo anterior con el objetivo de satisfacer las necesidades presentes al caracterizar mecánicamente un material suave o tejido biológico. Con todas las consideraciones anteriores y el desarrollo del diseño mecánico fue posible realizar un análisis de selección de materiales conveniente para la manufactura del Probador Mecánico.

En este trabajo se describe el planteamiento del diseño conceptual y el diseño mecánico del Probador mecánico, además se presenta la evolución del mismo durante las diversas etapas de su desarrollo. Posteriormente se muestra el análisis de selección de materiales para la manufactura del Probador Mecánico, así como, sus procesos de manufactura asociados. En los siguientes capítulos se presenta detalladamente la parte de instrumentación y la electrónica correspondiente del Probador, es decir los elementos necesarios para comunicar la parte mecánica del equipo con la parte electrónica del mismo y sus respectivos sensores. Posteriormente se muestra el desarrollo del sistema de control, lo que permitirá la manipulación del equipo mediante un instrumento virtual programado en el software de control LABVIEW. En la parte final de este trabajo de tesis se presentan los resultados obtenidos, el balance del cumplimiento de los objetivos planteados, así como las expectativas que se generan con la manufactura del Probador Mecánico. También se muestran los resultados obtenidos a través del ensayo de tracción para materiales suaves y tejidos biológicos. Pudiendo obtener de dicho ensayo las propiedades mecánicas de los materiales suaves y tejidos biológicos sometidos a estudio.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente los tejidos suaves o también llamados polímeros naturales y en general los materiales biológicos, han tomado un papel muy importante en el desarrollo de productos y aplicaciones propios de la bioingeniería y de la medicina. Estos materiales pueden ser utilizados en prótesis de apoyo, prótesis de reemplazo, prótesis dentales y en un gran número de aplicaciones más. Es por ello que el estudio de estos materiales es muy importante, pues sólo a través de procedimientos de análisis podrán determinarse las propiedades de éstos y por consecuencia saber en qué área de aplicación podrán brindar beneficios. En ingeniería, el estudio de estos materiales se lleva a cabo bajo los ensayos de pruebas mecánicas, como se realizan en un material convencional, como los aceros y los polímeros. Uno de los ensayos más solicitados en área de las pruebas mecánicas es el ensayo de tracción uniaxial. Para llevar a cabo el ensayo de tracción uniaxial en dichos materiales, se requiere de un equipo de pruebas mecánicas para ensayos de tracción. Hoy en día existe una vasta disponibilidad en el mercado de estos equipos; sin embargo, puede afirmarse que el costo de estos equipos es muy elevado y en ocasiones inaccesible para las Instituciones de Investigación.

En la mayoría de las Instituciones de Investigación, es posible que se cuente con un equipo de pruebas mecánicas para ensayos de tracción, estos equipos son muy robustos y de gran capacidad, pues han sido diseñados para ensayar materiales convencionales como los ya mencionados. Este detalle puede traducirse en que las dimensiones y capacidad de los equipos, están fuera de rango de las propiedades y geometrías que poseen los materiales suaves y los tejidos biológicos, pues estos, son de dimensiones reducidas y de consistencia delicada. Ocurre entonces que los equipos puedan no poseer la sensibilidad requerida para ensayar dichos materiales y ocasionar que los resultados obtenidos puedan estar fuera de los parámetros determinados por las normas que rigen estos ensayos. La importancia que tiene este trabajo de tesis, se centra en cubrir las necesidades existentes en el Laboratorio de Mecánica y Micromecánica de Sólidos en el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM. Actualmente en el laboratorio se cuenta con un equipo de la marca MTS. Este equipo cuenta con un área de trabajo reducida, y por lo tanto no adecuada para materiales con deformaciones del 400% al 800%. A su vez, esta área en ocasiones no es modificable, al menos así lo indica el fabricante, por lo tanto se tiene que recurrir a modificaciones fuera de las especificaciones técnicas de la máquina, lo que significa un riesgo potencial para la configuración original del equipo. De esta forma el desarrollo del diseño se centra en crear un equipo con las características físicas y geométricas especiales para trabajar en el laboratorio el estudio de estos materiales. Con este diseño se pretende mejorar el área de trabajo, brindando un espacio mayor en la configuración horizontal del equipo y aumentando la carrera vertical de éste, ajustar la capacidad del equipo mediante sensores adecuados para el ensayo de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos, además de un sistema de sujeción especialmente diseñado para estos materiales.

## **OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar y manufacturar un Probador Mecánico; posteriormente, instrumentar y controlar este equipo para ensayar materiales suaves y tejidos biológicos por medio del ensayo de tracción.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

### **Diseño**

- Presentar el diseño conceptual, en un ambiente CAD, de un Probador Mecánico para el estudio del comportamiento de materiales suaves y tejidos biológicos.
- Seleccionar sensores adecuados para la aplicación mencionada.
- Mejorar el sistema de sujeción. Diseño especial de mordazas para estos materiales.
- Generar planos de manufactura.

### **Materiales y manufactura**

- Seleccionar el material o los materiales adecuados para la manufactura del Probador.
- Manufacturar y conformar el Probador Mecánico.

### **Instrumentación y electrónica**

- Acoplar sensores de fuerza y desplazamiento al Probador.
- Generar la electrónica adecuada para cada uno de los dispositivos asociados al Probador.

### **Control**

- Generar una interfaz de control para la manipulación del Probador.
- Adquirir datos (fuerza y desplazamiento) durante el ensayo de tracción.
- Calibrar y validar el Probador Mecánico.
- Determinar propiedades mecánicas del material ensayado.

## **CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES**

### **1.1 Materiales suaves y tejidos biológicos**

El estudio de los materiales biológicos ha recibido en los últimos años un interés muy alto, debido a la importancia que representa cada vez más este tipo de materiales en las áreas de la ingeniería, la medicina y las ciencias. Estos materiales poseen extraordinarias propiedades mecánicas, lo que ha despertado la atención de las distintas áreas de investigación para su estudio. El estudio de estos materiales ofrece a las entidades de investigación, nuevas oportunidades para resolver problemas científicos con una mejor alternativa para proponer una solución diferente [1].

Por otra parte, la expectativa de vida de los seres humanos ha comenzado a incrementarse nuevamente en los recientes años debido a los avances e innovaciones que ha tenido la ciencia. En ello, las ciencias como la ingeniería, la medicina, la biología, la química entre otras han tenido una contribución muy importante. El avance y la innovación en los materiales y en los métodos para procesar estos, han sido una aportación de vital importancia por parte de la ingeniería. En particular puede mencionarse, el estudio y el desarrollo de los materiales suaves y tejidos biológicos, también llamados biomateriales.

Los materiales suaves y los tejidos biológicos poseen una composición estructural intrínseca, es decir que poseen características propias de su naturaleza viva. Estos materiales poseen características elásticas muy importantes, pues presentan un alto grado de elasticidad [2].

### **1.2 Ensayo de Tracción Uniaxial en materiales suaves y tejidos biológicos**

El ensayo de tracción Uniaxial es el ensayo más común para determinar las propiedades mecánicas de los materiales. De este ensayo puede determinarse la gráfica esfuerzo-razón de elongación característica del comportamiento de estos materiales. Dicha gráfica contiene parámetros importantes para el cálculo del módulo secante, el módulo de corte o módulo final, así como el módulo de falla del material. En el ensayo de tracción se requiere de una muestra denominada probeta. Dicha probeta está normalizada bajo las especificaciones de la ASTM (American Society of Testing Materials).

Para el ensayo de tracción, se utiliza una probeta normalizada que consta de una longitud original ( $l_0$ ) y un área que corresponde a la sección transversal ( $A_0$ ) de la probeta. Esta probeta normalizada se monta entre dos mordazas de la máquina de ensayos de tracción uniaxial; la mordaza montada en el cabezal móvil jala el material de tal manera que se produce una elongación en la dirección longitudinal de la muestra y una contracción en la sección transversal de la misma, de tal forma que, se registra una fuerza asociada a la resistencia que ofrece la probeta al ser deformada.

Durante el ensayo de tracción, los materiales suaves y los tejidos biológicos se estiran presentando grandes porcentajes de elasticidad y por consiguiente pequeños valores de deformación hasta llegar a la falla del material. La carga y el cambio de longitud de la probeta se registran conforme avanza el ensayo [2].

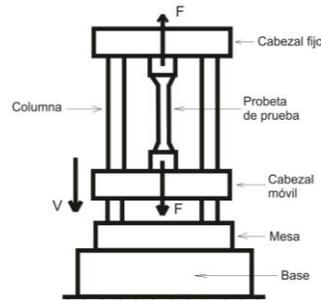


Figura 1. Ensayo de tracción Uniaxial bajo los estándares de la ASTM [3].

La principal característica en el ensayo de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos es la gran deformación que sufren este tipo de materiales bajo pequeñas cargas y su capacidad de recuperar la forma original. Algunos ejemplos de estos materiales son los vasos sanguíneos, músculos, piel, etc. La función primaria de los tejidos elásticos es la restauración de la forma original, a partir de un estado deformado, con la mínima pérdida de energía. Los tejidos suaves poseen un comportamiento anisotrópico y viscoelástico [3].

### 1.3 Materiales suaves y tejidos de origen vegetal

Los materiales poliméricos o plásticos pueden dividirse en tres grandes grupos, aunque existen otros tipos de clasificaciones debido a sus diversas propiedades. De acuerdo a una clasificación muy general, los materiales plásticos pueden dividirse de la siguiente forma:

- Termoplásticos
- Termofijos
- Elastómeros

Para efectos de estudio en este trabajo de investigación, sólo se describirán continuación las características y propiedades físicas y mecánicas de los materiales suaves, convenientemente los que pertenecen a la estructura de los polímeros denominados elastómeros, debido a que su comportamiento es similar al comportamiento que presentan algunos de los materiales naturales y los tejidos biológicos [3].

### 1.3.1 Elastómeros

Dentro de los materiales suaves, pueden ubicarse no sólo los tejidos naturales antes mencionados o los biomateriales, también existen materiales suaves de origen vegetal y/o sintético, como lo son algunos elastómeros. Los materiales plásticos denominados elastómeros, son muchas veces clasificados en materiales termofijos o termoestables por sus características, los elastómeros son un grupo de materiales de origen vegetal o bien sintético como se mencionó anteriormente, estos poseen la característica de elongación de hasta 30 veces su tamaño normal, debido a sus propiedades mecánicas de elasticidad, también tienen la capacidad de regresar a su estado original sin sufrir ningún cambio o daño después de haber sido sometidos a alguna carga que haya originado alguna deformación. Existen elastómeros termofijos y elastómeros termoplásticos, es decir que también existen polímeros termoplásticos con gran capacidad de deformación o elongación y a su vez, existen materiales termofijos con la misma capacidad. En la siguiente gráfica se muestra el comportamiento de un material altamente elástico como los elastómeros, los tejidos naturales y los materiales biológicos.

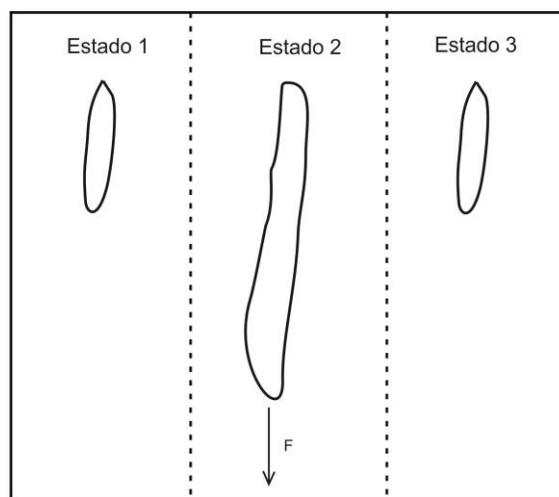


Figura 2. Comportamiento de un material termoplástico [4].

Podemos observar que el comportamiento mecánico al someter un material suave, a la aplicación de una carga, en este caso bajo el ensayo de tracción, su comportamiento es similar aunque no idéntico a un material natural o bien un tejido biológico, pues así como estos materiales, los elastómeros presentan un comportamiento no lineal, posteriormente lineal o linealizable y nuevamente una región de no linealidad, por lo que la caracterización y el proceso de estudio será similar al de los biomateriales suaves o tejidos biológicos [4].

## 1.4 Materiales naturales y tejidos biológicos

En cuanto a sus características particulares los materiales biológicos poseen un alto grado de no linealidad en respuesta a grandes deformaciones. Es decir que en los tejidos naturales puede observarse mediante el ensayo de tracción uniaxial un comportamiento de no linealidad reportado en las curvas típicas de esfuerzo-razón de elongación construidas a partir de este ensayo para dichos materiales.

A continuación se muestran las curvas características de este tipo de materiales estudiados bajo el ensayo de tracción uniaxial. Dichas curvas pertenecen a un tejido biológico denominado pericardio bovino, que es un tejido de un ser vivo que posee la característica de ser biocompatible en interacción con el cuerpo humano. Este tejido se utiliza principalmente como bioprótesis debido a sus propiedades físicas y mecánicas para reparar defectos hemiarrios de la pared abdominal, la pared torácica, de diafragma y para sustituir vasos y tráquea, así como prótesis de válvulas cardiacas, etc. [5].

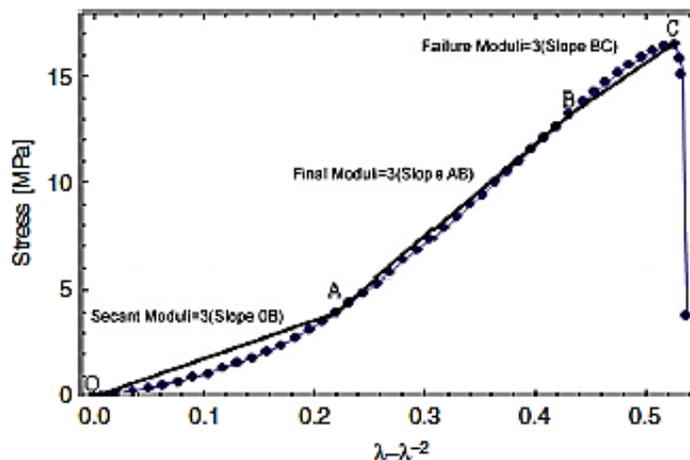
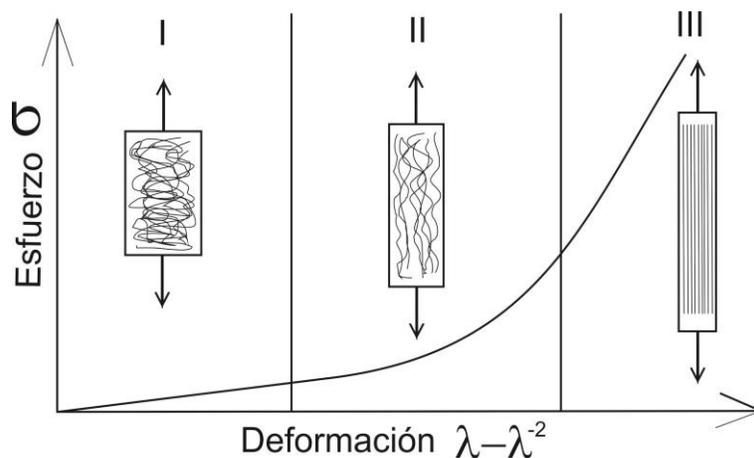


Figura 3. Gráfica de esfuerzo-razón de elongación de materiales biológicos suaves. [5].

De lo anterior, es importante comentar que el comportamiento que presentan estos materiales, dicho comportamiento es irregular en cuanto a linealidad corresponde, pues la gráfica que representa el comportamiento del material se divide en tres distintas regiones a lo largo de la curva de esfuerzo-razón de elongación construida a partir del ensayo de tracción, estas regiones se explican a continuación:

1. La primera región corresponde a un comportamiento no lineal y en ella se presentan pequeñas elongaciones, las cuales ocurren por la alineación de las fibras durante el ensayo de tracción. La primera región muestra condiciones de relajación debido a la ausencia de carga. En esta región existe un comportamiento isotrópico, es decir que se encuentra el mismo comportamiento del material sin depender de la dirección en la que sea estudiado su comportamiento. Al someter al material a una carga, éste se comporta como un tejido muy suave.

2. La segunda región corresponde a un comportamiento lineal o linealizable, donde las fibras del material de estudio sufren nuevamente una alineación, pero en este caso es en dirección de la aplicación de la carga. En esta segunda región a medida que aumenta la carga aplicada a la probeta de estudio, las fibras del material tienden a alinearse con la dirección de la carga. La relación tensión-deformación es lineal y por lo tanto puede aplicarse la ley de Hooke con debidas restricciones.
3. Finalmente, en la tercera región corresponde nuevamente a un comportamiento no lineal. En esta región existe un límite elástico para el material, pues las rupturas de las fibras de este comienzan a ocurrir, adicionalmente existen en el material altas tensiones de tracción, los patrones de las fibras comprimidas desaparecen y ahora las fibras de material se encuentran perfectamente alineados uno de otro en la dirección en la que se aplica la carga. Las fibras totalmente paralelas a la dirección de aplicación de la carga resisten la carga con fuerza y el tejido se vuelve cada vez más rígido a tensiones más altas. La relación de tensión-razón de elongación se convierte en no lineal de nuevo. Más allá de la tercera fase de la resistencia a la tracción se alcanza y las fibras comienzan a romperse. En este caso ha llegado entonces el punto donde el material falla. Este comportamiento, puede observarse en la siguiente gráfica de esfuerzo-razón de elongación correspondiente para los materiales biológicos o tejidos naturales [6].



**Figura 4. Gráfica de comportamiento en los materiales suaves y tejidos biológicos [6].**

Esta gráfica representa el comportamiento de la mayoría de los materiales biológicos suaves o los tejidos biológicos naturales, las cuales difieren significativamente de las curvas de esfuerzo-deformación de otros materiales utilizados en ingeniería. Los materiales suaves y tejidos biológicos son materiales cuya característica más importante mecánicamente hablando es que sufren un grado muy alto de deformación a pequeñas cargas, por lo que son muy elásticos. Adicionalmente tienen la capacidad de recuperar su forma original a partir de un estado deformado con la mínima pérdida de energía, después de haberlos sometido a alguna carga, siempre y cuando se encuentre este desplazamiento en la zona elástica del material [6].

### 1.4.1 Relación Esfuerzo-deformación

Para los materiales suaves y los tejidos biológicos se tienen curvas características, las cuales pueden integrarse a partir del ensayo de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos. De igual forma estas curvas obtenidas a partir de un ensayo mecánico, poseen ecuaciones características. Estas ecuaciones características son muy importantes, ya que son de gran utilidad para realizar un análisis posterior y poder determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales suaves y tejidos biológicos en estudio. Por otro lado para los materiales convencionales, generalmente las curvas características poseen el siguiente comportamiento:

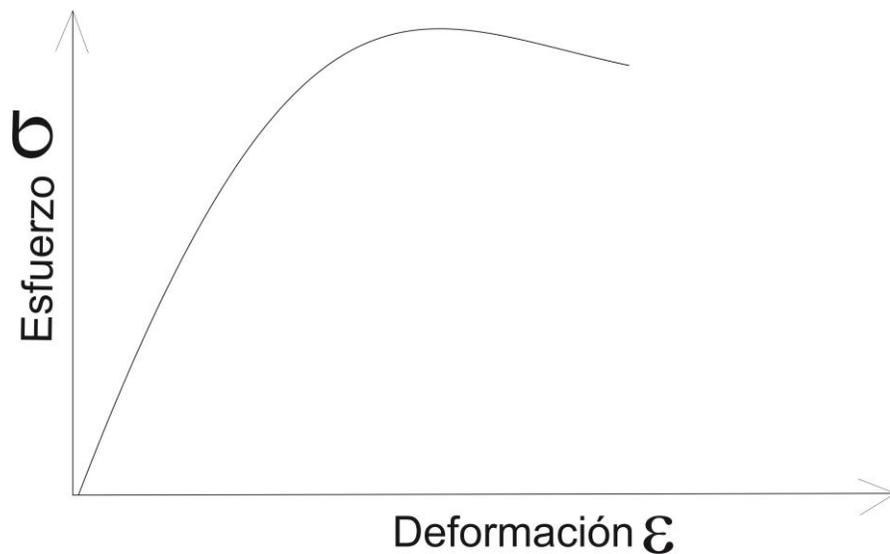


Figura 5. Gráfica característica de esfuerzo-deformación para los materiales convencionales [7].

De lo anterior se tiene que el esfuerzo mecánico al que está sometido un material por reacciones en éste, está dado por la siguiente expresión de esfuerzo ( $\sigma$ ) debido a que esta gráfica corresponde a una gráfica de esfuerzo-deformación de algún material convencional como ya se ha mencionado:

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ [Pa]} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde  $\sigma$  es el esfuerzo normal, F es la fuerza aplicada y A es el área de la sección transversal de la probeta del material de estudio. Mientras tanto la deformación que se origina en este tipo de materiales está dada por  $\varepsilon$  y se denota bajo la siguiente expresión:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} \quad \text{Ec. 2}$$

De acuerdo a los parámetros anteriores, existe una relación entre el esfuerzo-deformación aplicable para los materiales convencionales. Esta relación es conocida como la ley de Hooke y se denota de la siguiente forma:

$$\sigma = E\varepsilon \quad \text{Ec. 3}$$

Donde sigma ( $\sigma$ ) es el esfuerzo aplicado durante la aplicación de la carga, E es el módulo elástico o módulo de Young del material de estudio y  $\varepsilon$  es la constante de deformación [7].

#### 1.4.2 Relación esfuerzo-razón de elongación

De igual forma para los materiales suaves y tejidos biológicos existen gráficas características como ya se ha mencionado. Dichas gráficas poseen un comportamiento generalmente similar para este tipo de materiales, donde regularmente es no lineal su comportamiento. La siguiente curva característica puede obtenerse a partir del ensayo de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos.

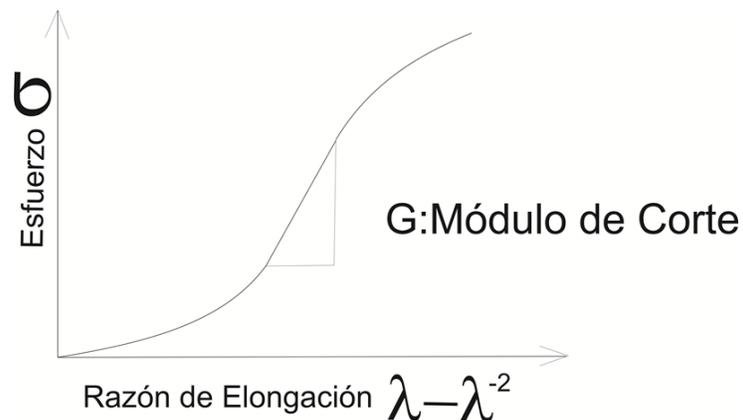


Figura 6. Comportamiento típico de los materiales suaves así como el módulo de corte G [7].

En la gráfica anterior aparece la relación esfuerzo-razón de elongación y no la relación esfuerzo-deformación. De acuerdo a lo anterior se tiene el siguiente desarrollo matemático en función de los parámetros que se obtienen del ensayo de tracción.

Para este tipo de materiales se tiene que el esfuerzo mecánico al que está sometido un material de estas características, está dado por la siguiente expresión:

$$\sigma = G \left( \lambda - \frac{1}{\lambda^2} \right) \quad \text{Ec. 4}$$

Haciendo las operaciones correspondientes para tener una expresión sintetizada, se tiene:

$$\sigma = G (\lambda - \lambda^{-2}) \quad \text{Ec. 5}$$

Donde  $\sigma$  es el esfuerzo al que está sujeto el material en la aplicación de la carga,  $G$  es el módulo de corte y la expresión  $\lambda - \lambda^{-2}$  es la razón de elongación del material debido a la carga aplicada.

Para la deformación que existe en el material  $\varepsilon$ , se tiene que esta deformación para este tipo de materiales se convierte en una razón de elongación o razón de deformación ( $\lambda$ ), y está dada de la siguiente forma:

Partiendo de la expresión anterior de deformación

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0}$$

Tenemos que

$$\varepsilon = \frac{l_f}{l_0} - \frac{l_0}{l_0} = \frac{l_f}{l_0} - 1 \quad \text{Ec. 6}$$

$$\varepsilon + 1 = \frac{l_f}{l_0} = \lambda \quad \text{Ec. 7}$$

Donde  $\lambda$  es igual a la razón de elongación que sufre un material al aplicarle una fuerza, para este caso bajo el ensayo de tracción. La expresión  $\lambda - \lambda^{-2}$  puede obtenerse al gráficas los valores correspondientes de esfuerzo ( $\sigma$ ), y la elasticidad ( $\varepsilon$ ) como razón de elongación ( $\lambda$ ) [7].

### 1.4.3 Módulo Secante

Analíticamente hablando, la pendiente de la primera región representan la secante y por consiguiente el módulo de la secante y matemáticamente puede expresarse de la siguiente forma. De tal forma que de la pendiente de la primera sección de la curva (linealizando ésta), podemos obtener el módulo secante que es  $3S$ , donde  $S$  es la pendiente de este módulo y se obtendría de la siguiente forma:

$$E_{sm} = 3S \quad \text{Ec. 8}$$

### 1.4.4 Módulo de corte y Módulo de Young

En la gráfica esfuerzo-razón de elongación, la pendiente de la segunda región representa el módulo de corte del material. Para el módulo  $G$  (módulo de corte), se considera la región entre la primera y la segunda etapa y corresponde a la región lineal de la gráfica. Para este tipo de materiales, el módulo de Young también es conocido como módulo de elasticidad y estos materiales tienen la característica de poseer módulos de elasticidad muy pequeños. De esta forma, puede obtenerse el módulo de corte  $G$  considerando que el material de estudio sea un material incompresible y que  $G$  es la pendiente de la gráfica donde esta tiene un comportamiento lineal y sirve para adquirir parámetros como el esfuerzo del material, y el módulo final del material. Lo anterior por medio de las siguientes expresiones:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde  $E$  es igual al módulo de Young o módulo de elasticidad del material y  $\nu$  es el coeficiente de Poisson que es  $\nu = 0.5$  por lo tanto el módulo de corte  $G$  está dado por la siguiente expresión:

$$G = \frac{E}{3} \quad \text{Ec. 10}$$

Así entonces el módulo de Young se representa de la siguiente forma:

$$E = 3G \quad \text{Ec. 11}$$

Finalmente la pendiente de la tercera región representa el módulo de falla del material. De acuerdo a las fuentes consultadas en la literatura, el módulo de elasticidad  $E$  y el módulo de corte  $G$  respectivamente, son los parámetros de mayor importancia para determinar las propiedades de estos materiales. [7].

## 1.5 Equipos para el ensayo de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos

Hoy en día existen probadores mecánicos comerciales comúnmente llamados máquinas para ensayos de tracción uniaxial, con marcos de carga para grandes dimensiones. Dentro de las marcas más conocidas se encuentran Instron, MTS, Shimadzu y Bose. Algunas de las desventajas de estos equipos en cuanto al estudio de los materiales suaves y los tejidos biológicos son el tamaño y la sensibilidad que poseen. Lo anterior se debe a que éstos fueron diseñados para estudiar materiales convencionales como el acero o el concreto bajo normas o estándares geométricos considerablemente grandes como lo marca la norma ASTM E-8.

En la actualidad existe la necesidad de estudiar materiales suaves como los tejidos biológicos o algunos polímeros de origen natural para uso médico y otras aplicaciones. Estos materiales presentan espesores muy reducidos y por lo tanto la sección transversal de la probeta es muy pequeña. Como consecuencia de lo anterior, se deben emplear sensores de fuerza y desplazamiento adecuados; es decir, con una mayor sensibilidad sin dañar la muestra del material. Además deben contar con un sistema de sujeción especial y adecuada para estos materiales. Actualmente se han desarrollado equipos con menores dimensiones para el estudio de materiales blandos de origen natural, tales como la piel, colágeno, cartílago, etc., que son muestras delicadas que necesitan menor fuerza aplicada pero mayor espacio de desplazamiento para su estudio, es decir que poseen un valor muy bajo de resistencia última para llegar al punto de ruptura.

Comúnmente los ensayos de tracción para materiales suaves y tejidos biológicos se rigen bajo las Normas ASTM E-4 y ASTM 1441 entre otras. Las empresas de este ramo han podido desarrollar los equipos necesarios para el estudio de estos materiales; sin embargo, el adquirir un equipo con estas características es complicado por su alto costo, además de que no cuentan con una carrera suficiente en su espacio de trabajo.

Punto aparte es el sistema de sujeción, que es un sistema probado, sin embargo no podría asegurarse que realice la correcta función de sujeción y con el mismo éxito en todas las muestras de los distintos tipos de materiales debido también a sus dimensiones. Por lo anterior es importante contar con un sistema de sujeción especial para estos materiales [8].



Figura 7. Equipo Instron para ensayos de tracción (izquierda). Sistema de mordazas (derecha).

## 1.6 Probeta de trabajo normalizada. Geometría y características

Como se ha mencionado las probetas de trabajo son las muestras del material a estudiar. Estas muestras o probetas están sujetas a las normas ASTM, en las cuales se indica la geometría particular conveniente para cada material, espesores y diámetros de ser necesarios. Estas muestras son necesarias para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales. La probeta de trabajo para el estudio de los materiales biológicos está normalizada bajo los estándares de la norma ASTM E4, ASTM E3 y ASTM D1704 y presenta las siguientes dimensiones para distintos materiales. A = 15 (mm), B = 22 (mm), C = 10 (mm), D = 5(mm), E, F y G = 2.5 (mm), como lo muestra la siguiente figura.

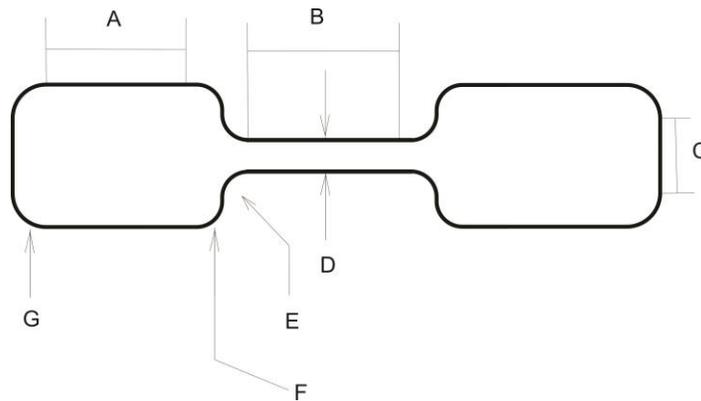


Figura 8. Dimensiones de las probetas para realizar ensayos de tracción [9].

## 1.7 Aplicaciones de los materiales suaves y los tejidos biológicos

Los materiales naturales suaves o tejidos biológicos son un grupo de materiales que se unen para dar soporte y o protección al cuerpo humano, a sus estructuras o bien a sus órganos, contrario a otro tipo de tejidos, estos poseen un amplio rango de elasticidad y poseen la capacidad de regresar al estado original una vez aplicada una carga.

Ejemplos de materiales naturales suaves o tejidos biológicos son los tendones, los ligamentos, los vasos sanguíneos, la piel, o los tejidos cartilagosos que se encuentran en la mayoría de los seres vivos. Estos materiales tienen diferentes actividades y se desempeñan de distintas formas según su función. Algunos ejemplos de estas actividades son dar soporte a huesos, proporcionar, estabilidad, soporte de órganos o simplemente brindar movimiento a algún otro elemento de cualquier ser vivo. Algunos otros desempeñan actividades de protección al cuerpo humano o alguna parte de éste.

Otra de las actividades que realizan es soportar las cargas a las que están sujetos los cuerpos de los seres vivos o bien distribuirlas, también minimizan o anulan el esfuerzo o la fricción de algunas de las partes del cuerpo humano. Puede mencionarse que, en general, que la configuración de reposo de un tejido blando en el cuerpo no es el estado no deformado, sino el deformado, es decir que siempre está sujeto a algún tipo de carga por mínima que sea [10].

Como se mencionó, estos materiales poseen un amplio rango de elasticidad, su comportamiento puede ser similar al comportamiento de un material elástico como lo es el hule o la goma. Los Materiales suaves y los tejidos biológicos son un grupo de materiales también llamados polímeros naturales. Este grupo está formado por piel natural, arterias, venas y otros componentes que son utilizados como materiales de ingeniería. Sus aplicaciones más comunes son en cirugías plásticas, implantes de piel, reconstrucción de músculos, tendones y ligamentos. Lo anterior nos permite tener una idea de la importancia que tienen los biomateriales dentro de la vida del ser humano, por lo que es de suma importancia que el estudio, la investigación y el desarrollo de estos materiales continúen. A grandes rasgos pueden clasificarse en la siguiente estructura en función a su respuesta:

- Inertes. Sin respuesta
- Interactivos. Respuesta específica “prediseñada” (Crecimiento de tejido, adhesión)
- Viables. Respuesta como a tejido normal (Absorción y/o remodelación)
- Reimplantados. Respuesta armónica. Cultivos in vitro de células de un paciente específico. Actualmente en etapa experimental.

La razón principal del empleo de los materiales suaves y los tejidos biológicos se encuentra en reemplazar físicamente a un tejido blando o duro, que ha sido dañado o destruido a través de un proceso patológico (enfermedad) o accidental. La aplicación de los biomateriales se puede resumir en tres fases:

1. Estructural
2. Reemplazo de Tejidos
3. Ingeniería Biomédica [11].

De lo anterior puede afirmarse que, en cualquiera de las fases o etapas es necesario conocer la respuesta mecánica del material que será empleado, de tal forma que satisfaga de manera correcta la tarea que cumplía el órgano o parte del órgano a reemplazar por el material sustituto. Es importante señalar la importancia de tener una herramienta confiable capaz de caracterizar materiales poliméricos sintéticos o naturales empleados en ingeniería de tejidos y la medicina de regeneración celular.

A continuación se muestran algunas aplicaciones de los materiales suaves y tejidos biológicos, como lo son prótesis de órganos en los seres humanos, prótesis cardiacas, manos, pies, falanges y hasta prótesis oculares. Estas prótesis están fabricadas con materiales suaves de origen orgánico, como lo son el látex, el neopreno, el silicón, así como con materiales naturales y tejidos biológicos como el pericardio y el cartílago. [12].

Aquí se muestra la prótesis final de una válvula mitral. Esta prótesis proporciona dieciséis años de duración probada según información del fabricante. Ha sido diseñada para solucionar las principales causas de la patología de deterioro estructural de la válvula mitral por calcificación en el cuerpo humano [13].



**Figura 9. Prótesis de válvula mitral.**

Otra aplicación de materiales suaves o tejidos biológicos, son las prótesis externas, como lo son las prótesis de falanges y prótesis ocular, fabricadas en caucho de silicona, flexible y resistente. Existen otros tipos de prótesis bajo el mismo proceso de manufactura y con la implementación de distintos materiales suaves como lo son la prótesis maxilofacial, auricular, nasal, orbitaria, facial, oro-facial, asociadas o no con implantes osteointegrados [14].



**Figura 10. Prótesis de falange (izquierda) y prótesis ocular (derecha).**

## **1.8 Necesidades, problemáticas y limitaciones**

Parte esencial para la determinación de las características de este equipo son las necesidades que se piensan cubrir con él, pues la idea principal de concebir una máquina con tales características es el poder estudiar materiales suaves y tejidos biológicos. Al ensayar dichos materiales se pretende obtener resultados confiables de estos análisis y poder utilizar estos datos en otras aplicaciones convenientes. Lo anterior garantizando un equipo exacto y preciso en las pruebas.

Gracias a esta investigación se obtuvieron referencias importantes, tomando como base los equipos comerciales actualmente en funcionamiento, pudiendo observar que estos cuentan con marcos de carga de grandes magnitudes, lo cual dificulta hacer el estudio de los materiales suaves, o bien de los tejidos biológicos bajo el ensayo de tracción. Lo anterior se puede determinar gracias a que estos equipos fueron diseñados para ensayar materiales convencionales como los aceros o metales en general.

Una de las problemáticas que se encuentran en estos equipos es la dificultad para hacer modificaciones en ellos y cubrir las necesidades requeridas, esto es debido que al modificar su configuración original se corre el riesgo de alterarlos y a su vez alterar los resultados que podamos obtener de las pruebas realizadas. Por consecuencia lo anterior no es recomendable.

Es importante mencionar también que el costo de estos equipos es elevado, lo que hace inaccesible adquirirlo, pues además el mantenimiento preventivo y el mantenimiento por desgaste natural se realiza también por el proveedor, lo que adiciona un costo extra al costo de la compra del equipo. Lo anterior puede ser una limitante al momento de pensar en adquirir un equipo para ensayos de tracción.

Por otra parte la transportación del equipo dentro del laboratorio de Mecánica y Micromecánica de Sólidos en Materiales Avanzados, es también importante, por lo que se requiere de un equipo que sea fácil de ensamblar y desensamblar para su fácil transporte y su posterior mantenimiento.

Además de estos elementos, es importante proporcionar un equipo de fácil operación para el usuario, ya que esto brindará practicidad, seguridad y confianza al realizar las pruebas. Lo anterior se pretende mediante una interfaz de usuario muy intuitiva y gráfica que ayude a que su manejo sea muy amigable y práctico permitiendo guiar al operador en todo momento [15], [16].

## CAPÍTULO 2. DISEÑO MECÁNICO Y MANUFACTURA DEL PROBADOR MECÁNICO.

En este capítulo se presenta el desarrollo progresivo del diseño conceptual del Probador mecánico para ensayos de tracción uniaxial en materiales suaves y tejidos biológicos, así como la evaluación de las alternativas de solución que finalmente llevan a la concepción del diseño mecánico y el conformado final de esta máquina.

### 2.1 Diseño en ingeniería

El diseño es una actividad dedicada a la resolución de problemas orientada a objetivos que suelen requerir muchas iteraciones e interacciones durante su desarrollo. El diseño conceptual es la herramienta que utiliza el ingeniero diseñador de máquinas para bosquejar una idea que se convertirá en un resultado a través de los requerimientos previamente establecidos.

El diseño conceptual es parte de la especificación y proporciona como resultado un principio de solución aceptado. En todas las etapas de diseño, ya sea conceptual, de materialización, o de detalle, se sigue un proceso de generación de soluciones alternativas que después son simuladas o probadas y evaluadas, lo que constituye la base para la decisión de seguir con una de ellas [17].

Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica, o resolver un problema. Si el plan resulta en algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y hasta comercializarse.

La herramienta más importante del diseño conceptual es el establecimiento de la estructura funcional. En ella se deberán representar las funciones que realizara el producto y deberán estar señalados los flujos de energía, materiales, las entradas, las salidas, además de las funciones que realizara el producto. El proceso de diseño comienza con la identificación de una necesidad y la decisión de hacer algo al respecto. El proceso de diseño completo puede representarse en el siguiente esquema [18].

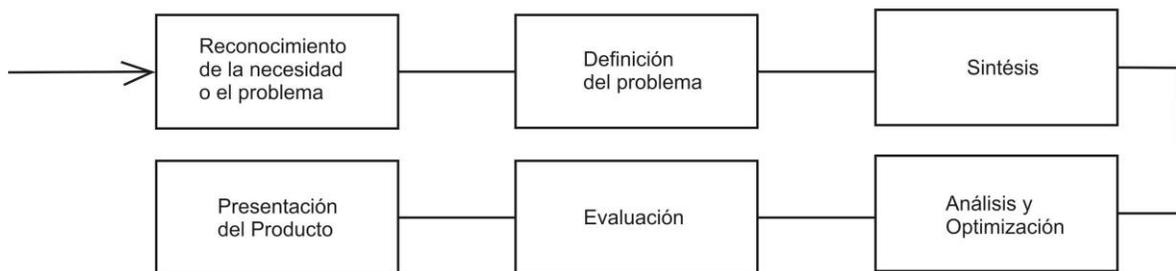


Figura 11. Esquema del proceso del diseño en ingeniería [18].

## 2.2 Definición del problema

Actualmente existen máquinas convencionales de marcas comerciales destinadas para realizar el ensayo de tracción; sin embargo la mayoría de estos equipos poseen marcos de carga demasiado robustos y sensores de fuerza muy grandes, debido a que fueron diseñados para realizar ensayos de tracción en otro tipo de materiales convencionales como son los metales y los concretos. Debido a las demandas actuales que obliga al estudio de materiales biológicos, como lo son los tejidos o los denominados polímeros naturales, se han desarrollado equipos comerciales destinados para ensayar estos materiales. Estos equipos son costosos y en muchas ocasiones no permiten la modificación de su configuración original para adaptarlo a nuevas condiciones de trabajo de ser necesario.

Una dificultad significativa en los equipos comerciales es su carrera limitada, es decir que el área de trabajo vertical es muy corta. Lo anterior representa un problema si se tiene la necesidad de ensayar un material que posea gran elasticidad, pues éste tendría el inconveniente de que el rango de la carrera del equipo fuera insuficiente para su estudio. Otro de los inconvenientes que se presenta, es que algunos equipos poseen componentes plásticos, lo que representa un problema si es que el medio bajo el que se llevará a cabo el ensayo de tracción es un medio con cambios de temperatura considerables. En ocasiones es necesario poner sustancias ajenas a los materiales de prueba con el fin de comprobar sus propiedades de mejor forma al facilitar el estudio, algunas de estas sustancias pueden ser corrosivas lo que podría dañar, manchar, o alterar los componentes plásticos o metálicos presentes en el equipo. Por lo cual es necesario utilizar un material resistente a los medios agresivos.

En estos equipos también se presenta una problemática de mantenimiento. En la fase preventiva pueden seguirse las recomendaciones del fabricante, pero, en caso de presentar algún tipo de desperfecto que origine la revisión general del equipo o bien el remplazo de alguno de sus componentes, se convierte en obligada la visita con el fabricante, o en su defecto que los técnicos calificados y certificados por la empresa den el servicio técnico requerido. Lo anterior representa días de trabajo perdidos por parte del equipo y retraso en los compromisos relacionados con las actividades de los investigadores. Por otra parte en caso del desajuste en la calibración del equipo es necesario mandar a calibrar el equipo con el fabricante, o bien, de igual forma esperará asistencia técnica por parte de éste.

Como se ha mencionado existen muchos tipos de materiales suaves, tejidos biológicos y polímeros naturales, por lo cual es importante contar con distintos sistemas de sujeción para ensayar estos. Lo anterior agrega un costo extra, al costo del equipo, y en ocasiones no son intercambiables por lo que el adquirir equipos para distintos tipos de materiales es imposible. Por lo anterior es muy importante que se pueda contar no solo con distintos tipos de sujeción por tipo de material, sino que estos tengan la facilidad de intercambiarse según el material que tenga la necesidad de estudiarse.

En el tema del uso y control de los equipos, estos poseen un software especializado que se tendría que adquirir junto con el equipo para su óptimo funcionamiento. Al costo del equipo, se agrega el costo de software dependiendo de la versión de éste, lo que aumenta significativamente el costo total del equipo. De lo anterior existen factores que limitan el acceso a estos equipos. Por tanto en ocasiones se opta por acoplar los equipos de manera artesanal con el fin de llevar a cabo un ensayo en este tipo de materiales naturales, lo que origina que los resultados obtenidos sean alterados o bien carezcan de fiabilidad. Por supuesto el adaptar dispositivos ajenos a las máquinas convencionales puede también originar un daño irreversible en ellas. Por ello es importante contar con un equipo que sea versátil para su uso, así como de fácil modificación dependiendo del medio en el que actuará.

Finalmente es importante contar con un equipo de fácil ensamble y de fácil mantenimiento en su etapa preventiva, de operación y por desgaste debido a cargas cíclicas, pudiendo reemplazar los componentes de forma sencilla. Además, brindar el espacio de trabajo necesario para el ensayo en estos materiales y poder actuar adecuadamente bajo cualquier medio de trabajo. De igual forma debe tener un sistema de sujeción adecuado al tipo de material, además que el manejo del equipo debe ser práctico y sencillo para el operario. [19]

## **2.3 Estudio de mercado**

A continuación se presentan las características y especificaciones de los equipos de cuatro marcas comerciales importantes en el área de los ensayos mecánicos para materiales de ingeniería, incluidos los polímeros naturales y los tejidos biológicos. Estos equipos están disponibles actualmente en el mercado, y sus precios oscilan entre los \$603,000.00 hasta los \$1,372,000.00 MXN, aproximadamente.

### ***2.3.1 Equipos INSTRON***

La compañía Instron posee un gran prestigio y una gran variedad de equipos con distintas características, para los distintos tipos de materiales existentes. Esta compañía pone en el mercado sus equipos para pruebas de ensayos de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos por medio de su línea de equipos de la serie 5940 y de la serie 3340. Estos equipos ofrecen precisión y exactitud además de repetibilidad en el ensayo de tracción debido a la aplicación de dosificación de fuerza por medio de las tecnologías Electro Plus y Microtester [20].

Los equipos Instron destinados a los ensayos de tracción en estos materiales constan de solo una columna de trabajo y sus características se presentan a continuación.

## Instron serie 3300 y serie 5900

Tabla 1. Modelo Instron 3340[20].

Instron 3340	Especificaciones	Valores
	Permite el ensayo en materiales	Alambre fino, fibras e hilos, biomateriales, películas delgadas, adhesivos, espuma, papel.
	Capacidad	5[kN]
	Espacio de ensayo vertical	458[mm]
	Intervalo de velocidad	0.05 – 2500 [ mm/min]
	Peso	350[Kg]
	Software de control y adquisición de datos	Bluehill Lite
	Ventajas	Diseño compacto Suficiente espacio de trabajo Equipo certificado
	Desventajas	Configuración original no modificable Precio del equipo Precio del software No disponible en México Componentes plásticos
	Precio aproximado	\$603,000.00

Tabla 2. Modelo Instron 5942 [20].

Instron 5942	Especificaciones	Valores
	Permite el ensayo en materiales	Plásticos, alambre fino, fibras e hilos, biomateriales, películas delgadas, adhesivos, espuma, papel.
	Capacidad	0.5 [kN]
	Espacio de ensayo vertical	726 [mm]
	Intervalo de velocidad	0.05 – 2500 [ mm/min]
	Peso	45[Kg]
	Software de control y adquisición de datos	Bluehill 2
	Ventajas	Diseño compacto Variedad de mordazas Suficiente espacio de trabajo Equipo certificado
	Desventajas	Configuración original no modificable Precio del equipo Precio del software No disponible en México Componentes plásticos
	Precio aproximado	\$802,000.00

Tabla 3. Modelo Instron 5943 [20].

Instron 5943	Especificaciones	Valores
	Permite el ensayo en materiales	Plásticos, alambre fino, fibras e hilos, biomateriales, películas delgadas, adhesivos, espuma, embalajes, productos de papel.
	Capacidad	1 [kN]
	Espacio de ensayo vertical	1123 [mm]
	Intervalo de velocidad	0.05 – 2500 [ mm/min]
	Peso	55 [Kg]
	Software de control y adquisición de datos	Bluehill 2
	Ventajas	Diseño compacto Variedad de mordazas Equipo certificado Excelente espacio de trabajo
	Desventajas	Configuración original no modificable Precio del equipo Precio del software No disponible en México Componentes plásticos
	Precio aproximado	\$927,000.00

Tabla 4. Modelo Instron 5944 [20].

Instron 5944	Especificaciones	Valores
	Permite el ensayo en materiales	Plásticos, alambre fino, fibras e hilos, biomateriales, películas delgadas, adhesivos, espuma, embalajes, productos de papel, productos consumibles.
	Capacidad	2 [kN]
	Espacio de ensayo vertical	1123 [mm]
	Intervalo de velocidad	0.05 – 2500 [ mm/min]
	Peso	65[Kg]
	Software de control y adquisición de datos	Bluehill 2
	Ventajas	Diseño compacto Variedad de mordazas Equipo certificado Excelente espacio de trabajo
	Desventajas	Configuración original no modificable Precio del equipo Precio del software No disponible en México Componentes plásticos
	Precio aproximado	\$972,000.00

### 2.3.2 Equipos MTS

La compañía MTS por su parte ofrece asistencia para el ensayo de tracción en materiales delicados, polímeros naturales y materiales biomédicos con su línea Criterion. La marca MTS, es una de las marcas más conocidas por los profesionales para el área de los ensayos mecánicos. MTS tiene en el mercado su modelo Criterion 42 con las capacidades disponibles desde 1 [N], 5 [N], 10 [N], 25 [N], 50 [N], 100 [N], 250 [N], 500 [N], 1 [kN], 2 [kN] hasta los 5 [kN]. El equipo MTS Criterion 42 para ensayos de tracción se muestra a continuación. [21]

MTS serie Criterion

Tabla 5. Modelo MTS Criterion 42 [21].

MTS Criterion 42	Especificaciones	Valores
	Aplicaciones	Plásticos, alambre fino, fibras e hilos, biomateriales, películas delgadas, adhesivos, espuma, embalajes, productos de papel.
	Capacidad	5[kN]
	Espacio de ensayo vertical	650[mm]
	Intervalo de velocidad	0.05 – 2000 [ mm/min]
	Peso	129[Kg]
	Software de control y adquisición de datos	Software MTS TestSuite
	Ventajas	Varios tipos de mordazas Simulación ambiental Equipo certificado
	Desventajas	Costo de equipo Costo de software Peso Dimensiones Configuración original no modificable No disponible en México
	Precio aproximado	\$815,000.00

Tabla 6. Modelo MTS Criterion 43 [21].

MTS Criterion 43	Especificaciones	Valores
	Permite el ensayo en materiales	Componentes pequeños, plásticos reforzados, metales, alambres, compuestos, elastómeros, productos de madera, textiles, biomateriales, productos de papel, adhesivos, espuma, productos consumibles.
	Capacidad	5[kN]
	Espacio de ensayo vertical	9015[mm]
	Intervalo de velocidad	0.05 – 2000 [ mm/min]
	Peso	184[Kg]
	Software de control y adquisición de datos	Software MTS TestSuite
	Ventajas	Varios tipos de mordazas Simulación ambiental Equipo certificado
	Desventajas	Costo de equipo Costo de software Peso Dimensiones Configuración original no modificable No disponible en México Tamaño
	Precio aproximado	\$1,152,000.00

Tabla 7. Modelo MTS Criterion 44 [21].

MTS Criterion 44	Especificaciones	Valores
	Permite el ensayo en materiales	Componentes pequeños, plásticos reforzados, metales, alambres, compuestos, elastómeros, productos de madera, textiles, productos de papel, adhesivos, espuma, productos consumibles.
	Capacidad	5[kN]
	Espacio de ensayo vertical	9015[mm]
	Intervalo de velocidad	0.05 – 2000 [ mm/min]
	Peso	409[Kg]
	Software de control y adquisición de datos	Software MTS TestSuite
	Ventajas	Varios tipos de mordazas Simulación ambiental Equipo certificado
	Desventajas	Costo de equipo Costo de software Peso Dimensiones Configuración original no modificable No disponible en México
	Precio aproximado	\$1,192,000.00

### 2.3.3 Equipos SHIMADZU

La empresa Japonesa Shimadzu pone a disposición, de la industria y de las dependencias encargadas del desarrollo y la investigación en materiales, sus equipos para ensayos de tracción Uniaxial por medio de su serie Shimadzu EZ-S y EZ-L con una amplia opción en cuanto a capacidades para ensayar este tipo de materiales que van desde 500N , donde la celda de medición de carga puede ser seleccionado a partir de 9 tipos: 1[N], 2[N], 5[N], 10[N], 20[N], 50[N], 100[N], 200[N] y 500[N]) y 2[N], 5[N], 10[N], 20[N], 50[N], 100[N] 200[N], 500[N], 1k[N], 5 [kN]) respectivamente. Los equipos se muestran a continuación [22].

Shimadzu serie EZ-L y EZ-SX

Tabla 8. Modelo Shimadzu EZ-SX [22].

Shimadzu EZ-SX	Especificaciones	Valores
	Permite el ensayo en materiales	Comida, biomateriales, medicamentos, látex, plásticos suaves, electrónicos.
	Capacidad	500 [N]
	Espacio de ensayo vertical	550 [mm]
	Intervalo de velocidad	0,001 a 1000 mm / min
	Peso	33[Kg]
	Software de control y adquisición de datos	TrapeziumX
	Ventajas	Tres tipos de mordazas Equipo certificado
	Desventajas	Costo de equipo Costo de software Peso Dimensiones Configuración original no modificable Peso Tamaño No disponible en México Componentes plásticos
	Precio aproximado	\$1,250,000.00

Tabla 9. Modelo Shimadzu EZ-LXHS [22].

Shimadzu EZ-LXHS	Especificaciones	Valores
	Permite el ensayo en materiales	Comida, biomateriales, medicamentos, látex, plásticos suaves, electrónicos, películas de video, consumibles.
	Capacidad	2 [kN]
	Espacio de ensayo vertical	830 [mm]
	Intervalo de velocidad	0,001 a 2000 mm / min
	Peso	55[Kg]
	Software de control y adquisición de datos	TrapeziumX
	Ventajas	Tres tipos de mordazas Equipo certificado
	Desventajas	Costo de equipo Costo de software Peso Dimensiones Configuración original no modificable Peso Tamaño No disponible en México Componentes plásticos
	Precio aproximado	\$1,220,000.00

Tabla 10. Modelo Shimadzu EZ-LX [22].

Shimadzu EZ-LX	Especificaciones	Valores
	Permite el ensayo en materiales	Comida, biomateriales, medicamentos, látex, plásticos suaves, electrónicos, películas de video, consumibles
	Capacidad	5[kN]
	Espacio de ensayo vertical	750 [mm]
	Intervalo de velocidad	0,001 a 1000 mm / min
	Peso	55[Kg]
	Software de control y adquisición de datos	TrapeziumX
	Ventajas	Tres tipos de mordazas Equipo certificado
	Desventajas	Costo de equipo Costo de software Peso Dimensiones Configuración original no modificable Peso Tamaño No disponible en México Componentes plásticos
	Precio aproximado	\$1,250,000.00

### 2.3.4 Equipos BOSE

Bose presenta dos nuevos sistemas de alta precisión para las pruebas en materiales bajo el ensayo de tracción. Los equipos de pruebas de banco ElectroForce 3200 y el ElectroForce 3330, poseen una alta resolución y precisión de la medida de desplazamiento de los sistemas experimentales electrodinámicos. Con una resolución de la medición de un nanómetro y precisiones del orden de micras, estos sistemas proporcionan un orden de magnitud de mejora en la medición de desplazamiento. Estos equipos amplían significativamente la gama de la capacidad de las pruebas, con un desplazamiento adicional de 150 [mm] en su espacio de trabajo para las pruebas de tracción [23].

BOSE serie ElectroForce

Tabla 11. Modelo Bose electro Force 3100 [23].

Bose ElectroForce 3100	Especificaciones	Valores
	Permite el ensayo en materiales	Biomateriales, películas delgadas, adhesivos, espuma, productos de papel,
	Capacidad	22[N]
	Espacio de ensayo vertical	178[mm]
	Intervalo de velocidad	0.05 – 1500 [ mm/min]
	Peso	18[kg]
	Software de control y adquisición de datos	Bose DMA-Dynamic Mechanical Analysis
	Ventajas	Varios tipos de mordazas Tamaño Peso Equipo certificado
	Desventajas	Costo de equipo muy elevado Costo de software Altamente delicado Configuración original no modificable No disponible en México Refacciones muy caras Componentes plásticos
	Precio aproximado	\$1,172,000.00

Tabla 12. Modelo Bose ElectroForce 3200 [23].

Bose ElectroForce 3200	Especificaciones	Valores
	Permite el ensayo en materiales	Biomateriales, películas delgadas, adhesivos, espuma, productos de papel, consumibles.
	Capacidad	225[N]
	Espacio de ensayo vertical	112[mm]
	Intervalo de velocidad	0.05 – 1500 [ mm/min]
	Peso	25[kg]
	Software de control y adquisición de datos	Bose DMA-Dynamic Mechanical Analysis
	Ventajas	Varios tipos de mordazas Tamaño Peso Equipo certificado
	Desventajas	Costo de equipo muy elevado Costo de software Altamente delicado Configuración original no modificable No disponible en México Refacciones muy caras Componentes plásticos
	Precio aproximado	\$1,215,000.00

Tabla 13. Modelo Bose ElectroForce 3200EC [23].

Bose ElectroForce 3200EC	Especificaciones	Valores
	Permite el ensayo en materiales	Biomateriales, películas delgadas, adhesivos, espuma, productos de papel, consumibles.
	Capacidad	450[N]
	Espacio de ensayo vertical	150[mm]
	Intervalo de velocidad	0.05 – 1500 [ mm/min]
	Peso	18[kg]
	Software de control y adquisición de datos	Bose DMA-Dynamic Mechanical Analysis
	Ventajas	Varios tipos de mordazas Tamaño Peso Equipo certificado
	Desventajas	Costo de equipo muy elevado Costo de software Altamente delicado Configuración original no modificable No disponible en México Refacciones muy caras Componentes plásticos
	Precio aproximado	\$1,372,000.00

## **2.4 Delimitación del problema**

Existe una diferencia notable entre el enunciado de la necesidad y la identificación del problema. La definición del problema es más específica y debe incluir todas las especificaciones del objeto que va a diseñarse. Los requerimientos son las características que permitirán el desarrollo del proceso de diseño. Son una herramienta que guía y controla el diseño a través del proceso. Si estos requisitos son muy estrictos pueden llevar a aumentar significativamente el costo del proyecto, y si son muy holgados, pueden conducir a no alcanzar los objetivos propuestos.

Las especificaciones son las cantidades de entrada y salida, las características y dimensiones del espacio que el objeto debe ocupar y todas las limitaciones sobre estas cantidades. Puede considerarse el objeto que va a diseñarse como algo dentro de una caja negra. En este caso deben especificarse las salidas de la caja, junto con sus características y sus limitaciones. Las especificaciones definen el costo, la cantidad que se va a manufacturar, la vida esperada, el intervalo, la temperatura de operación y la confiabilidad.

Por ello es importante identificar las necesidades del proyecto, dichas necesidades serán traducidas a un lenguaje técnico que permita establecer las especificaciones de éste. Finalmente bajo estas especificaciones se tendrá la tarea de plantear los requerimientos del proyecto que guiará el desarrollo del diseño. Por lo anterior se presentan los requerimientos y las especificaciones para el diseño del Probador Mecánico. [24]

## **2.5 Requerimientos del Probador Mecánico**

De acuerdo a las necesidades que se presentan al principio de este trabajo de investigación, se tiene una referencia importante de acuerdo a dichas necesidades. Esta referencia servirá como punto de partida para la mejor elección a lo largo del desarrollo del Probador mecánico. Como primer acercamiento se tiene que el Probador debe contar con la resolución necesaria para ensayar este tipo de materiales, el equipo debe ser costeable y de fácil mantenimiento. Además el equipo debe permitir la portabilidad de este en caso de ser necesario trasladarlo de un lugar a otro, así como debe ser posible su manejo por cualquier operador y de manera sencilla.

De lo anterior, se realiza un listado de manera ordenada, dando origen a la presentación de los requerimientos necesarios para fabricar el Probador mecánico a partir de las necesidades del laboratorio antes presentadas. Estos requerimientos permitirán establecer las especificaciones asociadas a cada requerimiento respectivamente, lo que servirá como guía durante todo este trabajo de investigación. [24]

Después del estudio de mercado realizado se presentan los parámetros que permiten establecer los siguientes requerimientos. Estos requerimientos servirán para guiar el desarrollo del diseño que se presentará.

1. El equipo debe tener la capacidad suficiente para poder ensayar los materiales suaves y tejidos biológicos.
2. El equipo debe contar con la sensibilidad adecuada para ensayar los materiales suaves y tejidos biológicos.
3. El equipo debe tener un costo mucho menor que el de un equipo comercial, lo que permita que sea accesible el contar con él.
4. El equipo debe ser de fácil ensamble y desensamble para permitir su transporte en el laboratorio así como otros espacios de trabajo de ser necesario.
5. El equipo debe de ser de fácil de operar y reparar en caso de ser necesario. Su mantenimiento debe ser económico y sencillo.
6. El equipo debe tener la capacidad de trabajar bajo medios donde se puedan implementar sustancias ajenas a los materiales para su ensayo sin que se dañe.
7. El equipo debe contar con suficiente espacio de trabajo para poder ensayar este tipo de materiales, el espacio de trabajo deberá ser más cómodo.
8. El equipo debe brindar la mejor sujeción posible a estos materiales sin causarles algún daño ajeno al ensayo.
9. El equipo debe ser práctico y sencillo en su uso para cualquier operario que lleve a cabo el ensayo.
10. El equipo debe reportar parámetros que permitan determinar las propiedades mecánicas de los materiales suaves y tejidos biológicos.

## 2.6 Especificaciones del Probador mecánico

Una vez formulados los requerimientos, se procede a establecer las especificaciones del equipo que son las necesidades que llevan al desarrollo del probador mecánico pero escritas en un lenguaje técnico que permita establecer parámetros. Estas especificaciones permitirán delimitar de forma adecuada el diseño conceptual del equipo, cubriendo cada una de las necesidades expuestas, y posteriormente proyectarlo en un diseño mecánico, que culmine con la manufactura del equipo. Con ello se pretende que el Probador cuente con las características adecuadas y las prestaciones necesarias para llevar a cabo las pruebas de ensayo de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos [24].

1. El Probador tendrá capacidad de fuerza mínima de 1 KN y máxima de 25 KN.
2. El Probador tendrá una sensibilidad del 99.00%, resolución mínima de 150 N, con un porcentaje de error de 0.1% en sus mediciones.
3. El Probador tendrá un costo de inversión que no supere los \$500,000.00 para su fabricación.
4. El Probador tendrá un máximo de 80 piezas o elementos. Tendrá un peso no mayor a los 80 [kg] en ensamble.
5. Todos los componentes del equipo deben ser comerciales y/o de fácil fabricación.
6. El Probador será fabricado en un material con alta resistencia a la corrosión, podrá trabajar a temperaturas que estén dentro del rango 18°C a 29°C, con una tolerancia de  $\pm 10^\circ\text{C}$ .
7. El Probador tendrá dimensiones máximas de altura= 900[mm], ancho= 350[mm] y profundidad= 135[mm]. Así como un espacio horizontal de trabajo mínimo de 150 [mm] y una carrera de 300[mm] como mínimo.
8. El Probador tendrá un sistema de mordazas con una sujeción especial para materiales con espesores del orden de 7 [mm] máximo.
9. El Probador tendrá un control práctico e intuitivo al operar por medio de una interfaz gráfica asistida por computadora.
10. El Probador tendrá una interfaz numérica que proporcione parámetros gráficos y numéricos del ensayo para su postprocesamiento.

## 2.7 Requerimientos vs especificaciones

A continuación se muestra una tabla que relaciona los requerimientos que son las necesidades que tiene que cubrir el Probador mecánico, y las especificaciones que se originan a partir de dichos requerimientos [24].

Tabla 14. Tabla de requerimientos contra especificaciones del Probador mecánico.

<b>Tabla de requerimientos vs especificaciones</b>		
<b>No.</b>	<b>Requerimientos</b>	<b>Especificaciones</b>
1	El equipo debe tener la capacidad suficiente para poder ensayar los materiales mencionados	El Probador tendrá capacidad de fuerza mínima de 1 KN y máxima de 25 KN.
2	El equipo debe contar con la sensibilidad adecuada para ensayar los materiales mencionados.	El Probador tendrá una sensibilidad del 99.00%, resolución mínima de 150 N, con un porcentaje de error de 0.1% en sus mediciones.
3	El equipo debe tener un costo mucho menor que el de un equipo comercial, lo que permita que sea accesible el contar con él.	El Probador tendrá un costo de inversión que no supere los \$500,000.00 para su fabricación.
4	El equipo debe ser de fácil ensamble y desensamble para permitir su transporte en el laboratorio así como otros espacios de trabajo de ser necesario.	El Probador tendrá un máximo de 80 piezas o elementos. Tendrá un peso no mayor a los 80 [kg] en ensamble.
5	El equipo debe de ser de fácil de operar y reparar en caso de ser necesario. Su mantenimiento debe ser económico y sencillo.	Todos los componentes del equipo deben ser comerciales y/o de fácil fabricación.
6	El equipo debe tener la capacidad de trabajar bajo medios donde se puedan implementar sustancias ajenas a los materiales para su ensayo sin que se dañe.	El Probador será fabricado en un material con alta resistencia a la corrosión, podrá trabajar a temperaturas que estén dentro del rango 18°C a 29°C, con una tolerancia de $\pm 10^\circ\text{C}$ .
7	El equipo debe contar con suficiente espacio de trabajo para poder ensayar este tipo de materiales, el espacio de trabajo deberá ser más cómodo.	El Probador tendrá dimensiones máximas de altura= 900[mm], ancho= 350[mm] y profundidad= 135[mm]. Así como un espacio horizontal de trabajo mínimo de 150 [mm] y una carrera de 300[mm] como mínimo.
8	El equipo debe brindar la mejor sujeción posible a estos materiales sin causarles algún daño ajeno al ensayo.	El Probador tendrá un sistema de mordazas con una sujeción especial para materiales con espesores del orden de 10 [mm] máximo.
9	El equipo debe ser práctico y sencillo en su uso para cualquier operario que lleve a cabo el ensayo.	El Probador debe tener un control práctico e intuitivo al encender, operar y apagar mediante una interfaz gráfica.
10	El equipo debe reportar parámetros que permitan determinar las propiedades mecánicas de los materiales suaves y tejidos biológicos.	El Probador tendrá una interfaz numérica que proporcione parámetros gráficos y numéricos del ensayo para su postprocesamiento.

## 2.8 Diseño conceptual

A continuación se define la tarea principal de esta máquina para ensayos de tracción uniaxial en materiales suaves y tejidos biológicos, por medio del diagrama de caja negra. Este diagrama indica, a nivel de entrada, los materiales que se pretenden estudiar bajo el ensayo de tracción. A la salida se tienen las propiedades mecánicas determinadas a partir del ensayo de tracción, con ayuda del Probador mecánico. Por lo cual puede entenderse que el diagrama de caja negra engloba la problemática a solucionar y presenta el resultado de todo un proceso al final de este. [24]



**Figura 12. Modelo de caja negra del Probador mecánico.**

## 2.9 Sistemas funcionales del Probador Mecánico.

Partiendo de lo establecido anteriormente, y conociendo los requerimientos necesarios del equipo, así como sus especificaciones, se establecen los sistemas funcionales que conformaran el Probador mecánico. Dichos sistemas funcionales son nombrados a conveniencia, de tal forma que permitan su fácil identificación durante todo el desarrollo de este trabajo [24].

### Sistemas primarios

- Sistema de estabilidad y de estructura
- Sistema de movimiento
- Sistema de transmisión
- Sistema de potencia
- Sistema de desplazamiento

### Sistemas secundarios

- Sistema de sujeción
- Sistema de control

## **2.10 Definición de los sistemas funcionales del Probador mecánico**

A continuación se definen de forma detallada los sistemas funcionales que presenta este equipo para su funcionamiento. Se presentan las actividades que realiza cada sistema dentro de toda la operación del equipo [24].

### **2.10.1 Sistemas primarios**

- Sistema de estabilidad y de estructura

Este sistema es el encargado de albergar y dar soporte a todos los elementos y componentes que conforman esta máquina. Permite tener la estabilidad necesaria de toda la estructura del equipo para realizar el ensayo de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos. El sistema de estructura es también el encargado de proporcionar las dimensiones totales del equipo y las dimensiones del área de trabajo de este.

- Sistema de potencia

El sistema de potencia es el encargado de transformar el movimiento angular que brinda la flecha del motor a través de sus giros, a un movimiento lineal por medio de un arreglo mecánico. A su vez este arreglo mecánico brindará la fuerza y la potencia necesaria para llevar a cabo el desplazamiento del cabezal móvil de esta máquina.

- Sistema de transmisión

El sistema de transmisión es el encargado de dar continuidad al movimiento del eje del actuador hacia el tornillo de potencia. Este sistema tiene como tarea interconectar un conjunto de piezas de la máquina para su movimiento posterior de desplazamiento.

- Sistema de movimiento

El sistema de movimiento es el encargado de accionar el movimiento del equipo por medio de un actuador mecánico, eléctrico o hidráulico.

- Sistema de desplazamiento

El sistema de desplazamiento permitirá guiar de forma correcta el cabezal móvil durante su trayectoria por medio de un arreglo mecánico, además de permitir el libre desplazamiento del cabezal móvil a lo largo del área de trabajo.

### **2.10.2 Sistemas secundarios**

- Sistema de sujeción

El sistema de sujeción estará compuesto de igual forma por un arreglo mecánico, que tendrá la tarea de brindar la seguridad para sujetar el material durante el ensayo de tracción y poder obtener las propiedades mecánicas de los materiales de estudio sin dañar este durante la prueba.

- Sistema de control

El sistema de control, es el encargado de proporcionar un manejo adecuado al equipo. Es formado por una interfaz de control, basada en un lenguaje de comunicación lógica, que permitirá proporcionar las instrucciones necesarias al equipo para su funcionamiento.

### 2.10.3 Diagrama de funciones del Probador mecánico

En la siguiente figura se presenta el diagrama de funciones del Probador mecánico para ensayos de Tracción en materiales suaves y tejidos biológicos. En él se hace referencia a los sistemas en los que se subdivide el Probador mecánico, así como también se muestra la secuencia en la que interactúan cada uno de estos sistemas para funcionar dentro del sistema general del Probador mecánico [24].

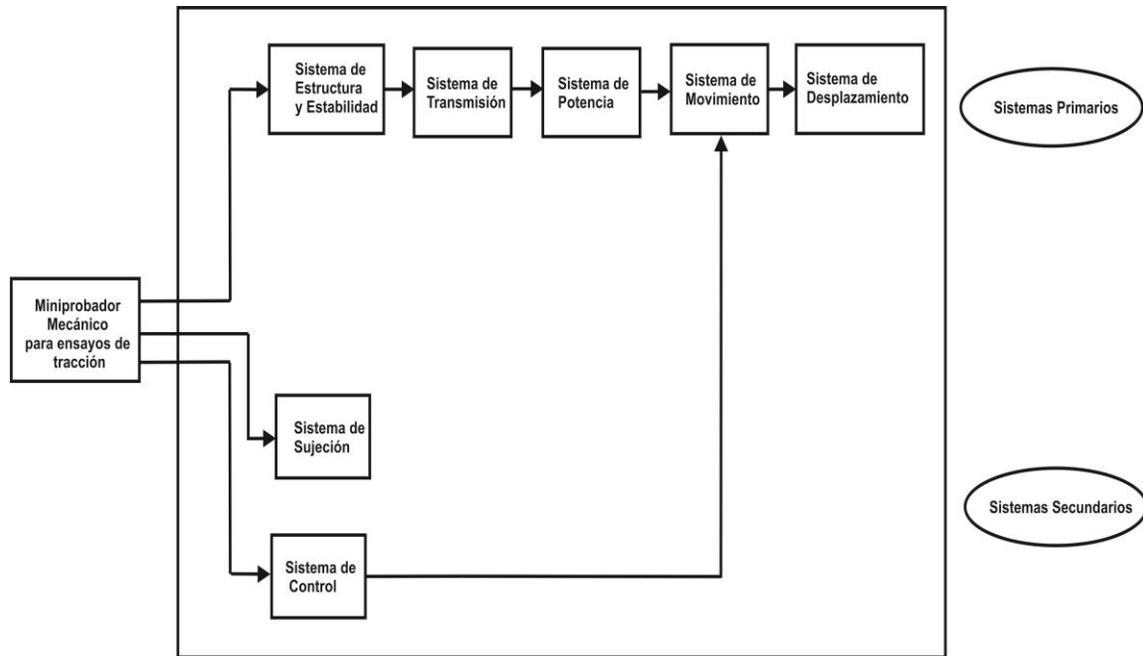


Figura 13. Diagrama de funciones del Probador mecánico

### 2.11 Generación y evaluación de alternativas. Lluvia de ideas.

Para la establecer el diseño conceptual es necesario conocer el problema a enfrentar o la necesidad a cubrir del producto. Es por ello que se establecen los parámetros de diseño denominados requerimientos para poder realizar un análisis del problema y posteriormente mediante una lluvia de ideas establecer algunas opciones de solución a dicho problema.

De acuerdo con el establecimiento de los sistemas funcionales del Probador mecánico para ensayos de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos, se muestra a continuación el análisis de las distintas alternativas de solución planteadas para cada uno de los sistemas funcionales. Lo anterior nos permitirá elegir la solución más adecuada por medio de los criterios de diseño, que posteriormente se presentan, según las necesidades del equipo [24].

### 2.11.1 Alternativas para los Sistemas primarios

Tabla 15. Alternativas de solución para el sistema de estructura y estabilidad.

Alternativa	Sistema de Estructura y Estabilidad
Alternativa 1	Simple columna
Alternativa 2	Doble columna

Tabla 16. Alternativas de solución para el sistema de Potencia.

Alternativa	Sistema de Potencia
Alternativa 1	Cadena
Alternativa 2	Tornillo de potencia
Alternativa 3	Polea-banda

Tabla 17. Alternativas de solución para el sistema de Transmisión.

Alternativa	Sistema de Transmisión
Alternativa 1	Arreglo de engranes
Alternativa 2	Arreglo de unión por brida
Alternativa 3	Arreglo de unión por cople de autoalineación

Tabla 18. Alternativas de solución para el sistema de Movimiento.

Alternativa	Sistema de Movimiento
Alternativa 1	Motor de corriente directa
Alternativa 2	Motor a pasos
Alternativa 3	Motor hidráulico

Tabla 19. Alternativas de solución para el sistema de Desplazamiento.

Alternativa	Sistema de Desplazamiento
Alternativa 1	Una columna, dos guías
Alternativa 2	Dos columnas, una guía
Alternativa 3	Dos columnas-guía

### 2.11.2 Alternativas para los Sistemas secundarios

Tabla 20. Alternativas de solución para el sistema de Sujeción.

Alternativa	Sistema de Sujeción
Alternativa 1	Mordazas mecánicas tipo tornillo
Alternativa 2	Mordazas mecánicas-hidráulicas tipo cuña
Alternativa 3	Mordazas mecánicas-eléctricas tipo cuña
Alternativa 4	Mordazas mecánicas tipo rodillo

Tabla 21. Alternativas de solución para el sistema de Control

Alternativa	Sistema de Control
Alternativa 1	Control automático
Alternativa 2	Control semiautomático

### 2.12 Criterios de diseño del Probador mecánico

A continuación se presenta la evaluación de posibles soluciones para cada sistema que conforma el Probador mecánico. Se muestran las diferentes opciones así como un análisis de características que proporcionan una orientación adecuada para la elección final de solución por sistema.

Para este análisis es necesario plantear los criterios de diseño adecuados para determinar el diseño conceptual del Probador mecánico. Los criterios de diseño son parámetros que involucran todos los sistemas del diseño y que permiten delimitar los recursos materiales y humanos en busca de la solución adecuada para la resolución de una necesidad.

Es importante señalar que los criterios de diseño se establecen con la idea de poder analizar el diseño en conjunto y los sistemas que conforman este. Por lo anterior es muy importante establecer estos criterios de diseño evaluando al diseño en forma general y a los sistemas en forma particular [24].

Tabla 22. Tabla de los criterios de diseño para el Probador mecánico.

Número	Criterio de diseño
1	Durabilidad de los componentes
2	Facilidad de manufactura
3	Bajo costo de los componentes
4	Facilidad de mantenimiento
5	Costo de mantenimiento

Una vez establecidos los criterios de diseño que servirán para el análisis general del diseño y a su vez permitirán el análisis individual por cada sistema que conforme el diseño, se asignaran valores a los criterios de diseño por orden de importancia o relevancia para el diseño. Estos valores deben considerar al diseño en conjunto y a cada sistema en forma particular, por lo cual es muy importante asignar los valores en orden jerárquico de acuerdo a su importancia [24].

Tabla 23. Tablas de valores para los criterios de diseño.

Número	Criterio de diseño	Valor [%]
1	Durabilidad de los componentes	40
2	Facilidad de manufactura	30
3	Bajo costo de los componentes	15
4	Facilidad de mantenimiento	10
5	Costo de mantenimiento	5

Posteriormente, una vez determinados los valores porcentuales en orden de importancia para los criterios de diseño, se elabora una escala con valores numéricos en función de la importancia de la solución que se presente, en una escala que representara una solución totalmente inadecuada hasta una solución de carácter ideal. Esta escala servirá como parámetro de evaluación para elegir la solución por tipo de sistema y poder establecer el diseño general [24].

**Tabla 24. Tabla de valores asignados a la calificación por solución.**

<b>Descripción de la solución</b>	<b>Valor de la solución</b>
Inútil	0
Inadecuado	1
Débil	2
Pobre	3
Tolerable	4
Satisfactorio	5
Buena con desventajas	6
Buena	7
Muy buena	8
Excelente	9
Ideal	10

### **2.13 Evaluación de alternativas de solución. Matriz de decisión**

A continuación se presenta un arreglo en una matriz de decisión, este método de análisis permitirá identificar aspectos importantes durante esta fase de diseño. La matriz de decisión ayudara a identificar de forma clara las necesidades y expectativas del usuario de este equipo. Por medio de este método de análisis puede priorizarse la importancia de cada uno de los sistemas que conforman el Probador. Este análisis permitirá minimizar los errores en la toma de decisiones [24].

### **2.14 Funcionamiento de la matriz de decisión**

La matriz de decisión muestra las alternativas de solución propuestas anteriormente y se asigna una calificación a partir del valor numérico de la solución propuesto anteriormente también. Posteriormente se obtendrá el valor numérico que en porcentaje representa esta solución en función de los criterios de diseño. Como ejemplo se tiene la siguiente operación que muestra el manejo de esta matriz:

Para la solución de simple columna se tiene una calificación de 8, este valor es multiplicado por 0.40, que representa el 40 por ciento de la primera casilla correspondiente al primer criterio de diseño establecido. Así entonces el 40% de 8 es igual a 3.2. Finalmente después de haber realizado todas las operaciones por casilla necesarias de cada solución propuesta en función de los criterios de diseño, se sumaran los valores al final de la matriz, lo que dará como resultado una calificación final. Esta calificación final se tomara en cuenta como una guía en las etapas posteriores de este proceso de diseño de acuerdo a la calificación más alta obtenida en cada matriz para cada sistema funcional [25].

## 2.15 Matrices de decisión de los sistemas funcionales del Probador mecánico

Tabla 25. Matriz de decisión para el sistema de Estabilidad y Estructura.

Sistema de estructura y de estabilidad						
Alternativas de Solución Criterios de Diseño	Durabilidad de los componentes (40%)	Facilidad de manufactura (30%)	Bajo costo de los componentes (15%)	Facilidad de mantenimiento (10%)	Costo de mantenimiento (5%)	Total (100%)
Simple columna	7 2.8	9 2.7	9 1.35	9 0.9	9 0.45	8.2
Doble columna	9 3.6	9 2.7	8 1.2	9 0.9	9 0.45	8.85

El resultado de este primer análisis por medio de la matriz de decisión es, que para el sistema de estructura y estabilidad, la configuración más conveniente es que el arreglo de doble columna, debido a que la durabilidad será mayor teniendo una doble columna pues el desgaste será repartido en cada una de manera uniforme, en cuanto al costo presenta una ligera diferencia en incremento, presenta igual complejidad en manufactura que la otra opción presentada y su mantenimiento y el costo de este es similar también.

Tabla 26. Matriz de decisión para el sistema de Potencia.

Sistema de Potencia						
Alternativas de Solución Criterios de Diseño	Durabilidad de los componentes (40%)	Facilidad de manufactura (30%)	Bajo costo de los componentes (15%)	Facilidad de mantenimiento (10%)	Costo de mantenimiento (5%)	Total (100%)
Cadena	8 3.2	8 2.4	9 1.35	7 0.7	8 0.4	8.05
Tornillo de potencia	8 3.2	8 2.4	8 1.35	9 0.9	9 0.45	8.3
Polea-banda	6 2.4	8 2.4	8 1.2	8 0.8	8 0.4	7.2

Para el sistema de potencia, se tiene que la opción más viable, según el análisis por matriz de decisión es el tornillo de potencia, pues es un elemento durable bajo condiciones favorables, presenta una facilidad promedio en su manufactura, y si es necesario adquirirlo, el precio es competitivo en comparación con las demás opciones. Su mantenimiento es a bajo costo y de forma sencilla.

**Tabla 27. Matriz de decisión para el sistema de Transmisión.**

<b>Sistema de Transmisión</b>						
Alternativas de Solución Criterios de Diseño	Durabilidad de los componentes (40%)	Facilidad de manufactura (30%)	Bajo costo de los componentes (15%)	Facilidad de mantenimiento (10%)	Costo de mantenimiento (5%)	Total (100%)
Arreglo de engranes	9 3.6	6 1.8	7 1.05	7 0.7	7 0.35	7.5
Arreglo de unión por bridas	9 3.6	8 2.4	8 1.2	8 0.8	8 0.4	8.4
Arreglo de unión por cople de auto alineación	9 3.6	9 2.7	9 1.35	9 0.9	9 0.45	9

Del análisis para el sistema de transmisión, se obtiene que la mejor opción para este sistema es el arreglo de unión o transmisión por medio de un cople de autoalineación, pues es un elemento altamente durable, presenta relativa facilidad de manufactura y es de bajo costo.

**Tabla 28. Matriz de decisión para el sistema de Movimiento**

<b>Sistema de Movimiento</b>						
Alternativas de Solución Criterios de Diseño	Durabilidad de los componentes (40%)	Facilidad de manufactura (30%)	Bajo costo de los componentes (15%)	Facilidad de mantenimiento (10%)	Costo de mantenimiento (5%)	Total (100%)
Motor CD	9 3.6	9 2.7	7 1.05	7 0.7	8 0.4	8.45
Motor a Pasos	9 3.6	9 2.7	8 1.2	9 0.9	9 0.45	8.85
Motor Hidráulico	8 3.2	9 2.7	7 1.05	7 0.7	7 0.35	8.00

Para el sistema de movimiento, según la herramienta de análisis, la mejor opción es un motor a pasos, pues en economía es competitivo, su mantenimiento y los costos de éste también presentan ventajas, además de ser un motor de alta durabilidad siendo debidamente utilizado.

**Tabla 29. Matriz de decisión para el sistema de Desplazamiento.**

<b>Sistema de Desplazamiento</b>						
Alternativas de Solución Criterios de Diseño	Durabilidad de los componentes (40%)	Facilidad de manufactura (30%)	Bajo costo de los componentes (15%)	Facilidad de mantenimiento (10%)	Costo de mantenimiento (5%)	Total (100%)
Una columna, dos guías.	8 3.2	7 2.1	8 1.2	8 0.8	8 0.4	7.7
Dos columnas, una guía.	8 3.2	8 2.4	8 1.2	8 0.8	8 0.4	8
Dos columnas-guía.	8 3.2	9 2.7	9 1.35	9 0.9	9 0.45	8.6

Para el sistema de desplazamiento, la opción que presenta mayores ventajas según esta herramienta de análisis es la configuración de columnas-guía. Es decir que las columnas de estabilidad y estructura podrían cubrir la función de guías en el desplazamiento con las consideraciones y dimensiones adecuadas.

**Tabla 30. Matriz de decisión para el sistema de Sujeción.**

<b>Sistema de Sujeción</b>						
Alternativas de Solución Criterios de Diseño	Durabilidad de los componentes (40%)	Facilidad de manufactura (30%)	Bajo costo de los componentes (15%)	Facilidad de mantenimiento (10%)	Costo de mantenimiento (5%)	Total (100%)
Mordazas mecánicas tipo tornillo	9 3.6	9 2.7	8 1.2	9 0.9	8 0.4	8.8
Mordazas mecánicas-hidráulicas tipo cuña	9 3.6	6 1.8	7 1.05	7 0.7	7 0.35	7.5
Mordazas mecánicas-eléctricas tipo cuña	9 3.6	6 1.8	7 1.05	8 0.8	7 0.35	7.6
Mordazas mecánicas tipo rodillo	9 3.6	8 2.4	8 1.2	8 0.8	8 0.4	8.4

Para el sistema de sujeción según el resultado reportado por el método de matriz de decisión, la opción más accesible para este sistema es la configuración de mordazas tipo tornillo, pues es un sistema durable, presenta relativa facilidad de manufactura, su fabricación y mantenimiento es a bajo costo a comparación de las demás opciones presentadas.

**Tabla 31. Matriz de decisión para el sistema de Control.**

<b>Sistema de Control</b>						
Alternativas de Solución  Criterios de Diseño	Durabilidad de los componentes (40%)	Facilidad de manufactura (30%)	Bajo costo de los componentes (15%)	Facilidad de mantenimiento (10%)	Costo de mantenimiento (5%)	Total (100%)
Control automático	9 3.6	7 2.1	8 1.2	8 0.8	8 0.4	8.1
Control semiautomático	9 3.6	8 2.4	8 1.2	9 0.9	9 0.45	8.55

Para el sistema de control, y en base a la dificultad que representa la automatización de cualquier proceso, el resultado de este análisis es que la mejor opción para realizar un control es la predisposición semiautomática del funcionamiento del equipo, principalmente por el costo que representaría la automatización de este proceso de control y el mantenimiento de éste.

## 2.16 Selección de la solución

Del análisis anterior puede definirse la solución más adecuada para realizar la tarea que tiene destinado cada sistema funcional del Probador mecánico. Así entonces se presenta la siguiente tabla que define la solución elegida por cada sistema funcional del Probador mecánico por medio del método de análisis de la matriz de decisión.

**Tabla 32. Selección de la solución en función de los sistemas funcionales.**

<b>Sistemas funcionales</b>	<b>Alternativa de solución</b>
Sistema de estructura y estabilidad	Doble columna
Sistema de potencia	Tornillo de potencia
Sistema de transmisión	Cople manguito-prisionero
Sistema de movimiento	Motor a pasos
Sistema de desplazamiento	Dos columnas-guía
Sistema de sujeción	Mordazas mecánicas tipo tornillo
Sistema de control	Control semiautomático

Una vez realizada la elección de la solución más adecuada para la fase de diseño preliminar según el análisis previo, se integran estas soluciones en un diagrama que muestra el bosquejo del diseño del Probador mecánico. Este esquema permite interpretar de mejor forma la propuesta de diseño [24].

## **2.17 Propuesta final**

El Probador Mecánico permitirá que se lleve a cabo el ensayo de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos y así poder determinar las propiedades mecánicas de estos materiales con el fin de identificar las aplicaciones que puedan tener en un futuro.

El Probador Mecánico podrá realizar los ensayos gracias al desplazamiento a velocidad constante de su cabezal móvil que tendrá movimiento sobre dos columnas que desempeñan una tarea dual, dar estructura y soporte, y por otro lado guiar al cabezal móvil en su carrera de trabajo. El movimiento del Probador Mecánico se debe al contar con un motor eléctrico a pasos como actuador principal.

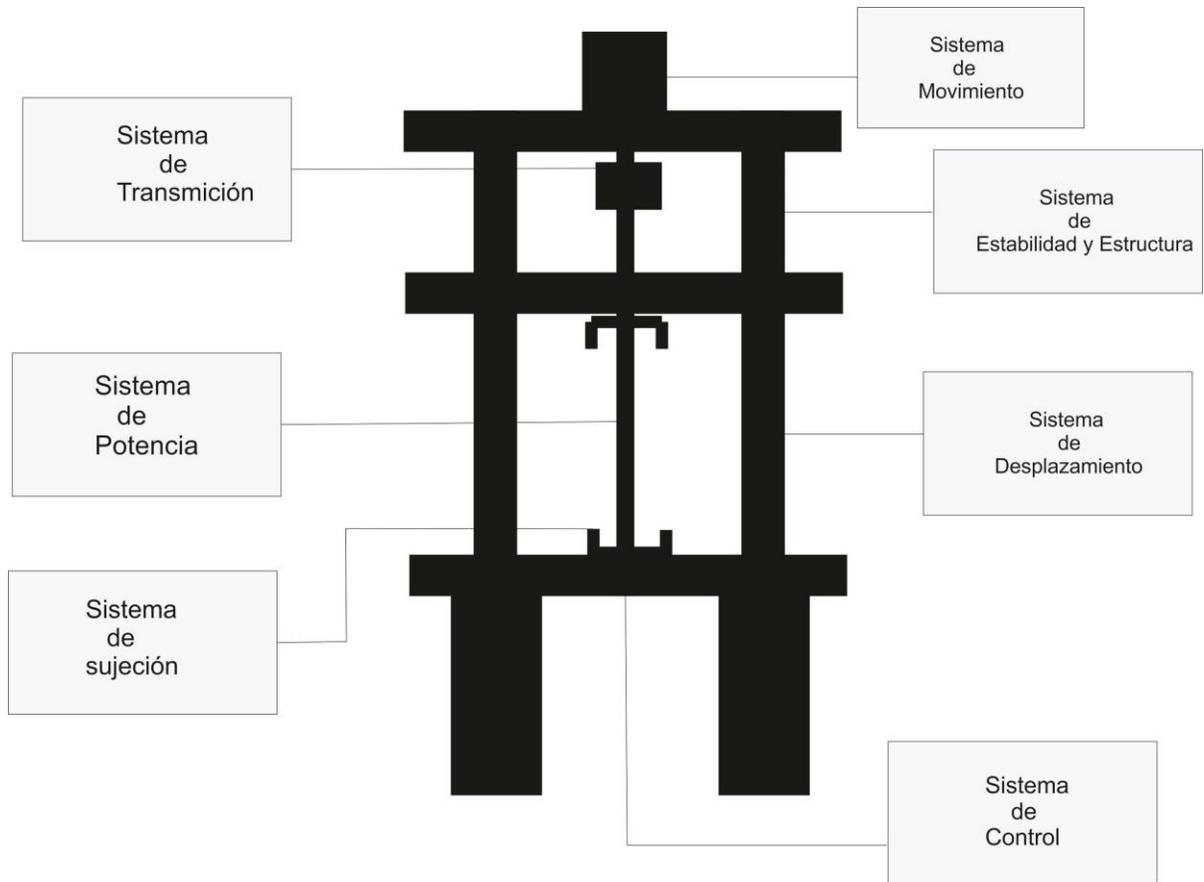
El sistema de sujeción, está formado por un par de mordazas de tipo tornillo, es especialmente diseñado para los materiales suaves y tejidos biológicos mencionados. Este sistema contribuirá a tener una mayor seguridad en la sujeción de estos materiales, sin dañarlos. También permitirá manipularlos al poseer un manejo muy sencillo y práctico en su uso. Se establece un diseño que permita ser ensamblado fácilmente con componentes comerciales y de fácil acceso, permitiendo que la operación y el mantenimiento del equipo se realicen de manera práctica.

Después de haber realizado una investigación detallada sobre las características, el funcionamiento y costo de los equipos comerciales para ensayos de tracción, se presenta esta propuesta conceptual que habrá de ayudar a definir el diseño final del Probador mecánico como ya se ha mencionado.

Para establecer esta propuesta se tomaron en cuenta cada una de las evaluaciones realizadas en la fase de diseño conceptual para cada uno de los sistemas funcionales que conforman el Probador mecánico y que se muestran en el esquema general del Probador mecánico presentado anteriormente [24].

## **2.18 Esquema general del Probador Mecánico**

A continuación se presenta el esquema general del Probador Mecánico. Este esquema indica la ubicación de cada uno de los sistemas funcionales de la máquina y la interacción que existe entre estos. Lo anterior permite identificar de manera más formal e integral la base del diseño del Probador mecánico así como interpretar cada una de las tareas que realizarán los sistemas funcionales del Probador mecánico integrados entre sí.



**Figura 14. Propuesta final. Definición de los sistemas funcionales del Probador mecánico.**

## **2.19 Diseño mecánico. Memoria de cálculo del Probador mecánico**

El diseño mecánico se define como la invención que se realiza para satisfacer una demanda o necesidad humana. Puede decirse que la tarea del ingeniero abocado al diseño mecánico es encontrar una solución simple y efectiva, que cumpla los requisitos de diseño. Bajo este concepto se diseñan las piezas y elementos mecánicos utilizando por supuesto las ciencias básicas como la física y las matemáticas.

Tanto el análisis como la optimización requieren que se construyan o creen modelos abstractos del sistema que admita alguna forma de análisis matemático. A estos modelos se les llama modelos matemáticos. Cuando se les crea se espera que sea posible encontrar uno que simule al sistema físico real. Por tanto se realiza un desarrollo matemático que representa el modelo físico planteado una vez terminada la parte de diseño conceptual. A esta evaluación matemática se le denomina diseño mecánico. El siguiente análisis se presenta por individual para cada componente del Probador, pues es importante definir el correcto funcionamiento de los componentes propuestos y que estos actúen dentro de los parámetros descritos en la fase de diseño conceptual [26].

## **2.20 Sistema de Estructura y estabilidad del Probador Mecánico**

El sistema de estabilidad y estructura es parte fundamental del Probador Mecánico, pues habrá de establecer las dimensiones del área de trabajo de este equipo. Después del análisis previo, se determina que la elección de una doble columna presenta mayores beneficios para la propuesta de diseño. Esta configuración presenta la estabilidad necesaria que se requiere para desplazar el cabezal móvil que albergara una de las mordazas del sistema. En el diseño se muestra que la configuración de doble columna también se utiliza debido a que con ella se puede conservar una configuración simétrica, lo cual, a su vez permite tener una proporción igual en ambos lados si el sistema se dividiera por la mitad.

Como se ha mencionado, la configuración de doble columna nos dará la estabilidad necesaria a comparación de un diseño de simple columna, en el cual se tendría que haber presentado un diámetro mayor en la columna estabilizadora y por tanto habría aumentado el peso del equipo considerablemente. Con una doble columna se mantiene el peso distribuido en la zona de trabajo. Con esta distribución, se podrán disminuir las vibraciones mecánicas que se desarrollan por el movimiento del mismo, las cuales son destructivas en función del tiempo y que pudiesen llevar a un desajuste del equipo.

### ***2.20.1 Columnas de estabilidad y estructura-guías***

Del desarrollo anterior se propone que la altura total de columnas de estabilidad y estructura tengan por medidas 750 [mm] de altura, que de forma vertical sería el tamaño máximo del marco de carga. Estas columnas tendrían una separación a una distancia de 200 [mm] de centro a centro entre sí, lo que representaría el tamaño máximo del marco de carga de forma horizontal. Esta configuración permite tener una área de trabajo adecuada, tanto de forma vertical como de forma horizontal para el estudio de los materiales biológicos, ya que permitirá tener una carrera vertical máxima de 600 [mm] y un espacio de trabajo horizontal de 170[mm].

En la siguiente imagen se presenta la primer plataforma de trabajo denominada cabezal fijo, parte del sistema de estabilidad y estructura, el cabezal fijo albergara una de las mordazas de sistema de sujeción, y como su nombre lo indica, esta base estará fija en la parte inferior del Probador mecánico. Esta base fija tiene la característica de poder ser desmontada o desensamblada de manera sencilla.

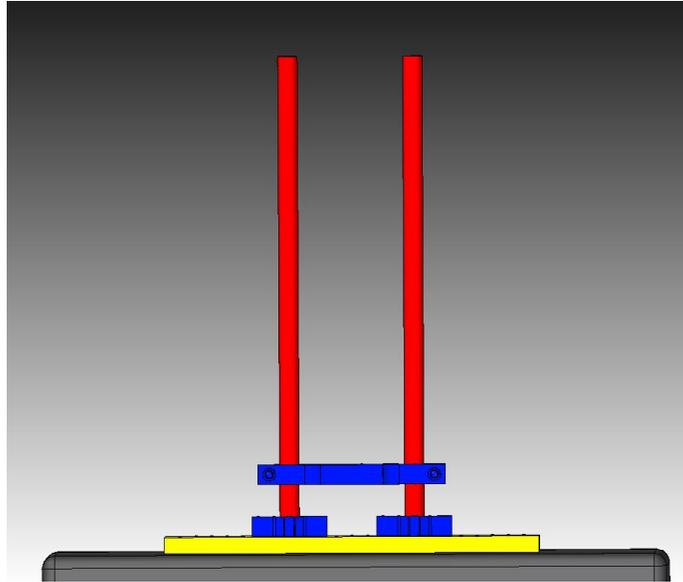
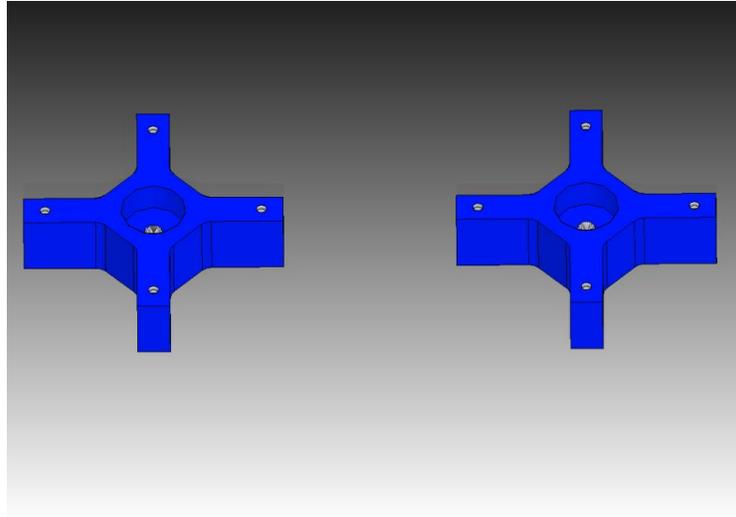


Figura 15. Arreglo de doble columna.

### ***2.20.2 Soportes de cruz***

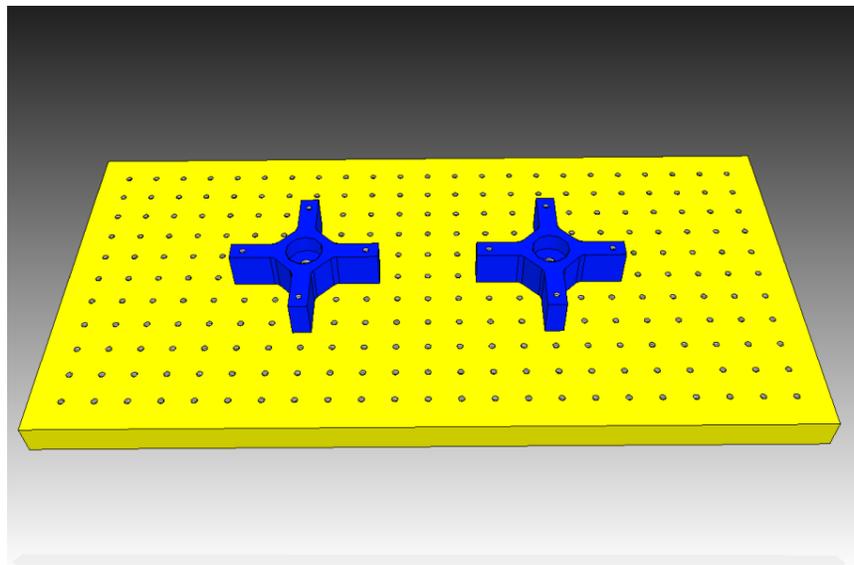
Para el anclaje y sujeción de la configuración de doble columna del Probador mecánico serán utilizados dos soportes en forma de cruz que a su vez estarán sujetos a una base metálica que proporcionara mayor estabilidad, esta base metálica tiene por medidas 600 [mm] x 300 [mm] y su superficie está preparada con barrenos M6 x 0.5 distribuidos a una distancia de 25 [mm] por 25 [mm] para la sujeción de los soportes de cruz.

De esta forma se garantiza que la estabilidad del Probador mecánico es la adecuada para su funcionamiento, pues las ventajas que proporciona este anclaje radican en la sujeción en cuatro puntos anclados a la base metálica M6, y una anclaje principal compuesto por un tornillo milimétrico M10 que sujeta a cada una de las columnas respectivamente con los soportes de cruz. Este tipo de anclaje permite tener una versatilidad en la configuración del equipo pues permite la portabilidad y desensamble de este de forma práctica. Los soportes de cruz, se muestran en la siguiente figura.



**Figura 16. Soportes de cruz.**

En la siguiente imagen se muestran los soportes de cruz para la estabilidad del Probador mecánico en interacción con la placa de anclaje M6. Los soportes de cruz están colocados a una distancia de 200 [mm] de centro a centro entre sí.



**Figura 17. Soportes de cruz sujetos a la base de barrenos M6.**

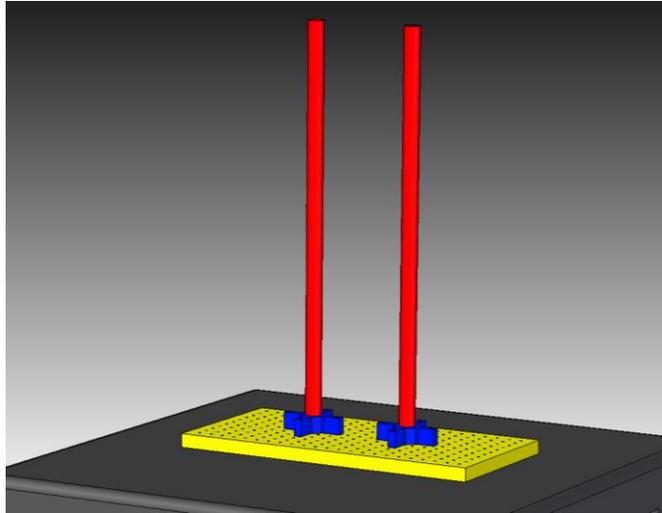


Figura 18. Columnas de estabilidad y estructura sujetas con los soportes de cruz.

### 2.20.3 Cabezal Fijo

El cabezal fijo, consiste en una base de condición estática que se encuentra fija y anclada en la parte inferior de las columnas de estabilidad y estructura, de tal forma que permita mantener una alineación adecuada y de a su vez estabilidad en la parte inicial del equipo. Este cabezal es además el encargado de albergar a una de las mordazas del sistema de sujeción del Probador mecánico. El cabezal fijo se encuentra anclado a las columnas de estabilidad y estructura por medio de dos tornillos milimétricos M14.

Por otra parte, el cabezal fijo también será el encargado de albergar al rodamiento, que a su vez hará, que conectado con el tornillo de potencia en su parte inferior, este realice un giro infinito y pueda hacer ascender y descender el cabezal móvil, que se menciona más adelante.

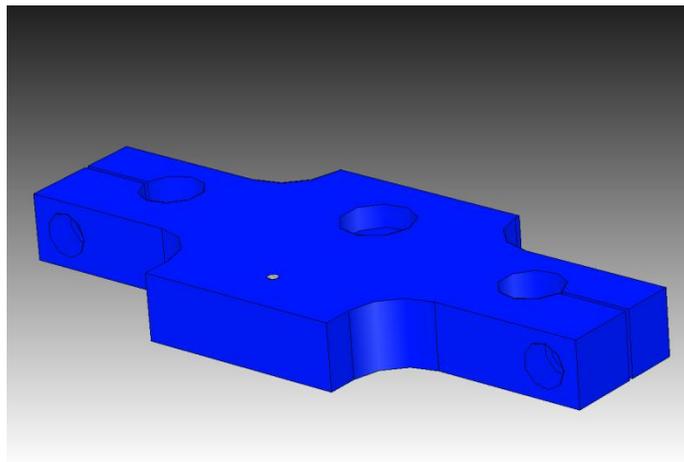


Figura 19. Cabezal fijo.

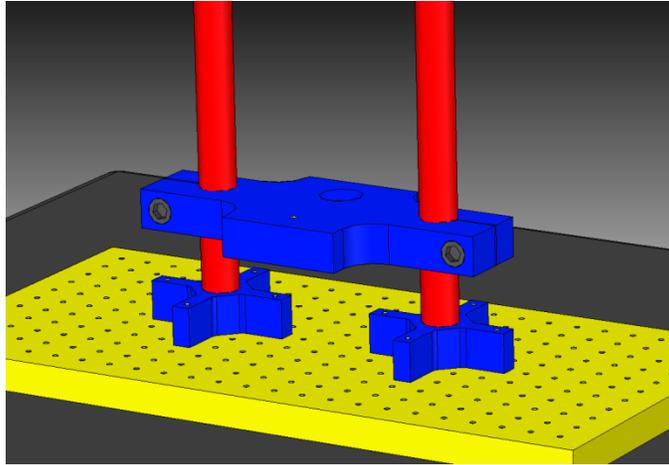


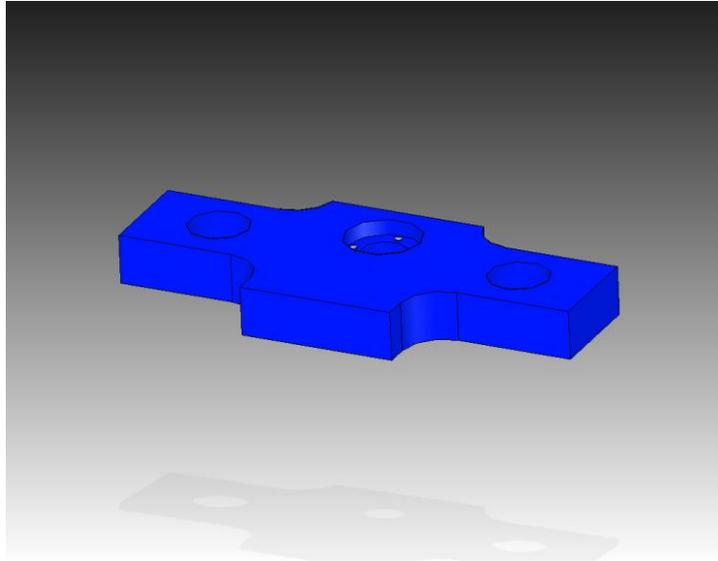
Figura 20. Cabezal fijo montado en columnas de estabilidad y estructura.

#### ***2.20.4 Cabezal móvil***

Siguiendo una secuencia ordenada para la descripción del desarrollo del Probador mecánico, se muestra el cabezal móvil de la máquina. Este cabezal móvil será el encargado de desplazarse a lo largo del sistema de desplazamiento, además de brindar la misma proporción de espacio entre las columnas de estabilidad y equilibrio durante todo su recorrido. Por otra parte, el cabezal móvil albergará a la otra mordaza, pudiendo así cerrar el sistema de sujeción que más adelante se detalla.

De igual forma, el cabezal móvil será una pieza que permita la portabilidad al poder ser fácilmente desmontada de la arquitectura del equipo. Para lograr ascender y descender el cabezal móvil de Probador Mecánico se utiliza una tuerca de potencia, que estará embebida en el cabezal móvil. El tornillo de potencia girará a través de la tuerca haciendo que la interacción de estos dos elementos haga ascender o descender el cabezal móvil del Probador en dirección axial. Se pretende la tuerca del Probador mecánico sea fabricada en un material con menor dureza que el material de fabricación del tornillo de potencia, pues la interacción mencionada anteriormente, hará que estas dos piezas sufran un desgaste en función del tiempo.

Para efectos de mantenimiento o reparación, será más conveniente cambiar la tuerca de potencia, que el tornillo de potencia, pues este es un tornillo de mayor dificultad de fabricación y por consecuencia es mayor su costo debido a la cuerda especialmente diseñada para este tipo de aplicaciones, a comparación de la tuerca de potencia. Los componentes antes mencionados, se detallarán más adelante.



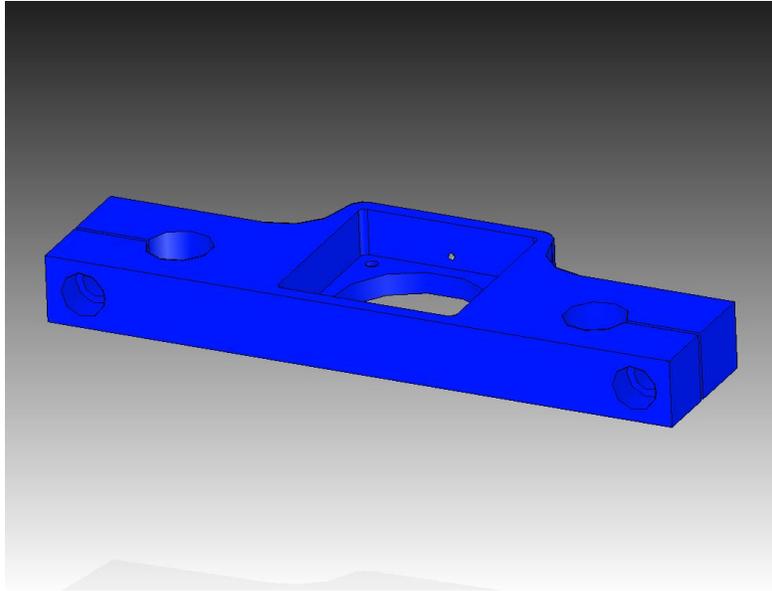
**Figura 21. Cabezal móvil.**

#### ***2.20.5 Soporte de motor***

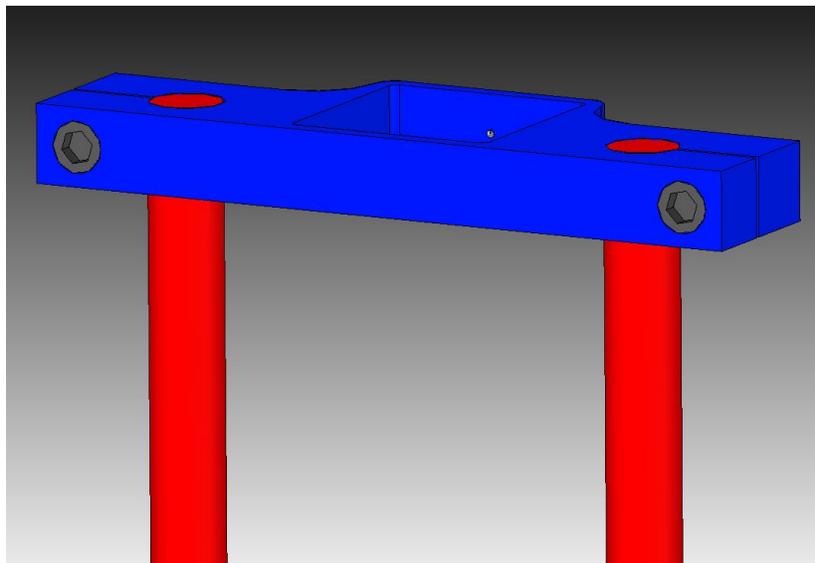
El soporte de motor, es la plataforma que albergara al motor a pasos. Este soporte posee una caja cuadrada donde se insertara el motor a pasos, así como una caja circular cuyo propósito principal es brindar una autoalineación de la flecha del motor con el tornillo de potencia.

De igual forma este componente puede ser fácilmente desmontado para su conveniente mantenimiento, o bien cualquier desplazamiento del equipo dentro del laboratorio, pues la sujeción que mantiene con las columnas de estabilidad y estructura es similar a la que mantiene el cabezal fijo, es decir que es anclado mediante dos tornillos milimétricos M14.

Este soporte además de albergar al motor nos dará la misma proporción de distancia que el cabezal fijo pero en la parte superior de la máquina. Con lo anterior se delimita el marco carga y el área de trabajo del equipo, pues con este arreglo se tendrá simetría horizontal en el Probador mecánico.



**Figura 22. Soporte de motor.**



**Figura 23. Montaje del soporte de motor en columnas de estabilidad y estructura.**

Con la conexión del cabezal fijo, las columnas de estabilidad y estructura, el cabezal fijo y el soporte del motor, anclados a la base M6 se define el espacio de trabajo del Probador mecánico, como se ha mencionado. Así entonces se conforma el marco de carga del Probador, como se muestra en la siguiente figura.

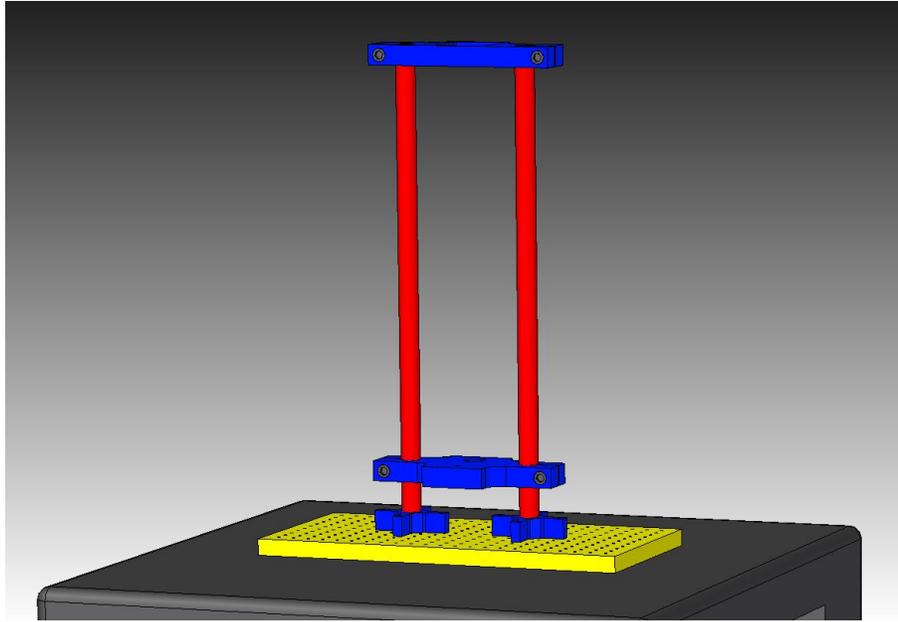


Figura 24. Configuración del sistema funcional de estabilidad y estructura.

#### ***2.20.6 Selección de materiales para el sistema de estabilidad y estructura del Probador***

Para el sistema de estabilidad y estructura del Probador mecánico, que comprende la estructura general, se requiere de un material que sea lo suficientemente resistente para dar soporte a los demás componentes y brindar estabilidad al equipo. El material de fabricación también debe ser resistente al desgaste por fricción, pues el cabezal estará en movimiento constante durante la prueba. Considerando que por cada prueba realizada el cabezal tendrá que ascender durante la prueba y descender al finalizar esta. A su vez, el material de fabricación tiene que ser altamente resistente a medios corrosivos y a cambios de temperatura que oscilan entre los 18[°C] y el 29[°C] sin afectar el funcionamiento del equipo. El material para la fabricación del Probador debe ser un material comercial y preferentemente fácil de maquinarse por medio del método de control numérico (CNC), o bien de forma manual.

De lo anterior se presentan una serie de requerimientos de las propiedades mecánicas necesarias en orden de importancia para la selección del material de fabricación:

1. Material resistente a la tracción.
2. Material resistente al desgaste por fricción.
3. Material resistente a la corrosión.
4. Material Resistente a temperaturas de hasta 23°C.
5. Material comercial.
6. Material de fácil maquinabilidad.

De acuerdo a las propiedades mecánicas de importancia, y a la investigación preliminar de estudio de mercado se definen de manera general algunos materiales que cumplen con dichas características, como lo son los aceros y el aluminio. Esta decisión de toma a partir de conocer que estos materiales se encuentran frecuentemente en los componentes de los equipos comerciales. Lo anterior sirve como referencia para la elección del material para la fabricación del Probador.

Los materiales posibles para la fabricación son el acero y el aluminio, sin embargo el aluminio no se caracteriza por ser un material de carga, por lo tanto se descartaría. En tanto el acero debido a sus propiedades mecánicas y a su uso frecuente en aplicaciones estructurales es una opción viable. En el siguiente análisis se determinara de manera específica que material cumple con las condiciones para ser utilizado en la manufactura del Probador Mecánico. Por lo tanto se elabora una tabla a partir de los requerimientos establecidos y se traducen las propiedades mecánicas que brindan los materiales. Con ello se podrá determinar que material o materiales más convenientes para fabricar el Probador Mecánico para ensayos de tracción.

Los aceros, especialmente los aceros inoxidable se utilizan en aplicaciones médicas, equipo de laboratorio y demás dispositivos que actúan en temperaturas ambiente, así como distintas a esta, además, de trabajar bajo medios corrosivos pues en el caso del acero inoxidable se habla de un material altamente resistente a la corrosión, altamente resistente a temperaturas elevadas, además de ser higiénico. A continuación se presenta una tabla con las propiedades de los materiales mencionadas.

**Tabla 33. Características físicas y mecánicas del acero inoxidable y el acero aleado.**

<b>Características Físicas y Mecánicas</b>	<b>Acero inoxidable</b>	<b>Acero al níquel</b>
Resistencia a Tracción [MPa]	370-620	310-412
Límite Elástico [MPa]	240-360	205-310
Módulo de Elasticidad [MPa]	210	207
Velocidad de Corrosión [m/año]	$1 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$

De acuerdo a los requerimientos planteados, se determina que para la fabricación del Probador se necesita un material lo suficientemente resistente a la tracción, que sea dúctil y que tenga una alta resistencia al desgaste por fricción. Adicionalmente se requiere que el material de fabricación sea de permita ser maquinado de manera fácil y que el material sea resistente a temperaturas promedio, lo que permita mantener su funcionamiento sin ser afectado. Por otro lado es necesario que el material de manufactura sea un material comercial lo que permitirá su disponibilidad para la fabricación del Probador Mecánico.

De lo anterior puede observarse que el material que cumple con las características necesarias para la fabricación del probador mecánico se encuentra en el grupo de los aceros inoxidable por sus características físicas y mecánicas, además de tener excelentes propiedades estructurales. Considerando que el acero inoxidable está formado por Acero, Cromo y Níquel en diferentes cantidades, y que los diagramas indican que esta composición es adecuada para la aplicación que se requiere, se considera al grupo de los aceros inoxidables como material de fabricación.

El acero inoxidable posee excelentes propiedades mecánicas para ser el material de aplicación, además de ser un material comercial. Así entonces, está por determinarse qué tipo de acero inoxidable es el más conveniente. Para lo anterior se puede mencionar que el material de fabricación también tiene que ser resistente a medios corrosivos, por lo cual resta realizar la selección adecuada en este rubro estar disponible en el mercado.

Si se considera que los aceros inoxidables más comerciales son el AISI 304, AISI 316, AISI 316L y AISI 430, será conveniente elegir dentro de estos cuatro grupos.[26], [27].

**Tabla 34. Resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables.**

<b>Material</b>	<b>Resistencia a la corrosion</b>
Acero inoxidable AISI 304	Excelente hasta 920°C
Acero inoxidable AISI 316	Excelente hasta 870°C
Acero inoxidable AISI 316L	Excelente hasta 870°C
Acero inoxidable AISI 430	Regular hasta 870°C

De la tabla anterior podemos observar que todas las propuestas son totalmente viables, el acero inoxidable AISI 304 posee una excelente resistencia a la corrosión hasta en medios de 920°C mientras que los aceros inoxidables AISI 430, AISI 316L y el AISI 316, también poseen excelente resistencia a medios corrosivos de hasta 870°C, con la consideración de que estos dos últimos actúan bajo medios ácidos, lo cual presenta más ventajas, pues en ocasiones en las pruebas del laboratorio se requiere el uso de sustancias que den ventajas a los ensayos de tracción, algunas de estas sustancias pueden ser ácidos.

Finalmente se tienen dos opciones a elegir, el acero inoxidable AISI 316 y el acero inoxidable AISI 316L. como anteriormente se menciona, el material de fabricación deberá presentar facilidad de manufactura. De lo anterior puede afirmarse que el acero AISI 316 presenta una ligera ventaja, pues presenta una maquinabilidad del 45%, mientras que el AISI 316L presenta una maquinabilidad del 33%.

Del estudio anterior, se define entonces como material de fabricación para el probador mecánico de ensayos de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos al acero inoxidable 316, el cual en resumen presenta las siguientes características [28].

**Tabla 35. Puntuación del acero inoxidable AISI 316.**

Material	Características	Calificación
Acero inoxidable AISI 316	Resistencia a la corrosión y a la oxidación a temperaturas elevadas.	Excelentes
	Propiedades mecánicas.	Buenas
	Características de los procesos de transformación a los que será sometido.	Buenas
	Costo total de mantenimiento y reposición.	Regulares
	Disponibilidad.	Buenas

El acero inoxidable 316 tiene una resistencia a la corrosión natural que se forma automáticamente, es decir no se adiciona. Tienen una gran resistencia mecánica, de al menos dos veces la del acero al carbono, es resistente a temperaturas elevadas. El acero inoxidable AISI 316 es fácil de transformar en gran variedad de productos y tiene una excelente apariencia estética, que puede variarse sometiendo el acero a diferentes tratamientos superficiales para obtener acabado a espejo, satinado, coloreado texturizado de ser necesario

El acero inoxidable 316 es también conocido por pertenecer a la familia de los aceros Inoxidables grado Austenítico. Como ya se mencionó es muy utilizado por su amplia variedad de propiedades, pues ofrece alta resistencia a la corrosión, una adecuada relación resistencia mecánica contra peso, propiedades higiénicas, resistencia a temperaturas elevadas y criogénicas, además de un valor a largo plazo. El acero inoxidable 316 es totalmente reciclable y amigable con el medio ambiente. Es comercial y posee un bajo costo de mantenimiento y duración a largo plazo. Algunos ejemplos de productos fabricados con aceros inoxidables son los equipos de procesos químicos y petroquímicos, equipos de proceso de alimentos y bebidas, equipos médicos y farmacéuticos, etc.

Una vez conocido el material de fabricación para el marco de carga del Probador mecánico, se realiza un análisis, donde se considera a cada columna como un eje sin movimiento, por lo cual puede afirmarse que este eje es un elemento no giratorio y por tanto no transmite par de torsión, y que la función de estas columnas es dar soporte al soporte de motor y al motor mismo [29].

Partiendo de que la altura total de las columnas es de 750 [mm], mientras que la distancia vertical de trabajo es de 600 [mm] y el diámetro de las columnas es de 30.05 [mm], se calcula el área transversal A. El área transversal A es igual a  $A = 0.07084 [m^2]$ , mientras que el módulo de elasticidad para el acero es de 210 [GPa]. Para una barra circular la rigidez axial está dada por el área A, el módulo de elasticidad y la longitud de la columna. Por lo tanto se puede determinar la rigidez K de las columnas de estabilidad y estructura, estas tendrán un desplazamiento longitudinal o axial natural, buscando que este, sea dentro de los parámetros establecidos para mantener la rigidez necesaria en el marco de carga de estos elementos estructurales. Dichas condiciones se muestran a continuación.

$D > 1$  desplazamiento longitudinal de riesgo.

$D = 1$  desplazamiento longitudinal de riesgo.

$D < 1$  desplazamiento longitudinal en rango

Calculando el área transversal  $A$  de las columnas de estabilidad y estructura:

$$A = (2\pi \cdot r)(h) \quad \text{Ec. 12}$$

$$A = (2\pi \cdot 15.025 [mm])(750[mm])$$

$$A = 70803.644 [mm^2]$$

$$A = 0.07084 [m^2]$$

Si  $E=210[GPa]$  y la altura de las columnas es de  $750[mm] = 0.75[m]$

Calculando la rigidez  $K$  en las columnas de estabilidad y estructura:

$$K = \frac{E \cdot A}{L} \quad \text{Ec. 13}$$

$$K = \frac{210[GPa] \cdot 0.07084[m^2]}{0.75[m]} = 2.1952 \times 10^{10} \left[ \frac{N}{m} \right]$$

Si tenemos que el desplazamiento longitudinal  $D$  de la columna, debido a una carga  $H$  aplicada de  $2000 [N]$  está dado por:

$$D = \frac{H}{K} = \quad \text{Ec. 14}$$

$$D = \frac{2000[N]}{2.1952 \times 10^{10} \left[ \frac{N}{m} \right]} = 9.11078 \times 10^{-8} [m]$$

Considerando que  $D < 1$ , se determina que el desplazamiento longitudinal de las barras está dentro del rango, por lo cual se cumple la condición de rigidez de columnas y elementos estructurales descritos por la norma ASTM D638.03. Por lo tanto y en base al análisis anterior, se determina el acero inoxidable 316 como el material para la fabricación del sistema de estabilidad y estructura del Probador mecánico para ensayos de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos. Los demás elementos habrán de analizarse a continuación [26], 29].

## 2.21 Sistema de Potencia del Probador mecánico.

### 2.21.1 Tornillo de potencia

Para el sistema de potencia se eligió un tornillo sin fin, denominado también tornillo de potencia. Un tornillo de potencia es un dispositivo que se utiliza en las máquinas para cambiar el movimiento angular a movimiento lineal, y por lo general para transmitir potencia. De lo anterior sabemos que el tornillo de potencia propuesto será el encargado de hacer ascender y descender el cabezal móvil con ayuda de una rosca de potencia. Este tornillo se encuentra en un caso especial, pues según la investigación preliminar realizada en este trabajo, se encuentran más desventajas que ventajas poder maquinar un tornillo de las características necesarias para esta tarea.

Por lo anterior, se determina adquirir el tornillo de potencia propuesto con un proveedor comercial especializado. Para el tornillo de potencia se necesita un tornillo especialmente diseñado para la función del Probador. Por tanto se requiere de un tornillo con cuerda ACME, cuerda especialmente diseñada para aplicaciones de potencia sin perder precisión. El tornillo de potencia será adquirido en acero inoxidable AISI 316 para establecer una relación directa tanto de funcionalidad, durabilidad y estética con el resto del Probador. Pero fundamentalmente se realiza la elección por su disponibilidad en el mercado según el catalogo del proveedor. El sistema de potencia estará encargado de generar la potencia necesaria para hacer ascender y descender el cabezal móvil del Probador mecánico en conjunto con el sistema de desplazamiento, el sistema de potencia consta de un tornillo de potencia y una tuerca de potencia asociada a él. Este tornillo es especialmente diseñado para aplicaciones de potencia debido a su cuerda ACME, cuenta con una medida de rosca 5/8-10 [h x in] (15.875 [mm]), y con un largo de 600 [mm] [26].

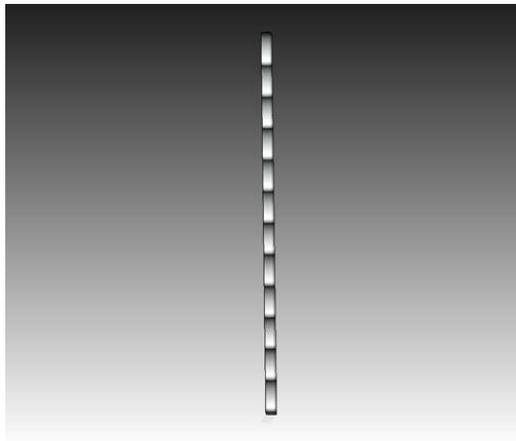


Figura 25. Configuración general del sistema funcional de potencia. Tornillo de potencia.

### 2.21.2 Paso del tornillo

El paso del tornillo se elige de acuerdo a los requerimientos planteados, pues se necesita un desplazamiento fino en la carrera del cabezal móvil, por lo cual se propone un tornillo de rosca ACME de medidas 5/8-10 [hilos x pulgada], de 600 [mm] Que bajo la siguiente consideración, basada en la fórmula de Euler para columnas largas (ecuación 15), el tornillo de potencia presenta una altura proporcional a su diámetro medio.

$$P = \frac{\pi^2 EI}{kL^2} \quad \text{Ec. 15}$$

Donde P= carga de pandeo permisible,  $\pi$  es una constante, E es el módulo de elasticidad del material del tornillo, que en este caso es de acero inoxidable AISI 316, I es el momento de inercia, k es la constante que representa el tipo de apoyo y L es la longitud del tornillo. Para el momento de inercia del tornillo por ser un cilindro macizo se tiene:

$$I = m \cdot r^2 \quad \text{Ec. 16}$$

Donde m = masa del tornillo, r es el radio de giro, si la masa del tornillo es de 0.952 [kg], el diámetro del tornillo es de 15.875 [mm], entonces se tiene que el radio es 7.9375 [mm]. Por lo tanto se tiene el siguiente desarrollo.

$$I = 0.952[\text{kg}] \cdot 0.00794^2 [\text{m}^2] = 0.0000600 [\text{kg} \cdot \text{m}^2]$$

De lo anterior, puede definirse ahora la carga de pandeo permisible, que es de la siguiente forma:

$$P = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{0.65 \cdot r^2 [\text{m}^2]} r^2 \quad \text{Ec. 17}$$

$$P = \frac{\pi^2 \cdot 210 [\text{GPa}] \cdot 0.0000600 [\text{kg} \cdot \text{m}^2]}{0.65 \cdot 0.6^2 [\text{m}^2]} = 531.440 \times 10^6 [\text{N}]$$

Una vez conocida la carga de pandeo permisible, se procede a conocer el peso total del cabezal móvil con todos sus elementos acoplados, como se muestra a continuación:

$$M_{\text{cabezal móvil}} = 5.989 [\text{kg}]$$

$$M_{\text{bujes de bronce sinterizado}} = 0.154[\text{kg}] (2) = 0.308 [\text{kg}]$$

$$M_{\text{rosca de potencia}} = 0.257[\text{kg}]$$

$$M_{\text{Peso mordaza}} = 0.4230 [\text{kg}]$$

$$M_{\text{tornillos}} = 0.007 [\text{kg}] (4) = 0.028[\text{Kg}]$$

$$M_{\text{total cabezal}} = 7.005 [\text{Kg}]$$

Con lo cual puede obtenerse la fuerza asociada a la masa del cabezal móvil:

$$F_{\text{cabezal móvil}} = 7.005 [\text{Kg}] \cdot 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right] = 68.71905 [\text{N}]$$

$$F_{\text{cabezal móvil}} = 68.72 [\text{N}]$$

A la fuerza resultante asociada a la masa de los elementos anteriormente mencionados, se tiene que sumar la fuerza de oposición que presenta la probeta de prueba al ser ensayada. Ésta fuerza de oposición está relacionada con el valor de la carga máxima de rotura o resistencia máxima a la tracción del material, pues este valor representa precisamente el parámetro máximo de carga permisible del material antes de llegar a la rotura o falla de este. Esta fuerza se considerará con un factor de seguridad que proporcionará el tomar un valor de este parámetro de un material que presenta mayor rigidez que los materiales suaves y tejidos biológicos, como lo es el acero. De lo anterior puede afirmarse que el Probador Mecánico al ser capaz de romper una probeta de un material con mayor rigidez, por consecuencia tendrá la capacidad de romper probetas de materiales suaves y tejidos biológicos al ser ensayados. A continuación se muestra la suma de la fuerza de oposición de las probetas mencionadas.

De acuerdo a la ecuación 1 de esfuerzo nominal mencionada anteriormente, que indica lo siguiente:

$$\sigma = \frac{F}{A} [\text{Pa}]$$

Se tiene que el esfuerzo  $\sigma$  es representado por la carga máxima a la rotura,  $A$  es el área transversal de la probeta de prueba de acero y si de la ecuación anterior se despejara la fuerza, se tendría la expresión siguiente que daría como resultado la fuerza de oposición asociada a la carga de resistencia máxima a la tracción de este material, como lo indica la siguiente expresión:

$$F = \sigma A [\text{N}]$$

Donde  $\sigma$  como carga máxima de rotura para el acero es 620 [MPa]:

$$\sigma = 620 \text{ [MPa]}$$

Para el área en este caso se tomarán los siguientes valores de una probeta de prueba estandarizada:

$$A = (0.15[\text{mm}])(0.3[\text{mm}]) = 0.045 \text{ [mm}^2] = 4.5 \times 10^{-7} \text{ [m}^2]$$

Por lo tanto, la resultante de la fuerza está dada por el siguiente valor:

$$F = (620 \times 10^6 \text{ [Pa]})(4.5 \times 10^{-7} \text{ [m}^2]) = 279 \text{ [N]}$$

$$F = 279 \text{ [N]}$$

De lo anterior, si se tiene que:

$$F_{\text{cabezal móvil}} + F_{\text{carga de oposición probeta}} = 68.72 \text{ [N]} + 279 \text{ [N]}$$

$$F_{\text{carga de oposición total}} = 347.72 \text{ [N]}$$

De lo anterior, puede determinarse que el tornillo propuesto está perfectamente dentro de los parámetros permisibles para evitar un pandeo. Por otro lado, de las tablas disponibles de tornillos de potencia, puede obtenerse el diámetro medio de este, el cual se empleara para los cálculos del torque necesario para hacer ascender y descender el cabezal móvil del probador [26].

El torque aplicado sobre el tornillo para lograr ascender la carga que representa el cabezal ésta dado de la siguiente fórmula:

$$T = \frac{F \cdot d_m}{2} \left[ \frac{l + (\pi \cdot \mu \cdot d_m \sec(\alpha))}{\pi \cdot d_m - (\mu \cdot l \cdot \sec(\alpha))} \right] + \frac{F \cdot \mu_c \cdot d_c}{2} \quad \text{Ec. 18}$$

Donde F es la carga Axial que debe desplazarse en ascenso y descenso durante el ensayo de Tracción. Mientras tanto el diámetro medio del tornillo está dado por  $d_m$ ,  $\mu$  es el coeficiente de fricción,  $\alpha$  es el ángulo de presión de la rosca tipo ACME,  $\pi$  es una constante, y l es el paso del tornillo. Del desarrollo anterior se conoce la fuerza aplicada por el cabezal móvil es  $F_{\text{carga de oposición total}} = 347.72$  [N], así que para el cálculo del torque se tiene:

$$F_{\text{carga de oposición total}} = F_{\text{cabezal móvil}} + F_{\text{carga de oposición probeta}} = 68.72 \text{ [N]} + 279 \text{ [N]}$$

$$F_{\text{carga de oposición total}} = 347.72 \text{ [N]}$$

$$d_m = 15.8 \text{ [mm]} = 0.0158 \text{ [m]}$$

$$\mu = 0.15$$

$$\alpha = 14.5^\circ$$

$$\pi = \text{constante}$$

$$l \text{ tornillo} = \frac{1}{(\text{No. hilos } \times \text{ pulgada})} \quad \text{Ec. 19}$$

$$l \text{ tornillo} = \frac{1}{10} = 0.1$$

De lo anterior, se tiene que el torque necesario para ascender el cabezal móvil es el siguiente:

$$T = \frac{347.72 \text{ [N]} \cdot 0.0158}{2} \left[ \frac{0.1 + (\pi \cdot 0.15 \cdot 0.0158 \sec(14.5^\circ))}{\pi \cdot 0.0158 - (0.15 \cdot 0.1 \cdot \sec(14.5^\circ))} \right] = 8.73 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

De forma similar el torque necesario para descender el cabezal móvil es el siguiente:

$$T = \frac{347.72 \text{ [N]} \cdot 0.0158}{2} \left[ \frac{0.1 + (\pi \cdot 0.15 \cdot 0.0158 \sec(14.5^\circ))}{\pi \cdot 0.0158 + (0.15 \cdot 0.1 \cdot \sec(14.5^\circ))} \right] = 4.57 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

[26].

## 2.22 Sistema de transmisión del Probador Mecánico

### 2.22.1 Cople de auto alineación

Para el sistema de transmisión se ha elegido un cople mecánico, dicho cople permitirá transmitir sin distorsiones el movimiento gracias la sujeción de seguridad que permite su diseño. Este acoplamiento tiene como función prolongar la línea de transmisión del eje, es decir de conectar ambos tramos de ejes, que para este caso los ejes estarán alineados entre sí. Este acoplamiento realiza un ajuste por interferencia, esta tarea la realizan los tornillos prisioneros mencionados. El cople de autoalineación es elegido debido a que el funcionamiento del Probador se llevara a cabo con un desplazamiento que implica una transmisión de velocidades moderadas y baja potencia. Parte fundamental de la elección de este tipo de cople es su acción mecánica al contribuir en la disminución del efecto de torsión debido a problemas de alineación. Es importante también mencionar que se eligió este cople mecánico debido a la facilidad de manufactura que presenta, su practicidad para ser montado y desmontado, además de facilitar también el reemplazo de esta pieza de ser necesario. A continuación se observa el cople mecánico elegido. Posteriormente se puede apreciar como es colocado el cople mecánico al eje del motor.

A continuación se muestran las características de este cople mecánico de autoalineación.

Tabla 36. Características del cople mecánico.

Nombre	Desalineación tolerada				Observaciones
	Axial	Angular	Paralelo	Torsional	
Acoplamiento Rígido: Cople de auto alineación	grande	ninguna	ninguna	ninguna	Se exige una alineación perfecta

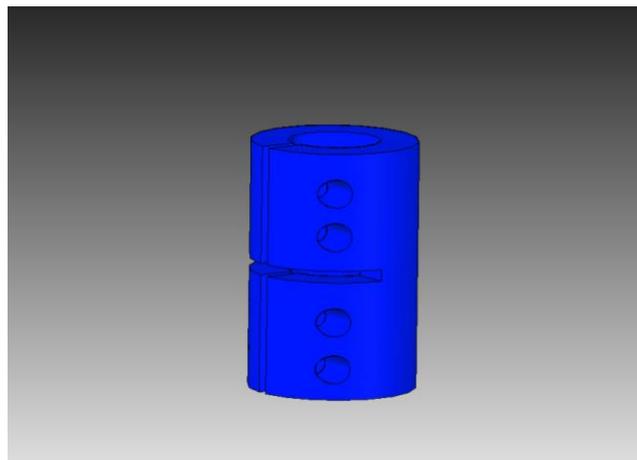


Figura 26. Configuración del sistema funcional de transmisión. Cople mecánico.

### **2.22.2 Selección de material para el sistema de transmisión del Probador Mecánico**

De igual forma para el cople de transmisión se elige el acero inoxidable AISI 316 como material de fabricación, pues como se mencionó, la relación funcionalidad, durabilidad y estética está presente en todo el diseño que se presenta del Probador. Los tornillos prisioneros que actuaran en conjunto con el cople mecánico, también serán del mismo material. Se tiene entonces que el diámetro del eje del motor es de 12.7 [mm], mientras que el diámetro del tornillo de potencia es de 15.875 [mm]. Para acoplar estos dos ejes, se tendrá que diseñar el cople de autoalineación con un ajuste de apriete con referencia al eje del motor, mientras tanto la terminal del tornillo de potencia se desbastara hasta los 12.7 [mm].

Por lo que se tiene la siguiente configuración:

$D_{\text{eje de motor}} = 12.7 \text{ [mm]}$  ajuste de interferencia  $-0.001 \text{ [mm]}$

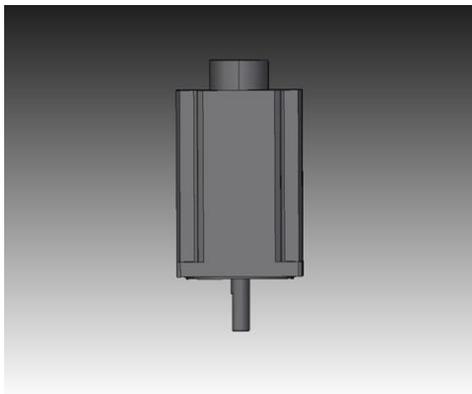
$D_{\text{final tornillo de potencia}} = 15.8 \text{ [mm]}$  a  $12.7 \text{ [mm]}$  ajuste de interferencia  $-0.001 \text{ [mm]}$

Por lo que los diámetros del cople de autoalineación quedan de medida 12.699 [mm], más la sujeción extra que imprimen los tornillos prisioneros a los respectivos ejes. [26], [29].

## **2.23 Sistema de Movimiento del Probador Mecánico**

### **2.23.1 Motor a pasos**

Para el sistema de movimiento del Probador mecánico se necesita un motor a pasos como actuador para activar el movimiento del cabezal móvil, esta tarea debe realizarse con la mayor precisión posible, pues es muy importante para los resultados que se pretenden en el ensayo de tracción.



**Figura 27. Motor a pasos, actuador del Probador mecánico.**

El motor ira albergado en el soporte de motor y quedará ubicado en la parte superior del equipo como se muestra en la siguiente figura. Lo que da paso al sistema funcional de movimiento del Probador Mecánico.

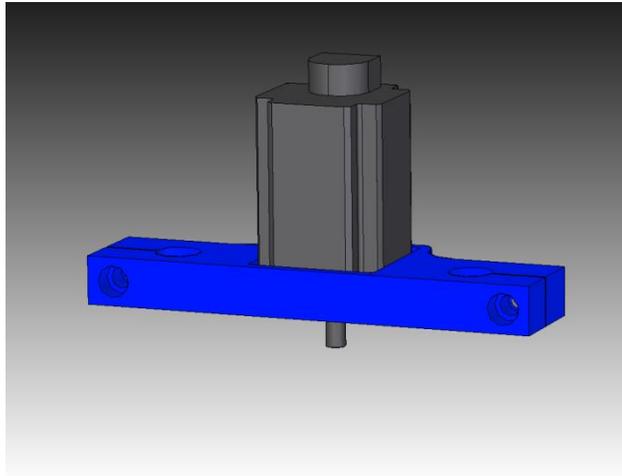


Figura 28. Configuración del sistema funcional de movimiento.

### 2.23.2 Torque de motor requerido

De acuerdo al torque requerido, obtenido del análisis anterior, se establecen los requerimientos para el actuador del probador mecánico. Los cuales son los siguientes.

Teniendo que el torque requerido para ascender el cabezal móvil es:

$$T = 8.73 [N \cdot m]$$

Por otro lado el torque que se requiere para el descenso del cabezal móvil es:

$$T = 4.57 [N \cdot m]$$

De esta forma, y una vez adquiridos los datos de torque necesario, se procede a realizar la selección del actuador que este dentro de los rangos solicitados. Como ya se ha mencionado, el único actuador del Probador mecánico es un motor a pasos. La elección del motor a pasos se da a partir del análisis previo de sus características, pudiendo determinar que el motor a pasos nos brindara un mayor torque y permitirá tener un desplazamiento más fino en comparación con los demás motores, este desplazamiento será de pasos por pulso aplicado, a su vez un driver conectado a este motor nos permitirá dividir los pasos de avance por cada pulso aplicado, en micro pasos por igual número de pulsos aplicados. Lo anterior beneficiara en el avance con mayor exactitud que podrá brindar el probador mecánico [26].

### 2.23.3 Selección del actuador

Los motores paso a paso son muy utilizados en las aplicaciones de control. Estos motores son utilizados tanto en mediciones como en aplicaciones que involucren el control automático o semiautomático.

Para la selección del motor se parte del análisis previo que se realizó. El resultado de dicho análisis arroja que un motor que posea exactitud en sus movimientos y brinde precisión en su control de desplazamiento beneficiara el cumplimiento de los objetivos del Probador mecánico para ensayos de tracción uniaxial. De lo anterior presenta a detalle la selección del tipo y modelo del actuador [30].

Tabla 37. Tabla comparativa de motores para el Probador mecánico [30].

Tipo de Motor		Ventajas	Desventajas
Motor de CD		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajuste de velocidad</li> <li>• Par o Torque grande</li> <li>• Adecuado para la tracción</li> <li>• Dirección de rotación reversible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor grado de avance</li> <li>• Poca exactitud en el giro</li> <li>• Menor precisión</li> <li>• Mayor vibración</li> <li>• Mayor precio</li> <li>• Conversión de energía</li> </ul>
Motor a pasos		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajuste de velocidad</li> <li>• Par o Torque grande</li> <li>• Menor precio</li> <li>• Menor desgaste</li> <li>• Mayor precisión</li> <li>• Mayor grado de giro</li> <li>• Mayor exactitud</li> <li>• Dirección de rotación reversible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor dificultad en control</li> <li>• peso</li> </ul>
Servo motor		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exactitud</li> <li>• Fácil configuración</li> <li>• Fácil control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor costo</li> <li>• Menor capacidad de carga</li> <li>• Menor torque</li> <li>• Mayor precio</li> </ul>



Figura 29. Motor a pasos 8718L-02S. Lin engineering [31].

A continuación se presentan las especificaciones que nos brinda este motor, dadas por el fabricante.

Tabla 38. Especificaciones del motor a pasos 8718L-02S [31].

Modelo	Fase [A]	Torque [N-m]	Resistencia [Ohm]	Inductancia [mH]	Inercia [oz-in <sup>2</sup> ]	Peso [lb]	Salidas
8718L-02S	1.40	9.10	7.5	78.1	21.90	8.44	4

De la tabla anterior y dada la información del fabricante, puede determinarse que el torque necesario para hacer ascender y descender el cabezal móvil, se encuentra dentro del rango que posee el motor, pues este cuenta con un torque de motor  $T_m = 9.10$  [Nm], mientras que el torque necesario para el ascenso del cabezal es de  $T_{asc} = 8.73$  [Nm] y en descenso es  $T_{desc} = 4.57$  [Nm]. Por lo tanto el Motor a pasos 8718L-02S presenta las características físicas y mecánicas correctas para ser el encargado de dar movimiento al probador mecánico.

Las ventajas que se tendrán al haber seleccionado este motor a pasos son las siguientes:

1. El ángulo de rotación es proporcional a los pulsos de entrada.
2. El motor a pasos aprovecha el torque máximo que tiene.
3. Exactitud en la posición y repetición de movimientos. Error de 3 a 5%, no es acumulativo.
4. Excelente respuesta ante arranque, parada y reversa.
5. Respuesta a pulsos de entrada como control de lazo abierto, haciendo un control más simple.
6. Velocidad de rotación muy baja con carga acoplada directamente sobre el eje.
7. Rango amplio de velocidades de rotación [31].

A continuación se puede observar la conexión que existe entre el sistema de movimiento, el sistema de transmisión y el sistema de potencia, de esta manera puede interpretarse la interacción que hay entre estos tres sistemas funcionales del Probador mecánico y la conexión que existe con el sistema de desplazamiento, el cual se detallara más adelante.

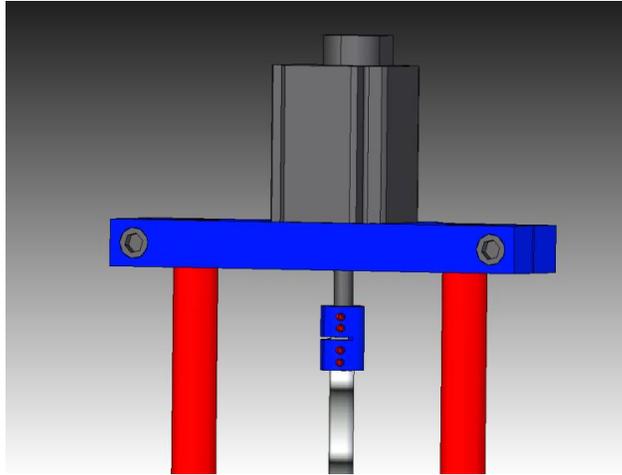


Figura 30. Conexión entre el sistema de movimiento, el sistema de transmisión y el sistema de potencia.

## 2. 24 Sistema de desplazamiento

### 2.24.1 Columnas de guía y desplazamiento

Para el sistema de desplazamiento, tenemos que las columnas de estabilidad y estructura realizan esta función dual, es decir que también servirán de guía para el desplazamiento del cabezal móvil en forma ascendente y descendente. Lo anterior lo realizaran con ayuda de una tuerca de potencia y dos bujes que ayudaran a transformar el movimiento angular del motor a un movimiento lineal de este, así como permitir y ayudar a el libre desplazamiento y deslizamiento del cabezal móvil por las columnas guías respectivamente.

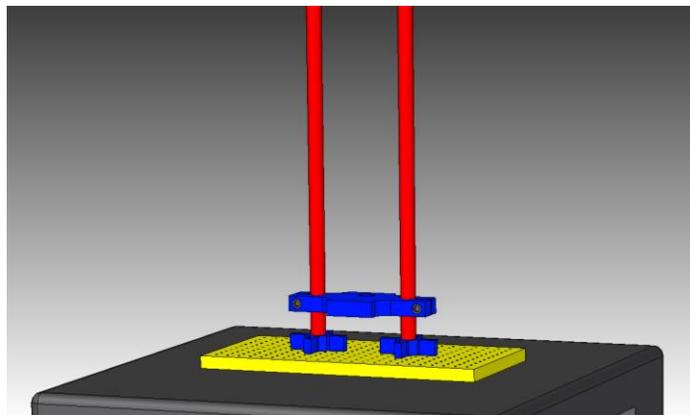


Figura 31. Configuración del sistema funcional de estabilidad y estructura.

### 2.24.2 Tuerca de potencia

Para la tuerca de potencia se tiene que el esfuerzo al que va a estar sujeta es un esfuerzo cortante, debido al giro que tendrá para poder desplazar el cabezal móvil en ascenso y descenso. Esta tuerca está alojada en el cabezal móvil, es decir que se encuentra embebida en él, debido a un ajuste por interferencia, con una tolerancia de 0.001. Sin embargo debido a la tarea que desempeña la tuerca de potencia, también está sujeta por cuatro tronillos M4 x 0.1, para evitar que la rosca pudiese separarse el cabezal móvil en algún momento del movimiento [26].

La tuerca cargará el peso del cabezal, los tornillos que la sujetan a él y los bujes de deslizamiento también embebidos en el cabezal, y una de las mordazas del sistema de sujeción, tal como se muestra a continuación:

$$M_{\text{cabezal móvil}} = 5.989 \text{ [kg]}$$

$$M_{\text{buje de bronce sinterizado}} = 0.154[\text{kg}] (2) = 0.308 \text{ [kg]}$$

$$M_{\text{mordaza}} = 0.4230 \text{ [kg]}$$

$$M_{\text{tornillos}} = 0.007 \text{ [kg]} (4) = 0.028[\text{Kg}]$$

Entonces se tiene:

$$M_{\text{total tuerca}} = M_{\text{cabezal móvil}} + M_{\text{buje de bronce sinterizado}} + M_{\text{mordaza}} + M_{\text{tornillos}}$$

$$M_{\text{total tuerca}} = 5.989 + 0.308 + 0.4230 + 0.028 \text{ [kg]} = 6.748 \text{ [kg]}$$

$$F_{\text{tuerca}} = 6.748 \text{ [Kg]} \cdot 9.81 \left[\frac{m}{s^2}\right] = 66.2 \text{ [N]}$$

$$F_{\text{tuerca}} = 66.2 \text{ [N]}$$

Si la tuerca debe soportar esta carga axial, se define lo siguiente:

$$\tau = \frac{F_{\text{tuerca}}}{A_{\text{tuerca}}} \quad \text{Ec. 20}$$

Donde  $\tau$  es el esfuerzo cortante, A es el área cortante del barrido y se define como:

$$A_{tuerca} = \pi \cdot d \cdot w_0 \cdot p \quad \text{Ec. 21}$$

Donde d, es el diámetro de la tuerca  $d = 30$  [mm], para una rosca tipo ACME el valor de  $w_0$  es igual a  $w_0 = 0.63$  y si la rosca presenta 10 hilos por pulgada se tiene un paso de 0.1 como se mencionó anteriormente, por lo tanto:

$$A = \pi \cdot 0.03 \cdot 0.63 \cdot 0.1 = 5.93 \times 10^{-3} [m^2]$$

Ahora

$$\tau = \frac{66.2 [N]}{5.93 \times 10^{-3} [m^2]} = 11163.57 [\text{MPa}]$$

Lo que da como resultado el esfuerzo al que está sometido un filete de la rosca si este solo filete tuviera que soportar todo el peso de la carga. Pero, como la rosca de potencia propuesta tiene 15 filetes completos debido a la geometría del cabezal móvil y al cuerpo del tornillo, el esfuerzo cortante se distribuye de la siguiente forma:

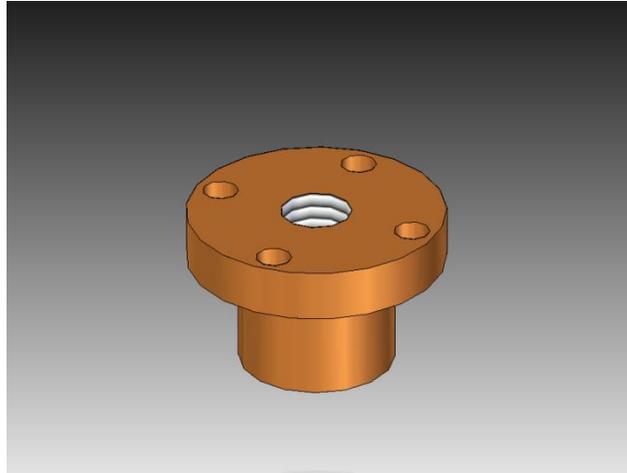
$$\tau = \frac{66.2 [N]}{15 \cdot 5.93 \times 10^{-3} [m^2]} = \frac{66.2 [N]}{0.08895 [m^2]} = 744.23 [\text{MPa}]$$

Si tenemos que la resistencia al cizallamiento del bronce sinterizado AISI es de 430 [MPa], tenemos entonces que el factor de seguridad de la tuerca de potencia es

$$F_s = \frac{R_c}{\tau} \quad \text{Ec. 22}$$

$$F_s = \frac{430 [\text{MPa}]}{744.23 [\text{MPa}]} = 0.577$$

$$F_s = 5$$



**Figura 32. Tuerca de potencia.**

Parte importante para el desplazamiento del cabezal móvil, además de la tuerca de potencia, son los bujes de deslizamiento que se encuentran embebidos también en el cabezal móvil, estos bujes de deslizamiento permitirán el libre movimiento del cabezal móvil a través de las columnas de estructura y estabilidad, sin que este movimiento se de en otra dirección que no sea la dirección axial a las columnas-guía, debido al ajuste de deslizamiento con el que serán diseñados. Las columnas de estabilidad y estructura hacen una función dual que es también la de guiar al cabezal en la dirección solicitada y así formar el sistema funcional de desplazamiento del Probador mecánico [26].

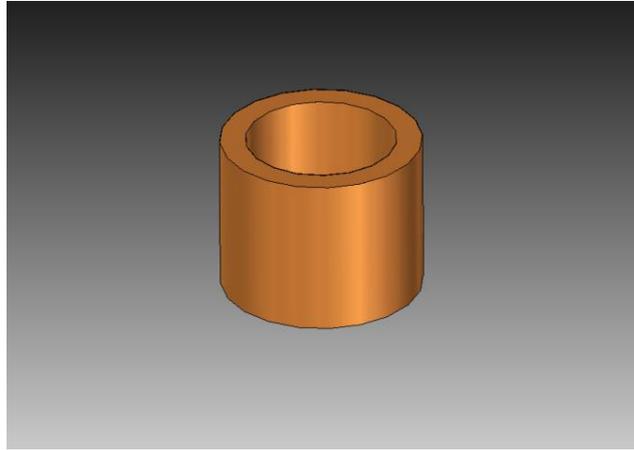
### ***2.24.3 Bujes de desplazamiento***

Para los bujes de desplazamiento se utilizará un ajuste de deslizamiento, en función del diámetro de las columnas-guía. Si el diámetro de las columnas-guía es de 30.05, tendremos un arreglo de la siguiente forma:

$D_{\text{diámetro de las columnas-guía}} = 30.05 \text{ [mm]}$

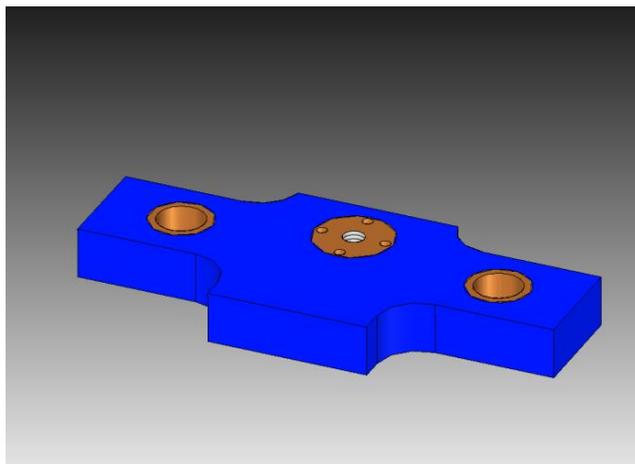
$D_{\text{interior bujes}} = 30 \text{ [mm]}$ , con ajuste: +0.00, -0.05

$D_{\text{exterior bujes}} = 40 \text{ [mm]}$ , con ajuste: +0.0025, -0.00



**Figura 33. Bujes de desplazamiento.**

En la siguiente figura se muestran la rosca de potencia y los bujes de desplazamiento embebidos en el cabezal móvil del Probador mecánico. La tuerca de potencia está atornillada al cabezal, además de estar en ajuste de apriete en su diámetro exterior, mientras tanto los bujes de desplazamiento mantienen un ajuste de apriete en sus diámetros exteriores y un ajuste de deslizamiento en sus diámetros interiores. Como se ha mencionado, tanto la tuerca de potencia, como los bujes de desplazamiento, serán maquinados en un material con una dureza inferior al material de la estructura general, esto es debido a la prevención de un desgaste prematuro en las columnas-guía y el tronillo de potencia respectivamente. El tornillo de potencia será apoyado por un rodamiento que estará embebido en la base fija con ajuste de apriete tanto en su diámetro interior como en el exterior para facilitar la acción antes mencionada [26].



**Figura 34. Tuerca de potencia y bujes de deslizamiento embebidos en el cabezal móvil.**

Tomado en cuenta las propiedades mecánicas del material de fabricación de la estructura general del Probador, y de las piezas primarias, se establecen los requerimientos que necesitaran tener la tuerca de potencia y los bujes de desplazamiento.

La tuerca de potencia será la encargada de imprimir la fuerza necesaria en interacción directa con el tornillo de potencia, para hacer ascender y descender al cabezal móvil. Por tanto se requiere de un material que presente menor dureza que el material del tornillo de potencia, pues se pretende que con el uso continuo del Probador el desgaste lo absorba la tuerca antes que se desgaste el tornillo de cuerda ACME. Lo anterior debido a que la tuerca será más fácil de remplazar.

Por otro lado para los bujes de deslizamiento, se requiere que este material presente buenas propiedades de lubricación para realizar la tarea requerida, que sea un material con menor dureza que el de las columnas-guía para que de igual forma se puedan remplazar los bujes antes que las columnas-guía de ser necesario. Tanto para la tuerca como para los bujes el material deberá presentar facilidad de manufactura y ser un material accesible. Por lo tanto dichos requerimientos se especifican a continuación:

1. Material de menor dureza que el material de estructura.
2. Material para aplicaciones de baja y mediana potencia.
3. Material para aplicaciones de baja, media y gran velocidad.
4. Material comercial.
5. Material de fácil maquinabilidad.
6. Buenas propiedades de lubricación.

Utilizando la información de la investigación preliminar, se puede saber que, para la fabricación de bujes comerciales, los materiales más frecuentes son el acero (acero más blando que el acero de interacción), aluminio, bronce y teflón. Esta información servirá como referencia para poder definir el material de fabricación de la tuerca de potencia y los bujes de desplazamiento.

Estableciendo un filtro de acuerdo a los requerimientos planteados para el material de fabricación de la tuerca de potencia y para los bujes de desplazamiento, se presenta la siguiente tabla donde se indica los coeficientes de rozamiento estático y dinámico de los materiales comúnmente utilizados para esta aplicación. [26], [27], [29].

**Tabla 39. Coeficientes de rozamiento de algunos metales [26].**

<b>Material</b>	<b>Coefficiente de rozamiento estático</b>	<b>Coefficiente de rozamiento cinético</b>
Acero	0.74	0.57
Aluminio	0.61	0.47
Bronce	0.2	0.18
Teflón	0.9	0.4

De la tabla anterior se puede observar que el bronce es el material que mejores coeficientes de fricción respectivamente presenta para la aplicación requerida. El bronce como tal, es un material muy blando a comparación del acero inoxidable AISI 316, por lo cual estaría cubriéndose el rubro de presentar menor dureza y por tanto menor resistencia al desgaste por fricción. Es importante señalar que la tuerca de potencia estará en contacto con el tornillo de potencia, y tratara de evitarse el desgaste prematuro de este último sin caer en la posibilidad que el material seleccionado para la tuerca de potencia no cuente con las suficientes prestaciones para trabajar con el tornillo de acero inoxidable AISI 316.

En la siguiente tabla pueden apreciarse algunas propiedades que serán calificadas a manera de comparación de una forma práctica, recordando que el material estará sometido a fricción con el acero inoxidable AISI 316 del tornillo de potencia y las columnas-guía respectivamente.

**Tabla 40. Propiedades físicas de algunos metales [26].**

<b>Material</b>	<b>Velocidad de trabajo</b>	<b>Maquinabilidad</b>	<b>Propiedades de lubricación</b>	<b>Costo</b>	<b>Disponibilidad</b>
Acero inoxidable	Buena	Buena	Regular	Regular	Bueno
Aluminio	Regular	Excelente	Regular	Regular	Bueno
Bronce	Excelente	Excelente	Excelente	Bueno	Bueno
Teflón	Buena	Buena	Buena	Bueno	Regular

De igual forma puede observarse que el bronce toma ventaja, pues es un material que puede trabajar en aplicaciones de potencia y velocidad, pudiendo trabajar en bajas, medias y altas velocidades, así como en aplicaciones de baja y media potencia.

En cuanto a la maquinabilidad el bronce y el aluminio presentan mayor facilidad de ser sometidos a algún proceso de manufactura. En cuanto a las propiedades de lubricación, todos los materiales pueden ser lubricados, solo que, tanto el acero, el aluminio y el teflón necesitaran de un aceite o lubricante artificial para evitar que la fricción metal-metal para el acero y el aluminio y metal-polímero para el teflón sea mayor que la esperada. En cuanto al bronce, existe un tipo de bronce, llamado bronce sinterizado en su grado L, que posee excelentes propiedades de lubricación llamándole inclusive bronce autolubricado.

Finalmente después de este análisis para el material de la tuerca de potencia y los bujes de deslizamiento, se selecciona el bronce como material de fabricación, pues presenta mayores ventajas en los rubros calificados.

El bronce es un material también dúctil, maleable y sobre todo presenta buenas propiedades de autolubricación en su grado L tipo bronce sinterizado o bronce autosaturado. Por lo cual presenta una ventaja considerable frente a los demás materiales analizados.

El bronce es un material probado y utilizado en bujes o cojinetes cilíndricos. Su uso es tan frecuente en este tipo de aplicación debido a que este material que no necesita lubricación, pues de origen está saturado en aceites de alta calidad que lo auto lubrican, por lo anterior también es llamado bronce autolubricado.

Es llamado también bronce sinterizado debido al proceso de sinterización al que es sometido dentro de una atmósfera controlada con alto contenido de hidrógeno. Las propiedades generales corresponden a la norma ASTM-B-438.

Por lo tanto se elige el bronce sinterizado que posee las siguientes propiedades. [26], [29].

**Tabla 41. Propiedades del Bronce sinterizado SAE 841 [29].**

Tensión	Cedencia	Elongación	Densidad
96.53[MPa]	75.84[MPa]	1%	5.6-6.5 [gm/cm <sup>3</sup> ]

#### **2.24.4 Rodamiento**

El rodamiento será interconectado con el tornillo de potencia, lo que permitirá tener un giro infinito en este y así poder realizar la tarea de hacer ascender y descender el cabezal móvil durante el ensayo de tracción.

Para seleccionar el rodamiento debemos considerar la geometría del tornillo de potencia, debido a que el tornillo, será conectado por ajuste de interferencia al rodamiento. Teniendo que el diámetro menor del tornillo es de 15.8 [mm], se consideraran los rodamientos de bolas que tengan un diámetro interno menor a 10, pues será más fácil desbastar el tornillo de la parte donde se realice la interferencia y ajustarlo a un rodamiento que se encuentre en este rango. Por otro lado, el dejar el tornillo con un diámetro mayor, implica también ajustarlo a un balero de diámetro interior mayor, por lo que también aumenta el diámetro exterior y esto significa mayor espacio requerido para embeberlo en la base fija del Probador [26], [32].

De lo anterior se tiene:

$$D_{\text{tornillo de potencia}} = 15.8 \text{ [mm]}$$

Los ajustes para el rodamiento estarán asignados de la siguiente forma:

El diámetro interior será de 9.98, con un ajuste del tornillo al diámetro interno del rodamiento-0.001 [mm], +0.00 [mm], mientras tanto el diámetro exterior del rodamiento es de 35.1 [mm], con un ajuste de +0.001 [mm], -0.00 [mm], de interferencia con la base fija.

Ahora, calculando la carga equivalente sobre el rodamiento se tiene:

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad \text{Ec. 23}$$

Dónde P, es igual a P = carga equivalente sobre el rodamiento,  $F_r$  es  $F_r$ = carga radial aplicada sobre el rodamiento, y  $F_a$  es  $F_a$ = carga axial aplicada sobre el rodamiento. Mientras tanto X e Y son valores adimensionales propios del rodamiento y proporcionados por el fabricante. De la información del fabricante se tiene que X= 0.35 e Y= 0.57.

Si se considera el peso total del conjunto que es  $M_{\text{total cabezal}} = 7.005$  [Kg], más el peso del tornillo,  $M_{\text{tornillo}} = 0.952$  [kg] la fuerza resultante del peso sumado es de 78.05 [N] de carga sobre el rodamiento. Si se considera que la carga radial es el 10% de la carga axial aplicada, se tiene: De acuerdo a los parámetros de diseño consultados en la literatura.

$$P = 0.35 \cdot 7.805 [N] + 0.57 \cdot 78.05 [N] = 47.22 [N] [26].$$

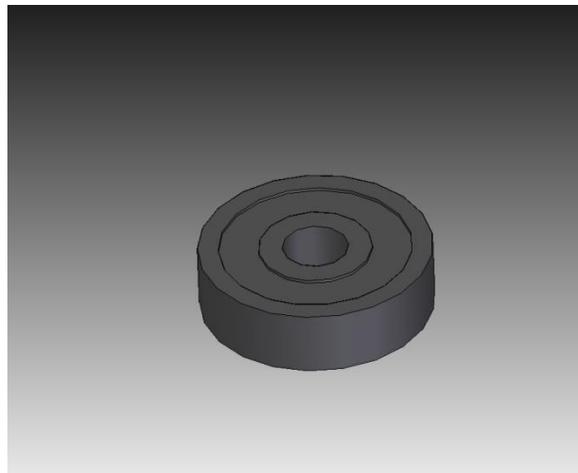
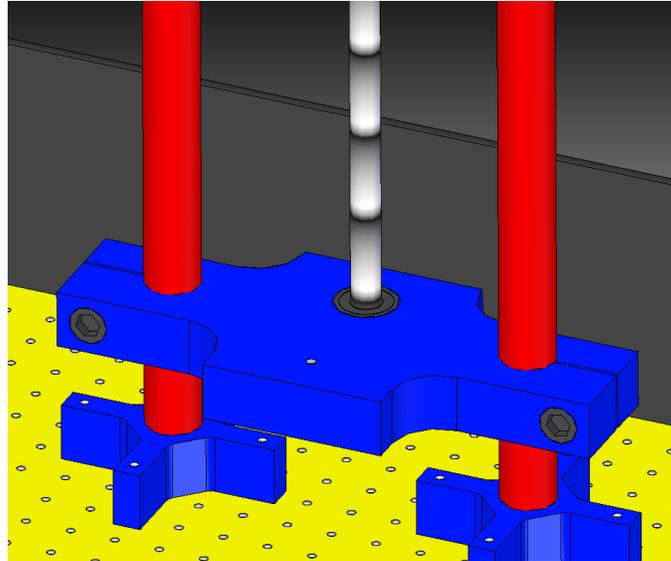


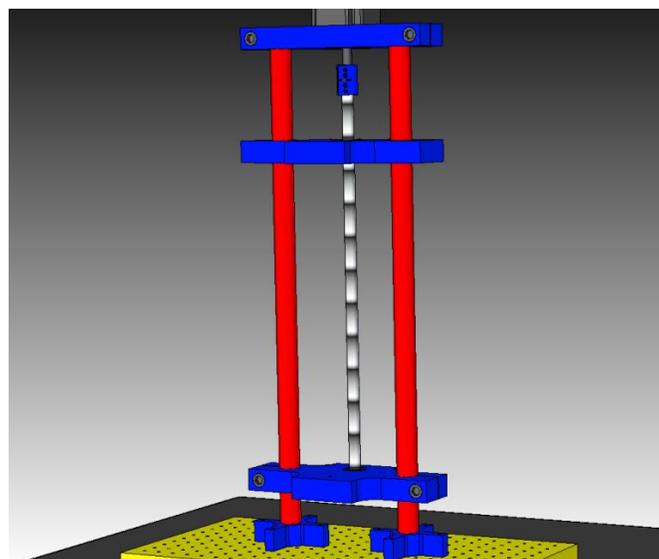
Figura 35. Rodamiento de tipo bolas. Para el giro infinito de tornillo de potencia

En la siguiente figura se muestra como el rodamiento esta embebido a presión y mantiene un ajuste de apriete en la base fija, haciendo también, una conexión con el tornillo de potencia, permitiendo que este realice un giro infinito como ya se ha mencionado.



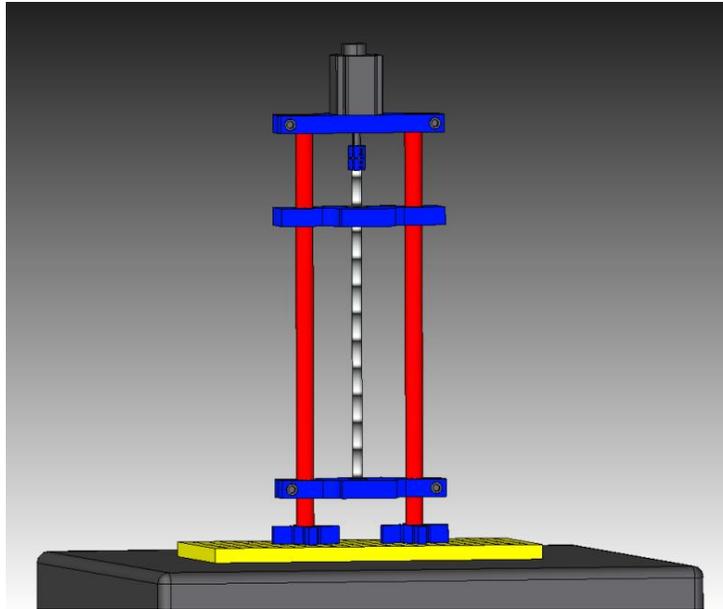
**Figura 36. Rodamiento embebido en el cabezal fijo para giro infinito de tornillo.**

Se presenta entonces el sistema de desplazamiento en interacción con el resto de los sistemas funcionales del Probador mecánico. En esta imagen puede apreciarse la propuesta de la configuración del Probador, además puede interpretarse el funcionamiento que se pretende tenga este equipo.



**Figura 37. Primera vista Interacción de los sistemas funcionales del Probador Mecánico.**

También puede apreciarse la configuración general de los sistemas primarios que a su vez conforman la configuración general del Probador Mecánico.



**Figura 38. Segunda vista Interacción de los sistemas funcionales del Probador Mecánico.**

## **2.25 Sistemas Secundarios del Probador Mecánico**

### **2.26 Sistema de Sujeción**

El sistema de sujeción está dado por una configuración de dos mordazas tipo tornillo. Este sistema se define a partir de las necesidades del laboratorio y permite ensayar los materiales con mayor seguridad sin ser dañados, así como operarlas fácilmente. Este diseño de mordazas es especialmente diseñado para materiales suaves y tejidos biológicos debido a la fuerza de sujeción requerida para la manipulación de estos materiales. Además permite montar y desmontar cualquier probeta de manera fácil gracias a su practicidad de diseño. También es fácil de instalar en el Probador mecánico. Con la implementación de este diseño se mantiene la condición de portabilidad del equipo requerida, pues el montaje de este sistema se realiza de una forma fácil y práctica. De igual forma al momento de colocar la probeta de ensayo, este sistema permite que la colocación, la fijación y la sujeción se realicen de forma correcta, pues cuenta con un pin de auto alineación para geometrías estandarizadas.

### 2.26.1 Sistema de mordazas

En la siguiente figura se muestra una de las mordazas que conforman el sistema de sujeción del Probador mecánico, estas mordazas son de tipo tornillo y la sujeción que presentan es bastante efectiva para la consistencia delicada que poseen los materiales suaves y los tejidos biológicos.

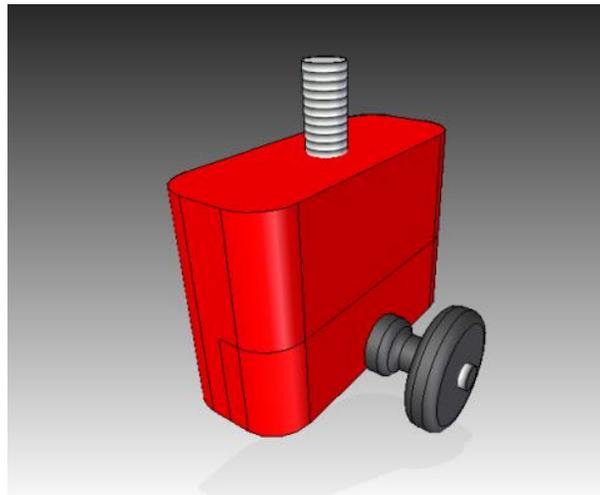


Figura 39. Mordazas tipo tornillo.

En la siguiente imagen, se muestra una vista isométrica de una de las mordazas de sujeción, que, como indica la figura sujetará las probetas de prueba mediante un tornillo, que posteriormente hará presión contra una de las paredes de la mordaza, aplicando una doble sujeción, la primera de alineación y la segunda de apriete.

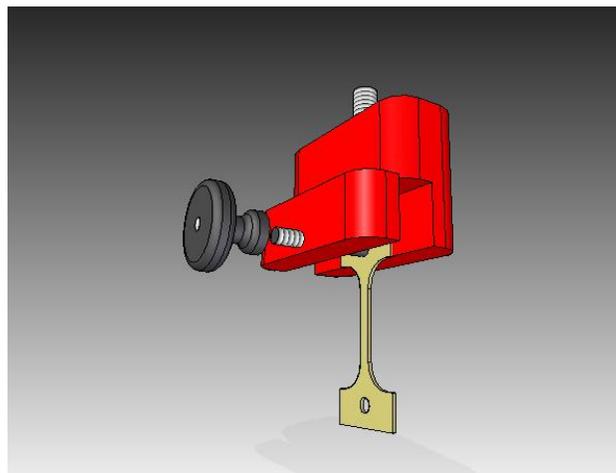


Figura 40. Mordazas tipo tornillo abiertas. Doble sujeción.

En la siguiente figura se muestran las dimensiones de las mordazas de sujeción del Probador mecánico en una vista frontal.

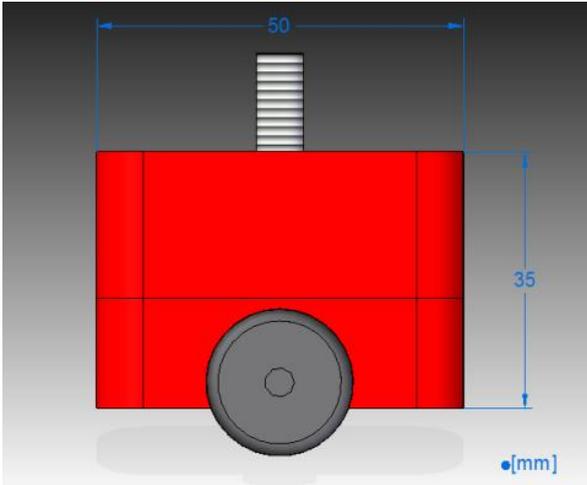


Figura 41. Dimensiones de las mordazas de tipo tornillo, vista frontal.

De igual forma se muestran las dimensiones de las mordazas de sujeción, pero en una vista lateral

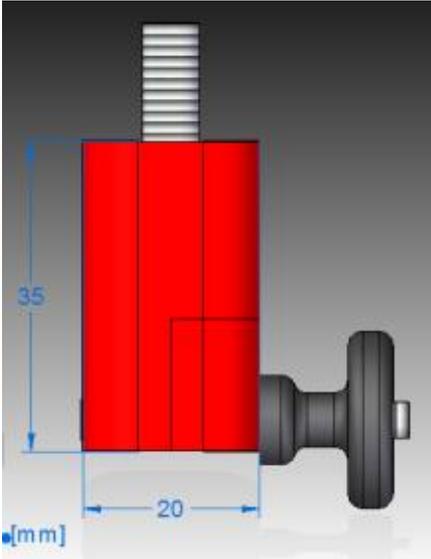


Figura 42. Dimensiones de las mordazas de tipo tornillo, vista lateral.

## 2.27 Sistema de control

Para el sistema de control, es necesario contar con dos dispositivos que reportaran valores medidos tanto de fuerza como de desplazamiento. Es por ello que se eligen a partir del siguiente análisis.

### 2.27.1 Sensor de fuerza

El sensor de fuerza permitirá adquirir los parámetros de fuerza necesarios durante el ensayo de tracción. Posteriormente el análisis de dichos parámetros permitirá determinar las propiedades de los materiales ensayados. A continuación se realiza la selección del sensor que será utilizado para medir los distintos valores de fuerza que arrojará el ensayo de tracción en materiales biológicos. Para sensar dichas fuerzas se utilizará un sensor de fuerza llamado celda de carga. Una celda de carga es un dispositivo que mide fuerza, y la transforma en señales eléctricas que podremos utilizar para interpretar posteriormente el comportamiento de una carga aplicada de forma gráfica y numérica. Esta transformación de fuerza a señales eléctricas se realiza mediante un dispositivo mecánico dentro de la celda de carga. La fuerza que se desea medir deforma una galga extensiométrica que es un dispositivo de medida universal que se utiliza para la medición electrónica de diversas magnitudes mecánicas, como la presión, la deformación, carga aplicada y posición, como en este caso. La celda de carga convertirá entonces el desplazamiento o deformación de la probeta de prueba, en señales eléctricas.

La elección de esta celda de carga, está determinada debido al rango de lecturas que puede brindar, pues posee una capacidad de hasta 15 [KN], que es el rango más alto como lo marcan las Normas ASTM para este tipo de materiales. Su montaje y acoplamiento con el probador es muy sencillo, ya que posee un vástago de medidas comerciales  $\frac{1}{4}$ -28 cuerda fina, lo que la posiciona en un sensor realmente útil y versátil para los objetivos del probador mecánico. Las características de este sensor de fuerza se mostrarán más adelante [33].

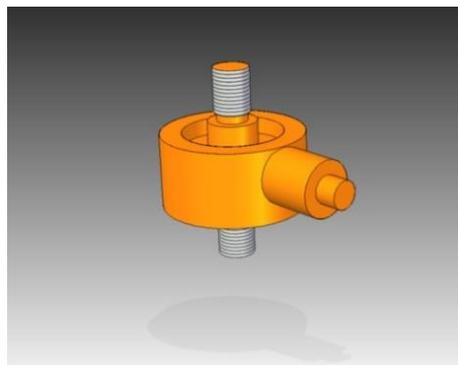
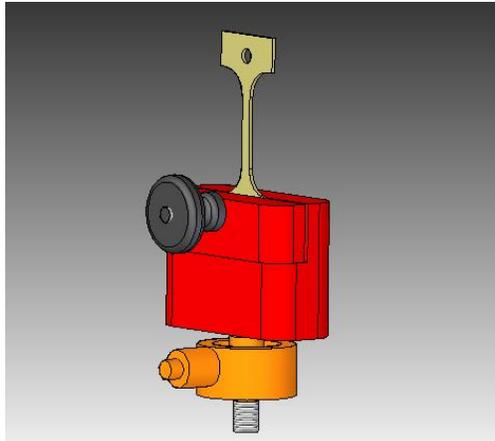


Figura 43. Sensor de fuerza del Probador mecánico.

En la siguiente figura podemos ver como esta acoplado el sistema de mordazas al Probador mecánico. La primer mordaza se encuentra en la base fija donde se ubica también el sensor de fuerza que habrá de mencionarse detalladamente más adelante.



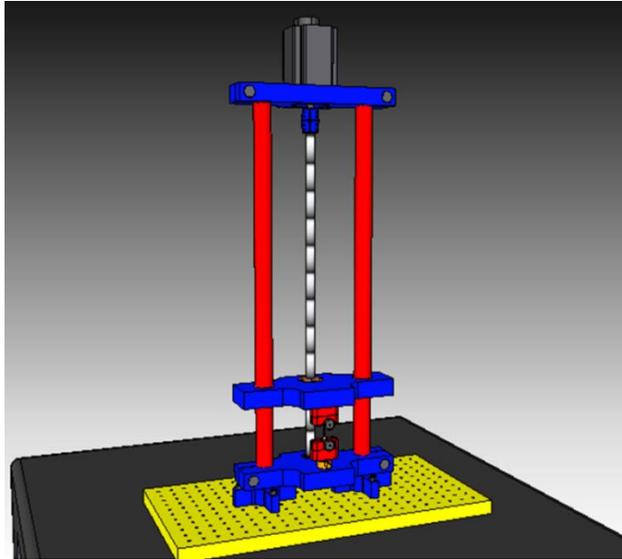
**Figura 44. Ensamble general del sistema de mordazas.**

### ***2.27.2 Sensor de desplazamiento***

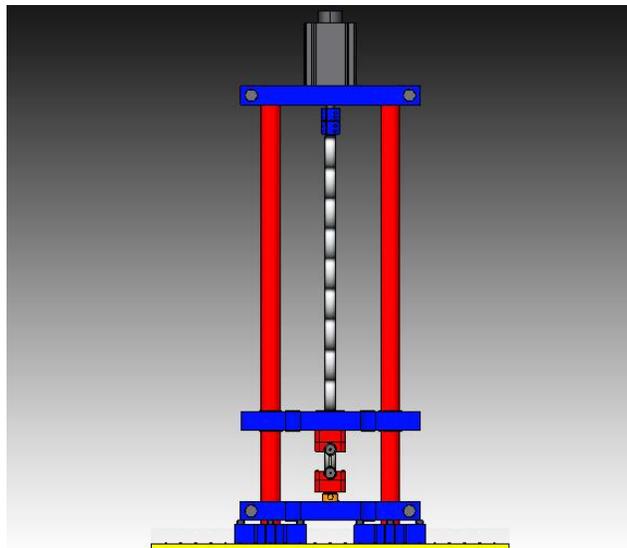
Para obtener el desplazamiento del Probador Mecánico será necesario implementar un sensor que permita reportar los valores que se obtienen a lo largo de la carrera del cabezal móvil del Probador. Para lo anterior, se utilizará un dispositivo que pueda desplazarse junto con el cabezal móvil del Probador mecánico a fin de reportar los parámetros ya mencionados. El dispositivo seleccionado para esta tarea es un lvdt que es un dispositivo que convierte un desplazamiento lineal o una posición conocida debido a una referencia de movimiento mecánico en un valor de este desplazamiento pero en una señal eléctrica que es proporcional. Ello permitirá conocer el punto inicial del cabezal móvil del Probador, su posición en cada punto durante su desplazamiento, así como su posición final. Los detalles de estos dispositivos se mostrarán más adelante [34].

## **2.28 Conformado del Probador Mecánico**

Finalmente se presenta la integración de todos los sistemas funcionales del Probador mecánico en una propuesta de diseño que habrá de dar la pauta para la fabricación del Probador después de un análisis mecánico correspondiente.



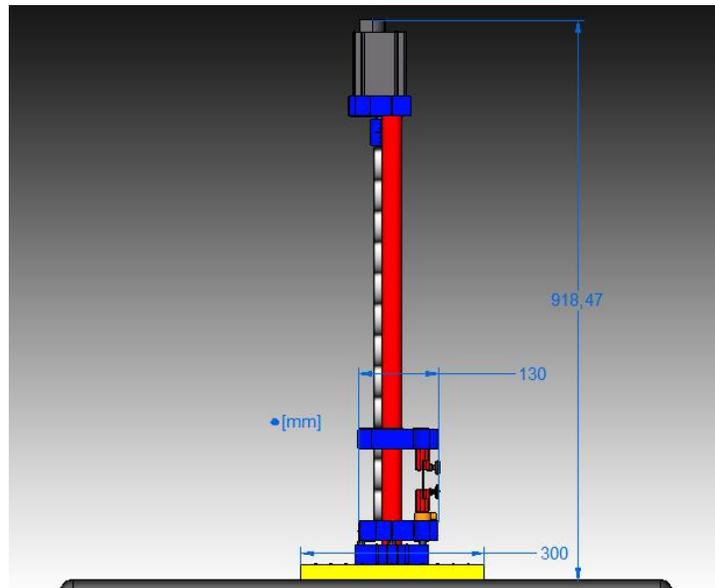
**Figura 45. Ensamble general del Probador Mecánico en vista isométrica.**



**Figura 46. Ensamble general del Probador Mecánico. Vista frontal**

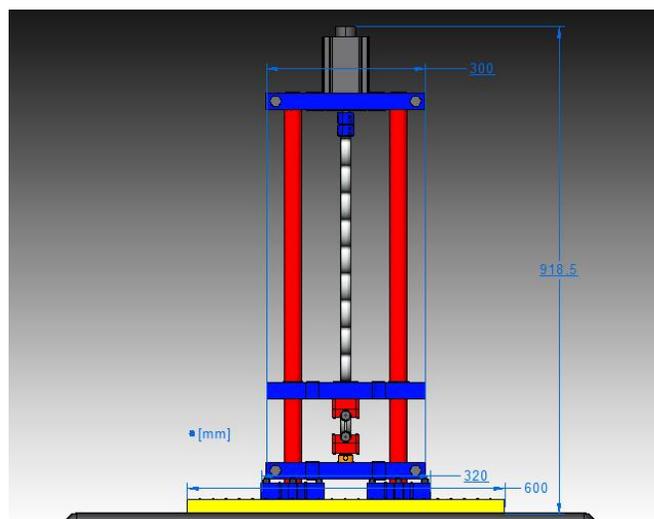
En la siguiente figura el sistema de movimiento está ligeramente situado detrás del sistema de estructura y estabilidad debido a que de esta forma se reparte la carga que genera tanto el peso del cabezal móvil y el sistema de sujeción, como el peso del motor, buscando que el diseño también presente simétrica tanto de forma vertical como horizontal. Esto contribuirá también a ampliar el área de trabajo sin exceder las dimensiones necesarias acotadas por los requerimientos.

En la siguiente figura se muestra la vista lateral del Probador mecánico para ensayos de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos, así como las dimensiones de toda su geometría.



**Figura 47. Vista lateral derecha, dimensiones generales del Probador Mecánico.**

En la esta otra figura se muestra la vista frontal del Probador Mecánico para ensayos de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos, así como las dimensiones de toda su geometría. En esta vista puede apreciarse la distribución que posee en su espacio de trabajo tanto de forma vertical como de forma horizontal [35].



**Figura 48. Vista frontal, dimensiones del Probador Mecánico.**

Finalmente se presenta de manera general un resumen mediante una tabla que indica el tipo de material de fabricación que será utilizado para maquinar cada una de las piezas del Probador mecánico.

**Tabla 42. Materiales de manufactura de los componentes del Probador Mecánico.**

<b>Componente</b>	<b>Material</b>
Bases de cruz	Acero inoxidable AISI 316
Columnas soporte-guía	Acero inoxidable AISI 316
Cabezal móvil	Acero inoxidable AISI 316
Base fija	Acero inoxidable AISI 316
Soporte motor	Acero inoxidable AISI 316
Tornillo de potencia	Acero inoxidable AISI 316
Cople	Acero inoxidable AISI 316
Tuerca de potencia	Bronce sinterizado SAE 841
Bujes de deslizamiento	Bronce sinterizado SAE 841

## **2.29 Selección de Procesos de Manufactura para el Probador Mecánico**

Por la naturaleza de la aplicación que tendrá el Probador Mecánico, se requiere que su funcionamiento sea preciso, para ello, por supuesto, es necesario que sus componentes sean precisos también y que puedan brindar la exactitud necesaria.

Es por ello que la fabricación de las piezas es muy importante. En la fabricación de las piezas y componentes del Probador mecánico, las tolerancias de fabricación toman un papel muy importante, pues son ellas las encargadas de determinar la precisión de estas.

Para la manufactura de algunos componentes del Probador mecánico se utilizara el método de manufactura denominado CNC (control numérico por computadora). La manufactura por control numérico ha traído cambios notables a la industria de las maquinas herramienta. Las nuevas máquinas-herramienta controladas por computadora han permitido que la industria produzca piezas a una velocidad y con una precisión completamente imposible de lograr hace solo algunos años de forma manual [36].

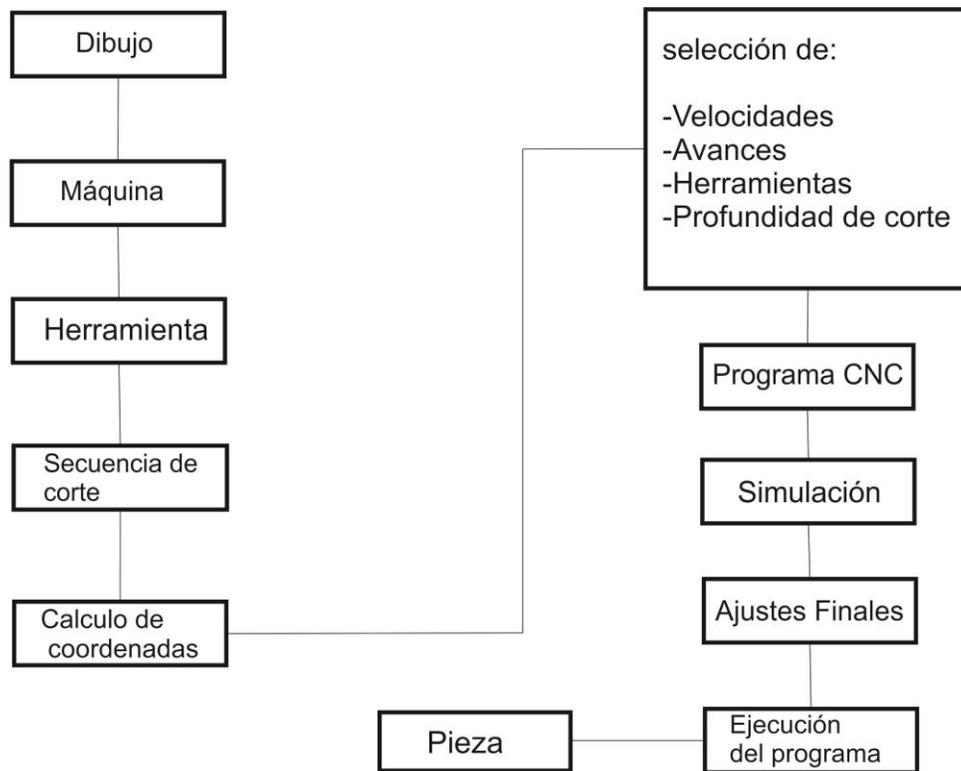


Figura 49. Diagrama de flujo del proceso de CNC [36].

Para la manufactura de los componentes generales se utilizara el proceso de maquinado por control numérico antes mencionado, pues se requiere de alta precisión en su acabado. Las columnas de estructura y estabilidad, las bases en forma de cruz, la base fija del Probador, el soporte del motor y el cabezal serán de acero inoxidable AISI 316, acero de buena maquinabilidad, por lo cual el CNC es una opción muy viable para la fabricación de estas piezas.

La tolerancia de la maquina CNC es de 0.001 [mm], por lo cual es evidente que la precisión que se alcanzara entra en lo establecido y requerido en la fase de diseño para la posterior manufactura del Probador [27]

En importante destacar la etapa de manufactura del Probador mecánico, pues se requiere que esta sea de manera precisa, pues de acuerdo al desarrollo presentado durante este trabajo, el Probador mecánico es una máquina de precisión, y cualquier pieza que este fuera de tolerancia puede afectar los resultados de los estudios que abran de realizarse con apoyo del Probador Mecánico.

## 2.30 Ensamble del Probador Mecánico

### 2.30.1 Elementos de la estructura general del Probador Mecánico

El conformado del Probador se realiza a partir del diseño propuesto, el análisis de selección de materiales, y la selección apropiada de los métodos de manufactura, sin embargo el conformado no podría haberse llevado a cabo si desde la fase de diseño no se hubieran tomado en cuenta los posible materiales para la concepción del Probador así como su proceso de manufactura asociado. Dado que la estructura principal del Probador está realizada de acero inoxidable 316, y solo el cabezal móvil alberga dos bujes de bronce sinterizado y una tuerca de potencia del mismo material, que están embebidos en él a presión, se consideran éstas como uniones o ensambles permanentes.

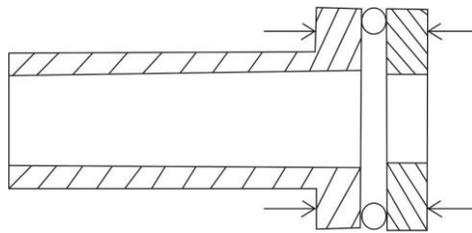


Figura 50. Ensamble por conexión a presión.

### 2.30.2 Elementos fuera de la estructura general

Para los elementos que no pertenecen a la estructura general, se consideran las uniones de ensamble desmontables, pues debido a su geometría estudiada y definida en la fase de diseño, estas piezas o elementos permiten ser desmontadas. Para este caso, donde las piezas o elementos del Probador son desmontables, se requiere de la unión por conexión atornillada que pertenece a un ensamble desmontable [36], [37].

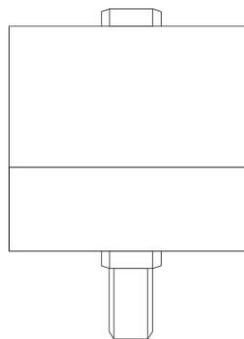


Figura 51. Ensamble por conexión atornillada.

### 2.31 Renderizado y acabado final

A continuación se muestran las imágenes del renderizado o acabado comercial del Probador mecánico para ensayos de tracción. Estas imágenes permitirán hacer una interpretación real de lo que se pretende para la fabricación del Probador mecánico para ensayos de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos [24].

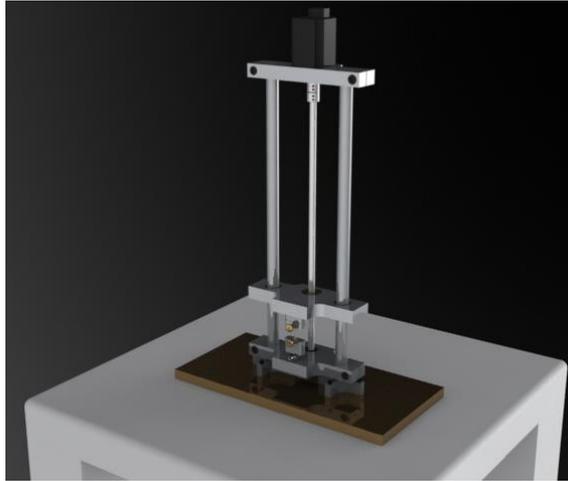


Figura 52. Acabado comercial del Ensamble general del Probador mecánico.

De igual forma, se presenta a continuación, el esquema general de la configuración del Probador mecánico para ensayos de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos. En esta imagen puede apreciarse que el acabado final que se pretende tener en el Probador mecánico es en acero inoxidable.

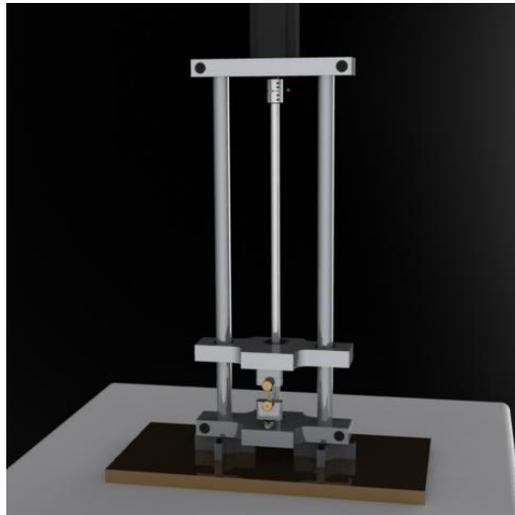
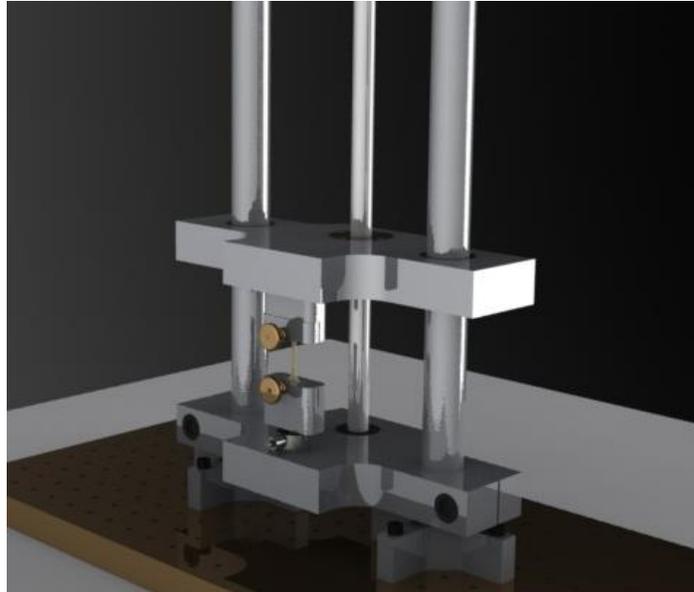


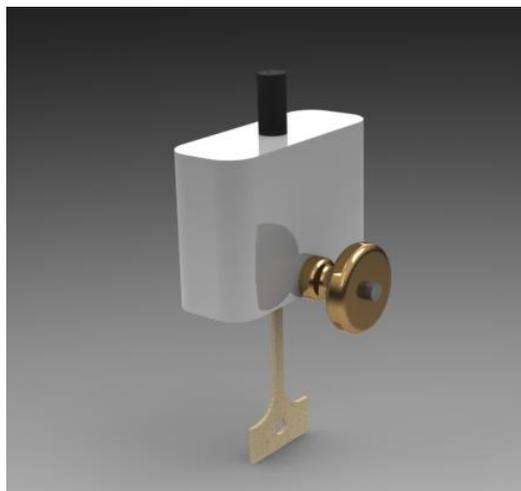
Figura 53. Acabado comercial isométrico del Ensamble general del Probador mecánico.

En la siguiente figura se muestra el sistema de sujeción desarrollado en la fase de diseño conceptual. Como se mencionó, el renderizado puede presentar una idea más clara del aspecto de estas piezas que conforman el Probador mecánico.



**Figura 54. Acabado comercial isométrico del Ensamble del sistema de sujeción del Probador mecánico.**

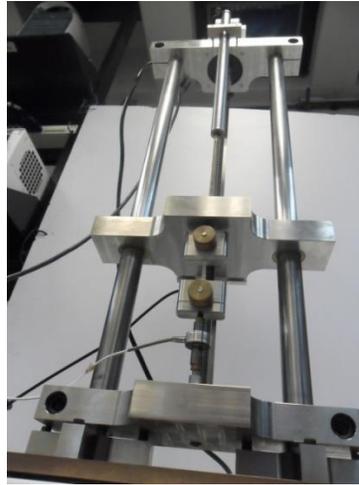
Siguiendo la secuencia de imágenes presentadas del acabado final del Probador mecánico, se muestra un acercamiento de una de las mordazas que conforman el sistema de sujeción antes mencionado. También es una pieza que se pretende fabricar en acero inoxidable como ya se ha mencionado.



**Figura 55. Mordaza de sujeción. Sistema de sujeción**

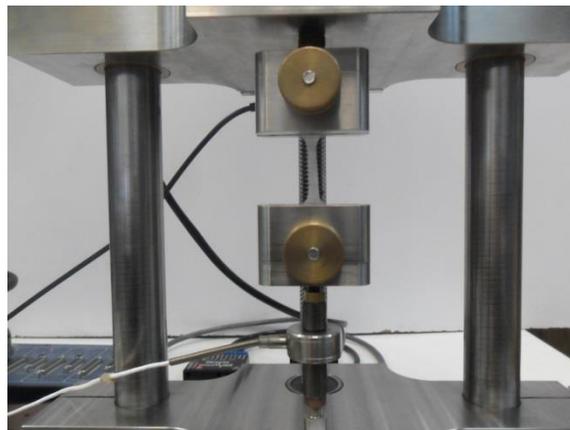
### 2.32 Conformado del probador Mecánico

Una vez realizado el desarrollo correspondiente para cada una de las etapas del diseño del Probador mecánico, se procedió a la etapa de manufactura de las piezas que conforman este. Como se mencionó anteriormente las piezas del Probador Mecánico e fabricaron por medio de método de manufactura de CNC. De lo anterior, se presenta en esta etapa la secuencia del conformado del Probador mecánico. A continuación se presenta una imagen del ensamble final del Probador mecánico para ensayos de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos.



**Figura 56. Configuración general del Probador Mecánico**

La siguiente imagen muestra el ensamble final del sistema de sujeción conformado por dos mordazas de sujeción cuyas características son el permitir un ensamble rápido, una sujeción adecuada para las muestras o probetas de prueba sin que estas sufran daño alguno ajeno al ensayo de tracción como tal durante su estudio.



**Figura 57. Sistema de mordazas.**

### 2.33 Justificación de la fabricación del Probador Mecánico

Por otro lado, como resultado del desarrollo del Probador Mecánico para ensayos de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos, se tiene el análisis general de los costos que género la fabricación del Probador. Este análisis permite mostrar las ventajas económicas que representa la fabricación de este equipo contra los equipos comerciales. Conocidos cada uno de los componentes del Probador mecánico para ensayos de tracción se puede calcular el costo aproximado de la fabricación nacional de este equipo. De acuerdo a la siguiente tabla, los costos del Miniprobador mecánico pueden calcularse de la siguiente forma:

- Materiales. El costo de los materiales está delimitado de acuerdo al costo que proporciona el proveedor local de metales, en este caso “Metales Díaz”.
- Partes y Dispositivos. El costo de los componentes comerciales del Probador Mecánico, así como los dispositivos de este están acotados por los proveedores de estos respectivamente.
- Mano de obra. La mano de obra se calcula en base a las horas/hombre utilizadas en la manufactura de las piezas que conforman el Probador Mecánico, así como la renta de la maquinaria necesaria para hacer el maquinado de las piezas del Probador.
  - Horas/Hombre utilizadas: 45 h
  - Costo Hora/Hombre: \$200.00, por las 45h, se tiene un costo total de \$9,000.00.
  - Horas/Máquina utilizadas: 45 h
  - Costo hora/Maquina: \$400.00, por las 45h, se tiene un costo total de \$18,000.00.

Tabla 43. Costo del Probador mecánico.

Componente	Costo (MXN)
Placa acero inoxidable	\$14,000.00
Tocho bronce sinterizado	\$5,000.00
Tocho acero inoxidable	\$2,000.00
Tornillo de potencia	\$2,000.00
Rodamiento	\$150.00
Manufactura	\$27,000.00
Motor a pasos	\$2,000.00
Driver de motor	\$285.00
Fuente	\$325.00
Electrónica	\$2,000.00
Sistema de adquisición	\$60,000.00
Sistema de control	\$300,000.00
<b>Total</b>	<b>\$414,760.00</b>

## **CAPÍTULO 3. INSTRUMENTACIÓN Y ELECTRÓNICA DEL PROBADOR MECÁNICO**

Hoy en día la ciencia y la tecnología se caracterizan por la necesidad de generar y medir variables físicas. Los equipos tecnológicos que tienen como visión determinar la magnitud de una variable, generarla, visualizarla y convertirla en otra diferente se llaman instrumentos. La electrónica aplicada es el área de la tecnología que estudia las características de los dispositivos electrónicos y la forma de interconectarlos y captar información en forma de señales eléctricas. La instrumentación es la disciplina que estudia las técnicas de diseñar, construir y utilizar correctamente los sistemas de medida. La instrumentación es una tarea ingenieril que se encarga de poner en aplicación un conjunto de instrumentos que hacen posible la medida de una variable física particular.

Tanto la electrónica como la instrumentación se unen para llevar a cabo una sola tarea. Esta tarea tiene como objetivo la obtención de un circuito funcionalmente correcto. Por tanto, para el funcionamiento del Probador mecánico es necesario llevar a cabo una etapa de instrumentación y su etapa de desarrollo electrónico asociado, lo cual nos permitirá poner en funcionamiento el motor utilizado para accionar el Probador, así como establecer la comunicación de este con la PC, para su posterior control.

En este capítulo se describen los dispositivos utilizados para la instrumentación del Probador, así como la electrónica necesaria para su funcionamiento. Se presentan y se detallan las características y especificaciones de cada uno de los dispositivos electrónicos que componen el Probador mecánico para ensayos de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos. [18]

### **3.1 Dispositivos asociados al Probador Mecánico**

#### ***3.1.1 Motor a pasos 8718L-02S***

Como ya se mencionó, el único actuador del Probador mecánico es un motor a pasos. La elección del motor a pasos se da a partir del análisis previo de sus características, pudiendo determinar que el motor a pasos, en particular este modelo, nos brindara un mayor torque y permitirá tener un desplazamiento más fino en comparación con los demás motores, este desplazamiento será de pasos por pulso aplicado, a su vez un driver conectado a este motor nos permitirá dividir los pasos de avance por cada pulso aplicado, en micropasos por igual número de pulsos aplicados. Lo anterior beneficiara en el avance con mayor exactitud que podrá brindar el Probador mecánico.

El motor a pasos utilizado, es un motor a pasos unipolar modelo 8718L-02S, fabricado por la empresa Lin Engineering con un tamaño de bastidor o marco de medida 34 y tamaño de paso de 1.8 grados de alto Torque. Debido a que este motor posee un torque de alto rango, permitirá transmitir sin ningún inconveniente el par resultante, al tornillo de potencia a través de la flecha del motor.

Con el análisis mecánico se determinó que el torque necesario para hacer ascender y descender el cabezal móvil, por lo cual habrá de elegirse un motor a pasos que posea un rango de funcionamiento con el cual podamos cubrir este par requerido. De lo anterior se presenta la elección del motor a pasos [31].



Figura 58. Motor a pasos 8718L-02S. Lin Engineering [37].

A continuación se presentan las especificaciones del Motor 8718L-02S.

Tabla 44. Especificaciones del motor a pasos 8718L-02S.

Modelo	Fase [A]	Torque [N·m]	Resistencia [Ohm]	Inductancia [mH]	Inercia [oz·in <sup>2</sup> ]	Peso [lb]	Salidas
8718L-02S	1.40	9.10	7.5	78.1	21.90	8.44	4

En las siguiente Gráficas podremos observar como es la relación torque-velocidad de este motor. El torque nos permitirá tener mayor precisión en el desplazamiento debido a que a menor velocidad tendremos mayor torque con el motor 8718L-02S, pudiendo traducir esto en un avance a menor velocidad pero con mayor precisión.

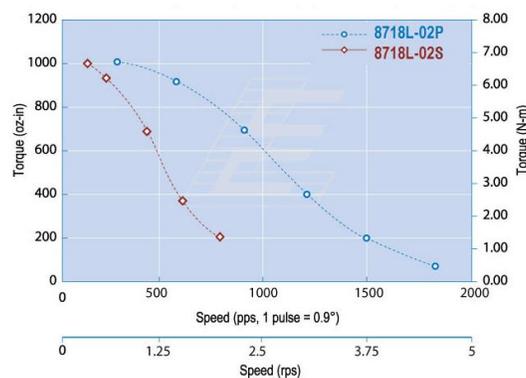


Figura 59. Gráfica de torque contra velocidad Motor a pasos 8718L-02S [25].

Por lo tanto el Motor a pasos 8718L-02S presenta las características físicas y mecánicas necesarias para ser el encargado de dar movimiento al Probador mecánico.

Las ventajas que se tendrán al haber seleccionado este motor a pasos son las siguientes:

- El ángulo de rotación es proporcional a los pulsos de entrada, lo que representa mayor precisión.
- El motor a pasos aprovecha el torque máximo que tiene, al realizar el movimiento a una velocidad menor.
- Exactitud en la posición y repetición de movimientos. Error de 3% a 5%, el cual, no es acumulativo.
- Excelente respuesta ante arranque, parada y reversa, sin ningún cambio abrupto en su movimiento.
- Respuesta a pulsos de entrada como control de lazo abierto, haciendo un control más simple.
- Velocidad de rotación muy baja con carga acoplada directamente sobre el eje.
- Rango amplio de velocidades de rotación [31].

### **3.1.2 Driver R710**

El driver controlador R710 es fabricado por la empresa RMS Technologies. Este dispositivo para motores de paso unipolar es un dispositivo multiplicador de paso de pulso, el cual, puede dividir la salida de pasos del motor hasta en 10 micropasos, incluso con una entrada de paso completo o medio paso. Con la implementación de este driver, no será necesario cambiar la configuración original de entrada para obtener micropasos, es decir, sólo se tendrá que seleccionar en el driver el multiplicador de paso deseado de 1, 2, 5 ó 10, para lograr la salida en micropasos, mientras se mantiene la velocidad de rotación que se tenía en la configuración original. El driver controlador R710 funciona en un rango de 24 a 80[V]DC y permite el uso de una base común o un hilo de conexión común de +5[V] para las entradas con aislamiento óptico [38], [39].



**Figura 60. Driver R710 [38].**

### 3.1.3 Fuente PW-100-24

Para la electrónica del Probador es necesaria una fuente de poder o fuente de alimentación. La fuente se utiliza para dar alimentación al mismo tiempo de forma paralela al motor 8718L-02S y al driver r710. Esta fuente es fabricada y distribuida por la empresa Power Win Technology Corp.

La fuente suministrara energía como se mencionó tanto al driver como al motor, protegiéndolos de alguna variación de voltaje que pudiera dañarlos. La alimentación necesaria para el motor es de 24[v] y para el driver será de 5 [v] [38], [39].



Figura 61. Fuente PW-100-24[38].

A continuación se muestran las características generales de esta fuente. Esta fuente presenta una alta eficiencia.

Tabla 45. Especificaciones de la Fuente PW-100-24 [38].

Modelo	Voltaje de salida [v]	Corriente de salida (máx.) [A]
Fuente PW-100-24	24 VDC	4.5

### 3.1.4 Diagrama principal de conexiones de los elementos del motor

A continuación se muestra el diagrama principal de conexiones para el motor a pasos, establecer estas conexiones permitirá dar funcionamiento al motor, es decir lograr que la flecha del motor produzca energía mecánica a partir de su movimiento por medio del suministro de energía eléctrica proporcionado por la fuente. El control y la subdivisión de los pasos para su movimiento será parte de la tarea del driver R710. En este diagrama se puede observar cómo se establece la conexión del motor a pasos 8718L-02S con el driver controlador R710. Estos dos elementos son alimentados por la fuente PW-100-24. Dicha fuente provee de  $5 \pm v$  al driver controlador, a su vez provee de  $24 \pm v$  al motor a pasos para su funcionamiento como se mencionó anteriormente.

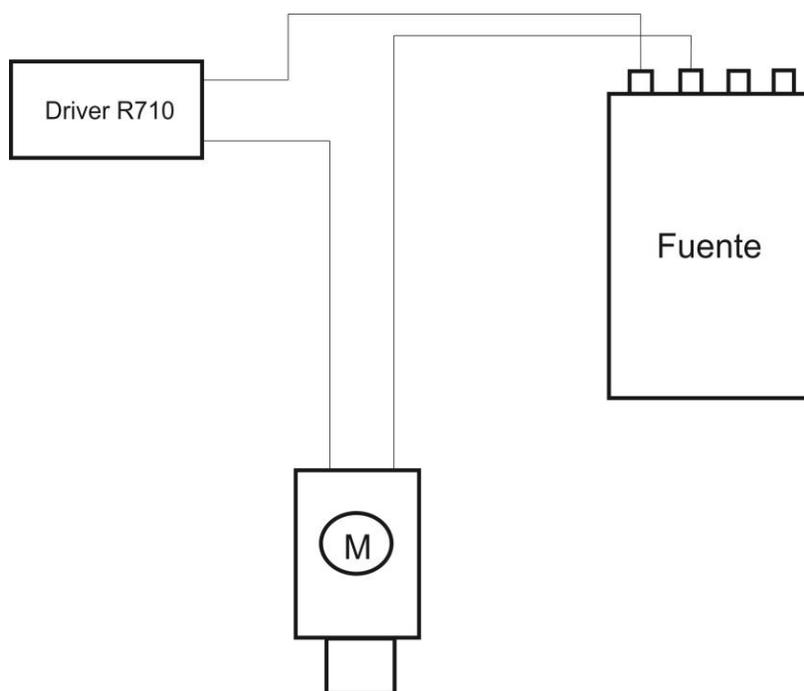


Figura 62. Diagrama de conexiones del motor

Una vez establecida la electrónica para la alimentación del motor, se requiere comenzar a diseñar la interfaz de comunicación del actuador del Probador con la PC para su posterior control. Para que el actuador del Probador pueda identificar todas las instrucciones necesarias para su movimiento y para el control de su movimiento, es necesario tener un dispositivo de comunicación que realice esta tarea. Para este caso será utilizada una tarjeta de comunicación que será la encargada de establecer la comunicación con la PC, por medio de la electrónica necesaria.

### 3.1.5 Interface NI-UMI7774

La interfaz electrónica de control UMI-7774 es fabricada y distribuida por National Instruments. Como se mencionó, esta tarjeta será la encargada de comunicar las instrucciones que se darán desde el control de la PC hacia el motor, regulándolo y protegiéndolo de cualquier cambio brusco de voltaje [40].



Figura 63. Interface NI-UMI7774 [40].

### 3.1.6 Diagrama principal de conexiones de los elementos del motor a la Interface NI-UMI7774

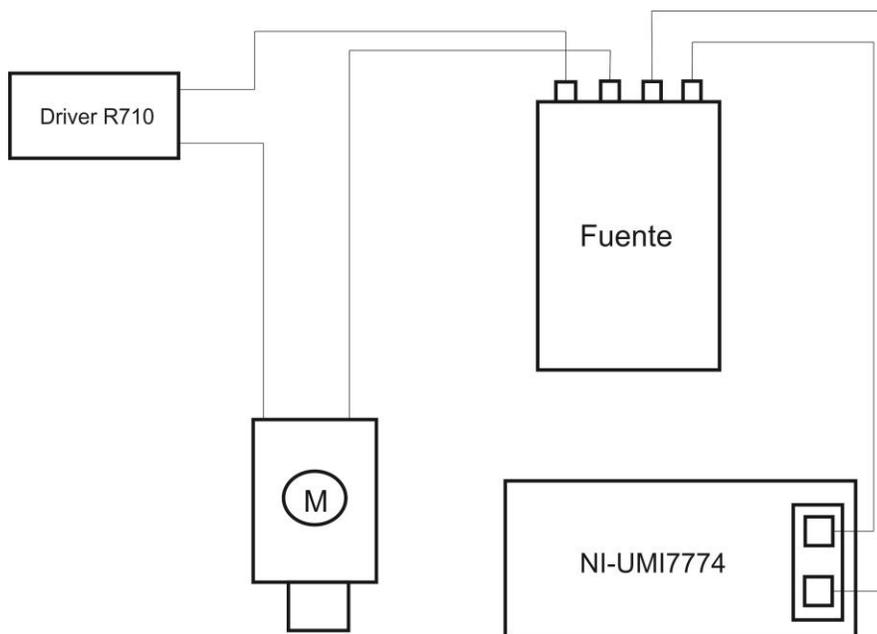


Figura 64. Diagrama de conexiones del motor en comunicación con la tarjeta NI-UMI7774.

El siguiente punto del diseño de la interfaz de comunicación y la instrumentación necesaria para el funcionamiento del Probador mecánico es establecer los dispositivos que serán los encargados de adquirir los datos y guardarlos de ser necesarios.

Es por ello que para esta etapa se cuenta con una plataforma que será la encargada de albergar y dar vida a la adquisición de datos. La información que se adquiera del ensayo de tracción a realizar por el Probador mecánico será procesada por tarjetas diseñadas especialmente para estas tareas y que se encuentran albergadas en esta plataforma NI PXI. Las características de estas tarjetas se detallaran más adelante.

### **3.1.7 Plataforma NI- PXI 1036**

El NI-PXI es una plataforma fabricada por National Instruments, consta de un chasis especial que es una interfaz electrónica de control para albergar los diferentes controladores que se tienen, como es el caso de las tarjetas de control de movimiento de motores, de adquisición de datos y demás aplicaciones.

El PXI-1036 es un chasis que está diseñado para aplicaciones de control remoto y posee cinco ranuras para los módulos de medición. En estas ranuras se sitúan cada una de las tarjetas diseñadas para las tareas especializadas antes mencionadas. La tarea del NI-PXI es albergar las distintas tarjetas que realizaran diferentes tareas dentro de un entorno de automatización, por medio de sus ranuras de control. El NI-PXI1036 es un chasis de bajo consumo de energía, es ideal para la distancia y en tiempo real y aplicaciones de adquisición de datos en aplicaciones médicas, industriales o algún otro tipo de automatización. Esta plataforma ofrece más espacios a un costo menor y en un diseño más compacto, como se mencionó anteriormente ofrece espacio para cinco módulos periféricos [40].



**Figura 65. Plataforma NI- PXI 1036[40].**

Una vez instalada la unidad PXI 1036, procedemos a conectar las tarjetas que servirán para realizar las tareas de comunicación, sincronización y adquisición de datos del Probador mecánico. Estas tarjetas fueron diseñadas por National Instruments y se encargan de realizar tareas definidas, por medio de la tecnología adquisición de datos (DAQ). La adquisición de datos (DAQ) es el proceso de medir con una PC un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable, involucrando con ello tres procesos principales: temporización, rendimiento y precisión en las tareas. Es por ello que a continuación se presentan las características de cada una de ellas, para finalmente mostrar el diagrama de conexiones que interconectan estos elementos entre sí.

### **3.1.8 Tarjeta NI-PXI6281**

La tarjeta PXI-6281 de National Instruments es una tarjeta multifunción de alta precisión de la Serie M de adquisición de datos (DAQ) para aplicaciones que incluyen pruebas y caracterización de dispositivos. Este dispositivo electrónico de control será utilizado para obtener las lecturas y señales de los sensores que requiere el funcionamiento del Probador. Esta tarjeta permitirá el control del hardware de medición. A su vez la combinación de este hardware con el software necesario para la comunicación permitirá crear el entorno de control. es decir que nos permitirá desarrollar el control semiautomático del Probador mecánico para ensayos de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos, pues la tecnología DAQ permite el desarrollo de aplicaciones de adquisición de datos con la facilidad de la programación gráfica y la potencia de un gran número de funciones de análisis, así como herramientas de programación avanzadas. A continuación se muestran las características físicas de la tarjeta NI-PXI6281 [40].



**Figura 66. Tarjeta NI-PXI6281 comunicación vía BNC [40].**

### **3.1.9 Tarjeta NI-PXI7350**

La tarjeta NI 7350 es un controlador de movimiento. En este caso el movimiento que controlará será el del motor a pasos, actuador del Probador. Esta tarjeta es un dispositivo de alto rendimiento que utiliza un doble procesador en tiempo real de control, durante la tarea a realizar.

Esta característica proporciona comunicaciones de datos para perfiles de control de altas y bajas velocidades, esta flexibilidad en su configuración ayudara al control del motor del Probador, al poder tener esta variante y este comportamiento uniforme a valores bajos, medios y altos de velocidad. De lo anterior puede afirmarse que la tarjeta PXI7350 permitirá realizar el control programado del motor a pasos para el funcionamiento del Probador mecánico a diferentes condiciones de velocidad con una respuesta uniforme. A continuación se muestran las características físicas de la tarjeta NI-PXI7350 [40].



**Figura 67. Tarjeta NI-PXI7350 controlador de motores [40].**

### 3.1.10 Tarjeta NI-PXI8331

La tarjeta NI-PXI8331 de National Instruments es también un dispositivo de comunicación. Este dispositivo es a su vez un enlazador de dispositivos, pues permite intercomunicar a otros controladores y de ser necesario enlazar múltiples chasis de la tecnología PXI. Es decir que la tarjeta NI-PXI8331 es un enlace entre dispositivos de comunicación, ya que posee un gran ancho de banda transparente para las aplicaciones de software y controladores. Esta tarjeta proporciona la capacidad de utilizar las computadoras de escritorio de alto rendimiento o de los servidores para controlar sistemas PXI. Con este dispositivo se podrá comunicar un controlador de adquisición de datos PXI-MXI-4 que más adelante se describe. A continuación se muestran las características físicas de la tarjeta NI-PXI7350 [40].



Figura 68. Tarjeta NI-PXI8331 comunicación serial con la PC, adquisición de datos [40].

### 3.1.11 Diagrama principal de conexiones de las tarjetas NI DAQ, asociadas al chasis NI-PXI 1036

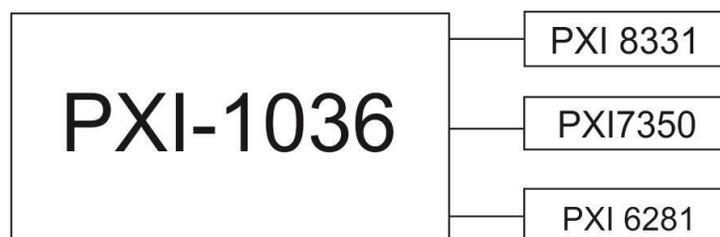
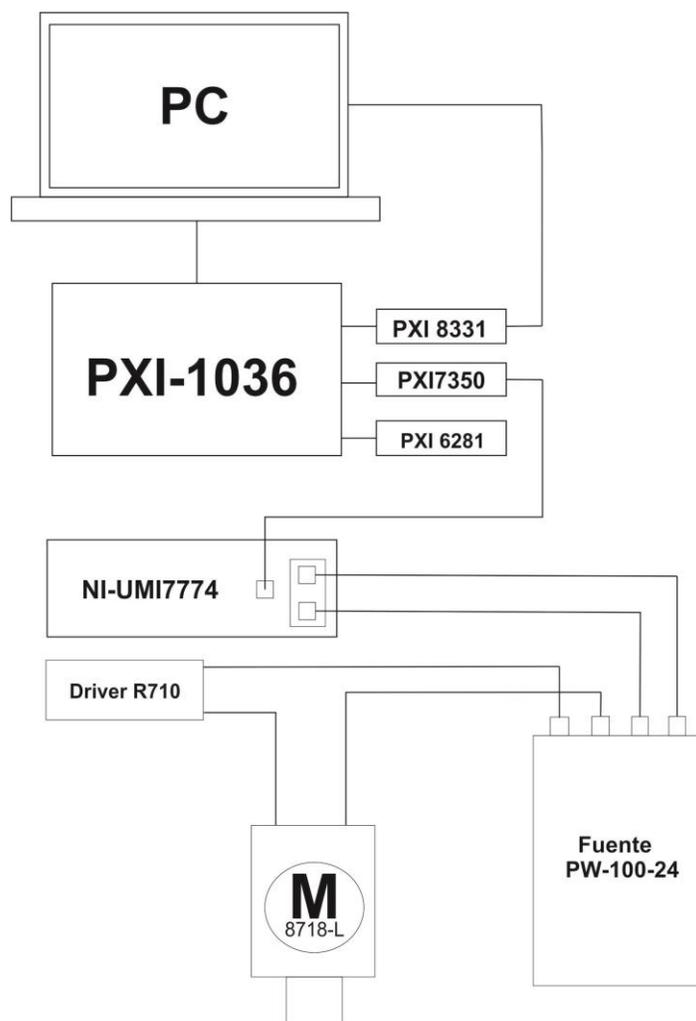


Figura 69. Diagrama del PXI-1036 que alberga a las tarjetas PXI.

**3.1.12 Esquema general de conexión de los dispositivos asociados al PXI 1036 y la PC.**



**Figura 70. Esquema general de conexión de los dispositivos asociados al PXI 1036 y la PC.**

### **3.1.13 Bloque de conexiones NI-BNC 2090A**

El BNC 2090A de National Instruments es un dispositivo que consiste en un bloque de conexiones. Este bloque permite establecer la comunicación necesaria con la tarjeta NI-PXI-6281 alojada en el chasis NI-PXI-1036. Es compatible con los sistemas DAQ. El bloque BNC 2090A cuenta con 22 conectores BNC para establecer la conexión con los dispositivos de adquisición de datos.

Para la adquisición de datos de fuerza y desplazamiento durante la prueba serán utilizados un dispositivo celda de carga y un dispositivo LVDT respectivamente. La celda de carga será la encargada de adquirir los valores de fuerza y el dispositivo LVDT, que a su vez estará adquiriendo los datos de desplazamiento de forma paralela.

Con lo anterior, el bloque BNC 2090A permitirá tener las lecturas de fuerza y desplazamiento de forma simultánea durante la prueba de ensayo de tracción, pues permitirá poder realizar las dos tareas al mismo tiempo y poder reportar los parámetros deseados mediante una interfaz gráfica. De lo anterior se justifica el uso del bloque BNC 2090A al contar con flexibilidad y adaptación a los dispositivos DAQ elegidos para la adquisición de datos [40].

Las características principales del bloque de conexiones BNC 2090A para el acondicionamiento de las señales, tanto de la celda de carga como del LVDT, son las siguientes:

- 22 conectores BNC para entradas y salidas analógicas.
- 29 terminales para conectividad de entradas y salidas digitales.
- Compatibilidad con dispositivos DAQ.
- Conectividad directa BNC para un gran número de dispositivos.



**Figura 71. Bloque BNC 2090A para la comunicación con dispositivos y sistemas DAQ [40].**

Una vez seleccionados y descritos los dispositivos periféricos utilizados para establecer la comunicación del Probador mecánico para ensayos de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos, se presenta el esquema general que muestra todas las interconexiones necesarias para dar funcionamiento al Probador mecánico. Todos los dispositivos anteriores están conectados al PXI 1036 así como al bloque BNC 2090A. Todos los dispositivos establecen comunicación con la PC.

**3.1.14 Esquema general de conexión de los dispositivos asociados al PXI 1036 y al bloque BNC 2090A.**

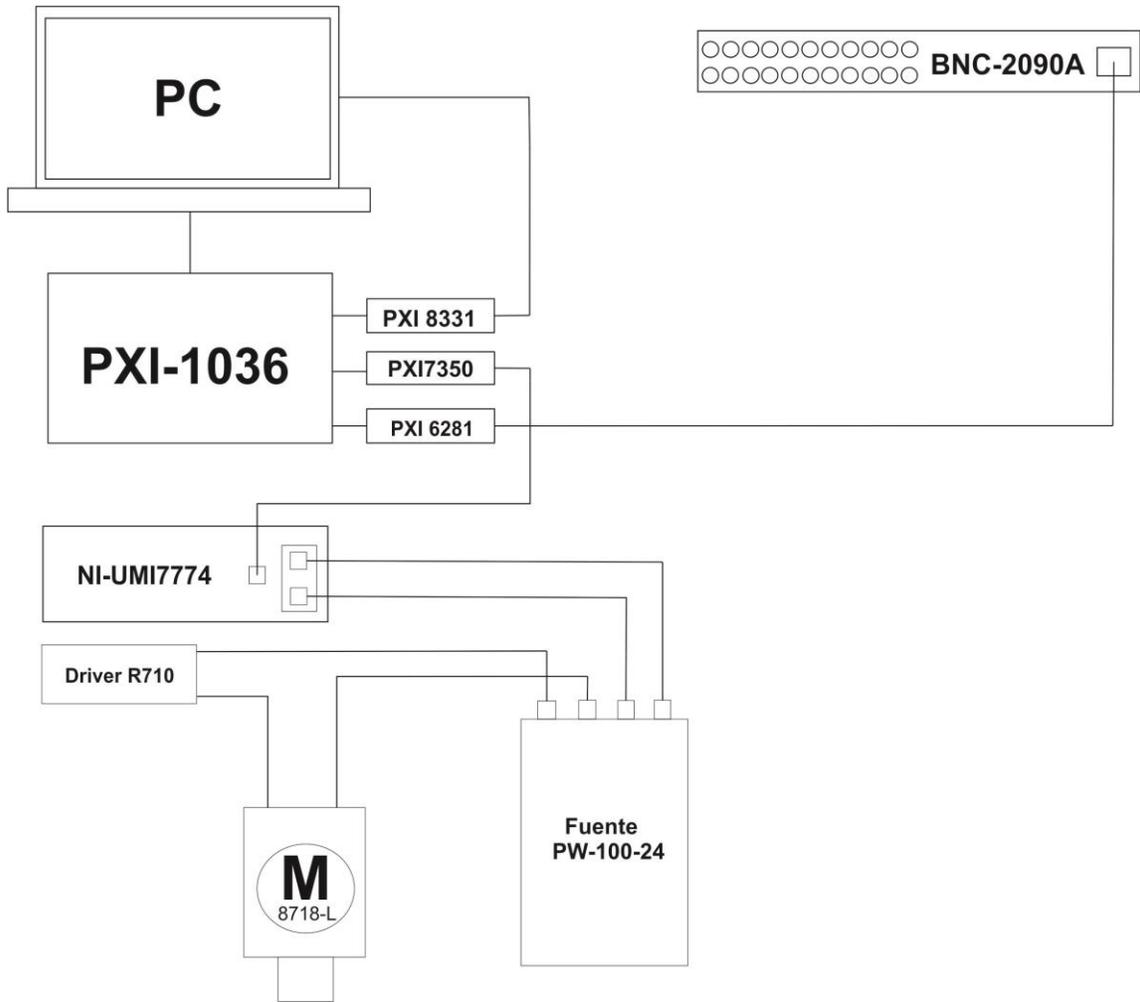


Figura 72. Esquema general de conexión de los dispositivos asociados al PXI 1036, bloque BNC 2090A y la PC.

## 3.2 Dispositivos de adquisición de datos

### 3.2.1 Celda de Carga Honeywell BR-34

Para la adquisición de datos de fuerza durante la prueba de tracción, se seleccionó la celda de carga Honeywell BR-34 debido principalmente a su resolución y su capacidad de carga. Otros criterios que se utilizaron para definir el uso de este dispositivo son su precisión y su tamaño, pues se trata de un dispositivo miniatura con la capacidad de medir la tensión y las fuerzas de compresión de carga desde los 50 [g] hasta los 15.75 [kg]. La celda de carga Honeywell en su modelo 34, cuenta con una alta resolución y precisión en la adquisición de datos, además de ser un dispositivo altamente resistente pues está fabricada en acero inoxidable. Su diseño esta realizado para eliminar o reducir a un mínimo, los efectos de las cargas fuera del eje de movimiento, su construcción interna asegura una excelente estabilidad para las cargas del rango antes mencionado [33].

Las características de la celda de carga Honeywell BR-34 se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 46. Especificaciones de la celda de Carga Honeywell BR-34 [33].**

Características	Valor nominal
Capacidad de carga en tensión	15.75[kg].(34[lb])
Precisión	$\pm 0,25\%$ de la escala completa (50 [g] hasta 15.75 [kg])
Resolución	Infinita
Temperatura de funcionamiento	-54 [° C] a 121 [° C]
Voltaje de alimentación	10 [V] DC
Material de fabricación	Acero inoxidable 304

En la siguiente figura se muestra la celda de carga Honeywell BR-34, donde pueden apreciarse sus características físicas.



**Figura 73. Celda de Carga Honeywell BR-34(15 [kg]) [33].**

### 3.2.2 Fuente de alimentación para la Celda de Carga Honeywell BR 15 [Kg]

Para el funcionamiento de la celda de carga Honeywell BR-34, es necesario generar la electrónica adecuada. Es decir que de alguna forma se necesita comunicar la celda de carga que es el dispositivo de adquisición de datos de fuerza, con la PC. De esta forma podrán obtenerse datos de fuerza expresados en una diferencia de voltaje de acuerdo a la fuerza aplicada. De lo anterior, se establece que dicha comunicación estará dada entre la celda de carga y el bloque de conexiones BNC-2090A, sin embargo será necesaria una fuente de alimentación que pueda proporcionar el voltaje de excitación adecuado para el buen funcionamiento de la celda de carga. Por lo cual, se procede al diseño electrónico de dicha fuente. Esta fuente maneja un voltaje de  $\pm 10$  Volts, para el funcionamiento de la celda de carga, la fuente mencionada se muestra a continuación [41].

Los valores que maneja la fuente serán los siguientes:

Tabla 47. Salida de voltaje y corriente de la celda de carga Honeywell BR-34 (15 [kg]).

Voltaje de salida[v]	Corriente de salida (máx.)[A]
5 VDC	4.5



Figura 74. Fuente de alimentación de alimentación asociada a la celda de carga HoneywellBR-34 (15 [kg]).

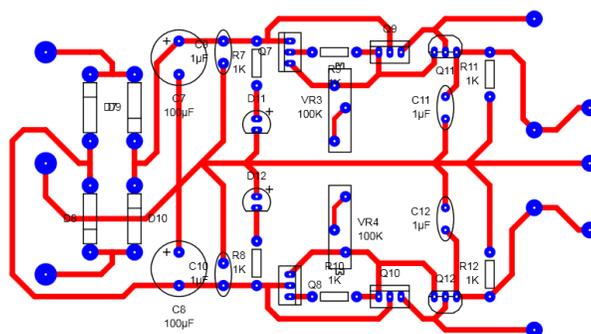


Figura 75. Circuito de alimentación asociada a la celda de cargaHoneywellBR-34 (15 [kg]).

### 3.2.3 LVDT HR4000

Un LVDT es un dispositivo que convierte un desplazamiento lineal o una posición conocida debido a una referencia de movimiento mecánico en un valor de este desplazamiento pero en una señal eléctrica que es proporcional. Es también denominado transductor lineal diferencial variable. La señal transformada que genera el LVDT contiene la dirección del movimiento debido a la fase del LVDT, así como la información de la distancia recorrida gracias a la amplitud de la señal generada.

El LVDT es un dispositivo que consiste en una bobina principal y dos bobinas secundarias, un núcleo de material ferromagnético que generará un campo dependiendo de su movimiento mecánico, este movimiento mecánico será traducido en una diferencia de voltaje que podrá medirse y posteriormente determinar una posición asociada a un movimiento.

De lo anterior, para la adquisición de los valores de posición será utilizado un LVDT de la Serie HR fabricado por la empresa Lucas Shaevitz (ahora Measurement Specialties). Este dispositivo proporcionará el rendimiento óptimo requerido para medir el desplazamiento del cabezal móvil durante la prueba de ensayo de tracción. Para realizar esta adquisición de datos de desplazamiento se eligió un LVDT HR4000, debido a que es un dispositivo altamente confiable y posee la capacidad de entregar mediciones de posición en un rango de precisión muy adecuado para los objetivos de este Probador.

El LVDT, proporciona esta precisión debido a sus características de funcionamiento, tales como su rango de precisión, hasta el material en que este es fabricado, pues contribuye no solo a la parte estética del equipo, sino a tener un funcionamiento adecuado aun en medios con variaciones de temperatura en las que pudiese presentarse el ensayo de tracción. A continuación se muestran las características del LVDT HR4000 [34].

Tabla 48. Especificaciones de la fuente de alimentación para la Celda de Carga Honeywell BR 15 [Kg] [34].

Características	Valor nominal
Linealidad	0,25%
Resolución	Infinita
Temperatura de funcionamiento	-54 ° C a 121 ° C [-65 ° F a 250 ° F]
Voltaje de alimentación	10 [Vdc]
Material de fabricación	Acero inoxidable 304

### 3.2.4 Alimentación, acondicionamiento y rectificación de la señal del LVDT

Para la comunicación de este dispositivo de adquisición de datos, será necesario de igual forma, generar la electrónica adecuada para alimentar este dispositivo, acondicionar la señal generada y finalmente rectificarla para poder comunicarla con el bloque de conexiones BNC-2090A. La señal generada por el LVDT HR4000 será rectificada debido a que este dispositivo de adquisición de datos genera una señal en corriente Alterna, y para establecer la comunicación con el bloque BNC-2090A será necesario una señal en corriente directa que permita leer los datos adquiridos durante la prueba de ensayo de tracción. Para lo anterior será necesario diseñar un circuito electrónico que realice las tareas descritas anteriormente. es por ello que se procede con el diseño electrónico de acondicionamiento de la señal y la rectificación de esta, pues la alimentación estará dada por la misma fuente que alimenta a la celda de carga Honeywell BR-34. La fuente de alimentación, acondicionamiento de señal y rectificación, tendrá las siguientes características [41].

Tabla 49. Voltaje y Amperaje de salida para Celda de Carga Honeywell BR 15 [Kg].

Voltaje de salida[v]	Corriente de salida (máx.) [A]
5 VDC	4.5



Figura 76. Fuente de alimentación de alimentación, acondicionamiento de señal y rectificación asociada al LVDT HR4000.

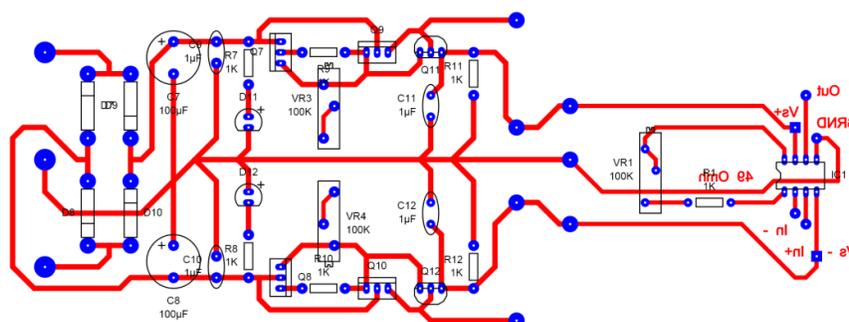
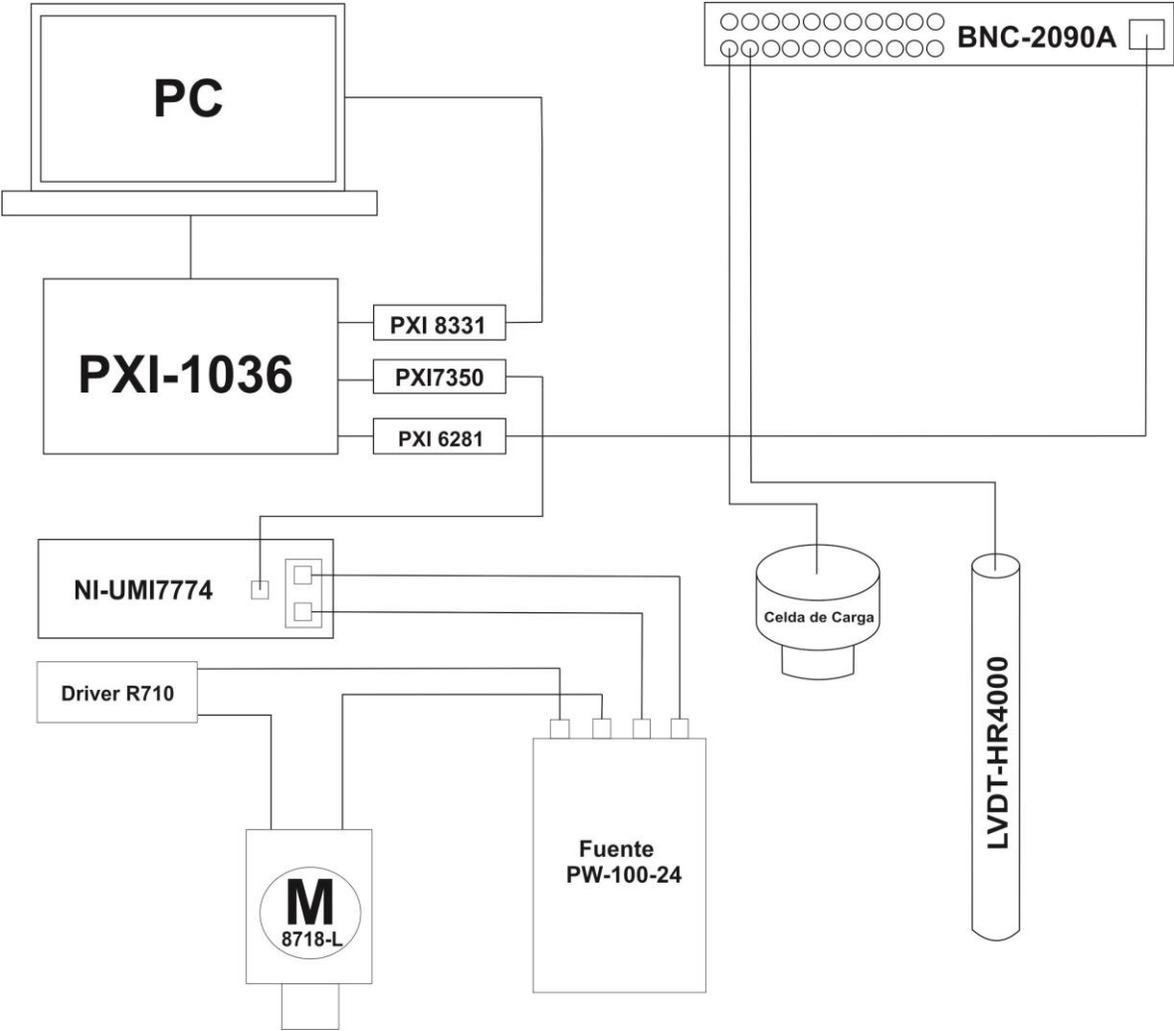


Figura 77. Diagrama de la fuente de alimentación de alimentación, acondicionamiento de señal y rectificación asociada al LVDT HR4000.

A continuación se muestra el esquema general de conexión de los dispositivos asociados al PXI 1036, que a su vez está conectado con el bloque de conexiones del BNC-2090A que alberga la celda de carga Honeywell BR-34, así como el LVDT HR4000, estos dos dispositivos también establecen comunicación con la PC.

**3.2.5 Diagrama de conexiones general de todos los dispositivos asociados al PXI-1036**



**Figura 78. Diagrama de conexiones general de todos los dispositivos asociados al PXI.**

### **3.2.6 Escala Mitutoyo Digimatic Absolute Serie 572**

Parte fundamental en la etapa de instrumentación es la etapa de calibración, por lo que es necesario contar con un valor de referencia que permita conocer y calibrar la relación de avance con la distancia requerida por el usuario del Probador. Para ello se ha elegido una regleta graduada en mm que permitirá tener, por cada avance del cabezal en función del movimiento del motor, una respuesta en mm que servirá para hacer una calibración exacta de la distancia desplazada por el cabeza por cada giro del motor. La escala digimatic de Mitutoyo permite ser instalada de forma sencilla además de ofrecer la capacidad de medir con exactitud el avance del cabezal móvil. Una de las ventajas más importantes que presenta esta escala digimatic de Mitutoyo, es la opción que ofrece al tomar las lecturas correspondientes con ayuda de su lector en lcd, así como poseer una salida para registro de datos, lo que permite poder guardarlos y realizar un análisis posterior al ensayo, por medio de la comunicación que puede establecerse con la PC, así como con otros dispositivos externos.

Otra de las ventajas por las cuales se eligió este dispositivo para realizar las mediciones antes mencionadas son su fácil adaptación a espacios verticales y horizontales como área de trabajo, su disposición para trabajar en medios cuyas condiciones no son tan favorables o parecidas al medio ambiente, es decir que es un equipo tanto de mediciones interiores como exteriores, pudiendo trabajar en ambientes de lluvia, húmedo, o con ambientes con temperaturas distintas a las del medio ambiente. La escala digimatic de Mitutoyo posee una tecla origen, la cual, permite fijar un punto cero absoluto para usar como referencia en mediciones subsecuentes. Una vez fijado, la escala digimatic está lista para mostrar su posición real durante todo el espacio de trabajo en cualquier instante de tiempo. La tecla zero/abs permite poner la pantalla en cero en cualquier posición del cursor a lo largo del brazo para medición incremental. Esta tecla también permite el retorno a la coordenada absoluta mostrando en pantalla la posición real desde el punto de origen.



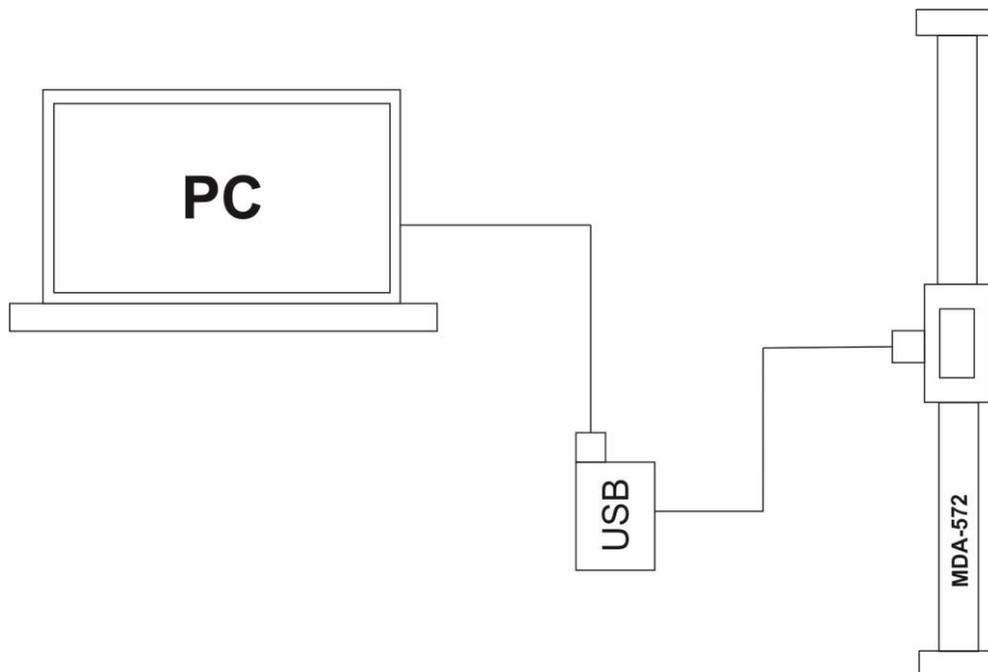
**Figura 79. Escala Digimatic Mitutoyo.**



**Figura 80. Convertidor USB.**

La escala digimatic, se colocará en dos puntos fijos del Probador, lo que permitirá que la escala graduada no tenga movimiento, el lector de lcd (caratula digital de lectura) se colocara en un punto móvil del Probador, tal es el caso del cabezal móvil para que al mover este, el display de la regleta marque en mm el movimiento realizado por este cabezal en función del movimiento del motor Diagrama de conexión de la Escala Digimatic Mitutoyo de calibración [42].

### ***3.2.7 Esquema de conexión de la regla de calibración Mitutoyo y el Probador mecánico hacia la PC.***



**Figura 81. Diagrama general de conexiones de la escala Digimatic.**

Con lo anterior, se establecen tanto los dispositivos que instrumentaran el Probador mecánico como la electrónica necesaria para interconectar estos dispositivos.

### 3.3 Instrumentación y electrónica del Probador mecánico

En la siguiente figura se muestra el diagrama de todos los dispositivos asociados al Probador mecánico además de todas las conexiones necesarias para dar funcionamiento a dichos dispositivos y establecer la comunicación entre ellos. En este diagrama se presenta la conexión de los dispositivos asociados al PXI 1036, así como el LVDT HR4000. Todos estos dispositivos establecen comunicación con la PC.

#### 3.3.1 Esquema general de instrumentación y la electrónica del Probador mecánico

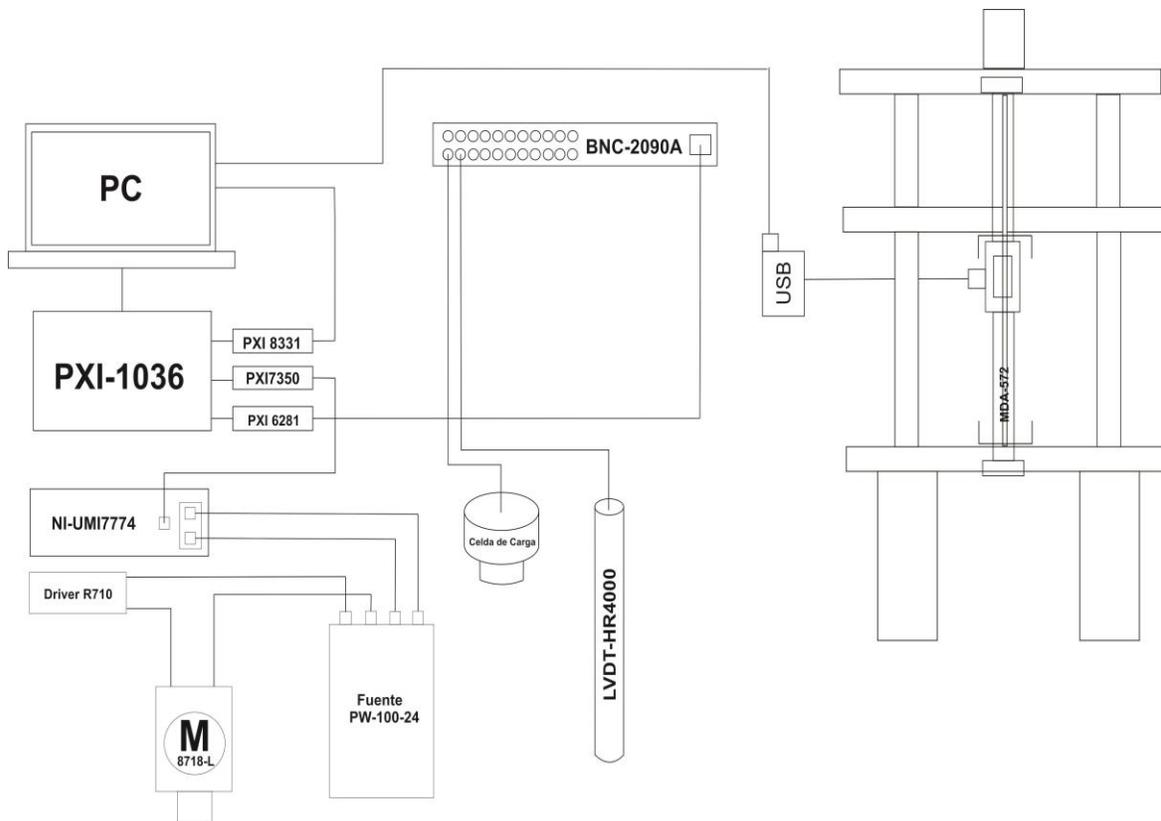


Figura 82. Diagrama de conexiones general de todos los dispositivos asociados al Probador.

En la siguiente imagen se muestra la instrumentación del Probador mecánico con todos sus dispositivos asociados, así como la interacción que mantienen con el Probador mecánico y éste a su vez en comunicación con la PC.



**Figura 83. Instrumentación del Probador mecánico.**

De igual forma, en la siguiente figura se muestra físicamente el chasis PXI 1036 de NI, cuya función es albergar a las distintas tarjeta, ya mencionadas, utilizadas para establecer la comunicación con el Probador mecánico y todos los dispositivos asociados a él.



**Figura 84. Chasis PXI, con las tarjetas de comunicación asociadas.**

En la siguiente figura se muestra el bloque de conexiones BNC-2090A de National Instruments, que interconecta y a su vez comunica a la celda honeywell BR-34 y al lvdT HR400 con la PC. Este bloque de multiconexiones se encuentra montado en una estructura especial para su fijación que le dará estabilidad y una distribución adecuada, ello evitará que exista algún movimiento no deseado durante la operación del Probador mecánico.



**Figura 85. Multiconector BNC-2090A**

En la siguiente figura se puede observar la PC que será utilizada para establecer como primera parte la comunicación con el Probador mecánico, y posteriormente será la herramienta de control para el funcionamiento del Probador por medio de una interface de control.



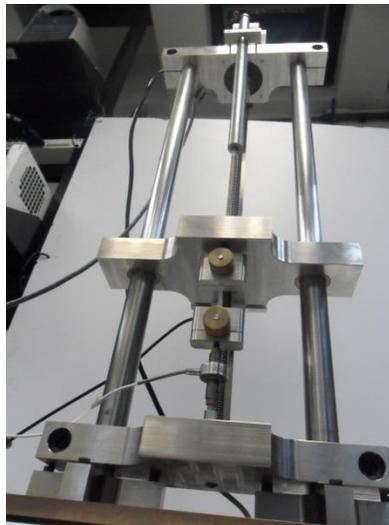
**Figura 86. Bloque conector BNC, con la PXI, mas comunicación con PC.**

En la imagen siguiente, se muestra el Probador con todos los instrumentos y dispositivos necesarios para su movimiento, comunicación y funcionamiento en general.



**Figura 87. Instrumentación completa del Probador**

De igual forma en la siguiente figura se muestra la instrumentación del Probador mecánico en otro ángulo de apreciación. Lo que ayudara a identificar todos los dispositivos e instrumentos necesarios para el funcionamiento del Probador mecánico.



**Figura 88. Instrumentación completa del Probador y sus dispositivos e instrumentos asociados.**

## **CAPÍTULO 4. LOGÍCA Y CONTROL**

En este capítulo se realiza la descripción a detalle de la interface gráfica que se desarrolla para dar control al Probador mecánico para ensayos de tracción. Por medio de esta programación de control se podrán enviar las instrucciones necesarias para dar funcionamiento al Probador mecánico por medio de la comunicación antes establecida en la fase de electrónica e instrumentación del Probador.

### **4.1 Herramienta virtual de programación gráfica. LABVIEW®**

LABVIEW (laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) es una herramienta gráfica desarrollada por la firma National Instruments. Esta herramienta de programación, permite crear un lenguaje, también lenguaje de programación, el cual puede ser utilizado para establecer comunicación con alguna máquina y lograr su control por medio de una plataforma, en este caso la plataforma será la PC. Esta herramienta Gráficas consta a su vez de un vasto número de herramientas de programación que en conjunto pueden desarrollar una aplicación.

La elección de esta herramienta Gráficas está dada, gracias a que LABVIEW, cuenta con una serie de librerías y herramientas Gráficas que permitirán desarrollar la interface de control del Probador mecánico, pues tanto librerías y herramientas en conjunto han sido creadas para la comunicación con dispositivos comerciales tales como motores, drivers y tarjetas de comunicación de distintos tipos como las que se utilizan para establecer la comunicación de la PC con la celda de carga , o el actuador del Probador mecánico, tales como la UMI-7774 de comunicación a PC , o bien, la tarjeta NI 7350 que es una especie de controlador de motores.

LABVIEW es una herramienta de control que como su nombre lo indica es un instrumento virtual, este, posee un entorno en el cual se pueden desarrollar aplicaciones de una forma práctica y sencilla al contar con una interfaz muy intuitiva.

Gracias a esta interfaz de usuario muy intuitiva que se apoya en iconos e imágenes conocidas para los lenguajes técnicos, es fácil poder manejar este instrumento virtual, pues LABVIEW, se basa en programación gráfica o lenguaje G y así crear programas basados en diagramas de bloques, a diferencia de los demás programas que se basan en códigos de programación un tanto más complejos.

Una característica importante de LABVIEW, es su facilidad de uso, ya que dependerá de la aplicación para la cual se requiera LABVIEW de la complejidad de programación, pues LABVIEW es tan versátil que permite la programación de alguna aplicación de carácter profesional, como proyectos de menor complejidad.

Otra de las características que habrán de mencionarse de esta potente herramienta, es su compatibilidad con herramientas como Excel, hoja de cálculo muy reconocida, y mathematica, paquetería de programación y simulación numérica. Lo anterior es muy

importante para este proyecto, pues ambas herramientas antes mencionadas, son utilizadas a lo largo del desarrollo de este proyecto.

Como ya se ha mencionado, LABVIEW es capaz de establecer comunicación con un sin número de tarjetas destinadas para distintas aplicaciones como el control de dispositivos o comunicación, procesamiento y adquisición de datos, lo que a su vez reforzó la elección de este lenguaje de programación Gráficas para establecer el control del Probador mecánico.

En resumen el utilizar LABVIEW podemos encontrar las siguientes ventajas:

- Interfaz Fácil y práctica. Podemos reducir el tiempo de desarrollo de la aplicación para el control del Probador mecánico.
- Interfaz dinámica y flexible. Permite cambios y adaptaciones tanto de hardware como de software.
- Interfaz versátil. Integra funciones de adquisición, análisis y procesamiento de datos.
- Interfaz intuitiva. Interfaz gráfica de manejo amigable.
- Interfaz compatible. Posee compatibilidad con otros lenguajes de programación o herramientas de análisis numérico y hojas de cálculo [40].

## **4.2 Entorno en LABVIEW**

Como ya se ha mencionado, LABVIEW es un programa basado en código G o código gráfico, la programación es realizada por operaciones que representan datos numéricos, a cada dato numérico le corresponde un icono que lo identificara dentro de la interface que conforma LABVIEW.

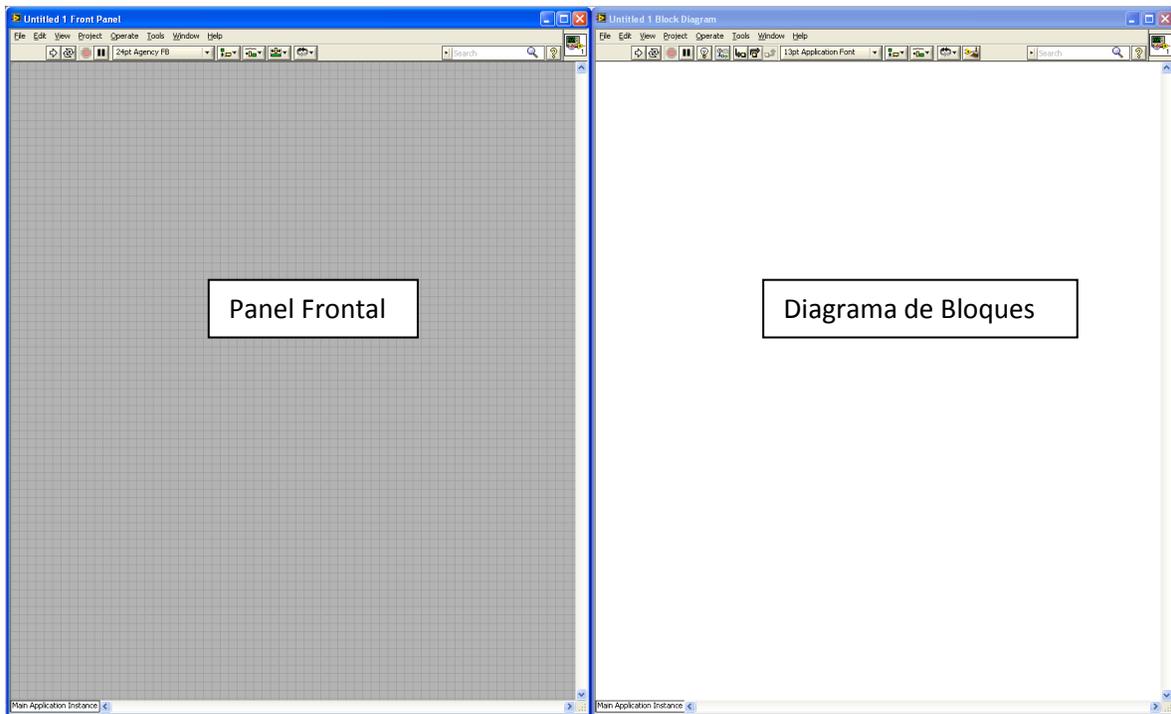
De igual forma a cada procedimiento dentro de LABVIEW lo podremos identificar con un icono. Al conjunto de estos iconos organizados entre si para formar una aplicación se le denomina VI. Un VI de LABVIEW puede dividirse en dos ventanas, una de ellas consta de una interface de programación en donde podemos ver el procedimiento de conexión entre los iconos y el circuito interno de lo que se está programando, a esta ventana se le llama ventana de diagrama de bloques. Mientras tanto en la otra ventana podemos ver de manera gráfica la formación de la aplicación que estamos programando, esta ventana es el panel frontal.

De manera general se puede decir que dentro de la interface de LABVIEW tenemos distintos tipos de comandos, los cuales se pueden seleccionar dentro de los menús flotantes o paletas de funciones, comandos y controles según sea el caso. También se cuenta con la paleta de herramientas que contiene entre otras funciones la parte estética que podemos editar dentro de LABVIEW para la apariencia de la aplicación programada.

Dentro de LABVIEW cada dato se identifica de forma diferente, es decir que para identificar qué tipo de dato estamos programando y posteriormente ejecutarlo se asignan colores como muestra la siguiente distribución:

- Datos booleanos: color rosa
- Constantes: color verde
- Variables: color azul
- Arreglos de datos: color naranja

Estos colores ayudan a la orientación dentro de LABVIEW, pues dentro del diagrama de bloques es importante seguir un arreglo ordenado que permita realizar cualquier modificación requerida. Como se mencionó antes, LABVIEW consta tanto del diagrama de bloques como del panel frontal, es en este último donde el usuario podrá ver de manera gráfica la programación en el diagrama de bloques. Estas dos vistas forman el panel de trabajo llamado VI [40].



**Figura 89. Panel de trabajo VI, de izquierda a derecha panel frontal y diagrama de bloques.**



### 4.2.1 Diagrama de bloques

La función del diagrama de bloques en LABVIEW es ser de alguna forma el código fuente del programa, en el diagrama de bloques es donde se encontrara la circuitería del programa desarrollado.

Es en el diagrama de bloques donde se encuentran las paletas tanto de herramientas como de funciones antes mencionadas, estas contienen todos los comandos y funciones para empezar a programar de acuerdo al control requerido. Dichas funciones se colocan dentro de la pantalla de trabajo, pudiendo hacer uso de las distintas estructuras o bucles contenidos en LABVIEW de casos pertenecientes a la teoría de control, como lo son los ciclos WHILE, FOR y CASE, entre otras.

Una vez colocadas las funciones necesarias para el control requerido, se procede a conectar estas funciones a manera de circuito y así formar las entrañas del programa. Una vez conectados, podemos hacer uso de los datos contenidos como datos booleanos, constantes y variables para dar vida de cierta forma al circuito construido [40].

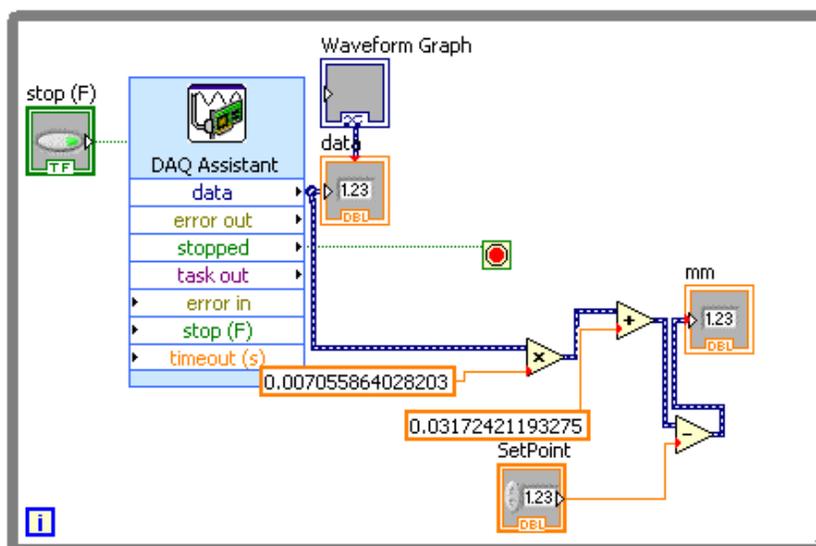


Figura 92. Vista del Diagrama de bloques del VI en LABVIEW. Detalle.

Una vez construido el programa, se procede a ejecutarlo y verificar la correcta conexión de este, esta función la podemos encontrar en el panel principal de herramientas. Si LABVIEW no detecta alguna incongruencia de las funciones que se pretenden ejecutar, algún error de conexión, o algún otro elemento invalido, se ejecutará el programa realizando la función para la que fue creado.

En esta barra se encontraran botones de ejecución continua, pausa y paro del programa, además de una serie de comandos que ayudaran a la revisión del programa en caso de que se presente algún error.

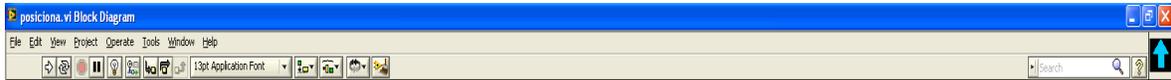


Figura 93. Barra de herramientas en pantalla principal.

#### 4.2.2 Panel Frontal

El panel frontal es una interfaz gráfica, consta de una pantalla donde el contenido visual es más intuitivo pues contiene elementos conocidos como botones, palancas, luces, marcadores, medidores, indicadores etc., lo que da una idea más sencilla de la aplicación que se esté desarrollando.

Dentro de panel frontal, encontramos de alguna forma la estética que LABVIEW proporciona a nuestra aplicación de control, pues en esta ventana se pueden colocar contadores, Gráficas, imágenes etc. Como se ha mencionado LABVIEW cuenta con una amplia compatibilidad con programas de simulación numérica, simulación gráfica, hojas de cálculo y programas de CAD. Aquí es donde se podrán establecer los vínculos con los programas necesarios para el desarrollo de la aplicación. En el panel frontal también se podrán mostrar los resultados, pues en esta ventana del VI de LABVIEW, también se cuenta con una paleta de herramientas, la cual contiene elementos y comandos útiles para la adquisición y lectura de datos. [22]

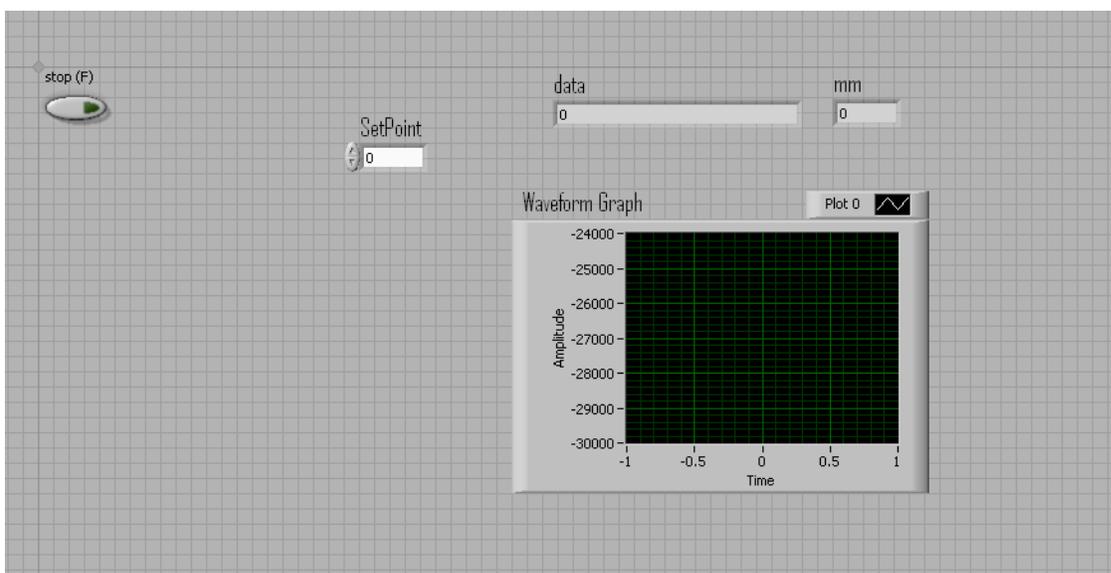


Figura 94. Vista del Panel Frontal del VI en LABVIEW. Detalle.

### 4.3 Control del Probador mecánico

#### 4.3.1 Diagrama de bloques del Probador mecánico

En el siguiente diagrama se muestra la secuencia de funcionamiento del programa de control del Probador mecánico, en él se puede apreciar las funciones que desarrolla el control antes, durante y después del ensayo de tracción Uniaxial.

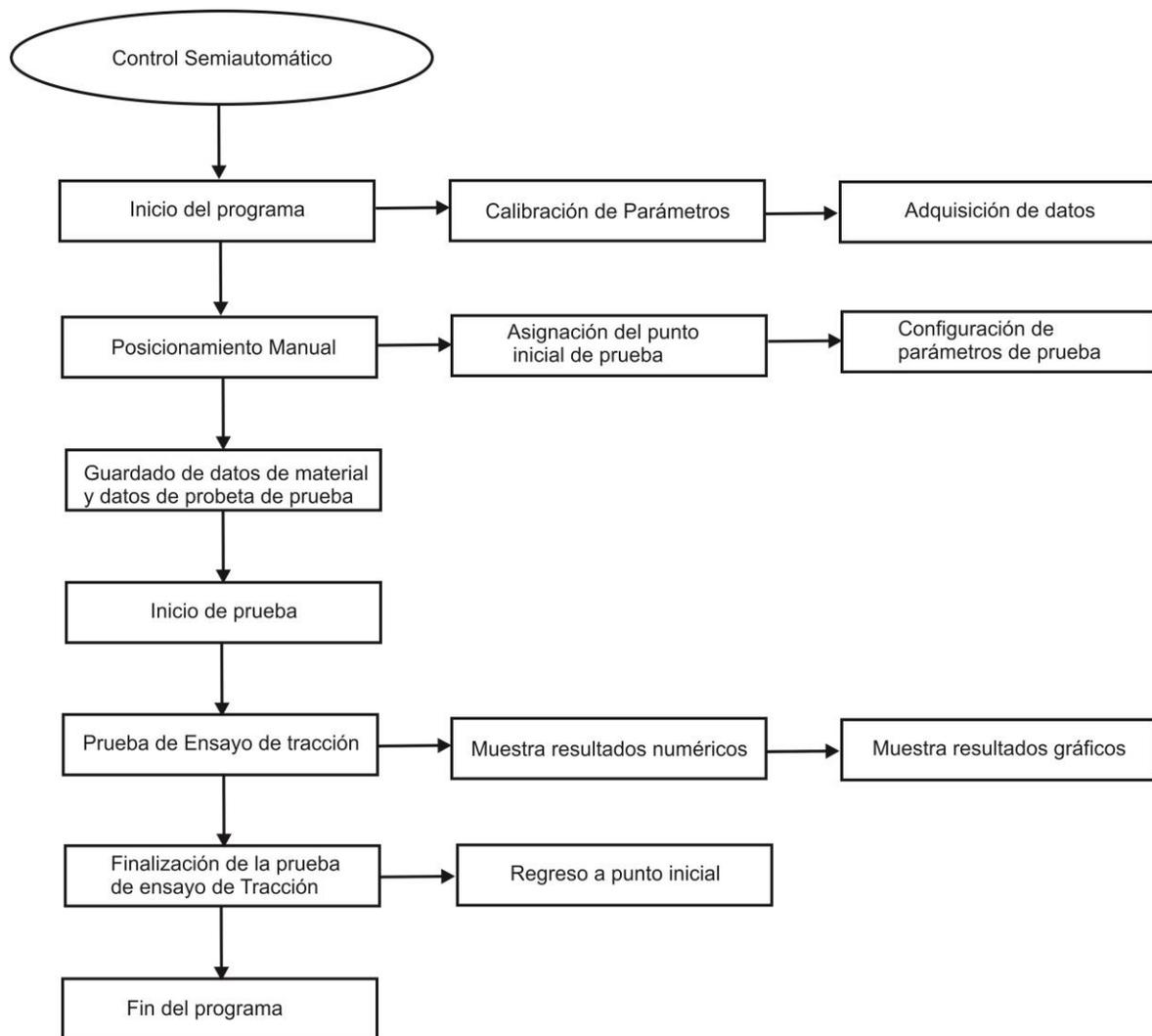


Figura 95. Diagrama de bloques del Probador mecánico.

#### **4.4 Programación del control. Interface de control del Probador mecánico.**

En este apartado se mostrará el desarrollo de la programación del control del Probador mecánico por medio de los comandos y herramientas que proporciona LABVIEW.

El control del Probador mecánico consta de un programa que es capaz de enviar las instrucciones necesarias para que el Probador realice las funciones previas al ensayo de tracción, como el posicionamiento en el punto inicial, calibración de los parámetros iniciales. Esto quiere decir la puesta en cero de las ventanas que muestran los parámetros numéricos del ensayo, así como las ventanas de las gráficas que se obtienen de este.

El control del Probador mecánico también incluye la instrucción para que realice el ensayo de tracción a velocidad constante y llegue a un punto objetivo o bien puedan ser editados los parámetros de posición, avance, velocidad, aceleración, e inclusive de fuerza. Finalmente el control permitirá enviar al Probador mecánico que se posiciones de nuevo en el punto origen de la prueba para así quedar en posición de la siguiente prueba. Finalmente el control permitirá ir registrando datos y parámetros importantes del ensayo de tracción para su posterior manipulación para un objetivo conveniente, lo que se conoce como adquisición de datos.

El control mostrara los parámetros tanto de forma numérica como de forma gráfica por medio de su interface visual ya mencionada.

La secuencia que seguirá el programa de control del Probador mecánico será la siguiente:

1. Inicio del programa. (pantalla principal)
2. Calibración de parámetros.(pantalla principal)
3. Inicio de adquisición de datos(Procesamiento interno)
4. Posicionamiento manual. Nuevo punto inicial. (subpantalla)
5. Guardado de los datos del material y los datos de la probeta de prueba. (subpantalla)
6. Inicio de la prueba de ensayo de tracción. Comienzo desde el punto inicial. (pantalla principal)
7. Reporte de resultados en forma numérica. Tarea simultánea al ensayo de tracción (pantalla principal)
8. Reporte de resultados en forma gráfica. Tarea simultánea al ensayo de tracción(pantalla principal)
9. Finalización del ensayo de tracción. Regreso automático al punto inicial. (pantalla principal)
10. Finalización del programa.(pantalla principal)

La secuencia anterior permite conocer el funcionamiento del programa de control del probador de forma general. A continuación se describe a detalle cada una de las funciones del programa de control del Probador mecánico para ensayos de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos.

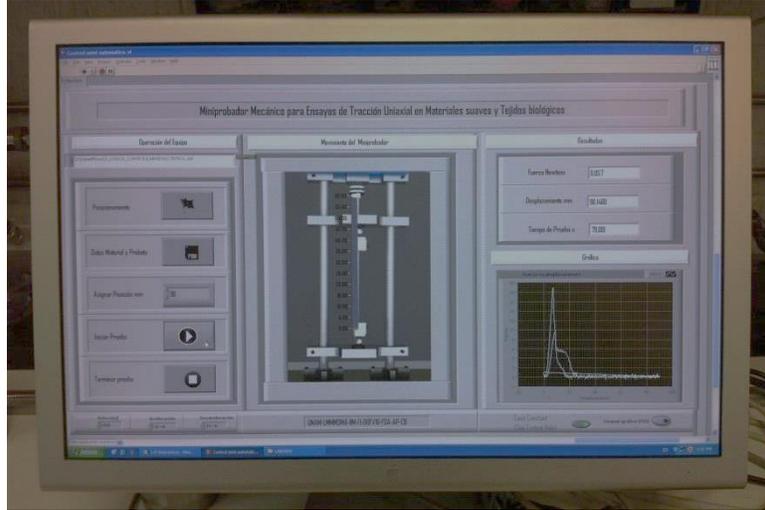


Figura 96. Interface de control del Probador mecánico por medio de la PC.

#### 4.4.1 Inicio del programa. (Pantalla principal)

El inicio del programa de control del Probador, está dado por el panel principal del programa. Este panel principal consiste en una interface gráfica donde coinciden elementos números y gráficos. El panel principal de control del Probador está dividido en tres secciones:

- Primera sección. Operación del equipo. Esta parte alberga primeramente la opción de guardar los datos que se obtengan de la prueba de ensayo de tracción, permitirá ajustar parámetros de velocidad y aceleración de la prueba, además de declarar el desplazamiento que ejecutará la prueba así como el tiempo.
- Segunda sección. Indicadores de movimiento. Que consta de un indicador gráfico del desplazamiento del cabezal del Probador a lo largo de la carrera propuesta, así como un indicador numérico de los milímetros de avance que va describiendo el Probador.
- Tercera sección. La tercera parte de esta interfaz de control consiste en el apartado que mostrara los resultados adquiridos durante la prueba. Como primera parte los mostrara de manera numérica y posteriormente los mostrara de forma gráfica a fin conocer la curva característica del material en estudio.

A continuación se muestra la interface de control completa del Probador mecánico para ensayos de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos:

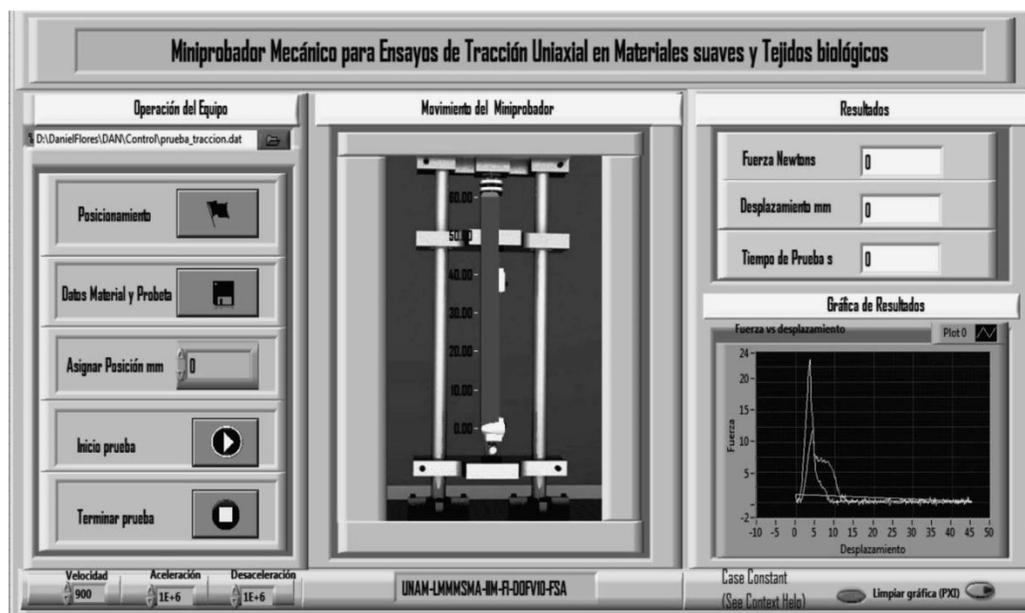


Figura 97. Pantalla principal Interface de control del Probador mecánico.

#### 4.4.2 Calibración de parámetros. (Pantalla principal)

Una vez iniciado el programa, en la sección dos y sección tres, en las casillas de los valores de resultados, así como en los indicadores de posición y la gráfica de resultados respectivamente, se mostrara la calibración de parámetros, ello quiero decir que todas las casillas de parámetros de resultados realizaran una puesta a cero de forma automática una vez iniciado el programa de control del Probador mecánico para ensayos de tracción uniaxial.

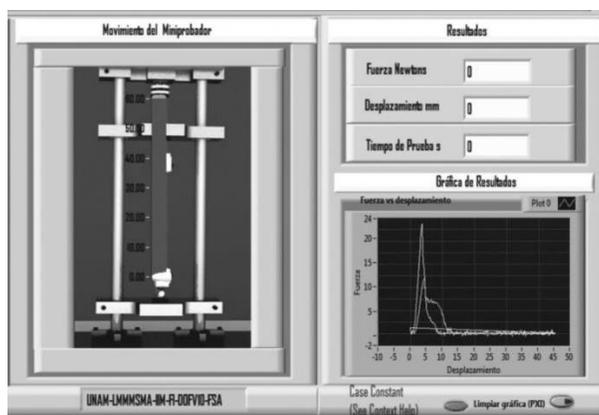


Figura 98. Pantalla principal Interface de control del Probador mecánico. Calibración de parámetros.

Si en algún momento de la secuencia del programa de control, es necesario limpiar la gráfica de resultados, esta tarea se realizara por medio del botón asociado a ella de “limpiar Gráficas”, lo que permitirá borrar los resultados de forma gráfica, sin embargo los datos borrados serán guardados para su posible consulta o postprocesamiento como se muestra a continuación.



Figura 99. Pantalla Interface de control del Probador mecánico. Limpiar gráfica.

#### 4.4.3 Posicionamiento manual (subpantalla)

El posicionamiento manual, estará disponible para la prueba siempre y cuando el origen del desplazamiento quiera modificarse para la prueba de tracción, a su vez también podrán modificarse parámetros de velocidad y aceleración de ser necesarios. Esta pantalla se despliega automáticamente cuando en la pantalla principal se oprime el botón de posicionamiento, con lo cual podrá accesarse a ella y editar los parámetros ya mencionados. Una vez aplicados los cambios necesarios, se deberá oprimir el botón iniciar ajuste, con lo cual se estará regresando nuevamente a la pantalla principal y seguir con la secuencia del programa de control del Probador. En caso de no ser necesario realizar alguna modificación en el origen del desplazamiento o algún otro parámetro, puede oprimirse el botón salir y automáticamente se regresara a la pantalla principal.

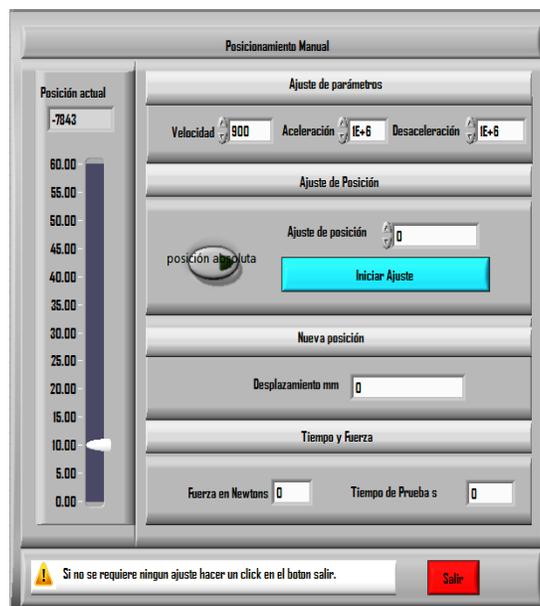


Figura 100. Pantalla de posicionamiento manual Interface de control del Probador mecánico.

#### 4.4.4 Guardado de los datos del material y los datos de la probeta de prueba (subpantalla)

De igual forma que la pantalla de la subtarea de posicionamiento manual, el guardado de los datos tanto de la probeta de prueba como del material de esta, se hará en una pantalla que se desplegará cuando se presione el botón de “guarda datos” en la pantalla principal del control del Probador. En esta pantalla del programa de control del Probador, podrán guardarse datos asociados al ensayo de tracción uniaxial de cualquier material después de elegir la ruta donde se creara el archivo .txt de la siguiente forma:

- Tipo de material
- Tratamiento del material
- Largo de la probeta en [mm]
- Ancho de la probeta en [mm]
- Espesor de la probeta en [mm]
- Temperatura de la prueba en [°C]

Además de poder guardar también datos generales para su manejo posterior o postprocesamiento de datos de ser requerido, tales como:

- Folio de la prueba
- Fecha de la prueba
- Observaciones

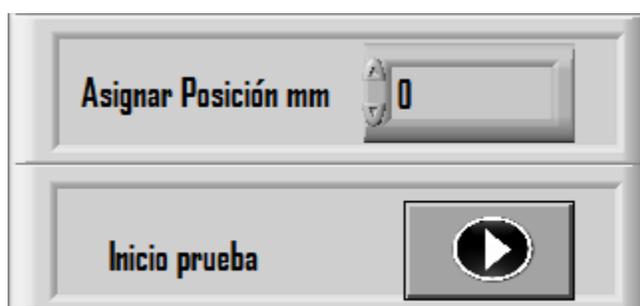
Una vez realizado el guardado correcto de los datos, se oprime el botón “continuar” y se regresara nuevamente a la pantalla principal del Probador mecánico, para seguir con la secuencia del control.

The screenshot shows a software interface for saving test data. The title bar reads "Guardar Datos Material / Datos Probeta". The main area is divided into several sections. At the top, there is a text box for the file path, labeled "Ruta para guardar los datos de la prueba", with a folder icon to its right. Below this are three main sections, each with a header bar: "Datos Material" containing "Tipo de material" and "Tratamiento aplicado al material"; "Datos Probeta" containing "Largo de la probeta mm", "Ancho de la probeta mm", "Espesor de la probeta mm", and "Temperatura de la probeta C"; and "Datos Generales" containing "Folio de la prueba", "Fecha de la prueba", and "Observaciones". Each section has corresponding input fields. A "Continuar" button is positioned at the bottom right of the window.

Figura 101. Pantalla de guarda datos manual Interface de control del Probador mecánico.

#### ***4.4.5 Inicio de la prueba de ensayo de tracción (pantalla principal)***

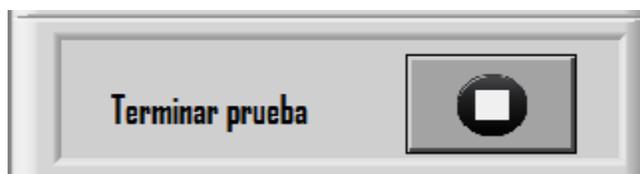
En el panel principal del programa de control del Probador mecánico, tenemos el inicio de la prueba de ensayo de tracción. Una vez ajustados los parámetros de la prueba como velocidad, aceleración, origen de la prueba por default o ajustado, y un objetivo final de posición para efectuar un desplazamiento del cabezal móvil, se procede a dar inicio a la prueba de ensayo de tracción por medio de un botón de inicio, situado en la primera sección del panel de control. Para efectos del ensayo de tracción aplicamos un desplazamiento y medimos la fuerza necesaria para ir elongando una probeta de prueba de un determinado material y llegar hasta la rotura de ésta, de ser necesario. De esta forma, podrá medirse también el tiempo de prueba, el cual se mostrara en el panel de resultados.



**Figura 102.** Aplicación de desplazamiento e inicio de prueba.

#### ***4.4.6 Finalizar el ensayo de tracción (subpantalla)***

El botón de finalización de prueba se encuentra situado en la primera sección del panel de control del Probador mecánico, con ello se da por finalizada la prueba de ensayo de tracción uniaxial. Al ser accionado el botón de finalización de prueba, automáticamente el cabezal móvil del Probador mecánico regresara a su posición inicial. Posteriormente pueden consultarse los datos adquiridos durante la prueba para su posterior análisis o postprocesamiento.



**Figura 103.** Botón de finalización de prueba.

#### 4.4.7 Resultados numéricos (pantalla principal)

En este apartado se muestran los resultados arrojados de la prueba ensayo de tracción, de manera numérica en tiempo real al ejecutarse la prueba, en el panel de resultados se muestran los siguientes valores:

- Fuerza necesaria durante la prueba en [N]
- Desplazamiento del cabezal móvil en [mm]
- Tiempo de prueba en [s]

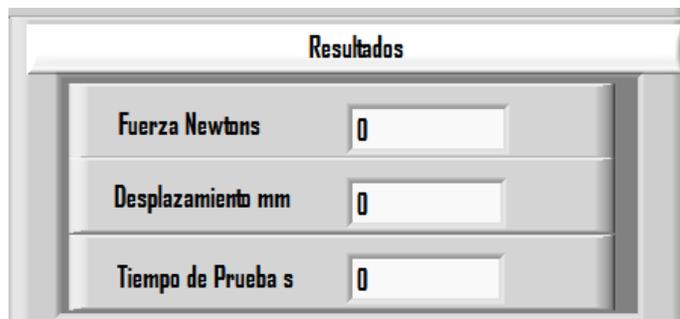


Figura 104. Casillas de reporte de resultados numéricos.

#### 4.4.8 Gráficos de resultados (pantalla principal)

En esta sección se mostrarán los resultados de forma gráfica. Se podrá observar en esta Gráficas la resultante de los valores de la fuerza necesaria para someter la probeta a una elongación durante la prueba contra el desplazamiento aplicado en [mm] durante la prueba. El reporte de estos parámetros se realizará por medio de la gráfica esfuerzo vs deformación.

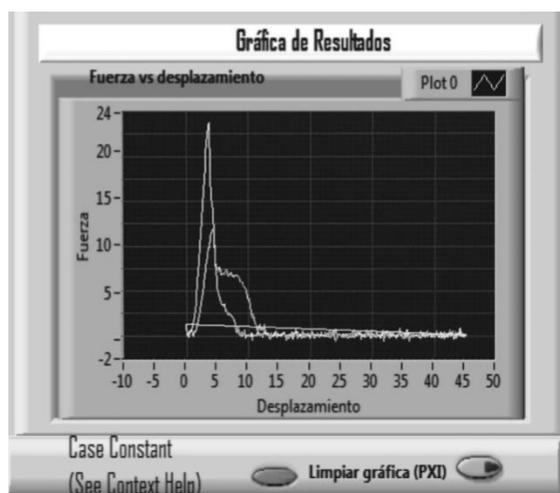


Figura 105. Casillas de reporte de resultados gráficos.

#### 4.4.9 Adquisición de datos (pantalla principal)

La adquisición de datos de la prueba será una tarea que estará ejecutándose de forma interna y de forma paralelamente al funcionamiento del programa de control del mini Probador mecánico. La función de adquisición de datos brindara la capacidad de guardar los siguientes parámetros:

- Valores adquiridos de fuerza en [N].
- Valores adquiridos de Desplazamiento del cabezal móvil del Probador mecánico en [mm].
- Valores adquiridos de tiempo de prueba en [s].

Estos valores serán guardados en un archivo con extensión .dat, el cual podrá ser utilizado y exportado a otras paqueterías para su postprocesamiento.

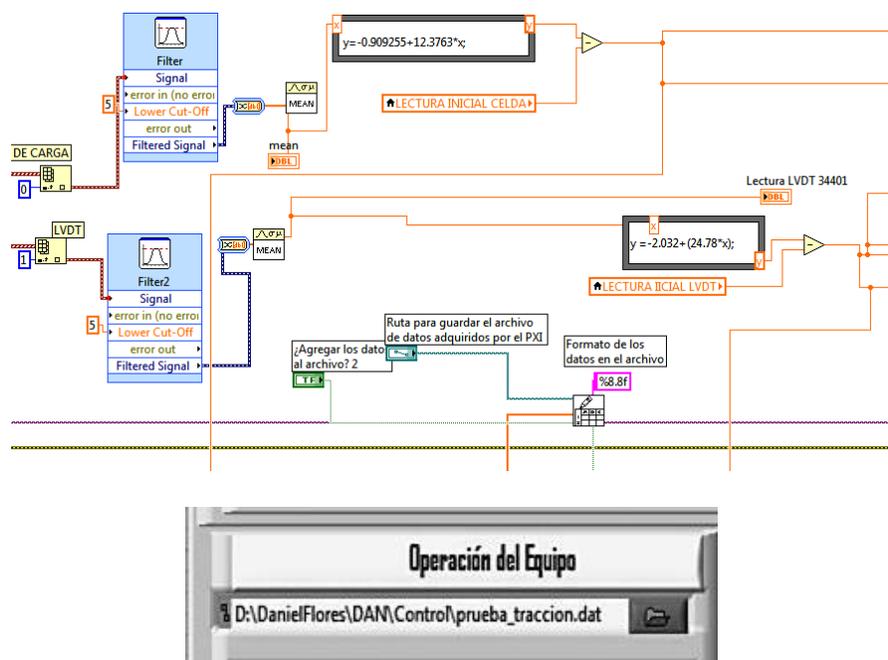


Figura 106. Adquisición de datos simultánea al movimiento del Probador.

## **4.5 Calibración de velocidad y aceleración del Probador**

Para la calibración de velocidad del Probador, se toman en cuenta dos parámetros importantes. El primero de ellos es el rango de velocidad que posee el motor, para lo cual se consultara la hoja de datos que proporciona el fabricante. Este primer criterio ayudara a tener un parámetro de referencia y buscar mediante pruebas con el motor el valor de velocidad en relación con su torque y así obtener un comportamiento óptimo. El segundo parámetro es la referencia que se obtiene al consultar la literatura. De lo anterior se tiene como referencia los valores de velocidad propuestos por la norma ASTM D638-03 para ensayar películas delgadas de materiales poliméricos, estos valores se encuentran en el rango de 0.30 [mm/s] a 0.60 [mm/s].

## **4.6 Calibración de Fuerza del Probador. Celda de carga**

### ***4.6.1 Instrumento virtual de calibración de fuerza***

Para calibrar la celda de carga, que será el dispositivo que medirá y reportara los valores de fuerza durante la prueba de ensayo de tracción, necesitamos establecer la comunicación con la PC. Esta comunicación nos permitirá crear un instrumento virtual que es un programa que calculara una carga aplicada teórica a partir de la carga aplicada de forma física, ello servirá para calibrar la celda de carga. La calibración se dará aplicando una carga patrón gradual a la celda de carga de 500g graduales hasta llegar a los 10 [kg], lo que dará como resultando a una serie de datos que servirán para formular y proponer un modelo matemático que dictará el comportamiento de la celda de carga durante la prueba de ensayo de tracción.

De lo anterior se crea un instrumento virtual, el cual consta de la siguiente secuencia:

- Se aplica una carga a la celda de carga que medirá la carga aplicada en [Kg]. Este parámetro será la carga patrón.
- Se introduce el valor en [Kg] de la carga patrón aplicada, en el instrumento virtual.
- Se corre el programa del instrumento virtual, lo cual activa la función de adquisición de datos del instrumento virtual.
- Se guarda en un archivo .txt los datos adquiridos durante la aplicación de carga gradual aplicada.
- Los datos guardados durante la calibración que están medidos en [kg], serán transformados posteriormente a Newtons [N].
- Con los datos reportados en [N], se Graficarán los datos y se obtendrá un modelo gráfico, lo cual dará origen a un modelo matemático que se espera tenga un comportamiento totalmente lineal.

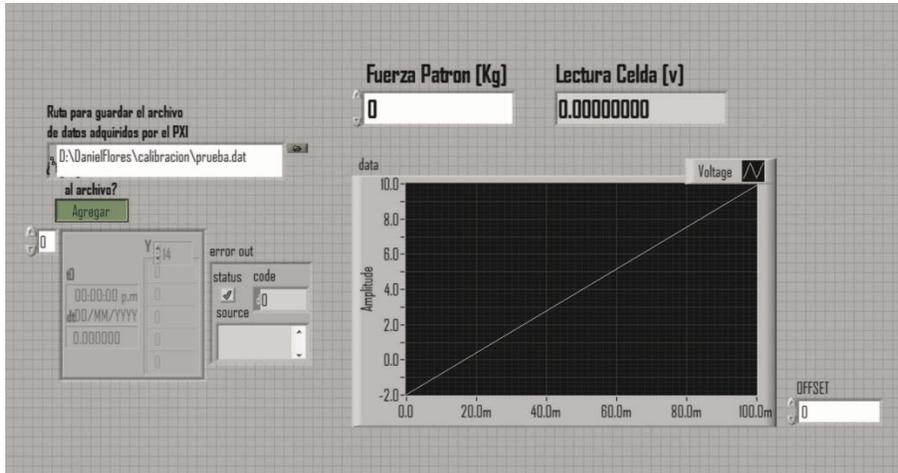


Figura 107. Vi de programa para la calibración de fuerza.

#### 4.6.2 Procesamiento de datos para la calibración de Fuerza del Probador

Una vez realizado el proceso de adquisición de datos por carga aplicada a la celda de carga, se realiza el procesamiento de los datos con ayuda de un software de programación con el cual se podrá obtener el modelo grafico del comportamiento de la celda de carga durante la carga aplicada y posteriormente el modelo matemático que será de utilidad para el programa de control del Probador mecánico. A continuación se muestra el modelo gráfico y matemático asociado a dicha prueba realizada anteriormente.

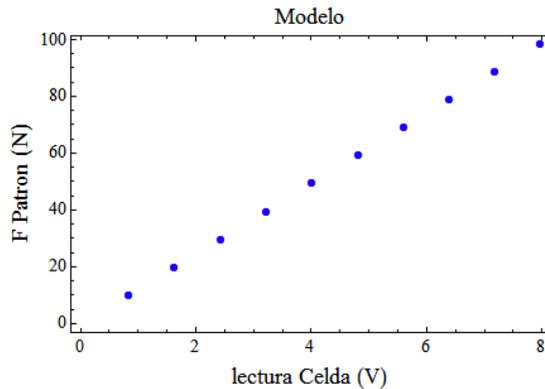


Figura 108. Modelo gráfico de la calibración de la celda de carga.

Una vez obtenido el modelo matemático, éste se introduce en el programa de control del Probador mecánico, a fin de poder obtener este mismo comportamiento de la celda de carga

y adquirir los datos de fuerza aplicada durante el desplazamiento del cabezal móvil, al momento de realizar la prueba de ensayo de tracción.

#### **4.6.3 Modelo matemático de calibración de fuerza**

Se obtuvieron para los valores de fuerza como para los valores de desplazamiento los modelos matemáticos así como su representación gráfica del comportamiento requerido para realizar el ensayo de tracción en materiales suaves y tejidos biológicos.

$$\text{FittedModel} \left[ -0.90925500210296^{\circ} + 12.376263943060042^{\circ} x \right]$$

**Figura 109. Modelo matemático de la calibración de la celda de carga.**

### **4.7 Calibración de posición y desplazamiento**

#### **4.7.1 Instrumento virtual de calibración Posición y desplazamiento**

Para calibrar el sensor de desplazamiento (lvdt), que será el dispositivo que medirá y reportará los valores de desplazamiento y por consiguiente de posición en un determinado punto durante la prueba de ensayo de tracción, también será necesario establecer comunicación con la PC. De igual forma que para la calibración de fuerza, esta comunicación se establecerá por medio de un instrumento virtual. Por medio de este instrumento virtual, podrá conocerse la posición en voltaje [v] que reporta el LVDT. De esta forma, el programa calculará un desplazamiento en [v] como ya se ha mencionado, al aplicarle un desplazamiento en [mm].

A continuación se describe el funcionamiento del instrumento virtual, el cual consta de la siguiente secuencia:

- Se aplica un desplazamiento patrón en [cuentas], conociendo su valor en [mm].
- Se introduce el valor [mm] del desplazamiento patrón aplicado en el instrumento virtual.
- Se corre el programa del instrumento virtual, lo cual activa la función de adquisición de datos del instrumento virtual.
- Se guarda en un archivo .txt los datos adquiridos durante la aplicación de desplazamiento gradual aplicado.
- Los datos guardados durante la calibración que están ingresados en [mm], serán transformados a valores de [v].
- Con los datos reportados en [mm], se Graficarán los datos y se obtendrá un modelo gráfico, lo cual dará origen a un modelo matemático que se espera tenga un comportamiento totalmente lineal.

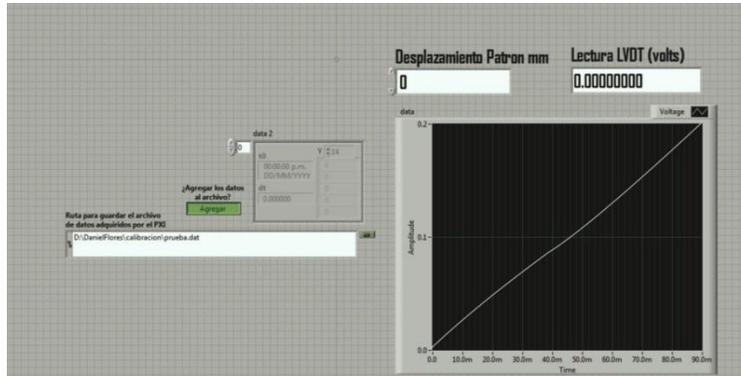


Figura 110. Vi de programa para la calibración de desplazamiento y posición.

#### 4.7.2 Procesamiento de datos para la calibración de desplazamiento del Probador.

Una vez realizado el proceso de adquisición de datos por desplazamiento aplicado al LVDT, se realiza el procesamiento de los datos de la misma forma en que se realizó este proceso para los datos de fuerza de la celda de carga. A continuación se muestra el modelo gráfico y matemático asociado a dicha prueba realizada anteriormente.

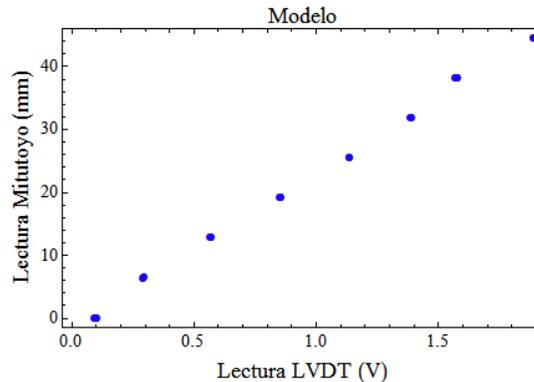


Figura 111. Modelo gráfico y matemático de la calibración del lvdt.

Una vez obtenido el modelo matemático, este se coloca en el programa de control del Probador mecánico, a fin de poder obtener este mismo comportamiento del lvdt y adquirir los datos de desplazamiento y posición durante el desplazamiento del cabezal móvil, al momento de realizar la prueba de ensayo de tracción.

#### 4.7.3 Modelo matemático de calibración de desplazamiento

$$\text{FittedModel} \left[ -1.8703757181145022^{\wedge} + 24.567997078550878^{\wedge} x \right]$$

Figura 112. Modelo matemático de la calibración del lvdt.

## CAPÍTULO 5. DESEMPEÑO Y APLICACIÓN DEL PROBADOR MECÁNICO

### 5.1 Ensayo de tracción de pericardio bovino

Para evaluar el desempeño del Probador mecánico se realizaron pruebas de ensayo de tracción en probetas de material biológico. Para obtener el comportamiento de los materiales de estudio, así como su curva característica se realizaron en cada una de las probetas los ensayos de tracción correspondiente de los materiales que a continuación se detallan. Así entonces, las probetas de cada uno de los materiales se sometieron a ensayo de tracción, siendo colocadas y fijadas en el sistema de sujeción del Probador mecánico para realizar las pruebas correspondientes, como se muestra a continuación.

### 5.2 Probetas de prueba

Para el proceso de validación del Probador mecánico se realizó el ensayo de tracción en tres probetas diferentes, que pertenecen a muestras de pericardio bovino. Debido a las características físicas y mecánicas de este material biológico, puede decirse que es un material de consistencia suave y por tanto posee características similares, aunque no idénticas a los materiales poliméricos altamente elásticos.

Las probetas utilizadas corresponden al material denominado pericardio, el cual es un tejido natural obtenido del corazón de un bovino, y es utilizado generalmente para prótesis cardíacas como ya se ha mencionado. Para el estudio de las probetas de este material se nombraron como probeta de pericardio bovino 1, probeta de pericardio bovino 2 y probeta de pericardio bovino 3 respectivamente. A continuación se muestran las probetas de prueba montadas en el probador mecánico y las cuales serán sometidas al ensayo de tracción.

#### 5.2.1 *Probeta de Pericardio bovino 1*



Figura 113. Probeta de pericardio bovino 1.

### ***5.2.2 Probeta de pericardio bovino 2***



**Figura 114. Probeta de pericardio bovino 2**

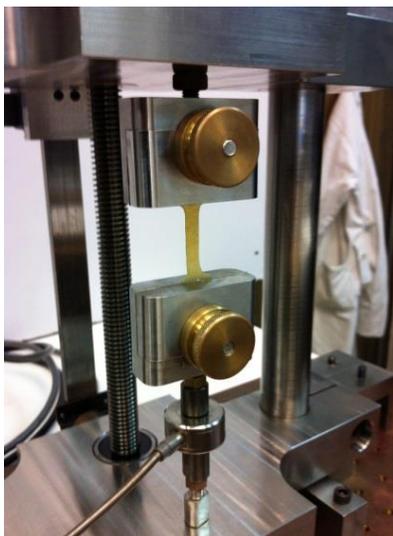
### ***5.2.3 Probeta de pericardio bovino 3***



**Figura 115. Probeta de pericardio bovino 3**

### ***5.2.4 Probetas sometidas al ensayo de tracción en el probador mecánico***

En la siguiente figura se muestra la forma en la que fueron montadas y posicionadas las probetas de prueba de pericardio bovino en el sistema de sujeción conformado por dos mordazas mecánicas del Probador mecánico.



**Figura 116. Probeta de pericardio bovino montada en el sistema de sujeción del Probador mecánico.**

### 5.3 Resultados del ensayo de tracción uniaxial en probetas de pericardio bovino

Durante la ejecución del ensayo de tracción uniaxial en las tres probetas de prueba de pericardio bovino pudo observarse la elongación paulatina de cada una de las probetas durante la aplicación del desplazamiento del cabezal móvil. El estiramiento gradual de cada una de las probetas hizo evidente un cuello característico justo por la mitad de la probeta de muestra hasta llegar a la rotura final. Al finalizar el ensayo de tracción uniaxial se desmontaron las tres probetas de prueba de pericardio bovino pudiendo observar su estado después de haberlas sometido al ensayo de tracción. En la siguiente imagen puede apreciarse como es la apariencia de las probetas de estudio de pericardio bovino al finalizar el ensayo de tracción.



**Figura 117. Probetas de pericardio bovino al finalizar el ensayo de tracción. De izquierda a derecha se encuentran probeta de pericardio bovino 1, probeta de pericardio bovino 2, probeta de pericardio bovino 3, respectivamente.**

Una vez realizado el ensayo de tracción uniaxial en las probetas de estudio, se procede a obtener la curva característica de cada una de las muestras, con ayuda del programa de control del probador mecánico en su apartado de guardado de datos, pues dichos datos servirán para ser procesados posteriormente. Con los datos guardados durante el ensayo de tracción podrán graficarse las curvas características de los materiales propuestos, lo anterior con ayuda de un software especializado. Una vez obtenidas dichas curvas, se realiza un análisis de los parámetros obtenidos y así poder determinar los modelos matemáticos que describen el comportamiento de estos materiales.

## 5.4 Gráficas Esfuerzo-Deformación

Para identificar las propiedades mecánicas del pericardio bovino, es necesario obtener los parámetros de interés como lo son el Módulo secante y el Módulo de Young respectivamente. Para obtener estos parámetros es necesario obtener la curva característica de Esfuerzo-Razón de Elongación de cada una de las probetas de prueba. Para ello se utilizarán los datos guardados por la interface de control tanto de fuerza como de desplazamiento reportados en [N] y [mm] respectivamente. Primero se obtendrán las curvas de Esfuerzo-Deformación, posteriormente las curvas de Esfuerzo-Elongación y finalmente las curvas de Esfuerzo-Razón de Elongación que son de principal interés para este trabajo. A continuación las curvas adquiridas de esfuerzo-deformación obtenidas a partir del ensayo de tracción

### 5.4.1 Probeta de Pericardio bovino 1

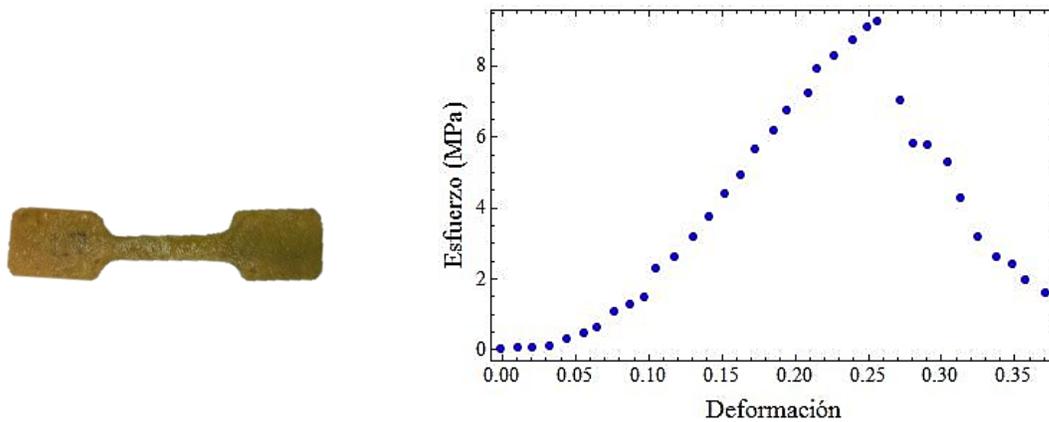


Figura 118. Probeta de pericardio bovino 1 y Gráficas de comportamiento Esfuerzo-Deformación.

### 5.4.2 Probeta de Pericardio bovino 2

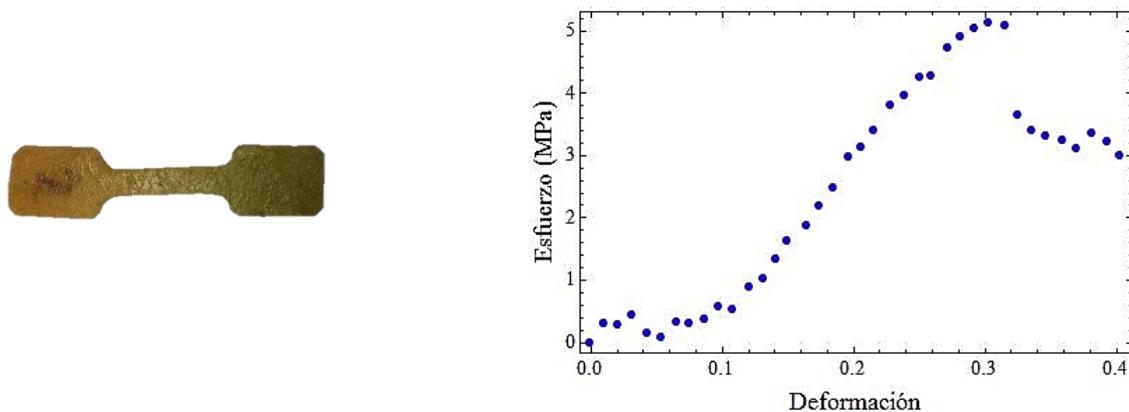


Figura 119. Probeta de pericardio bovino 2 y Gráficas de comportamiento Esfuerzo-Deformación.

### 5.4.3 Probeta de Pericardio bovino 3

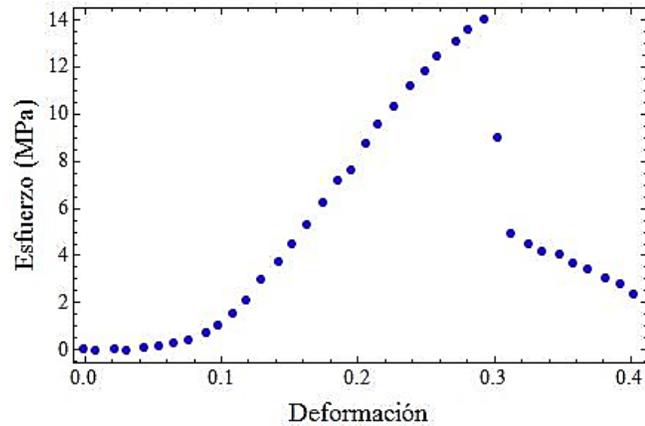


Figura 120. Probeta de pericardio bovino 2 y Gráficas de comportamiento Esfuerzo-Deformación.

## 5.5 Gráficas Esfuerzo-Elongación

Siguiendo con la secuencia de resultados del probador mecánico, se muestra la parte correspondiente a las curvas obtenidas de Esfuerzo- Elongación de las probetas de muestra. Para las tres probetas ensayadas de pericardio bovino se muestran a continuación las curvas obtenidas.

### 5.5.1 Probeta de Pericardio bovino 1

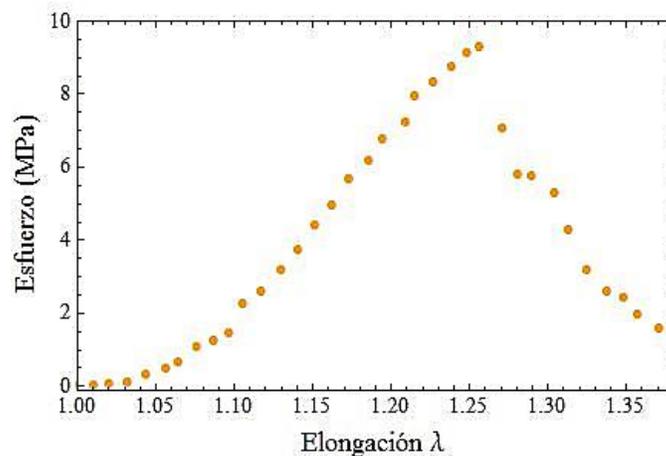


Figura 121. Probeta de pericardio bovino 1 y Gráficas de comportamiento Esfuerzo-Elongación.

### 5.5.2 Probeta de Pericardio bovino

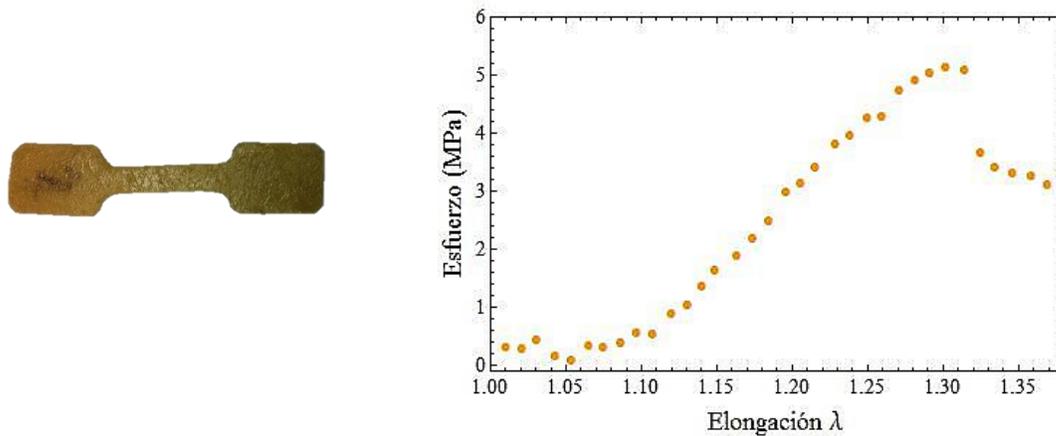


Figura 122. Probeta de pericardio bovino 2 y Gráficas de comportamiento Esfuerzo-Elongación.

### 5.5.3 Probeta de Pericardio bovino 3

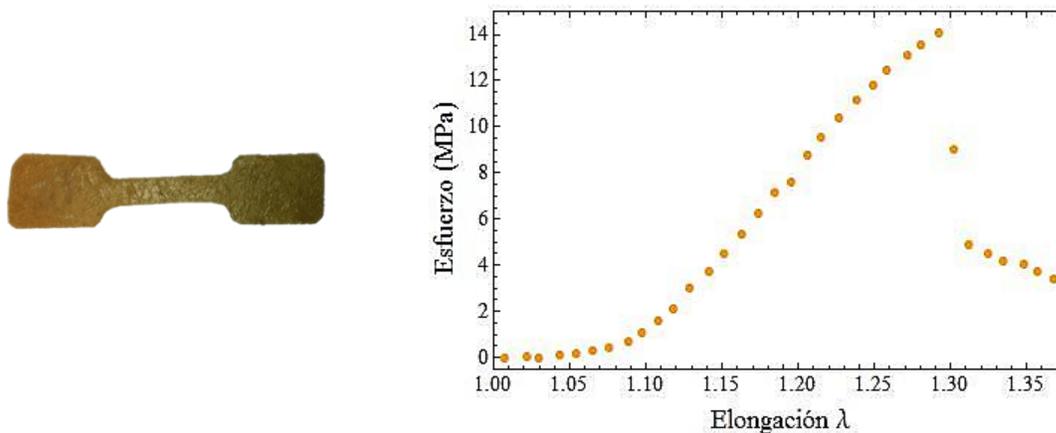


Figura 123. Probeta de pericardio bovino 3 y Gráficas de comportamiento Esfuerzo-Elongación.

## 5.6 Esfuerzo-Razón de Elongación

Con el objetivo de visualizar de forma adecuada y poder comprender el comportamiento de los materiales en estudio, se muestran las gráficas que corresponden al comportamiento de las probetas o muestras de pericardio bovino sometidas al ensayo de tracción uniaxial en el Probador mecánico. Finalmente se obtienen las curvas de Esfuerzo-razón de elongación, parámetros que describirán de mejor forma el comportamiento de estos materiales. Para las tres probetas ensayadas de pericardio bovino se muestran las curvas obtenidas, así como los modelos matemáticos asociados a ellas.

### 5.6.1 Probeta de Pericardio bovino 1

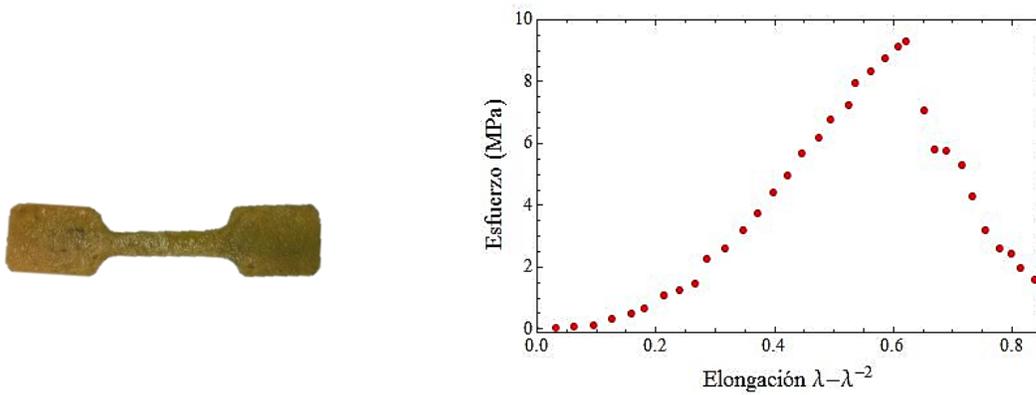


Figura 124. Probeta de pericardio bovino 1 y Gráficas de comportamiento Esfuerzo- Razón de Elongación.

### 5.6.2 Probeta de Pericardio bovino 2

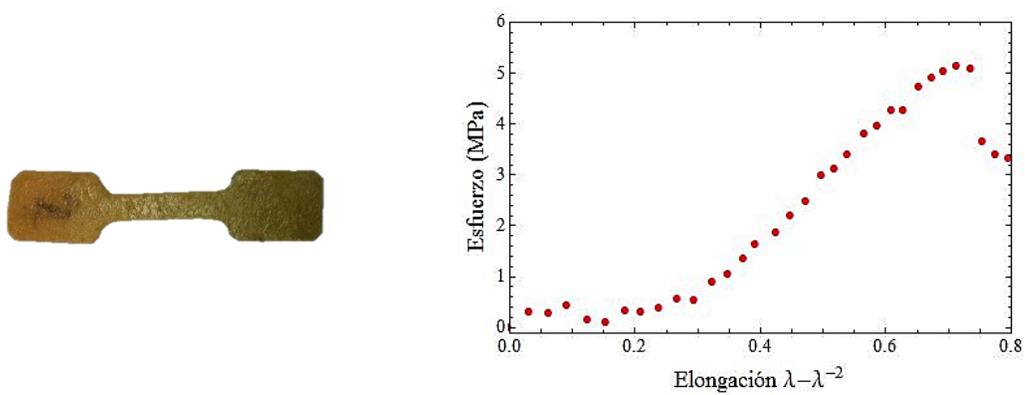


Figura 125 Probeta de pericardio bovino 2 y Gráficas de comportamiento Esfuerzo- Razón de Elongación.

### 5.6.3 Probeta de Pericardio bovino 3

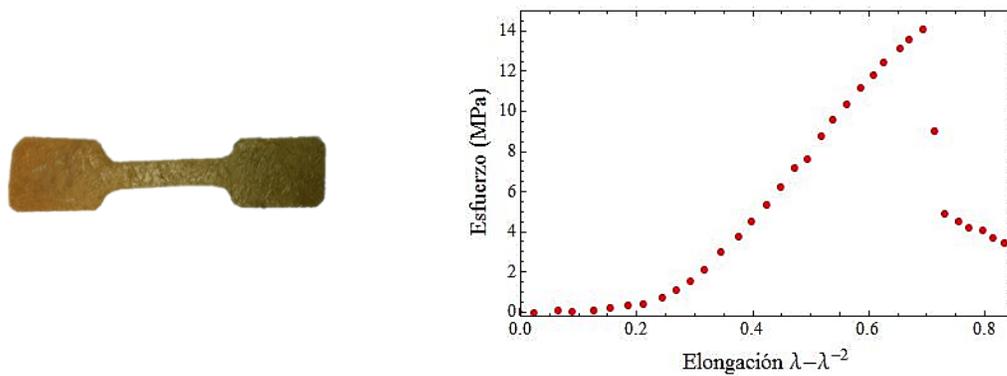


Figura 126. Probeta de pericardio bovino 3 y Gráficas de comportamiento Esfuerzo- Razón de Elongación

## 5.7 Análisis del comportamiento de las gráficas de esfuerzo-Razón de Elongación

Para poder observar el comportamiento que tuvieron las tres muestras de pericardio bovino ensayadas en el Probador mecánico, se realiza un comparativo de las curvas obtenidas de cada probeta de muestra de pericardio bovino y se colocaron en una sola Gráficas que muestra el comportamiento distinto que arrojaron, sin embargo todas siguiendo el patrón similar de comportamiento de un material de grandes deformaciones o altamente elástico como lo son los tejidos biológicos y los biomateriales.

### 5.7.1 Probeta de Pericardio bovino 1

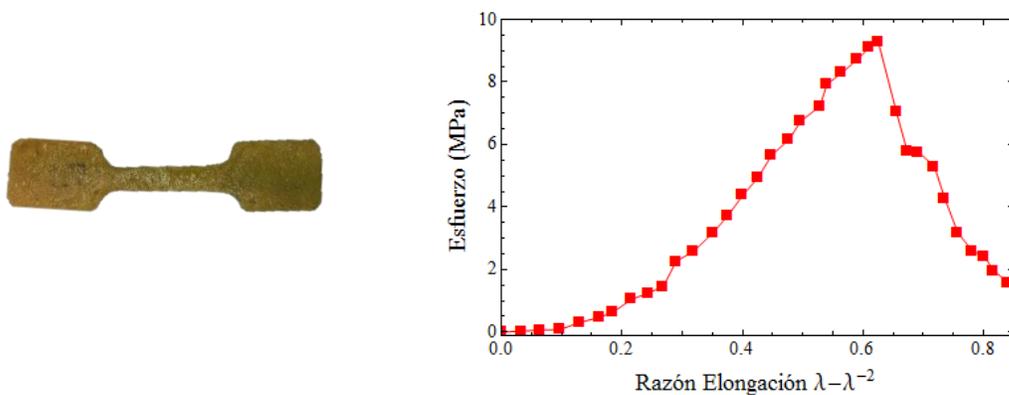


Figura 127. Probeta de pericardio bovino 1 y Gráficas de Esfuerzo-Razón de Elongación cuadrada.

### 5.7.2 Probeta de Pericardio bovino 2

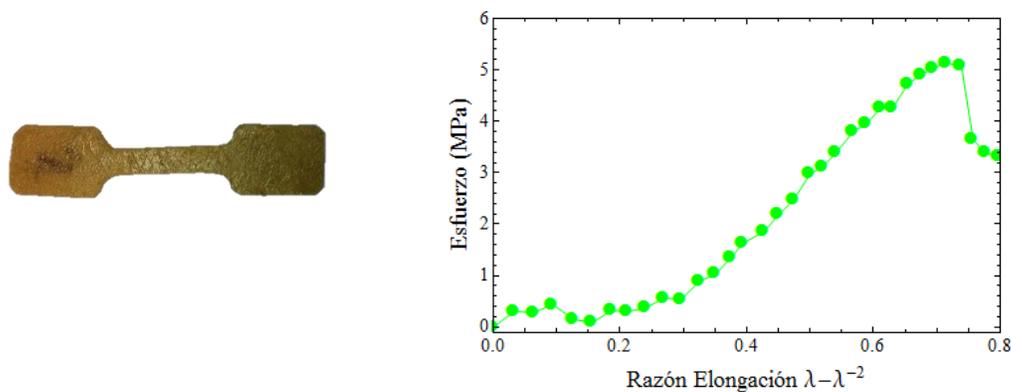


Figura 128. Probeta de pericardio bovino 1 y Gráficas de Esfuerzo-Razón de Elongación circular.

### 5.7.3 Probeta de Pericardio bovino 3

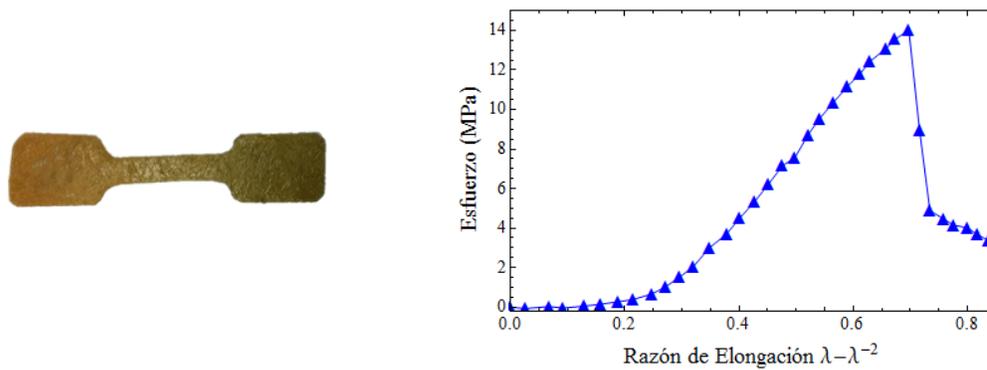


Figura 129. Probeta de pericardio bovino 3 y Gráficas de Esfuerzo-Razón de Elongación triangular.

### 5.7.4 Comparación del comportamiento de las tres probetas de pericardio bovino

En la siguiente imagen se muestran al mismo tiempo las tres gráficas de las probetas de pericardio bovino 1, pericardio bovino 2 y pericardio bovino 3 respectivamente. En ella puede apreciarse el comportamiento de cada una de las probetas sometidas al ensayo de tracción uniaxial.

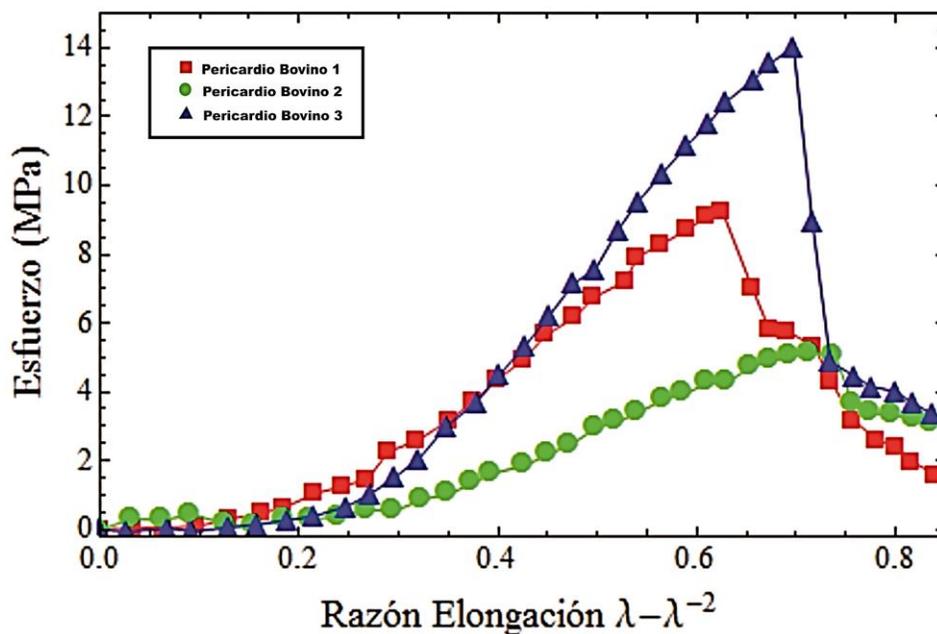


Figura 130. Comparativo de Gráficas de Esfuerzo-Razón de Elongación de la probeta pericardio bovino 1 cuadrada, probeta pericardio bovino 2 circular y probeta pericardio bovino 3 triangular.

## 5.8 Módulo de Corte. Zona lineal de las gráficas Esfuerzo-Razón de elongación

Para obtener el módulo de corte  $G$ , es necesario tomar una sección de la gráfica Esfuerzo-Razón de Elongación ( $\lambda - \lambda^{-2}$ ), la sección que se toma para su análisis es la sección lineal de la gráfica, la pendiente de la parte lineal de la gráfica representa el módulo de corte  $G$ , el cual se indica a continuación para cada una de las gráficas obtenidas de las probetas de pericardio durante el ensayo de tracción. Posteriormente se obtendrán los modelos matemáticos que proporcionaran las magnitudes de cada uno de los módulos de corte  $G$  de las probetas de estudio.

### 5.8.1 Gráfica de módulo de corte de probeta pericardio 1

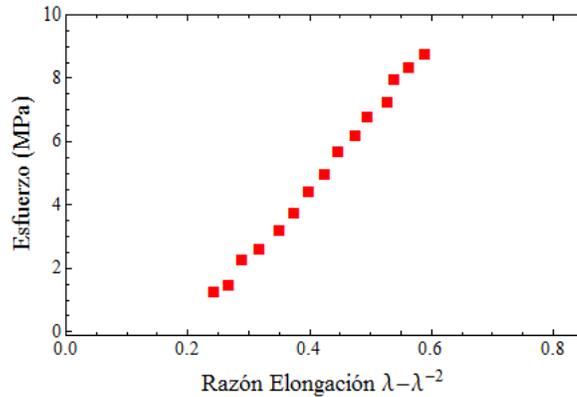


Figura 131. Sección lineal de la gráfica Esfuerzo-Razón de Elongación de la probeta pericardio 1.

### 5.8.2 Gráfica de módulo de corte de probeta pericardio 2

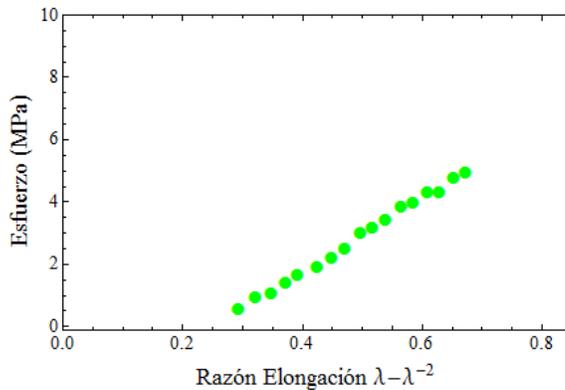


Figura 132. Sección lineal de la gráfica Esfuerzo-Razón de Elongación de la probeta pericardio 2.

### 5.8.3 Gráfica de módulo de corte de probeta pericardio 3

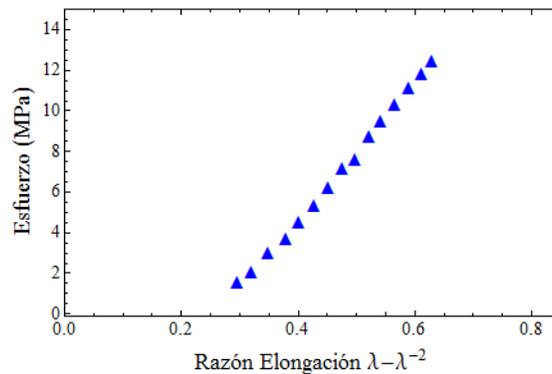


Figura 133. Sección lineal de la gráfica Esfuerzo-Razón de Elongación de la probeta pericardio 3.

### 5.8.4 Comparación del comportamiento de las tres probetas de pericardio bovino

De igual forma para realizar el análisis correspondiente del módulo de corte  $G$ , se muestra a continuación las tres Gráficas de la zona lineal de cada una de las gráficas de Esfuerzo-Razón de elongación para su comparación.

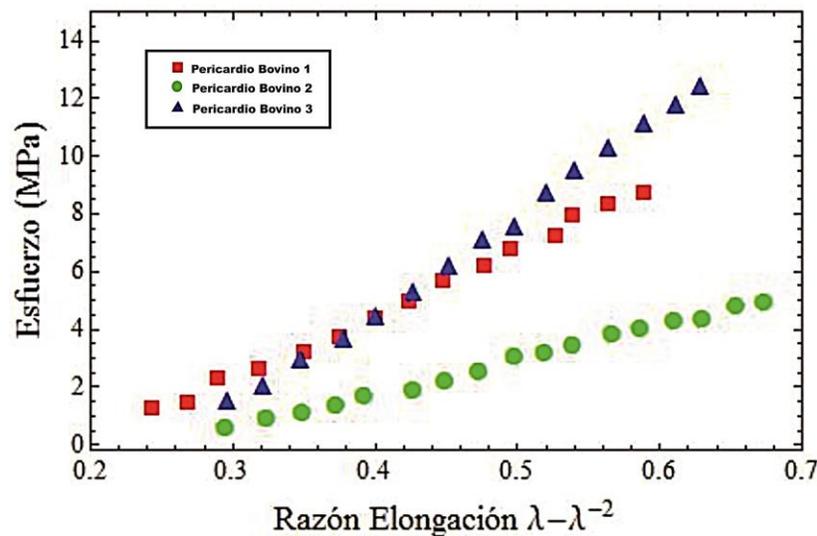


Figura 134. Comparativo de Gráficas del módulo de corte  $G$ , obtenido a partir de la gráfica de Esfuerzo-Razón de Elongación de la probeta pericardio bovino 1 cuadrada, probeta pericardio bovino 2 circular y probeta pericardio bovino 3 triangular.

### 5.8.5 Modelos matemáticos del comportamiento del pericardio bovino

Partiendo de las gráficas del módulo de corte G del comportamiento del pericardio bovino anteriores, se presentan las gráficas del módulo de corte G, con un ajuste correspondiente a la identificación de la pendiente de la zona lineal de la gráfica.

### 5.8.6 Gráfica de módulo de corte de probeta pericardio 1 con ajuste

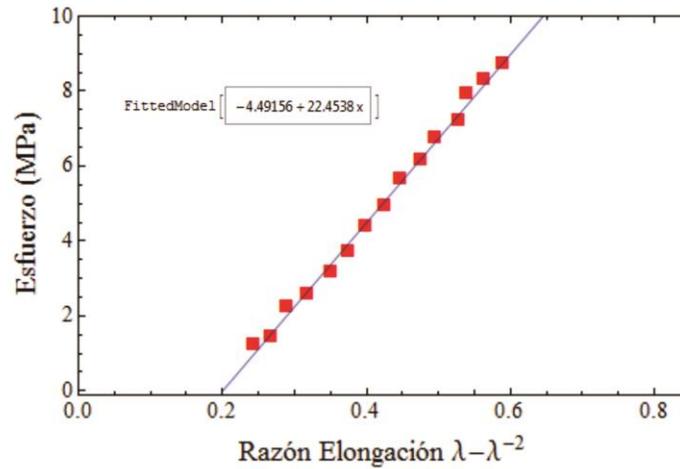


Figura 135. Sección lineal de la gráfica Esfuerzo-Razón de Elongación de la probeta pericardio 1 con ajuste y su modelo matemático asociado.

### 5.8.7 Gráfica de módulo de corte de probeta pericardio 2 con ajuste

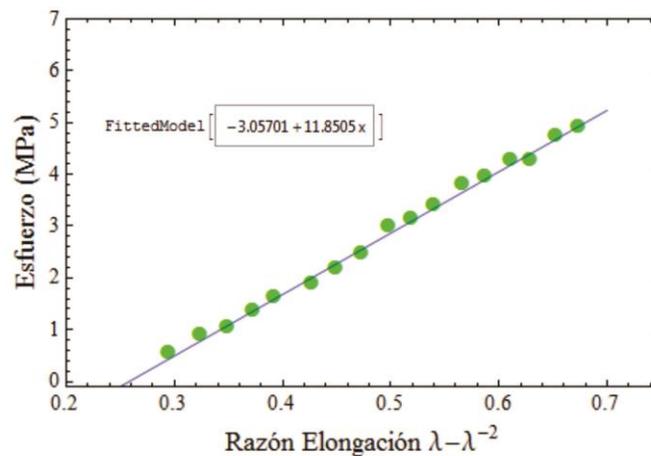


Figura 136. Sección lineal de la gráfica Esfuerzo-Razón de Elongación de la probeta pericardio 2 con ajuste y su modelo matemático asociado.

### 5.8.8 Gráfica de módulo de corte de probeta pericardio 3 con ajuste

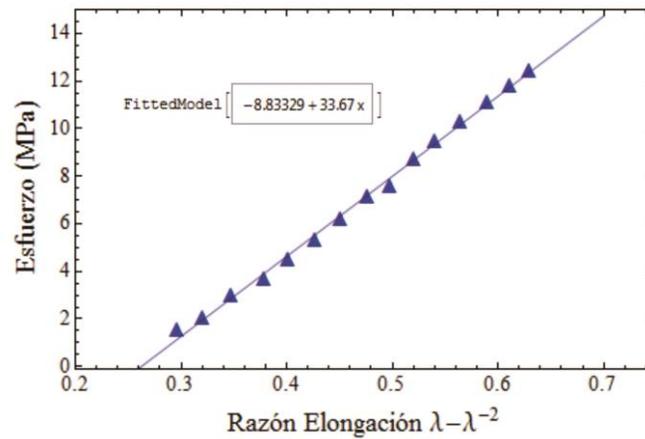


Figura 137. Sección lineal de la gráfica Esfuerzo-Razón de Elongación de la probeta pericardio 3 con ajuste y su modelo matemático asociado.

### 5.8.9 Comparación del comportamiento de las tres probetas de pericardio bovino con ajuste

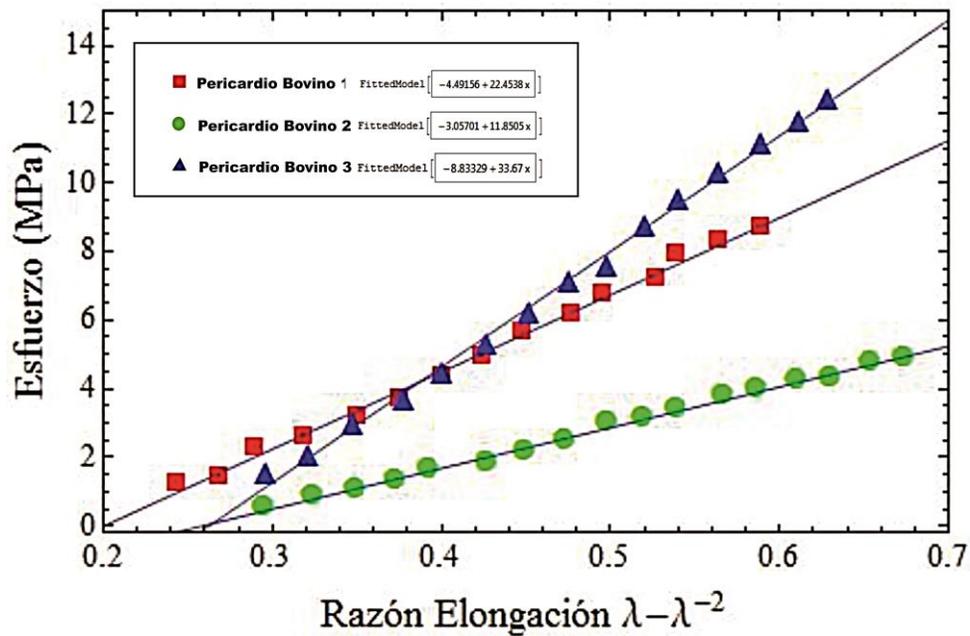


Figura 138. Comparativo de Gráficas del módulo de corte G con ajuste, obtenido a partir de la gráfica de Esfuerzo-Razón de Elongación de la probeta pericardio bovino 1 cuadrada, probeta pericardio bovino 2 circular y probeta pericardio bovino 3 triangular.

## 5.9 Obtención del Módulo Corte de las probetas de pericardio bovino

De las gráficas anteriores se obtuvieron los modelos matemáticos que describen el comportamiento de los materiales estudiados, por medio de estos modelos se podrá obtener el módulo de corte G del pericardio bovino. Una vez calculado el módulo de corte, podrá obtenerse el módulo de Young. A continuación se muestran para cada una de las probetas de estudio modelos matemáticos respectivamente.

### 5.9.1 Módulo de Corte G de la probeta pericardio 1

$$\text{FittedModel} \left[ -4.49156 + 22.4538 x \right]$$

Figura 139. Modelo matemático obtenido a partir del ensayo de tracción uniaxial, para la probeta de pericardio bovino 1.

De lo anterior tenemos que para la probeta de pericardio 1, el módulo de corte G, es igual a  $G=22.4538$ , que es la pendiente de la región lineal de esta gráfica.

### 5.9.2 Módulo de Corte G de la probeta pericardio 2

$$\text{FittedModel} \left[ -3.05701 + 11.8505 x \right]$$

Figura 140. Modelo matemático obtenido a partir del ensayo de tracción uniaxial, para la probeta de pericardio bovino 2.

Para la probeta de pericardio 2, el módulo de corte G, es igual a  $G=11.8505$ , que de igual forma es la pendiente de la región lineal de la gráfica correspondiente a esta probeta.

### 5.9.3 Módulo de Corte G de la probeta pericardio 3

$$\text{FittedModel} \left[ -8.83329 + 33.67 x \right]$$

Figura 141. Modelo matemático obtenido a partir del ensayo de tracción uniaxial, para la probeta de pericardio bovino 3

Para la probeta de pericardio 3, la gráfica y el modelo matemático reportan que el módulo de corte G, es igual a  $G = 33.67$ .

## 5.10 Obtención del Módulo de Young del pericardio bovino

Una vez obtenido el módulo de corte G a partir de los modelos matemáticos que arrojo el ensayo de tracción, se procede a obtener el módulo de Elasticidad o módulo de Young de las probetas de los materiales de estudio, respectivamente. Para ello el módulo de Young podrá obtenerse a partir de la ecuación 10 del módulo de corte G mencionada anteriormente. Dicha expresión indica lo siguiente:

$$G = \frac{E}{3} \quad \text{Ec. 10}$$

Una vez conociendo el módulo de corte G, y sabiendo que 3 es una constante obtenida a través de un desarrollo anterior, puede obtenerse el módulo de Young de la siguiente forma:

$$E = 3G \quad \text{Ec. 11}$$

### 5.10.1 Módulo de Young de la probeta pericardio 1

Para la probeta de pericardio 1, el módulo de Corte es  $G=22.5\pm 0.4$  [MPa], por lo tanto para el Módulo de Young (E):

$$E = 3(22.5) = 67.5$$

$$E = 67.5 \text{ [MPa]}$$

### 5.10.2 Módulo de Young de la probeta pericardio 2

Para la probeta de pericardio 2, el módulo de Corte es  $G=11.8\pm 0.2$  [MPa], por lo tanto para el Módulo de Young (E):

$$E = 3(11.8) = 35.4$$

$$E = 35.4 \text{ [MPa]}$$

### 5.10.3 Módulo de Young de la probeta pericardio 3

Para la probeta de pericardio 3, el módulo de Corte es  $G=33.6\pm 0.5$  [MPa], por lo tanto para el Módulo de Young (E):

$$E = 3(33.6) = 100.8$$

$$E = 100.8 \text{ [MPa]}$$

### 5.11 Comparativo del módulo de corte y módulo de Young del pericardio bovino

En la siguiente Gráficas se muestran tanto el módulo de corte  $G$ , así como el módulo de elasticidad  $E$ , o módulo de Young de cada una de las probetas de pericardio bovino que se sometieron al ensayo de tracción en el Probador mecánico. En ella puede observarse los distintos valores que tomaron estos parámetros al ser ensayadas las probetas de prueba, teniendo que los valores más bajos se obtuvieron en la probeta número 2, siguiendo de la probeta 1 y finalmente los valores más altos de estos parámetros se obtuvieron en la probeta de pericardio bovino número 3.

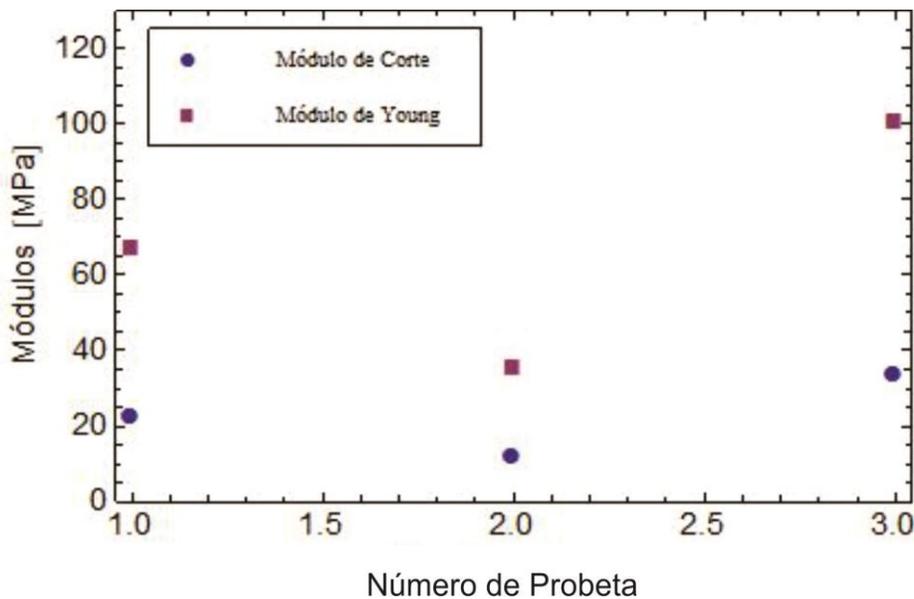


Figura 142. Gráfica del Módulo de Young y el Módulo de Corte de las probetas de pericardio bovino

### 5.12 Errores de medición durante el ensayo de tracción uniaxial

Parte importante del desempeño del Probador mecánico para ensayos de tracción uniaxial en materiales suaves y tejidos biológicos es su precisión, ello se refiere a la dispersión del conjunto de parámetros o valores que se obtienen después de haber repetido las mediciones y obtener los valores de los parámetros de interés dentro del rango de valides para el ensayo de tracción en estos materiales, es decir que cuando se obtengan valores con un menor grado de dispersión, se tendrá mayor precisión en los resultados esperados. De esta manera se busca también que el probador MECÁNICO a través de su interface de control sea exacto, y puedan obtenerse a través de las pruebas ejecutadas en él, los valores teóricos correctos de los parámetros necesarios para determinar las propiedades mecánicas de los materiales.

### 5.12.1 Tabla de error de la probeta de pericardio bovino 1

Para la probeta de pericardio 1, los valores de error para la pendiente y la ordenada al origen son 0.426153 y 0.185348 respectivamente, estos valores son menores a la unidad.

	Estimate	Standard Error	t-Statistic	P-Value
1	-4.49156	0.185348	-24.2332	$3.32837 \times 10^{-12}$
x	22.4538	0.426153	52.6897	$1.52235 \times 10^{-16}$

Figura 143. Tabla de error de la probeta de pericardio bovino 1

### 5.12.2 Tabla de error de la probeta de pericardio bovino 2

Los valores de error para la pendiente y la ordenada al origen para la probeta de pericardio 2, son 0.186652 y 0.0945256 respectivamente, estos valores son menores a la unidad y respecto a la probeta de pericardio 1, son valores de error menores.

	Estimate	Standard Error	t-Statistic	P-Value
1	-3.05701	0.0945256	-32.3405	$2.73829 \times 10^{-15}$
x	11.8505	0.186652	63.4898	$1.1896 \times 10^{-19}$

Figura 144. Tabla de error de la probeta de pericardio bovino 2

### 5.12.3 Tabla de error de la probeta de pericardio bovino 3

Mientras tanto, para la probeta de pericardio bovino 3, los valores de error para la pendiente y la ordenada al origen son 0.496306 y 0.238932 respectivamente, donde también son inferiores a la unidad.

	Estimate	Standard Error	t-Statistic	P-Value
1	-8.83329	0.238932	-36.9699	$1.48007 \times 10^{-14}$
x	33.67	0.496306	67.8412	$5.75977 \times 10^{-18}$

Figura 145. Tabla de error de la probeta de pericardio bovino 3

#### 5.12.4 Gráfica de barras de error de las tres probetas de pericardio bovino

Finalmente se muestra la gráfica de barras de error, que pueden obtenerse a partir de los parámetros de error antes mencionados. En la esta gráfica, puede observarse que los valores de error para el modelo matemático obtenido en la probeta de pericardio bovino 1 son menores a uno, por lo tanto, puede afirmarse que los parámetros obtenidos se realizaron de forma adecuada y se cumplieron los objetivos exitosamente.

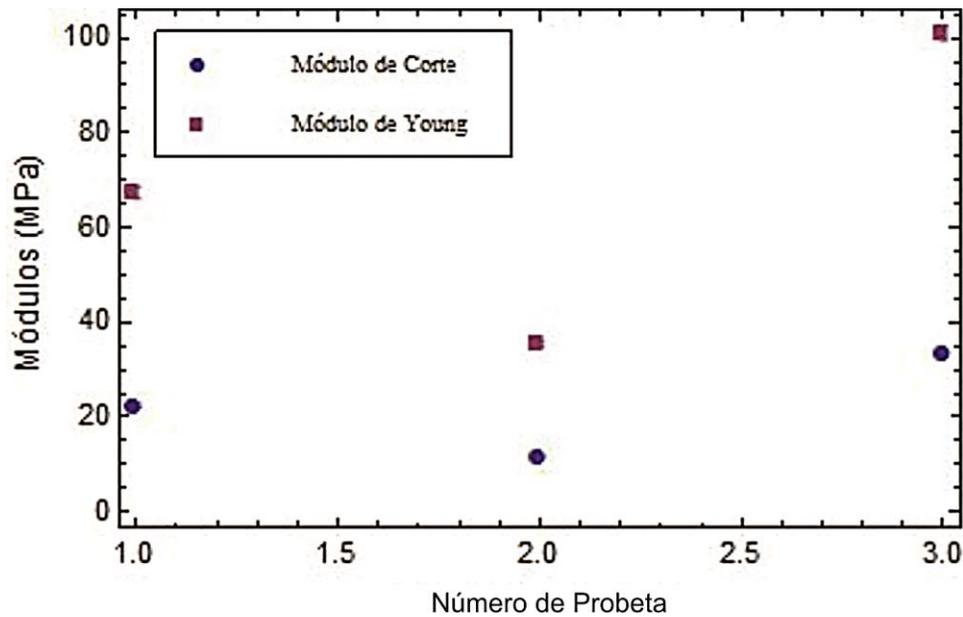


Figura 146. Gráfica de barras de error del ensayo de tracción uniaxial en las probetas de pericardio bovino.

## CONCLUSIONES

Se diseñó, manufacturó e instrumentó un Probador Mecánico para ensayos de tracción uniaxial para estudiar polímeros naturales y sintéticos cuyo rango de deformación se encuentra entre 100 y 800 % con cargas relativamente pequeñas (1-100 N. Las ventajas que ofrece este equipo en cuanto a diseño son las siguientes: se mejoró la distribución del área de trabajo; pues de forma horizontal se propone un área desfasada hacia la parte frontal permitiendo al operario manipular el equipo y el sistema de mordazas de una manera más cómoda y práctica. En cuanto a la carrera vertical del equipo, se utilizó una carrera mayor para poder ensayar materiales con altas deformaciones. Este diseño presenta simetría en su estructura; lo anterior ayuda a distribuir las cargas a las que estará sujeto durante su funcionamiento. Es importante mencionar que el probador mecánico ofrece flexibilidad y practicidad de su ensamble y montaje además de poseer piezas comerciales de materiales comerciales o de fácil disponibilidad.

Los circuitos electrónicos desarrollados para la amplificación y acondicionamiento de las señales provenientes de los sensores de fuerza y desplazamiento representan un aporte significativo al proyecto; el adquirir los dispositivos comerciales para registrar las variables de fuerza y desplazamiento hubiera representado hasta un 50 % del costo del equipo. Este desarrollo tecnológico redujo este costo hasta 0.1 %

Se logró comunicar la electrónica de National Instruments para el control de motores a pasos con la PC; de esta manera se logró controlar, de manera precisa, Probador Mecánico. Los instrumentos virtuales programados en LABVIEW fueron capaces de adquirir y almacenar, de manera simultánea, las distintas señales electrónicas de las variables involucradas en el probador mecánico dentro de las cuales tenemos tiempo, desplazamiento y fuerza.

Se desarrolló una interfaz amigable en ambiente Windows la cual permite la operación del Probador Mecánico. Dicha interfaz permite hacer cambios en su código fuente de ser necesario para incluir nuevas funciones o cubrir nuevas necesidades. Las funciones de esta interfaz se programaron teniendo en cuenta las necesidades actuales de los usuarios de este equipo creando secuencialmente un programa de funciones generales con subfunciones que básicamente permitan controlar el equipo, encenderlo, apagarlo, controlando su posición, velocidad y monitorear estos parámetros durante el ensayo de tracción. El software también permite adquirir datos de fuerza contra desplazamiento, graficarlos y guardarlos. Lo anterior ayuda a que estos datos puedan ser utilizados para un procesamiento o estudio posterior.

Para evaluar el funcionamiento del Probador Mecánico, se realizó el ensayo de tracción en un tejido biológico como lo es el pericardio bovino; se comprobó que el Probador Mecánico es capaz de obtener datos para calcular los valores del módulo de Young y el módulo de Corte para los materiales ensayados. Dichos valores se compararon contra con los datos reportados en la literatura y se encontró una buena congruencia para los valores reportados en este tipo de materiales.

De acuerdo al ensayo de tracción realizado se obtuvieron los resultados deseados y por consecuencia se cumplieron los objetivos planteados en un principio para este trabajo de tesis. Es importante comentar que el contar con un equipo tan versátil como el Probador Mecánico, se dejan de lado las restricciones que en ocasiones significa adquirir un equipo comercial, ya que se deja en manos del proveedor el mantenimiento del equipo, así como toda posibilidad de modificación, restauración, renovación y modernización de este.

El desarrollo de este equipo ofrece las bases para que los lectores con conocimientos básicos en ingeniería mecánica y electrónica puedan tomar ideas e información para desarrollar y construir su propio Probador Mecánico de acuerdo a sus necesidades; finalmente es importante comentar que el Probador Mecánico es un desarrollo tecnológico realizado por el Instituto de Investigaciones en Materiales y la Universidad Nacional Autónoma de México para el mismo Instituto y para la misma Universidad, es decir, que es muy importante que los investigadores y estudiantes de las diversas áreas de la ciencia sepan que cuentan con la permanente disponibilidad del Probador mecánico en busca de colaboración y desarrollo institucional.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gooch Jan W. 2010 \ “Biocompatible Polymeric Materials”. Springer. 3a Edición, pp 73-89.
- [2] Y. C. Fung, K. Fronek, and P. Patitucci. Pseudoelasticity of arteries and the choice of its mathematical expression. *Am. Physiological Soc.*, 237:H620–H631, 1979.
- [3] William D. Callister Jr., 2006 \ “Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los materiales”. Limusa, 2ª edición. R86-R87, 621-651.
- [4] Alter Michael J. 2004 \ “Science of Flexibility. Mechanical and Dinamic Properties of Tissues”. Human KineticsPublishers. 3a Edición, pp 32-67.
- [5] F.M. Sanchez-Arevalo, M. Farfán, D. Covarrubias, R. Zenit, G. Pulos. The micromechanical behavior of luophilizedglutaraldehyde-treated bovine pericardium under uniaxial tension. *Science Direct. Journal of the Mechanical Behavior Biomedical Materials*. Julio 8 de 2010.
- [6] Y. C. Fung. Elasticity of soft tissues in simple elongation. Vol.213 *Journal Physiology*. Springer San Diego California.
- [7] .Y. C. Fung. *Biomechanics. Mechanical Properties of Living Tissues*. Springer-Verlag, New York, 2nd edition, 1993.
- [8] Kojic Milos. 2008 \ “Computer Modeling in Bioingeniering: Theoretical”. John Wiley and Sons Inc. 3a. Edición, pp 15-47.
- [9] Ledesma René A., 2010 \ “Estudio del flujo Pulsátil y su interacción en valvas simples”. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- [10] C. J. Chuong and Y. C. Fung. Residual stress in arteries. In G. W. Schmid-Schönbein, S. L.-Y. Woo, and B. W. Zweifach, editors, *Frontiers in Biomechanics*, pages 117–129. Springer-Verlag, New York, 1986.
- [11] C. J. Chuong and Y. C. Fung. Three-dimensional stress distribution in arteries. *ASME J. Biomechanic and Engineering.*, 105:268–274, 1983.
- [12] H. M. Finlay, L. McCullough, and P. B. Canham. Three-dimensional collagen organization of humanbrain arteries at different transmural pressures, 320: 301–312, 1995.
- [13] American Physiological Society. [www.americanphysiologicalsociety.com/](http://www.americanphysiologicalsociety.com/)

- [14] American journal of physiology. <http://ajplegacy.physiology.org/>
- [15] ASTM International (American Society of Testing Materials). <http://www.astm.org/>
- [16] ANSI American (National Standards Institute). <http://www.ansi.org/>
- [17] Lieu Dennis K., Sorby Sheryl, 2009 \ “Dibujo para diseño de ingeniería”. Cengage Learning, 5ª. Edición, pp 1-15.
- [18] Rick Edward V., 2007 \ “Introducción a la ingeniería y al diseño en la ingeniería”. Limusa, 2ª edición., pp 131-221.
- [19] Haik Yosef \ “Engineering design Process”. Cengage Learning, 2a. Edición, pp 10-23.
- [20] Instron. <http://www.instron.com>
- [21] MTS. <http://www.mts.com/>
- [22] Shimadzu Corp. <http://www.shimadzu.com/>
- [23] Bose. <http://worldwide.bose.com/electroforce/>
- [24] George Dieter, Linda C. Schmidt 2010 \ “Engineering Design”. McGraw Hill, 4ª edición.
- [25] A. Akgunduz, "Evaluation of sub-component alternatives in product design processes," Robotics and computer-integrated manufacturing, vol. 18, no. 1, pp. 69-81, 2002.
- [26] Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett, 2010 \ “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley”. Mc Graw Hill, 8ª edición. 11-150.
- [27] Kalpakjian S., Steven R. Schmid. 2008 \ “Manufacturing processes for engineering materials”. Pearson, 5ta. Edición, pp 37-84.
- [28] Groover Mikell P. 2007 \ “Fundamental of Modern Manufacturing. Materials, Processes and Systems”. John Wiley and Sons Inc. 3a. Edición, pp 39-76.
- [29] Michael F. Asbhy. \ “Materials Selection in Mechanical Design”. Elsevier, 3a. Edición, pp 20-312.
- [30] Timothy J. Maloney., 2006 \ “Electrónica Industrial Moderna” 5ª edición, Pearson, Prentice Hall. 740, 846, 886 Robert L. Norton., 2006 \ “Diseño de maquinaria”. McGraw Hill, 3ª edición. 3-17.
- [31] Lin Engineering. <http://www.linengineering.com/>

- [32] Rodamientos SKF. [http://www.skf.com/portal/skf\\_mx/](http://www.skf.com/portal/skf_mx/)
- [33] Honeywell. <http://honeywell.com/Pages/Home.aspx>
- [34] LucasShaevitz.(MeasurementSpecialties).<http://www.measspec.com/schaevitz.aspx>.
- [35] Steve F. Krar, Albert F. Check., 2001\”Tecnología de las maquinas Herramienta”. 5ª edición.
- [36] Myron L. Begeman, B. H. Amstead., 1990\”Procesos de Fabricación” 7ª edición, JhonWiley&Sons Inc. 705-725.
- [37] Christopher J. McCauley, MuhammedIqbalHussain., 2006\”Manual del taller para estudiantes y operarios”. Limusa 6ta ed. 544 p.
- [38] RMS Technologies[www.rmstechnologies.com](http://www.rmstechnologies.com).
- [39] Muhammad H. Rashid., 2004\”Electronica de Potencia” 3ª edición. Pearson, Prentice Hall. 1-26, 31-56, 68-116, 124, 431- 465, 601, 637.
- [40] National Instruments <http://mexico.ni.com/>
- [41] Matthew N. O. Sadiko., 2006\”Fundamentos de circuitos eléctricos” 3ª edición. Mac Graw Hill. 4-27, 175-213, 413-443, 457-500.
- [42] Mitutoyo. <http://www.mitutoyo.com.mx/>

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

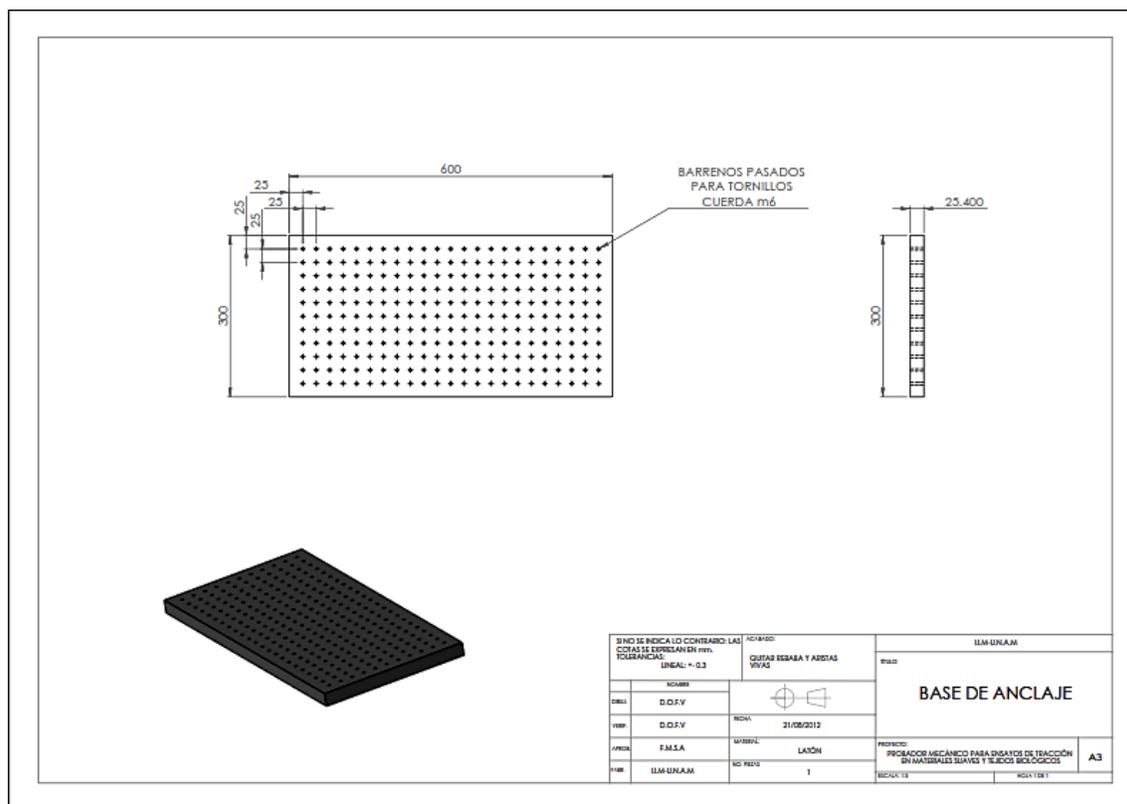
1. Donald R. Askeland, Pradeep P. Phule., 2008\” Ciencia e Ingeniería de los materiales” Thomson, 4a edición. 669-715.
2. Jeon, O., Song, S.J., Lee, K.-J., Park, M.H., Lee, S.-H., Hahn, S.K., Kim, S., Kim, B.-S., 2007. “Mechanical properties and degradation behaviors of hyaluronic acid hydrogels cross-linked at various cross-linking densities”. Carbohydr. Polym. 70, 251–257
3. P. Pioletti Dominique, R. RakotomananaLalao. ”Non linear viscoelastic laws for soft biological tissues”. Editions ScientifiquesetMedicalesElservier. April 2000.
4. Michael Destrade, Aisilin Ni Annaidh, Ciprian D. Coman. “Bending instabilities of soft biological tissues”. Science Direct. International Journal of Solid and Structures. Agosto 28 de 2009.
5. Spencer Henry Dygdon John, Novak j Dmes. “DibujoTécnico”.Alfaomega, México2003.
6. Calderón Francisco. “Dibujo Técnico Industrial”.Porrúa, México 2003.
7. Ferdinand Beer, E. Russell yDewolf John. “Mecánica de Materiales”. McGraw Hill, México 2007.
8. Mott Robert. “Diseño de Elementos de Máquinas”.Pearson, México 2006.

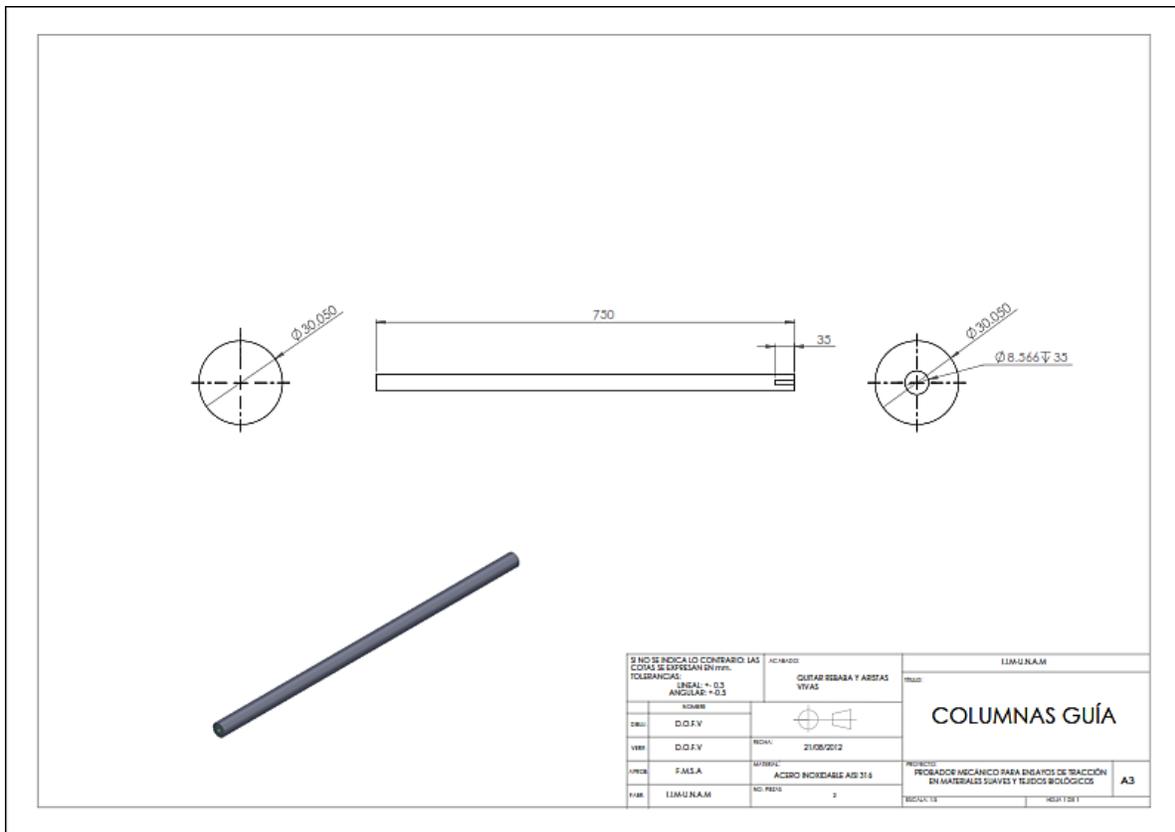
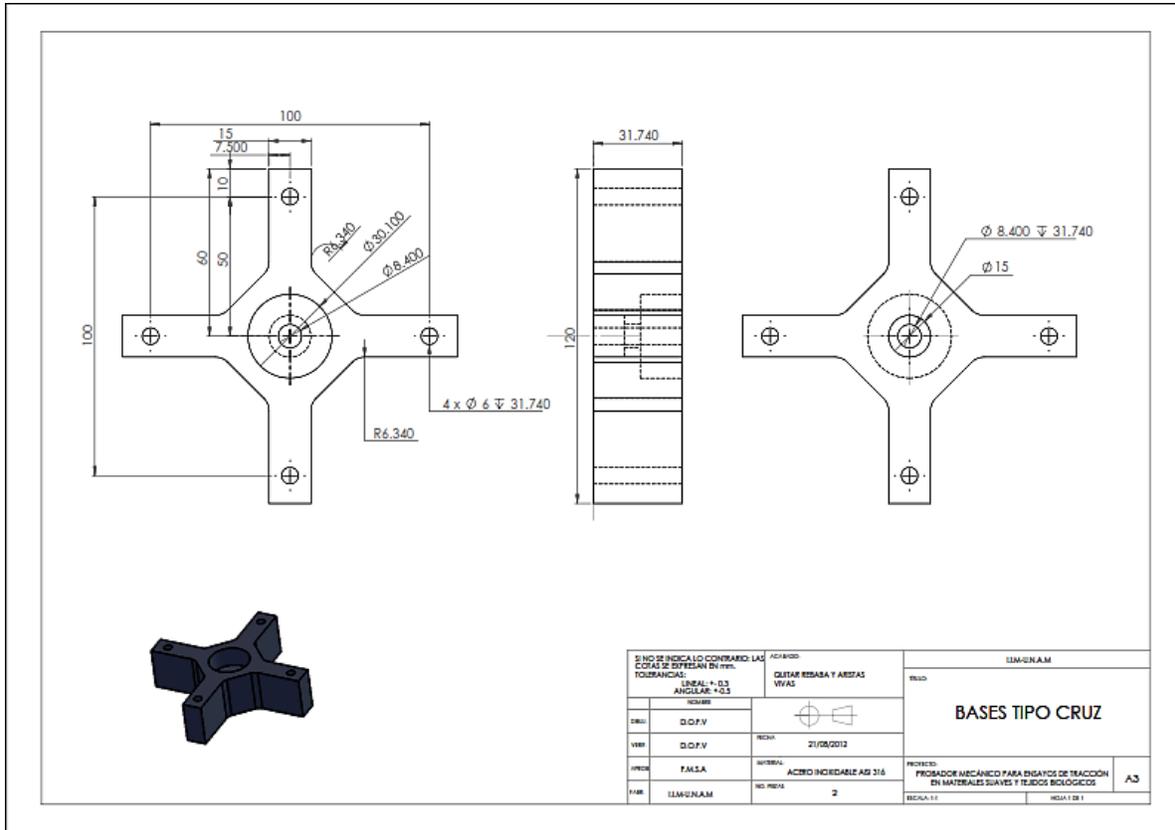
## MESOGRAFÍA

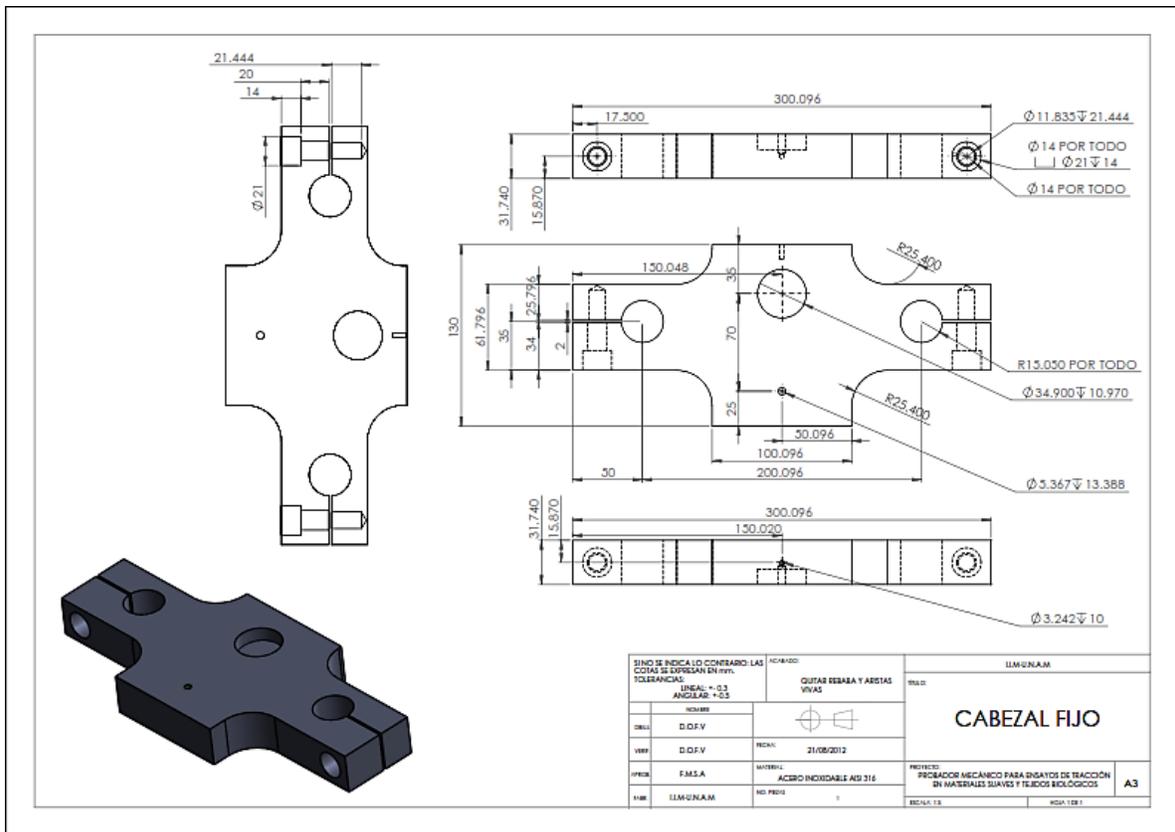
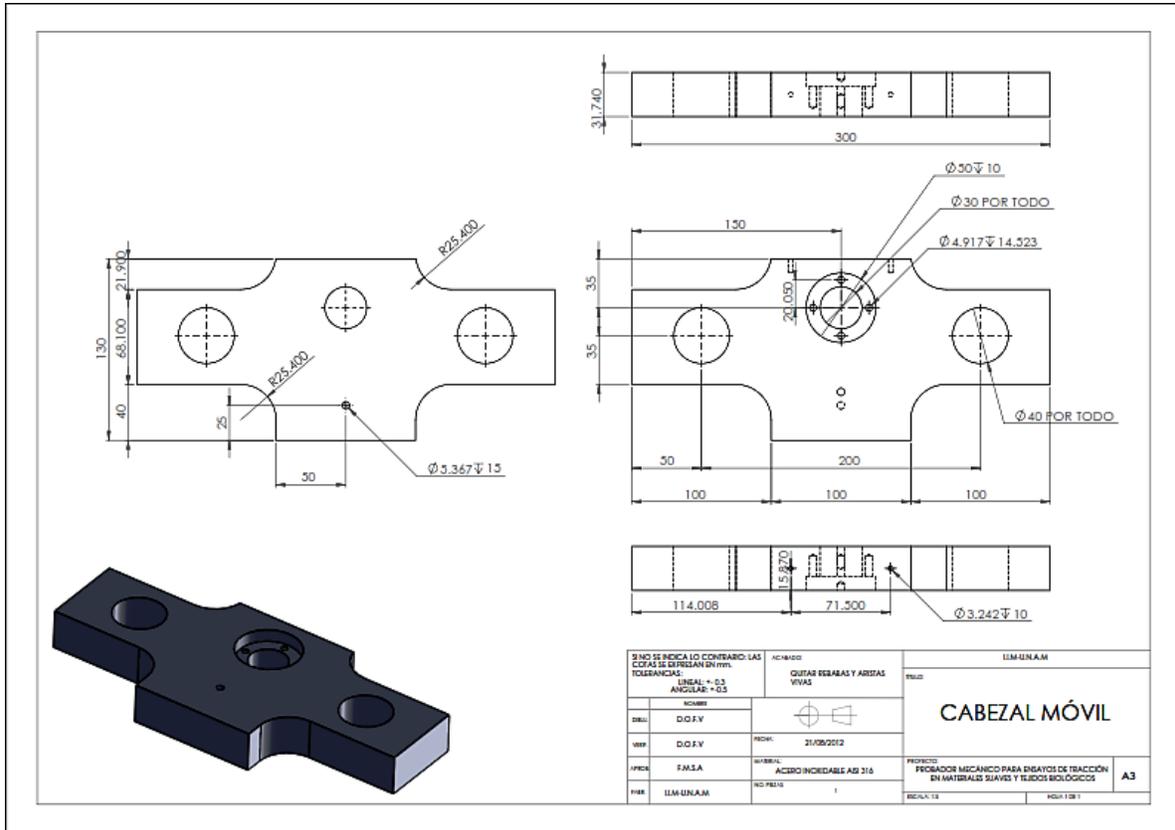
1. Metales Díaz. <http://www.metalesdiaz.com/>
2. Metales La Paloma. <http://www.lapaloma.com.mx/>
3. La casa del Tornillo. <http://www.lacasadeltornillo.com.mx/inicio>
4. Springer E-Books. <http://link.springer.com/>
5. Springer International. Publisher Science, Technology, Medicine.  
<http://www.springer.com/>
6. Science Direct. Scientific Journal. <http://www.sciencedirect.com/>
7. Lin Engineering. <http://www.linengineering.com/>
8. RMS Technologies <http://www.rmstechnologies.com>.
9. National Instruments <http://mexico.ni.com/>
10. Mitutoyo. <http://www.mitutoyo.com.mx/>
11. Honeywell. <http://honeywell.com/Pages/Home.aspx>
12. LucasShaevitz. (Measurement Specialties). <http://www.meas-spec.com/schaevitz.aspx>
13. Rodamientos SKF. [http://www.skf.com/portal/skf\\_mx/](http://www.skf.com/portal/skf_mx/)

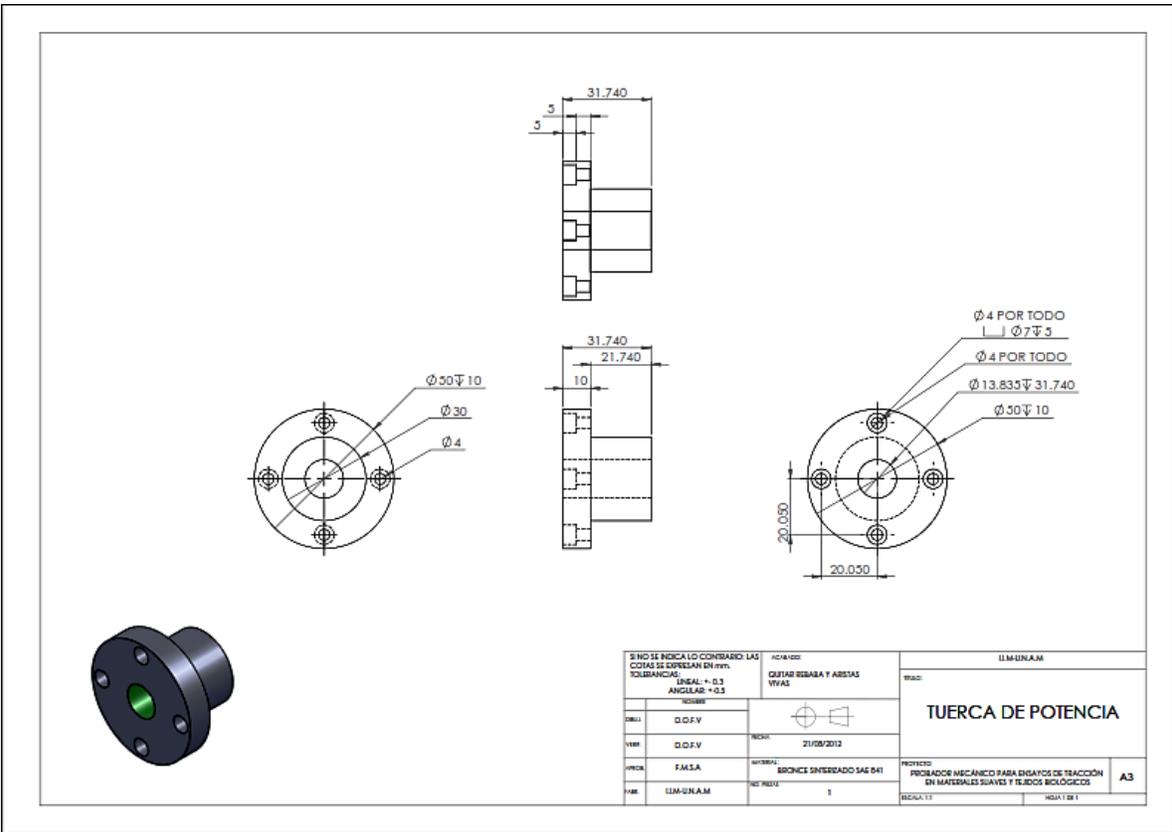
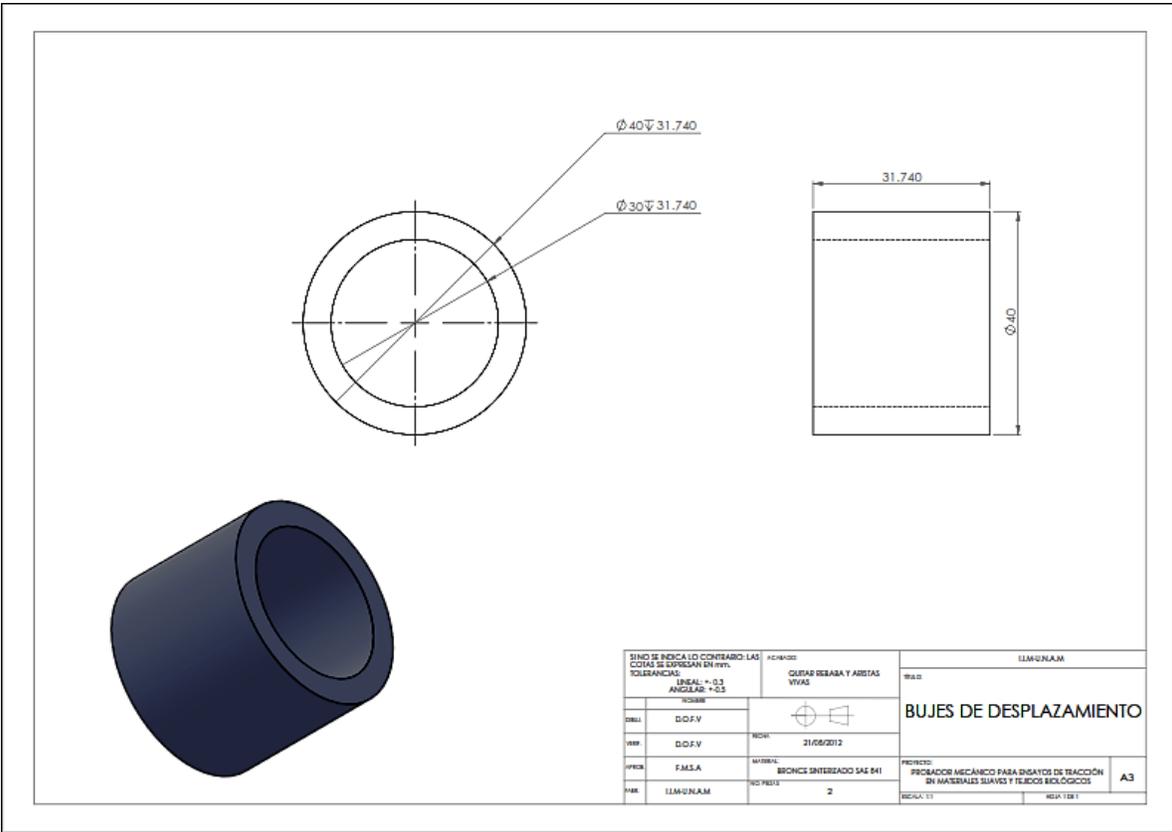
# ANEXOS

## 1. Planos de manufactura

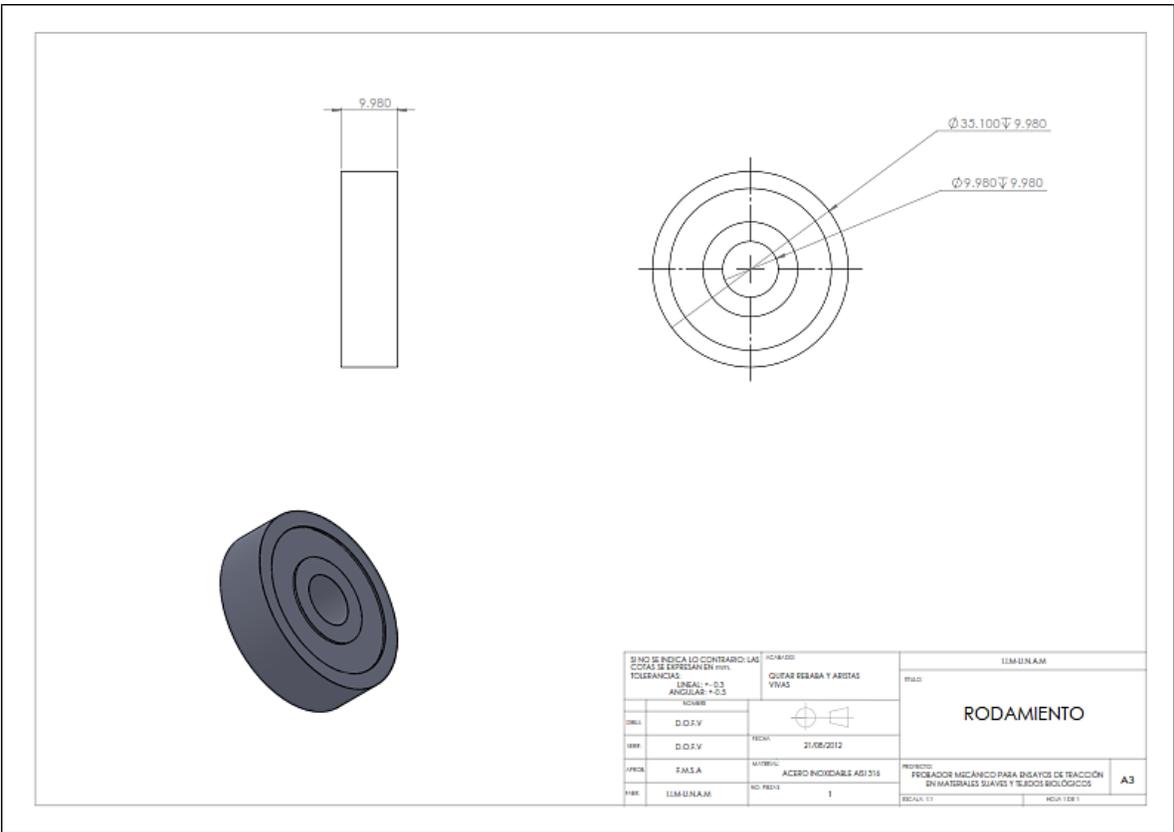
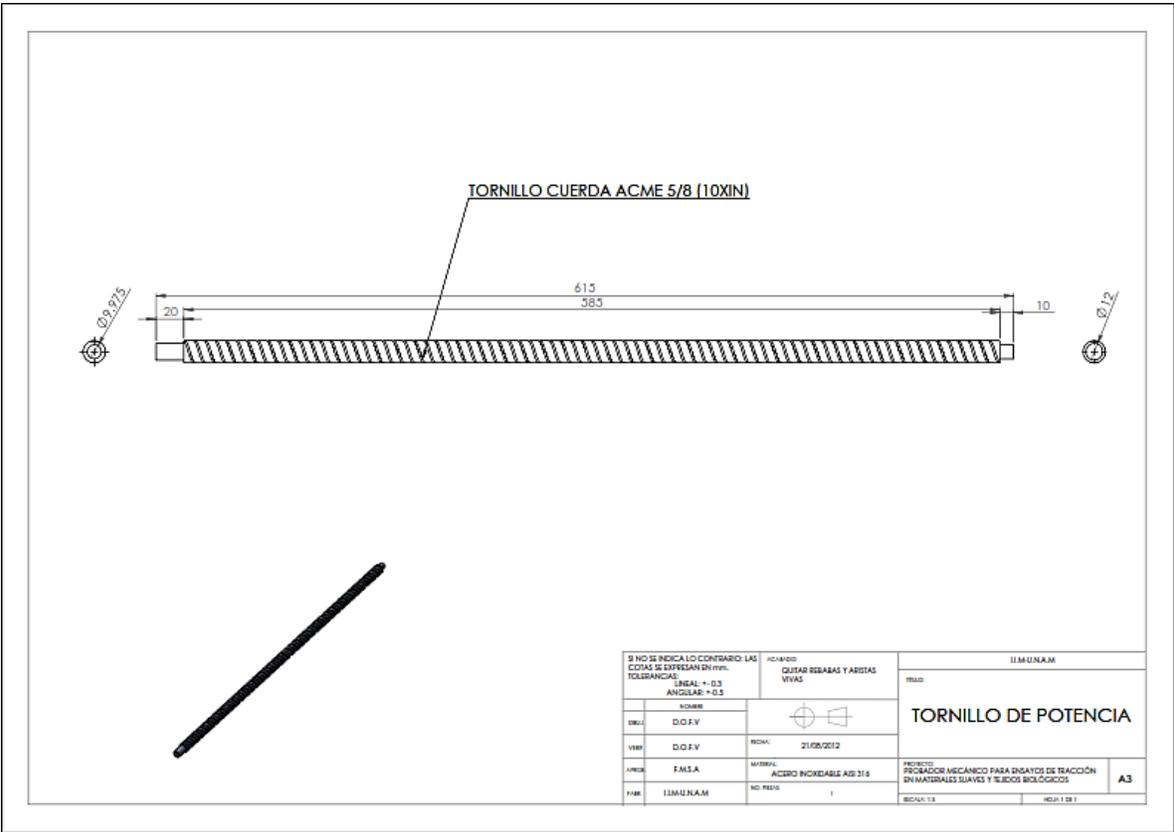


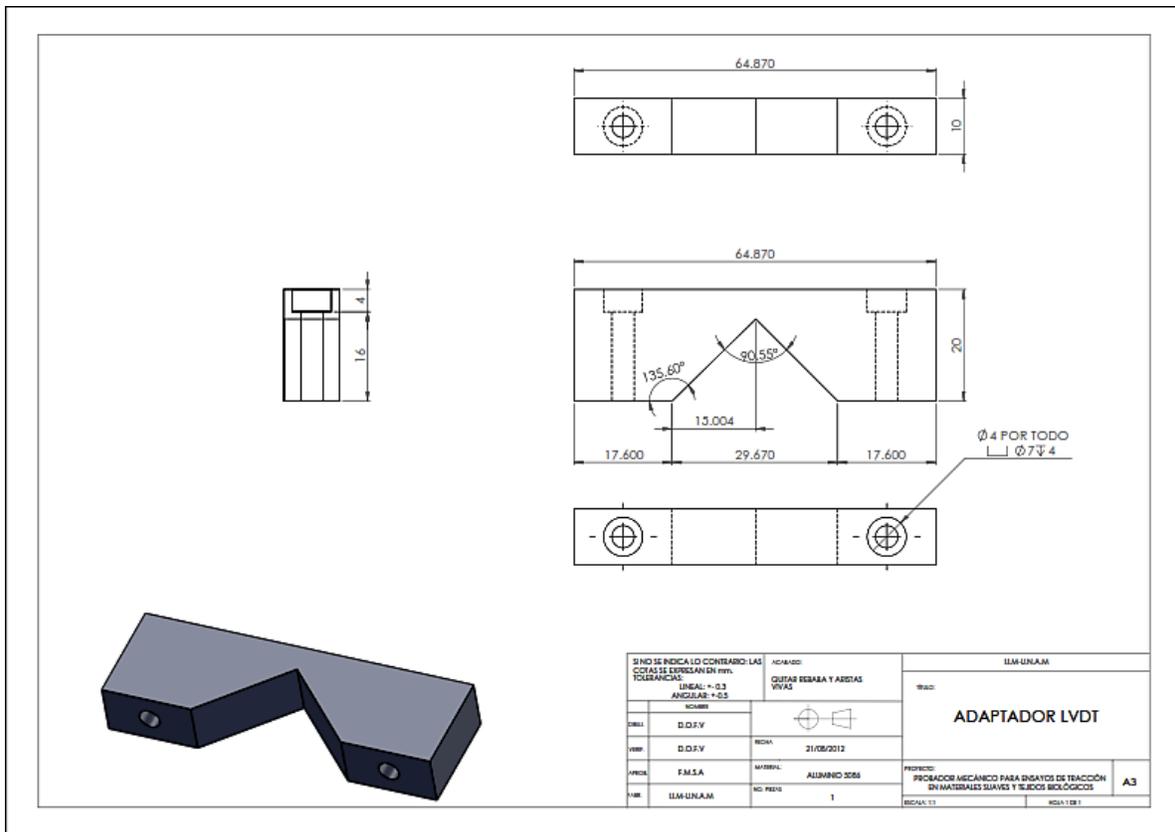
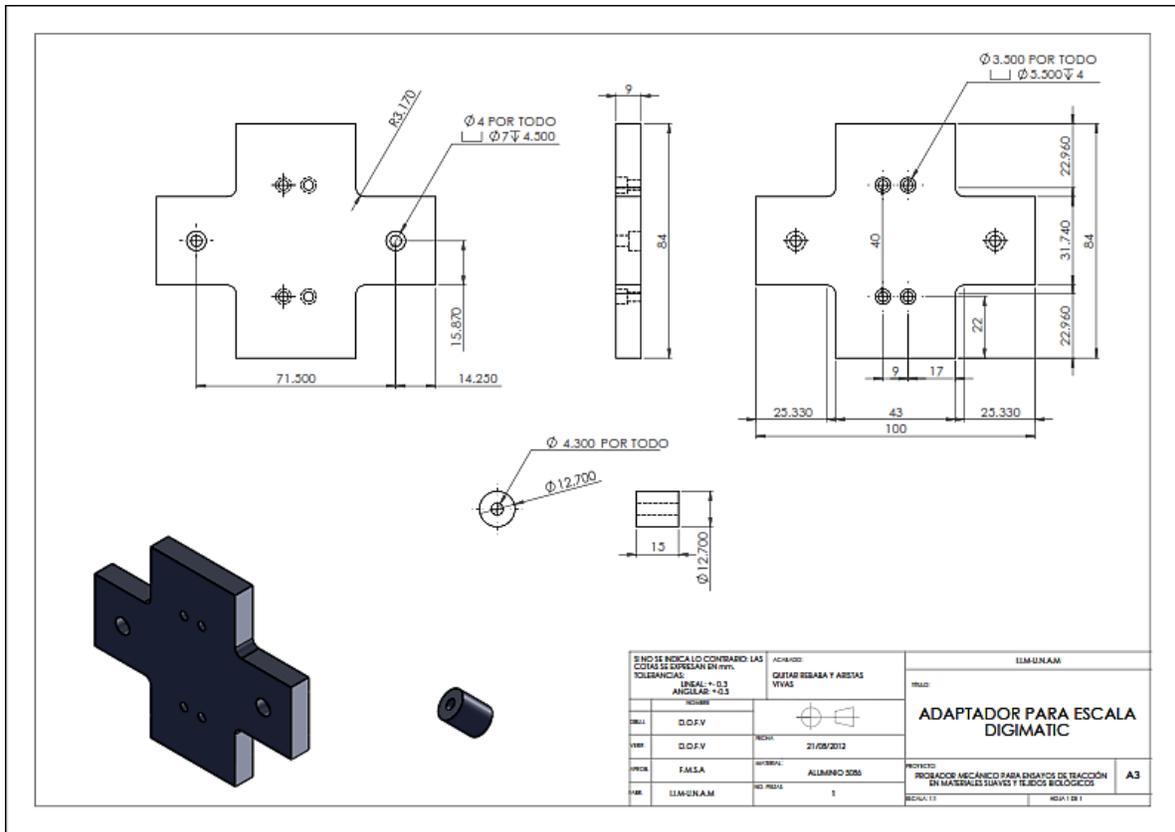


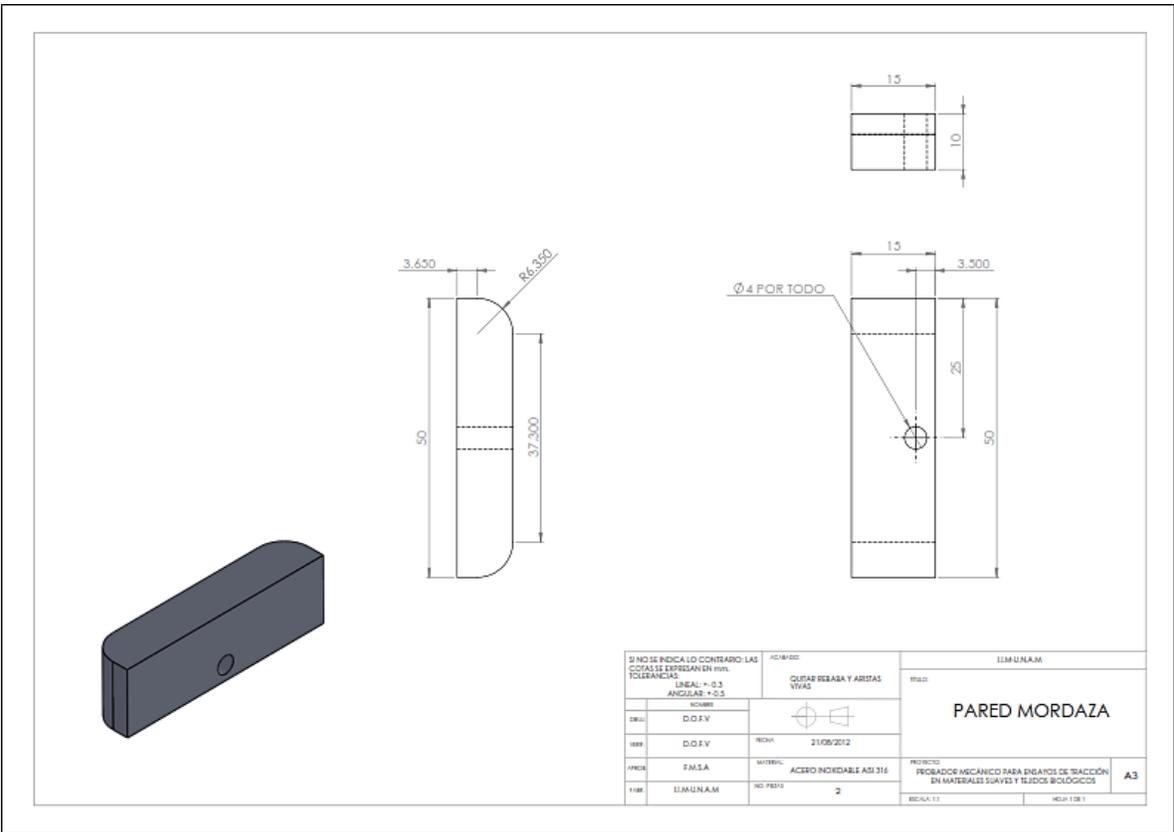
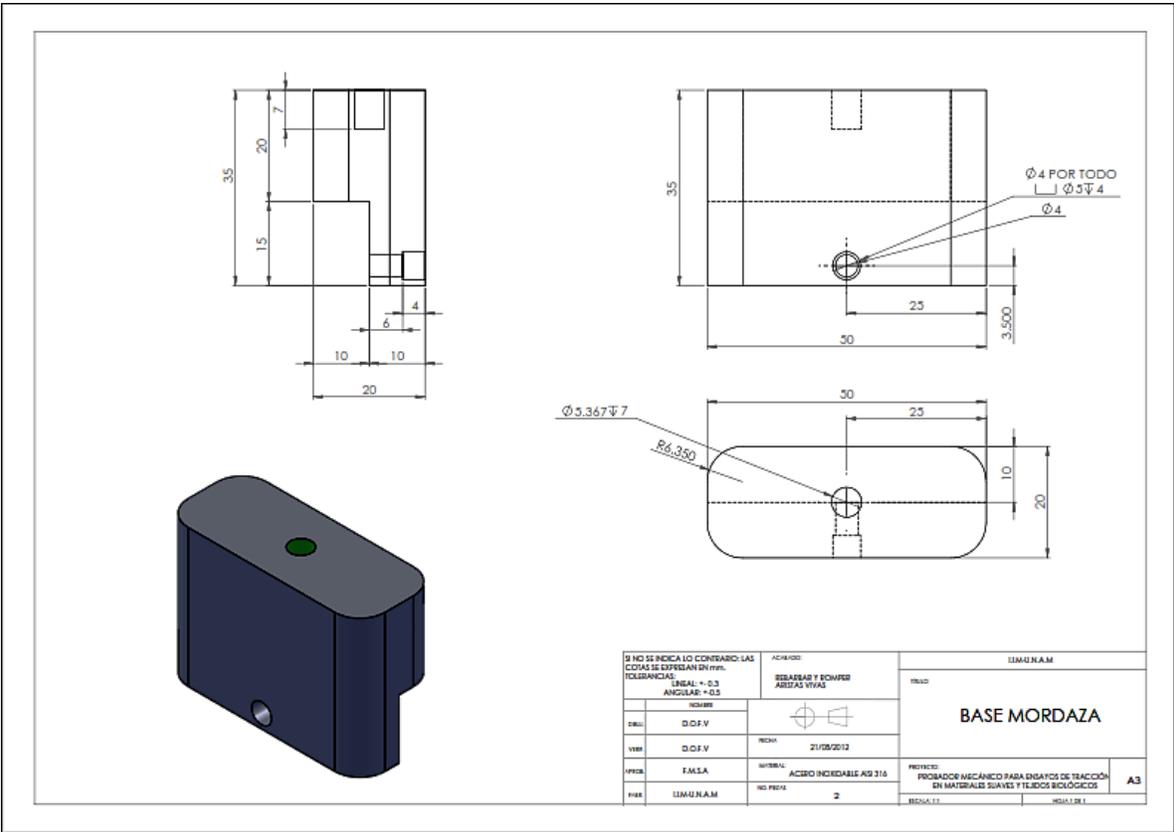


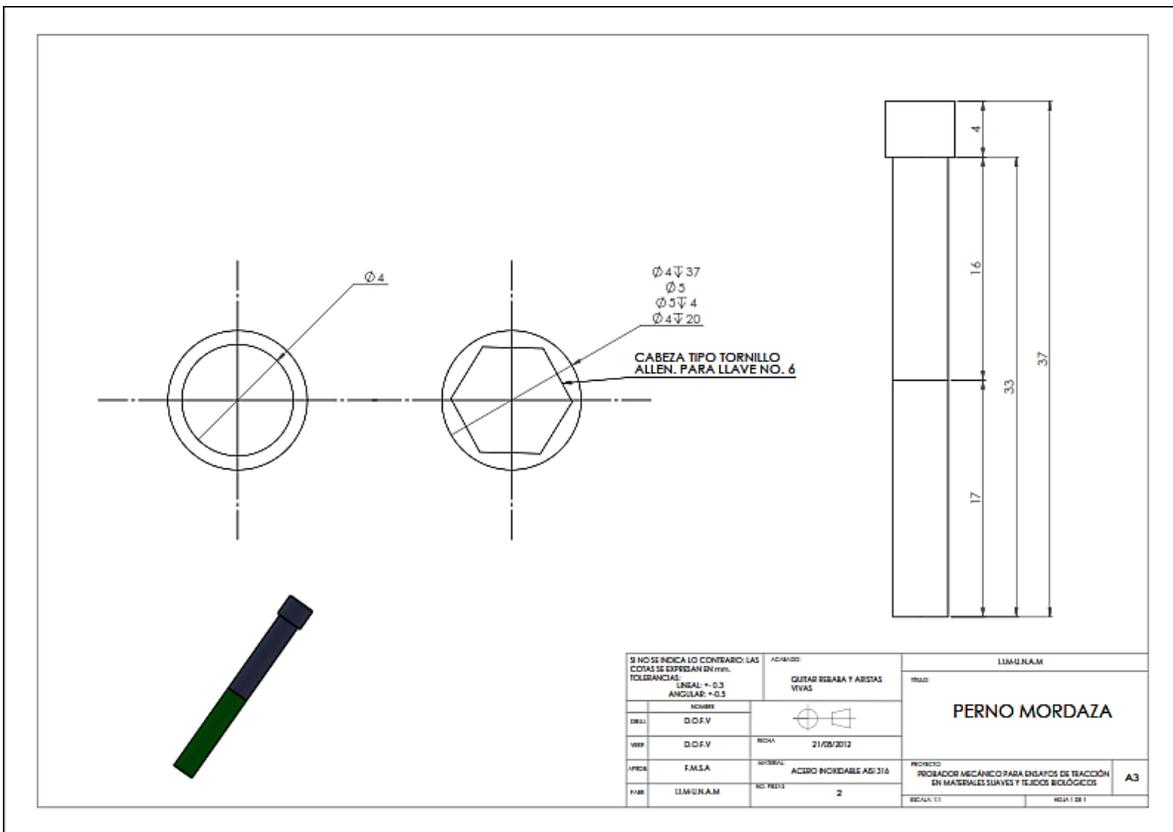
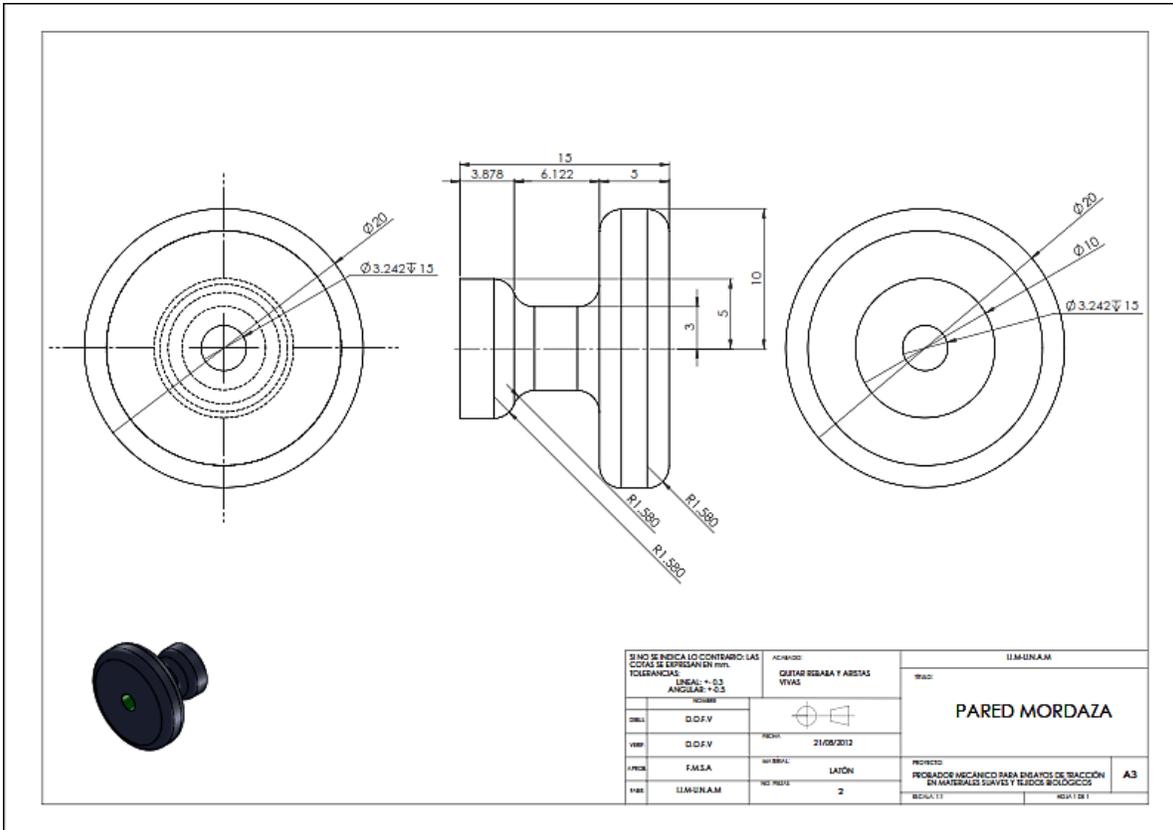




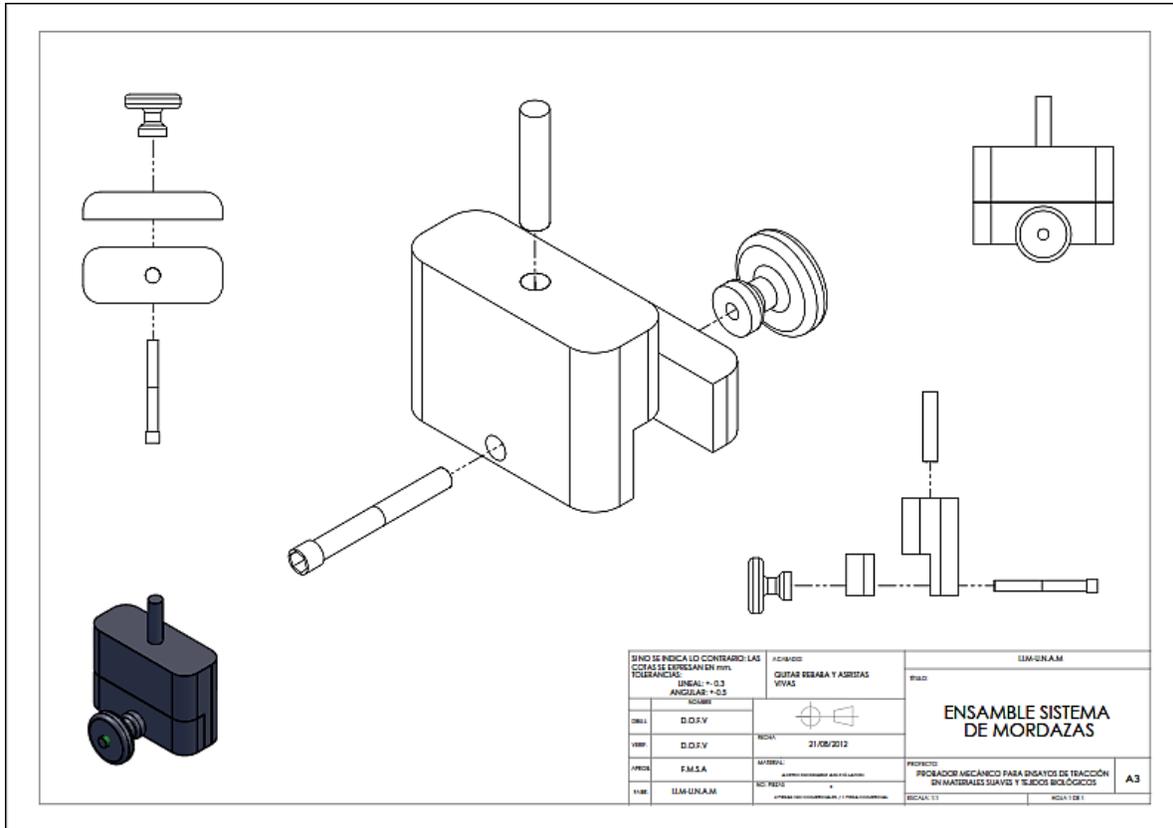


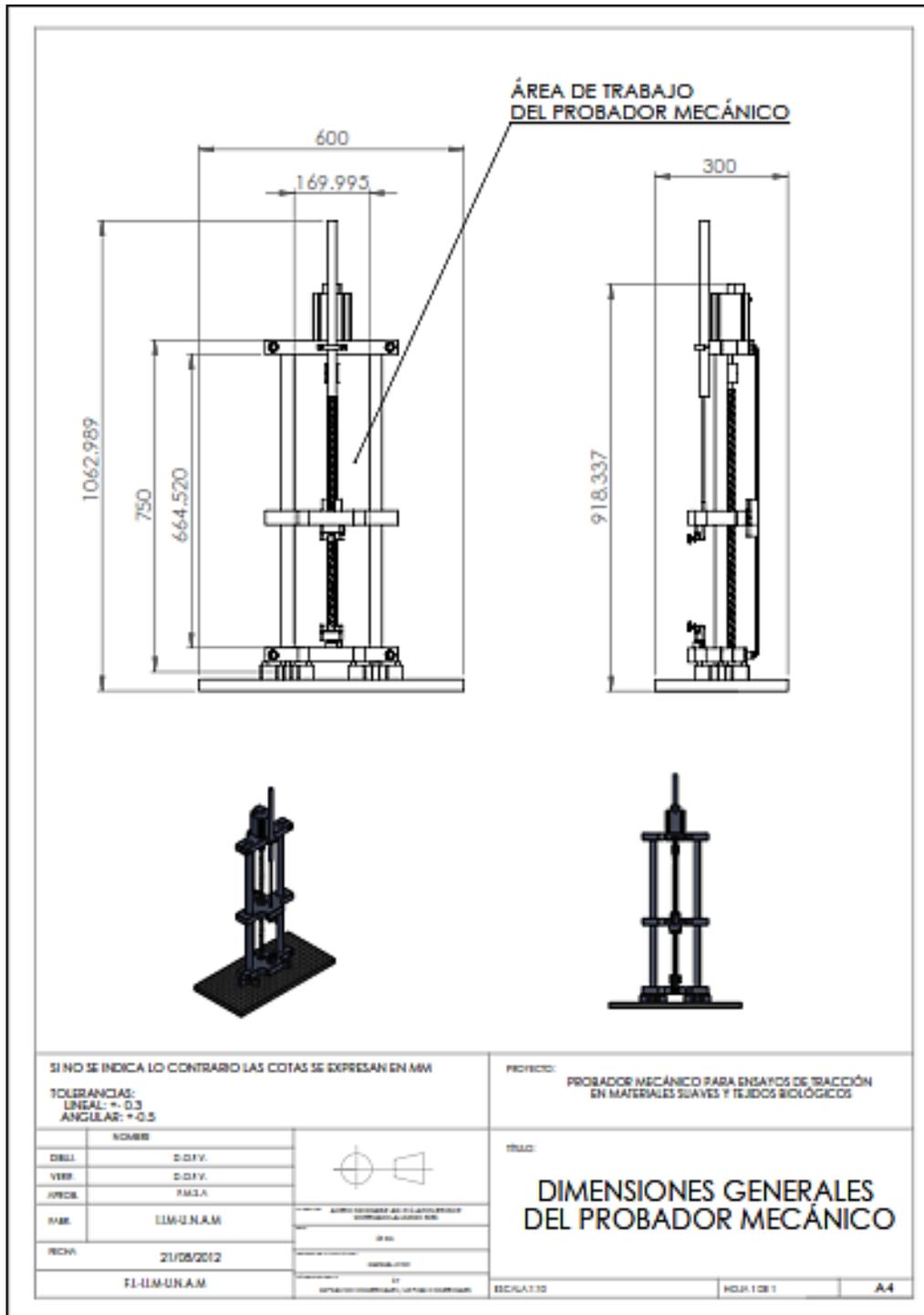


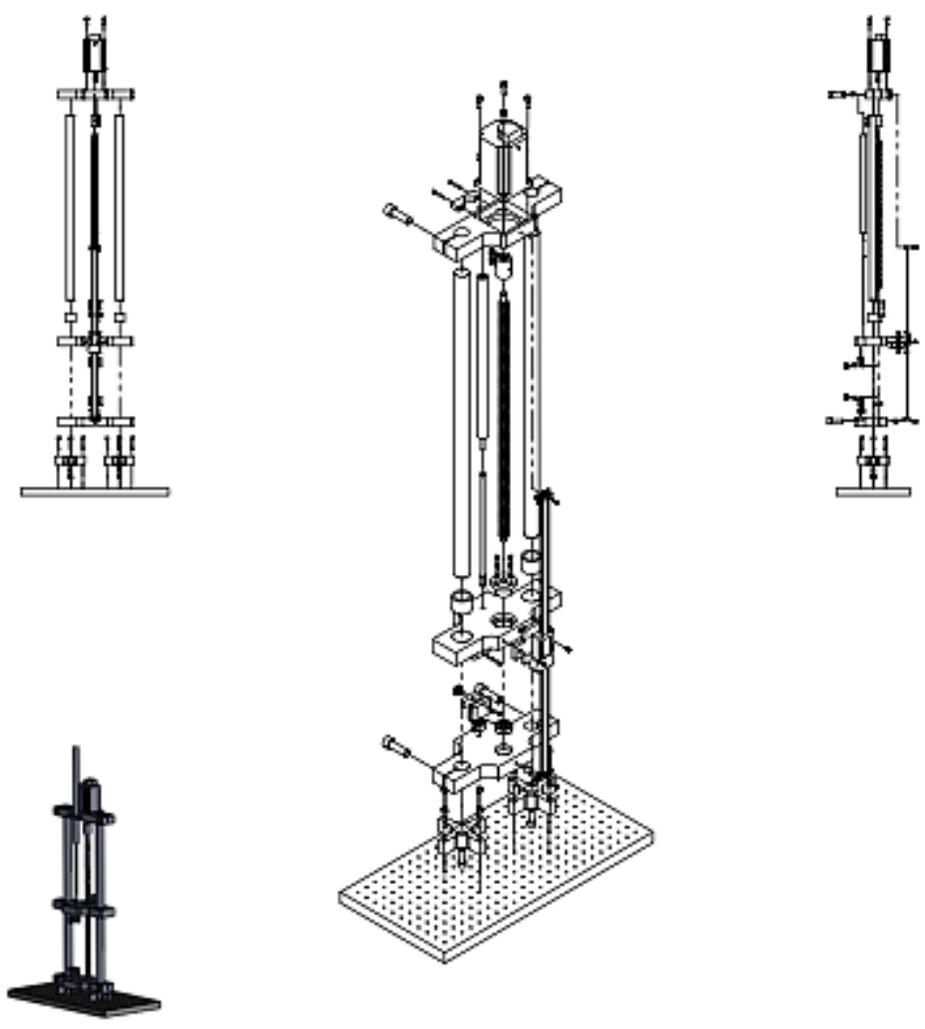




## 2. Planos de ensamble







SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

TOLERANCIAS:  
LINEAL:  $\pm 0.3$   
ANGULAR:  $\pm 0.5$

PROYECTO: PROBADOR MECÁNICO PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN EN MATERIALES SUAVES Y TEJIDOS BIOLÓGICOS

NOMBRE	
DESG.	D.O.F.V.
REP.	D.O.F.V.
APROB.	F.A.S.A.
PROJ.	U.M-UNAM
FECHA	21/05/2012
F.LIM-UNAM	



TÍTULO:  
**PLANO EXPLOSIONADO DE ENSAMBLE DEL PROBADOR MECÁNICO**

ESCALA: 1:1 HOJA 1 DE 1 A4

### 3. Hojas de datos

## RHP Rodamientos

Una Hilera De Bolas Radiales Rígidos





Conmutador: +52(55) 5305-1320  
 Fax: +52(55) 5305-1326  
 Nextel ID: 52\*40005\*2  
 Lada sin Costo México: 01800 552 9425  
 mail: ventas@rodamientos-samper.com.mx

Dimensiones principales			Designación	Variantes†				Capacidad de carga		Límite de velocidad		Peso		
d	D	B		Z	-Z2	RS	-2RS	N	NR	dinámica C <sub>d</sub>	estática C <sub>0</sub>		g/153	aceite
mm														
10	20	8	16100						4 800	2 030	28 000	34 000	16 000	0,020
	30	9	8200						6 190	2 620	28 000	32 000	17 000	0,031
	35	11	8300						8 410	3 440	22 000	28 000	15 000	0,052
12	21	5	61801						1 990	1 040	30 000	36 000	18 000	0,006
	21	6	62801						1 990	1 040	30 000	36 000	18 000	0,007
	21	7	63801						1 990	1 040	30 000	36 000	18 000	0,008
	24	6	61901						3 000	1 450	28 000	34 000	18 000	0,014
	28	6	6021						5 200	2 370	26 000	32 000	17 000	0,022
	30	8	16101						5 200	2 410	26 000	32 000	17 000	0,025
15	32	10	6221						7 150	3 020	24 000	30 000	15 000	0,037
	32	10	M201						8 550	3 800	10 900	22 000		0,042
	37	12	8501						8 070	3 600	20 000	26 000	14 000	0,060
	24	5	61802						2 150	1 260	26 000	34 000	16 000	0,007
	24	6	62802						2 150	1 260	26 000	34 000	16 000	0,008
	24	7	63802						2 150	1 260	26 000	34 000	16 000	0,009
17	28	7	61902						3 160	1 690	26 000	32 000	15 000	0,015
	32	8	16902						5 800	2 540	24 000	30 000		0,027
	32	9	6022						5 800	2 540	24 000	30 000	14 000	0,031
	35	11	6202						8 020	3 740	20 000	25 000	13 000	0,046
	35	11	M202						9 590	4 650	9 600	19 500		0,054
	37	9	86202						8 060	3 600	20 000	27 000		0,043
	42	13	8302						10 900	4 900	18 000	22 000	12 000	0,083
	42	13	M302						13 600	6 150	8 800	17 500		0,099
	26	5	61803						2 310	1 450	26 000	32 000	15 000	0,008
	26	6	62803						2 310	1 450	26 000	32 000	15 000	0,009
20	26	7	63803						2 310	1 450	26 000	32 000	15 000	0,010
	30	7	61903						4 770	2 550	24 000	30 000	14 000	0,016
	35	8	16903						6 230	3 250	22 000	28 000		0,032
	39	10	6003						6 230	3 250	22 000	28 000	13 000	0,039
	40	12	6203						9 620	4 760	18 000	22 000	12 000	0,065
	40	12	M203						11 800	5 910	8 900	16 000		0,077
	47	14	8303						14 000	6 530	16 000	19 000	11 000	0,120
	47	14	M303						17 600	8 490	8 000	16 000		0,131
	62	17	8403						22 500	11 000	12 200	16 500		0,259
	42	8	16004						7 200	4 090	18 000	22 000		0,050
42	9	86204						9 740	5 030	16 500	22 500		0,055	
42	12	8504						9 750	5 050	16 500	22 500	11 500	0,069	
47	14	8304						13 300	6 580	15 500	21 000	10 800	0,099	
47	14	M 204						18 000	9 520	15 000	18 000		0,116	
52	10	86304						13 400	6 800	14 700	20 000		0,107	
52	15	8304						16 500	7 660	14 700	20 000	10 300	0,144	
52	15	M 204						19 600	10 100	7 400	14 700		0,174	
77	19	8404						32 700	13 200	10 600	14 300		0,399	

† Ver "Variantes" en la página 22

## Dimensiones de la Rosca Trapezoidal Patrón Americano Acme

**h** = Altura del hilo básico de la rosca  
**h'** = Altura del hilo de la rosca con holgura  
**K** = Broca  
 Diámetro menor básico de la tuerca  
**Fc** = Ancho del bisel en la cresta del filete  
**Fr** = Ancho del bisel en el fondo del filete  
**n** = Número de hilos por pulgada  
**p** = Paso de la rosca  
**Kr** = Menor diámetro de la rosca  
**D** = Mayor diámetro de la rosca  
**T** = Mayor diámetro del macho

### PARA 10 O MENOS HILOS POR PULGADA

$$h' = \frac{p}{2} \text{ más } 0,010$$

$$Fr = \frac{0,3707}{n} \text{ menos } 0,0052$$

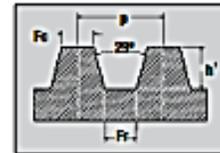
$$T = D \text{ más } 0,020$$

### PARA MÁS DE 10 HILOS POR PULGADA

$$h' = \frac{p}{2} \text{ más } 0,005$$

$$Fr = \frac{0,3707}{n} \text{ menos } 0,0028$$

$$T = D \text{ más } 0,010$$



$$p = \frac{1}{n}$$

$$K = D \text{ menos } p$$

$$Fc = \frac{0,3707}{n}$$

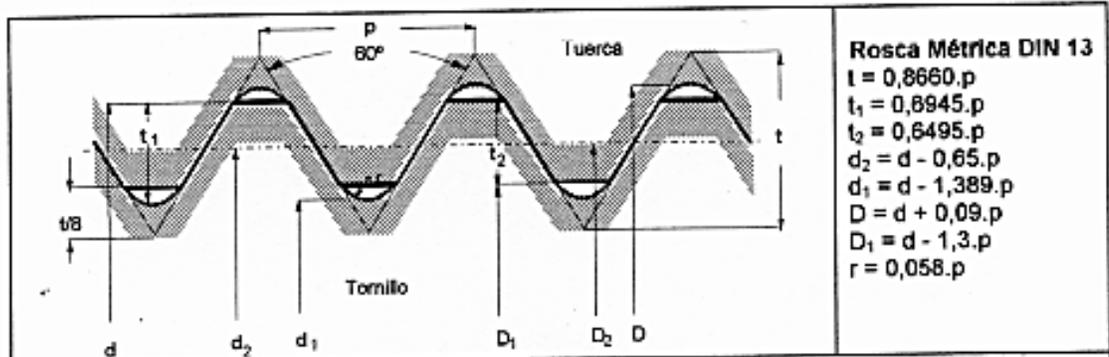
$$Kr = D \text{ menos } 2h'$$

Nº de Hilos por Pulgada (n)	Altura del Filete de la Rosca con holgura (h')	Bisel en la Cresta del Filete (Fc)	Bisel en el Fondo del Filete (Fr)	Espacio en el Topo del Filete	Espesor en la Raíz de la Rosca
1	0,5100	0,3707	0,3035	0,6293	0,6345
1.1/3	0,3850	0,2780	0,2228	0,4720	0,4772
2	0,2600	0,1854	0,1802	0,3146	0,3198
3	0,1767	0,1236	0,1184	0,2097	0,2149
4	0,1350	0,0927	0,0875	0,1573	0,1625
5	0,1100	0,0741	0,0689	0,1259	0,1311
6	0,0933	0,0618	0,0566	0,1049	0,1101
7	0,0814	0,0530	0,0478	0,0899	0,0951
8	0,0725	0,0463	0,0411	0,0787	0,0839
9	0,0655	0,0412	0,0360	0,0699	0,0751
10	0,0600	0,0371	0,0319	0,0629	0,0681
12	0,0467	0,0309	0,0283	0,0524	0,0550
14	0,0407	0,0265	0,0239	0,0449	0,0475
16	0,0363	0,0232	0,0206	0,0393	0,0419

## Conos y Ángulos

Conos por Pie	Grados	Minutos	Segundos	Grados	Ángulo con bisectriz en Minutos	Segundos	Conos por pulgada	Conos por pulgada desde la bisectriz
1/8"	0	35	49	0	17	54	0,010417	0,005208
1/4"	1	11	37	0	35	49	0,020833	0,010417
3/8"	1	47	25	0	33	43	0,031250	0,015625
1/2"	2	23	13	1	11	37	0,041667	0,020833
5/8"	2	59	1	1	29	30	0,052083	0,026042
3/4"	3	34	47	1	47	24	0,062500	0,031250
7/8"	4	10	33	2	5	17	0,072917	0,036458
1"	4	46	19	2	23	9	0,083333	0,041667
1.1/4"	5	57	47	2	38	53	0,104167	0,052084
1.1/2"	7	9	10	3	34	35	0,125000	0,062500
1.3/4"	8	20	27	4	10	14	0,145833	0,072917
2"	9	31	38	4	45	49	0,166667	0,083333
2.1/2"	11	53	37	5	30	49	0,208333	0,104167
3"	14	2	0	7	1	30	0,250000	0,125000
3.1/2"	16	35	39	8	17	50	0,291667	0,145833
4"	18	55	29	9	27	44	0,333333	0,166667
4.1/2"	21	14	22	10	37	11	0,375000	0,187500
5"	23	32	12	11	46	6	0,416667	0,208333
6"	28	4	21	14	2	10	0,500000	0,250000

## TORNILLOS – ROSCA MÉTRICA



**Rosca Métrica DIN 13**

$$l = 0,8660.p$$

$$t_1 = 0,8945.p$$

$$t_2 = 0,6495.p$$

$$d_2 = d - 0,65.p$$

$$d_1 = d - 1,389.p$$

$$D = d + 0,09.p$$

$$D_1 = d - 1,3.p$$

$$r = 0,058.p$$

### ROSCA MÉTRICA NORMAL.

Designación: Tornillo hexagonal M 10.20. DIN 933 - 5.6

d mm	p mm	d <sub>2</sub> mm	d <sub>1</sub> mm	Area mm <sup>2</sup>	D mm	D <sub>1</sub> mm	d mm	p mm	d <sub>2</sub> mm	d <sub>1</sub> mm	Area mm <sup>2</sup>	D mm	D <sub>1</sub> mm
6	1	5,950	4,58	18,67	8,11	4,70	33	3,5	30,72	28,07	819	33,38	28,45
7	1	6,25	5,59	24,57	7,11	5,70	38	4	33,40	30,37	728	38,43	30,80
8	1,25	7,158	6,24	31,89	8,14	6,38	39	4	36,40	33,37	875	39,43	33,80
9	1,25	8,168	7,24	41,18	9,14	7,38	42	4,5	39,07	35,67	988	42,49	36,15
10	1,5	9,028	7,89	48,85	10,16	8,08	45	4,5	42,07	38,67	1174	45,49	38,15
12	1,75	10,88	9,54	71,44	12,19	9,73	48	5	44,75	40,98	1318	48,54	41,50
14	2	12,70	11,19	80,26	14,22	11,48	52	5	48,75	44,98	1558	52,54	45,50
16	2	14,70	13,19	157	16,22	13,48	56	5,5	52,42	48,20	1829	56,60	49,88
18	2,5	18,37	14,48	188	18,27	14,75	60	5,5	56,42	52,26	2145	60,60	52,88
20	2,5	18,37	15,48	213	20,27	16,75	64	6	60,10	55,58	2424	64,65	56,21
22	2,5	20,37	18,48	288	22,27	18,75	68	6	64,10	59,58	2788	68,65	60,21
24	3	22,05	19,78	307	24,32	20,10	72	6	68,10	63,58	3179	72,65	64,21
27	3	25,05	22,78	407	27,32	23,10	78	6	72,10	67,58	3584	76,65	68,21
30	3,5	27,72	25,07	484	30,38	25,68	80	6	78,10	71,58	4021	80,65	72,21

### ROSCA MÉTRICA FINA. Designación:

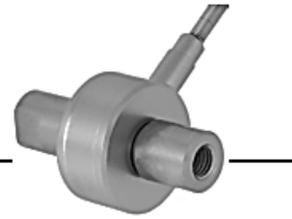
Tornillo hexagonal M 10.1.20. DIN933 - 5.6

d mm	p mm	d <sub>2</sub> mm	d <sub>1</sub> mm	Area mm <sup>2</sup>	D mm	D <sub>1</sub> mm	d mm	p mm	d <sub>2</sub> mm	d <sub>1</sub> mm	Area mm <sup>2</sup>	D mm	D <sub>1</sub> mm
1	0,2	0,870	0,72	0,41	1,02	0,74	18	1,6	15,02	13,89	152	18,16	14,05
1,2	0,2	1,070	0,87	0,66	1,22	0,94	10	1,6	17,92	16,89	108	18,16	16,05
1,4	0,2	1,270	1,12	0,95	1,42	1,14	20	1,5	19,02	17,89	251	20,16	18,05
1,7	0,2	1,670	1,42	1,56	1,72	1,44	22	1,5	21,02	19,89	311	22,16	20,05
2	0,25	1,828	1,65	2,13	2,03	1,88	24	2	22,70	21,18	359	24,22	21,40
2,3	0,25	2,138	1,85	2,98	2,33	1,94	27	2	25,70	24,19	459	27,22	24,40
2,6	0,35	2,373	2,11	3,48	2,64	2,15	30	2	28,70	27,19	580	30,22	27,40
3	0,35	2,773	2,51	4,94	3,04	2,55	33	2	31,70	30,19	718	33,22	30,40
3,5	0,35	3,273	3,01	7,10	3,54	3,05	36	3	34,05	31,78	783	36,32	32,10
4	0,5	3,675	3,30	8,53	4,06	3,35	39	3	37,05	34,78	850	38,32	35,10
4,5	0,5	4,175	3,80	11,32	4,56	3,85	42	3	40,05	37,78	1121	42,32	38,10
5	0,5	4,675	4,30	14,50	5,06	4,35	45	3	43,05	40,78	1308	45,32	41,10
6	0,75	5,513	4,94	19,20	6,08	5,03	48	3	48,05	43,78	1526	48,32	44,10
7	0,75	6,513	5,94	27,75	7,08	6,03	52	3	50,05	47,78	1793	52,32	48,10
8	1	7,350	6,68	34,14	8,11	6,70	56	4	53,40	50,37	1893	56,43	50,80
9	1	8,350	7,58	45,28	9,11	7,70	60	4	57,40	54,37	2322	60,43	54,80
10	1	9,350	8,58	57,89	10,11	8,70	64	4	61,40	58,37	2878	64,43	58,80
12	1,5	11,02	8,89	78,81	12,16	10,05	72	4	69,40	66,37	3450	72,43	66,80
14	1,5	13,02	11,89	111	14,16	12,05	80	4	77,40	74,37	4344	80,43	74,80

# Honeywell

## Model 34

### Precision Miniature Load Cell



## Model 34

### PERFORMANCE SPECIFICATIONS

Characteristic	Measure
Load ranges <sup>1</sup>	1000 g, 5 lb, 10 lb, 25 lb, 50 lb, 100 lb, 250 lb, 500 lb, 1000 lb
Linearity 1000 g to 250 lb	±0.15 % full scale
Linearity 500 lb to 1000 lb	±0.2 % full scale
Hysteresis 1000 g to 250 lb	±0.15 % full scale
Hysteresis 500 lb to 1000 lb	±0.2 % full scale
Non-repeatability 1000 g	±0.1 % full scale
Non-repeatability 5 lb to 1000 lb	±0.05 % full scale
Tolerance on output 1000 g	1.5 mWV (nominal)
Tolerance on output 5 lb to 1000 lb	2 mV/V
Operation	Tension/compression <sup>2</sup>
Resolution	Infinite

### ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

Characteristic	Measure
Temperature, operating	-53 °C to 121 °C [-65 °F to 250 °F]
Temperature, compensated	15 °C to 71 °C [60 °F to 160 °F]
Storage temperature	-73 °C to 148 °C [-100 °F to 300 °F]
Temperature effect, zero	0.005 % full scale/°F
Temperature effect, span	0.025 % full scale/°F

### ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Characteristic	Measure
Strain gage type	Bonded foil
Excitation (calibration) 1 kg to 10 lb	5 Vdc
Excitation (calibration) 25 lb to 1000 lb	10 Vdc
Insulation resistance	5000 Mohm @ 50 Vdc
Bridge resistance	350 ohm
Electrical termination (std) 1000 g to 10 lb	Teflon cable (1524 mm [5 ft]) with balance board
Electrical termination (std) 25 lb to 1000 lb	Teflon cable (1524 mm [5 ft])

### MECHANICAL SPECIFICATIONS

Characteristic	Measure
Maximum allowable load	150 % FS <sup>3</sup>
Weight	See table
Material	17-4 PH stainless steel
Deflection full scale	See table
Natural frequency	See table

### RANGE CODES

Range codes	Range
AR	1000 g
AT	5 lb
AV	10 lb
BL	25 lb
BN	50 lb
BR	100 lb
CN	250 lb
CR	500 lb
CV	1000 lb

### WIRING CODES

Cable	Unamplified
Red	(+) excitation
Black	(-) excitation
Green	(-) output
White	(+) output

### DEFLECTIONS AND RINGING FREQUENCIES

Capacity (lb)	Deflection at full scale (in)	Ringling frequency (Hz)	Weight (g)
1000 g to 10 lb	0.03 mm [0.001 in]	1000 Hz	40 g [0.09 lb]
25 lb to 100 lb	0.03 mm [0.001 in]	3000 Hz	80 g [0.18 lb]
250 lb to 1000 lb	0.05 mm [0.0015 in]	5000 Hz	100 g [0.22 lb]

# ABSOLUTE Digimatic Scale Units

## Horizontal single function type



Either Inch/Metric switching type or Metric type can be selected.

FUNCTION **ORIGIN** **ZERO** **HOLD** **M-SPC** **Z** **B**

### SPECIFICATIONS

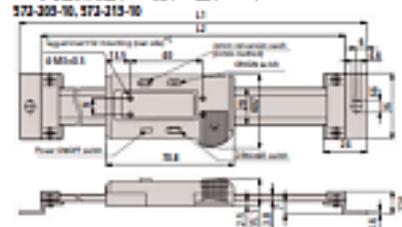
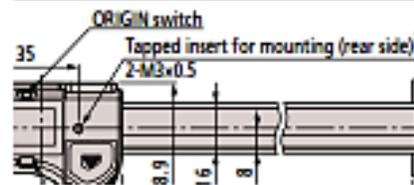
	Order No.	573-210-20	573-211-20	573-212-20	573-213-10
Inch / Metric	Range	0-4"	0-6"	0-8"	0-12"
	Accuracy**	0.01mm/0.01"	0.01mm/0.01"	0.01mm/0.01"	0.04mm/0.002"
Metric	Order No.	573-200-20	573-201-20	573-202-20	573-203-10
	Range	0-100mm	0-150mm	0-200mm	0-300mm
	Accuracy**	0.01mm	0.01mm	0.01mm	0.04mm
Dimensions	L1 / L2	209mm/185mm	259mm/235mm	311mm/287mm	444mm/420mm
	Mass	235g	255g	275g	230g

### COMMON SPECIFICATIONS

Resolution: 0.01mm or 0.0005"/0.01mm  
 Repeatability: 0.01mm or 0.0005"/0.01mm  
 Response speed: Unlimited\*\*  
 Length standard: ABSOLUTE electrostatic capacitance type linear encoder  
 Battery: SR44 (Type: SR44X)  
 Battery life: Approx. 1.5 years under normal use

### DIMENSIONS Unit:mm

573-200-20-573-203-20  
 573-210-20-573-213-20  
 mm conversion swch  
 (mm method) L2



## Vertical single function type



Either Inch/Metric switching type or Metric type can be selected.

FUNCTION **ORIGIN** **ZERO** **HOLD** **M-SPC** **Z** **B**

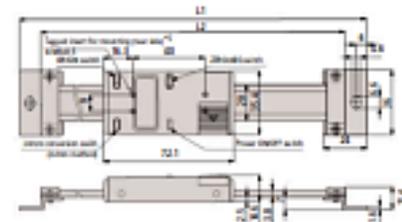
### SPECIFICATIONS

	Order No.	573-210-10	573-211-10	573-212-10	573-213-10
Inch / Metric	Range	0-4"	0-6"	0-8"	0-12"
	Accuracy**	0.01mm/0.01"	0.01mm/0.01"	0.01mm/0.01"	0.04mm/0.002"
Metric	Order No.	573-200-10	573-201-10	573-202-10	573-203-10
	Range	0-100mm	0-150mm	0-200mm	0-300mm
	Accuracy**	0.01mm	0.01mm	0.01mm	0.04mm
Dimensions	L1 / L2	244mm/220mm	294mm/270mm	344mm/320mm	444mm/420mm
	Mass	235g	255g	275g	230g

### COMMON SPECIFICATIONS

Resolution: 0.01mm or 0.0005"/0.01mm  
 Repeatability: 0.01mm or 0.0005"/0.01mm  
 Response speed: Unlimited\*\*  
 Length standard: ABSOLUTE electrostatic capacitance type linear encoder  
 Battery: SR44 (Type: SR44X)  
 Battery life: Approx. 1.5 years under normal use

### DIMENSIONS Unit:mm



### OPTIONAL ACCESSORIES

Hold switch



950743

Connecting cable with output switch



1m:950149  
 2m:950150

\*\*1 A hold switch (No. 950743, an optional accessory) is required. The output function cannot be used as the same time.

\*\*2 Connecting cables on page 3 and connecting cables with output switch (No. 950149 and No. 950150) can be used.

\*\*3 Not including quantizing error of circuit.

\*\*4 High slider speed does not cause data error. Position feedback and output data may not be used while the slider is moving.

\*\*5 Tapped insert (No. 950150C (Inch/Metric switching type) / 950150D (Metric type)). Tapped depth on the rear side of display unit under 2mm.

## HR Series – General Purpose LVDT



- High Reliability
- Large core-to-bore clearance
- Operating temperature up to 220°C (option)
- Stroke ranges from  $\pm 0.05$  to  $\pm 10$  inches
- AC operation from 400Hz to 5kHz
- Stainless steel housing
- Imperial or metric threaded core
- Many options and accessories

### DESCRIPTION

The HR Series general purpose LVDTs provide the optimum performance required for a majority of applications. The large 1/16 inch [1.6mm] bore-to-core radial clearance provides for ample installation misalignments and therefore reduces the application costs. Featuring a high output voltage and a broad operating frequency range, these versatile and highly reliable LVDTs deliver worry-free and precise position measurements.

Available in a variety of stroke ranges from  $\pm 0.05$  to  $\pm 10$  inches, the HR Series can be configured with a number of standard options including guided core, small diameter/low mass core and mild radiation resistance ( $10^{12}$  NVT total integrated flux;  $10^7$  rads Gamma). High temperature operation (+220°C) and high pressure (vented case) versions are also available (consult factory). The HR Series is compatible with the full line of Measurement Specialties LVDT signal conditioners.

Measurement Specialties, Inc. (NASDAQ MEAS) offers many other types of sensors and signal conditioners. Data sheets can be downloaded from our web site at: <http://www.meas-spec.com/datasheets.aspx>

MEAS acquired Schaevitz Sensors and the Schaevitz® trademark in 2000.

### FEATURES

- 0.25% linearity (100% stroke)
- Large 1/16" core-to-bore clearance
- Shock and vibration tolerant
- Electromagnetic/electrostatic shielding
- Mild radiation resistance (optional)
- Calibration certificate supplied with each unit

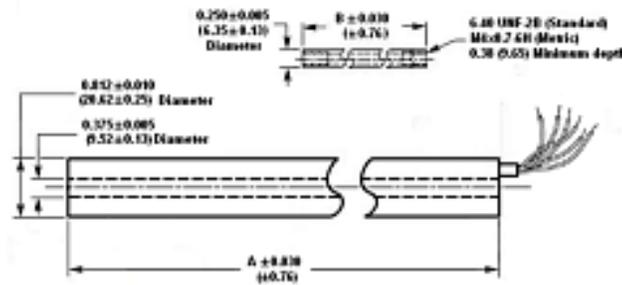
### APPLICATIONS

- Process control
- Factory automation
- Materials testing
- Metrology
- Applications with large misalignments
- General industrial

# HR Series – General Purpose LVDT

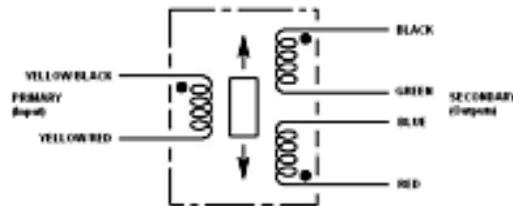
## MECHANICAL SPECIFICATIONS

	850 HR	100 HR	200 HR	300 HR	500 HR	1000 HR	2000 HR	3000 HR	4000 HR	5000 HR	7500 HR	10000 HR
Body length "A"	1.13 (29.7)	1.81 (46.0)	2.50 (63.5)	3.22 (81.8)	5.50 (139.7)	6.63 (168.4)	10.00 (254)	12.62 (320.6)	15.64 (397.3)	17.86 (454.2)	24.09 (611.6)	30.85 (783.6)
Cone length "B"	0.80 (20.3)	1.3 (33.0)	1.85 (47.0)	1.95 (49.5)	3.45 (87.6)	4.00 (101.6)	5.30 (134.6)	5.60 (142.2)	7.00 (177.8)	7.00 (177.8)	7.00 (177.8)	8.50 (215.9)
Body weight, oz/g	1.13 (32)	1.89 (53)	2.12 (60)	2.72 (77)	3.85 (108)	4.45 (126)	5.93 (168)	7.94 (225)	10.41 (295)	11.99 (340)	16.18 (458)	20.48 (580)
Cone weight, oz/g	0.14 (4)	0.21 (6)	0.25 (7)	0.35 (10)	0.64 (18)	0.74 (21)	0.95 (27)	0.99 (28)	1.27 (36)	1.27 (36)	1.27 (36)	1.52 (43)



Dimensions are in inches (mm)

## WIRING SCHEMATIC



Connect blue (BLU) to green (GRN) for differential output

## HR Series – General Purpose LVDT

### PERFORMANCE SPECIFICATIONS

ELECTRICAL SPECIFICATIONS												
Parameter	950 HR	180 HR	268 HR	358 HR	508 HR	1000 HR	2000 HR	3000 HR	4000 HR	5000 HR	7500 HR	10000 HR
Stroke range	±0.05 [±1.27]	±0.1 [±2.54]	±0.2 [±5.08]	±0.3 [±7.62]	±0.5 [±12.7]	±1 [±25.4]	±2 [±50.8]	±3 [±76.2]	±4 [±101.6]	±5 [±127]	±7.5 [±190.5]	±10 [±254]
Sensitivity mV/(0.001in [±0.025mm])	5.8 [228]	4.2 [165]	2.5 [98]	1.3 [51]	0.7 [28]	0.39 [15.3]	0.23 [9.1]	0.25 [9.8]	0.20 [7.9]	0.14 [5.5]	0.13 [5.1]	0.07 [2.8]
Output at stroke ends, mV/V (*)	290	420	500	390	350	390	460	750	800	700	975	700
Phase shift	-1	-5	-4	-11	-1	-3	-5	-11	-1	-3	-1	-5
Input impedance (PRIMARY)	4300	10700	11500	11000	4900	4900	3300	3150	2750	3100	2600	5500
Output impedance (SECONDARY)	40000	50000	40000	27000	3750	3200	3000	8300	4000	4000	9050	7500
Linearity	% FS (% of Full Scale), nominal band unless otherwise noted											
@ 50% stroke	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	/	0.15
@100% stroke (maximum band)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
@125% stroke	0.25	0.25	0.25	0.35	0.35	1.00	0.50**	0.50**	0.50**	1.00**	/	1.00**
@150% stroke	0.50	0.50	0.50	0.50	0.75	1.30**	1.00**	1.00**	1.00**	/	/	/
Input voltage	24Vrms sine wave											
Input freq. range	400Hz to 5kHz											
Test frequency	2.5kHz											
Null voltage (max)	0.5% FS(0% of Full Scale Output)											

ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS & MATERIALS	
Operating temperature	-65°F to +300°F [-55°C to 150°C]
Shock survival	1,000 g (11 ms half-sine)
Vibration tolerance	20 g up to 2KHz
Housing material	AISI 400 Series stainless steel
Lead-wire type/length	Six lead-wires, 28 AWG stranded Copper, PTFE insulated, 1 foot [0.3m] long

**Notes:**

Dimensions are in inch [mm]

All values are nominal unless otherwise noted

Electrical specifications are for the test frequency indicated in the table

FS: Full Scale is 2X for 1X stroke

FS(0): Full Scale Output is the output at X position for 1X stroke

\*\* Requires special reduced core length

(\*) Unit for output at stroke ends is millivolt per volt of excitation

## STEP MOTOR STANDARD SPECIFICATIONS

Specifications	Mini Size	8	11	14	14	17	17	17	23	23	23	23	34	34	34
Motor Family	208	211	2020	3218	418	4203	4018	3714	3003	3018	3023	3718	3018	3023	3718
Step Size Angle	1.8°	1.8°	0.9°	1.8°	0.9°	0.9°	0.9°	1.8°	0.45°	0.9°	1.8°	0.9°	1.8°	0.9°	1.8°
Rated Torque (mNm)	0.007* max @ 2 hrs load														
End Torque (mNm)	0.003* max @ 2 hrs load														
Start Torque (mNm)	0.002* TIR														
Concentricity of Mounting Hole to Shaft	0.002* TIR														
Perpendicularity of Shaft to Mounting Face	0.002* TIR														
Max. Radial Load at Dimension "K" (N)	4.3	3.0	0		0	0.02*	0		13	0		24	24	24	23
Storage Temperature (°C)	-20° to 100° C*														
Humidity Range (%)	85% or less, non-condensing														
Max. Axial Load (lb)	0.43	2.25	0		0	0.30*	0		13	0		22	22	22	23
Maximum Case Temperature (°C)	80°C maximum**														
Ambient Temperature (°C)	-20° to 50° C*														
Storage Temperature (°C)	-20° to 100° C*														
Humidity Range (%)	85% or less, non-condensing														
Max. Vibration	Class B 1.5g* C**														
Insulation Resistance	100MΩ at 500 VDC														
Dielectric Strength	500 VAC for 1 minute														
	500 VAC for 1 minute														

\* Special temp motors available upon request | \*\* Class F 155° C available upon request

### OPERATION & USAGE TIPS



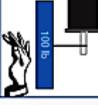
**Do not** disassemble motors; a significant reduction in motor performance will occur.



**Do not** machine static; this will have a negative effect on start-up and performance.



**Do not** disconnect motor from drive while in operation.



**Do not** use hot solder; use liquid heat-conducting paste or motor as a full-size PCB.



**Do not** hold motor by lead wires.

**FAILURE TO COMPLY WITH THESE RECOMMENDATIONS WILL VOID ALL WARRANTY TERMS**

**MORE INFORMATION AVAILABLE AT [WWW.LINENGINEERING.COM](http://WWW.LINENGINEERING.COM)**

## LIN ENGINEERING Step Motor Specialists

### STEP MOTOR START-UP GUIDE

This guide is intended to help users get started with Lin Engineering's step motors. For more complete information please visit [www.linengineering.com](http://www.linengineering.com)

#### PLEASE READ BEFORE USING

Only qualified personnel should handle this product. Before you start please ensure that there is a suitable DC power supply. A current limited lab supply is recommended for first time users to guard against the possibility of miswire.

#### DISCLAIMER

The information provided in this document is believed to be reliable. However, no responsibility is assumed for any possible inaccuracies or omissions. Specifications are subject to change without notice.

Lin Engineering reserves the right to make changes without further notice to any products herein to improve reliability, function, or design. Lin Engineering does not assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit described herein, neither does it convey any license under its patent rights, nor the rights of others.

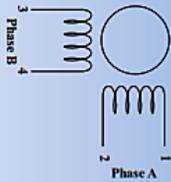
#### OPERATION AND USAGE TIPS

Failure to comply with these recommendations may lead to possible motor damage and will void all warranty terms.

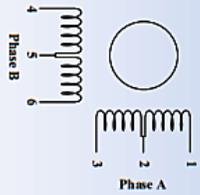
## LEAD WIRE COLOR CODE



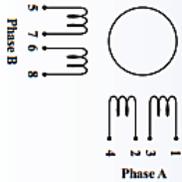
4 LEAD WIRES				
Color Code 1	Red	Blue	Green	Black
Color Code 2	Brown	Orange	Red	Yellow
Color Code 3	Red	White Stripes	Green	Green White Stripes
Bipolar Drive	A	A	B	B



6 LEAD WIRES					
Color Code 1	Red	White	Blue	Green	Black
Color Code 2	Brown	Black	Orange	Red	White
Color Code 3	Red	Black	Red White Stripes	Green	White Green White Stripes
Bipolar Drive	A	A	A	B	B
Half Coil Connection	A	A	A	B	B
Bipolar Drive Connection	A		A	B	B
Unipolar Drive	A	A/C Comm	C	B	B/D Comm



8 LEAD WIRES							
Color Code 1	Blue	Red	Blue	Red	Green	Black	Black
Color Code 2	Red	White Stripes	Red	White Stripes	Orange	Black	Black
Color Code 3	Red	Black	White Stripes	Red	White Stripes	Black	Black
Bipolar Drive	A	A	A	A	B	B	B
Half Coil Connection	A		A		B		B
Bipolar Drive Connection	A		A		B		B
Series Connection	A		A/C Comm		C	B	B/D Comm
Unipolar Drive	A		A/C Comm		C	B	B/D Comm



### CABLES & CONNECTORS

LIN Engineering step motors are available with either 2-coil Bipolar, or 4-coil Unipolar windings. Bipolar motors have 4 leads, while unipolar motors have 6 leads. Additionally, some motors are designed with 8 leads, so they may be connected in a variety of ways.

### CONNECTION INSTRUCTIONS

By following a series of easy steps, the below charts can be used to properly connect your motor to your drive.

Determine how many lead wires your motor has 4, 6, or 8 wires. Locate the proper box below.

Next, examine the color code of the lead wires on your motor; find the row of colors that match your wires, this is your "Color Code". You will have either Code 1, Code 2, or Code 3. For example, if you have 4 wires and the wires are Red, Blue, Green, and Black, your Color Code is 1.

Next, Connect the proper color to the appropriate terminal on your drive. If you have a Bipolar drive, the terminal on your drive will be labeled A, A, B, B.

For example, if using the above 4 wire motor with Color Code 1, the Red wire would be connected to A, Blue connected to A, Green connected to B, and Black connected to B. If you have a Unipolar drive, the terminal will be labeled A, B, C, D and A/C Common, B/D Common (or Comm).

#### Notes:

- Indicates that the particular wire is not connected to the drive.
- Indicates that two particular wires are connected to each other, but not the driver.
- Indicates that two particular wires are connected to each other, and then connected to the indicated terminal on the drive. In this example, two wires are connected together, then both wired to terminal A on the drive.

**LIN ENGINEERING**  
Step Motor Specialists 9001  
1580 Russell Avenue, Santa Clara, CA 95050  
Tel: 408 919 0200 Fax: 408 919 0201  
www.linengineering.com

# R710

## MICROSTEPPING DRIVER

### MAIN FEATURES:

- Voltage: +24 to 80VDC
- Current: 0.3 to 7.0 Amps Peak, using a resistor for limiting current
- Hold current: 33% of default (100% can be set via jumpers internally)
- Step resolution: 10 Microstep
- Speed: (step frequency: 200 kHz)
- Inputs: step pulses, direction change, disable/enable driver

### DETAILED FEATURES:

- Step frequency: 0 to 200 kHz
- Step pulse time on falling edge (0): 0.3 microseconds minimum ( $0.3 \times 10^{-6}$ )
- Step pulse time on rising edge (1): 4.0 microseconds minimum ( $4.0 \times 10^{-6}$ )
- Direction setup: 1 msec minimum (20 microseconds min hold time after step edge)
- Operating temperature: 0° to 70° C
- Humidity range: 0 to 95% (non-condensing)
- Power dissipation: 1 to 12 Watts (1 to 7 Amps)
- Adjustable trimpot:



The potentiometer shown on the board can be rotated using a screwdriver. It's recommended to rotate the motor at 0.25 FPS. Then to adjust the potentiometer until there is the least amount of vibration and noise coming out of the motor. This will be the position that the driver will perform smoothly with a given motor and power supply voltage.

The adjustment will alter the current waveform coming out of the driver and into the motor coils.

### ACCESSORIES:

- No accessories are needed for this product.
- Other units needed to run this: Power Supply, Function Generator, Step Motor, Resistors



### CONNECTION SPECIFICATIONS:

Current (Amps)	Resistance (Ohms)
1	8.2K
2	18K
3	36K
4	62K
5	120K
6	270K
7	Open

Pin #	Color
1	Power Ground
2	+24 to 80VDC
3	A Phase
4	A Bar Phase
5	B Phase
6	B Bar Phase
7	Disable Input
8	Direction Input
9	Step Input
10	+5 VDC
11	Current Set
12	Current Set



## POWER SUPPLY PW-150 SERIES

- Universal Input
- High Efficiency
- Built in PFC Circuit
- 3000 V Isolation
- Single Outputs

## OPTIONS

Model Number	Output Voltage	Output Current (max)	Min. Load
<b>Single Output</b>			
PW-100-24	24 VDC	4.5 A	0A
PW-100-48	48 VDC	2.25 A	0A

The optional Power Cord Cable is available. Please order using part number 082-00012 (Click on image to see the large view)



Line	Neutral	Ground
Black	White	Green

## DIMENSIONS



Input Specifications	
Input Voltage Range	85-264 VAC
Input Current :	3.15 A/ 115 VAC 1.5 A/ 230V
Frequency Range:	Range: 47-65 Hz
Inrush Current, typ:	Cold Start 30A/115 VAC
Leakage Current	≤1mA/ 240 VAC
Output Specifications	
Voltage and Current	See Selection Chart
Load Regulation (80%-FL)	±0.5 %
Line Regulation	±0.5%
Voltage Tolerance	±1.0%
Voltage Adjustment Range	2.16 ~ 28.4V 150mV/pp
Ripple/ Noise (max)	Shutdown; Re-power on
Over Voltage Protection	105 ~ 150%, Constant 1 Limit
Overload Protection	Auto Recovery 1s, 30ms at full load
Setup/ Rise/ Holdup (230 VAC)	
General Specifications	
Input-Out Isolation	1P-G/F: 300 VAC 1P-G/E: 1500 VAC O/F: 0.5KVAC
Isolation Resistance	500VDC/100 Ohm
1P-G/F, 1P-G/O/F-G/E	85% typ
Efficiency (1.5 V through 48V)	155 KHz, (fixed, typical)
Switching Frequency	
Safety	TUV #Ene9758434
EN60950	UL# E183223
UL1950	
Environmental Specifications	
Oper. Temperature	-10 ~ +60°C
Storage Temperature	-20 to +85°C
Relative Humidity	10% to 95%, non-cond *
Vibration	10 ~ 500Hz, 20.10min/ cycle, Period for 60 min. Each Axis
EMC	CISPR22 (EN55022)B, EN61000-4-2,3,5,6,8,11 EN50204
MTBF	EN61000-3-2,-3 314,900 Hrs
Physical Specifications	
Size	3.0" x 3.7" x 1.6"
Construction	Closed Frame
Weight	Weight 19.4 oz. (550g)

## 6-Slot PXI Chassis for Remote Control

### NI PXI-1036, NI PXI-1036DC

- 6-slot low-cost chassis for remote control applications
- Compact chassis accepts 1 or 2-slot wide embedded controllers
- AC and AC/DC power options
- Accepts both J1/PXI and CompactPCI modules

#### PXI-1036

- 300-W universal AC power supply
- Acoustic noise as low as 41 dBA
- Rugged, compact package accepts up to 5 peripheral modules

#### PXI-1036DC

- Combination AC and 11 to 30 VDC power supply
- Portable, DC-powered, real-time solution

#### Options

- Compatible with all PXI-103x family accessories
  - PXI-103x rack-mount kit
  - PXI-103x handle and feet kit
- DC power cord, customizable length up to 18 ft



### Overview

The National Instruments PXI-1036 and PXI-1036DC chassis are low-cost chassis designed for remote control applications. They offer five peripheral slots for modules in the same size package as the PXI-1031 and PXI-1031DC 4-slot compact chassis. The PXI-1036 and PXI-1036DC accept two more peripheral modules because they are designed to use up to a 2-slot embedded controller instead of a 4-slot controller like other National Instruments chassis.

### PXI-1036 and PXI-1036DC

The PXI-1036 chassis series works with all remote controllers from National Instruments, including MXI-4 and MXI-Express, for control from a PC. The PXI-1036 also accepts up to 2-slot embedded controllers, such as the PXI-9045 RT real-time controller, for a real-time compact, portable solution.

### Low-Cost PXI Remote Control System

The PXI-1036 6-slot chassis and the new MXI-Express remote controller kit lower the PXI setup cost per slot when compared to 4-slot PXI-1031 chassis and the MXI-4 kit. With this low-cost PXI entry point, engineers can control up to five PXI/CompactPCI modules across a remote link that offers 110 Mbits of sustained analog bandwidth – more than a 40 percent increase compared to MXI-4 PCI remote control of PXI.

### Lightweight, Portable Systems

With the same dimensions as the existing 4-slot PXI-1031 portable chassis, the NI PXI-1036 chassis adds two slots for PXI/CompactPCI modules by reducing the width allotted for and of an embedded controller. The compact, rugged, and portable chassis weighs less than 12 pounds and has a small footprint for portability. It features

an operating temperature range of 0 to 50 °C and shock and vibration of 30 g.

### Quiet Acoustic Emissions for Improved Development Environment

The PXI-1036 series offers an AUTONHIGH fan-speed selector that provides a HIGH fan setting to maximize cooling and AUTO fan setting to minimize acoustic emissions. When set in AUTO, the PXI-1036 and PXI-1036DC chassis monitor air intake temperature and adjust fan speed accordingly. Table 1 shows PXI-1036 Series acoustic emissions.

Acoustic Emissions		
Sound Pressure Level (SPL) (measured at operator interface)	PXI-1036	PXI-1036DC
1-m (3-ft) 1/3 octave	40.1	39.1
1/3 octave	39.1	38.1

Source: National Instruments, 2010.

Table 1. PXI-1036 Series Acoustic Emissions

### AC/DC-Powered PXI-1036DC Offers Portable, Flexible Solution

The PXI-1036 DC chassis offers a combined AC and DC power supply. This combination delivers the flexibility to develop an application with AC power at your desk or factory and then, without changing hardware, deploy to a DC-powered application. The PXI-1036DC accepts 11 to 30 VDC input. With the PXI-9045 real-time controller, this system becomes a compact, portable real-time solution that can operate in environments where AC power is not available.



# 6-Slot PXI Chassis for Remote Control

## Specifications

Complies with PXI Hardware Specifications Revision 2.2.  
 Supports modules compliant with CompactPCI and PCMB.

### Electrical

#### AC Input

Input voltage range	
PXI-1280	100 to 240 VAC
PXI-1280C	100 to 240 VAC or 242 VAC
Operating voltage range	
PXI-1280	90 to 260 VAC
PXI-1280C	90 to 267 VAC or 262 VAC
Input frequency	
PXI-1280	50/60 Hz
PXI-1280C	50 to 62 Hz
Input current rating	
PXI-1280	0 to 2.5 A
Operational position	
PXI-1280	0.2 A per in. power supply (no user-removable components inside chassis)
PXI-1280C	0.2 A per in. power supply (no user-removable components inside chassis)
Efficiency	
PXI-1280	>85% at full load, normal input voltage

\*The operating range is guaranteed by design.

#### DC Input - PXI-1280C

Input voltage range	
PXI-1280C	11 to 30 VDC
Input current rating	
PXI-1280C	30.0 maximum
Efficiency	
PXI-1280C	85% typical

#### DC Output

DC Current Capacity (Amps)	PXI-1280	PXI-1280C
Voltage	0 to 30 VDC	0 to 30 VDC
+3.3V	10 A	10 A
+5V	10 A	10 A
+12V	2 A	2 A
-12V	0.5 A	0.5 A

#### PXI-1280C Notes

- For DC-powered applications, and DC applications above 12.2 V input, the combined loading must not exceed 10.0 A.
- For DC-DC applications, the combined loading on the +3 and +5.2 VDC must not exceed 10.0 A.
- For DC-powered applications, at 0 VDC input the combined loading on +3, +5, +12, and -12 VDC must not exceed 10.0 A. At 12.2 VDC or higher input, the combined loading must not exceed 10.0 A.
- For DC applications, the output power is limited to 60 W above 0 VDC.
- National Instruments does not guarantee measurement accuracy for brief periods when switching between DC and DC input.

#### Low-Power Compliance

The PXI-1280 series is designed for portable applications and surpasses the power requirements outlined in the PXI specification for low-power chassis. These requirements are:

	+5V		+3.3V		+12V		-12V	
	System Max	Peripheral Max						
Total Required Current	6 A	2 A	6 A	2 A	0.5 A	0.5 A	0.25 A	0.25 A

Maximum Extension	PXI-1280	PXI-1280C
<b>Dynamic Power (Watt) (dB)</b>		
<b>Increased at maximum ambient</b>		
Static Test (25°C ambient)	40.7	45.6
Hot Test	49.1	54.0
<b>Dynamic Power (dB)</b>		
Static Test (25°C ambient)	47.8	54.2
Hot Test	57.5	63.2

\*Based on compliance with IEC 61010.

#### Climate Cooling

Permitted cooling capacity	20 W
Fan	80 W

### Environmental

Operating location	Indoor use
Chassis	1.00 m
Measurement Category	3
Pollution Degree	2

### Operating Environment

Operating temperature range	0 to 50°C (32 to 122°F) (tested in accordance with IEC 60068-2-1 and IEC 60068-2-2)
Relative humidity	10 to 90% noncondensing (tested in accordance with IEC 60068-2-3)

### Storage Environment

Operating temperature range	0 to 50°C (32 to 122°F) (tested in accordance with IEC 60068-2-1 and IEC 60068-2-2)
Relative humidity	0 to 95% noncondensing (tested in accordance with IEC 60068-2-3)

### Shock and Vibration

Operational shock	30 g peak, half sine, 11 ms pulse (tested in accordance with IEC 60068-2-27. Test profile developed in accordance with MIL-PRF-28500)
-------------------	---

### Acoustic Vibration

Operating	0 to 90 Hz, 0.2 g <sub>rms</sub>
Nonoperating	0 to 90 Hz, 2.0 g <sub>rms</sub>

(Tested in accordance with IEC 60068-2-64. Nonoperating test profile exceeds the requirements of MIL-PRF-28500, Class 1)

### Mechanical

Direct dimensions (standard chassis)	
Height	137 mm (5.39 in.)
Width	267 mm (10.51 in.)
Depth	273 mm (10.75 in.)
Weight	3 kg (7.05 lb)

Note: 137 mm (5.39 in.) is added to height when fan is installed.

### Safety

The PXI-1280/PXI-1280C chassis were evaluated using the criteria of IEC 60335-1 and meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 60335-1, IEC 60335-1
- UL 508D-1

IEC 60335-2-17a, IEC 60335-2-1

Note: For CE and other safety certifications, refer to the product label or visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

### Electromagnetic Compatibility

Emissions	EN 61010-1 Class B, or 10 mVCC for FA, above 1 GHz
Immunity	EN 61010-1, IEC 61010-1, IEC 61010-2-100
EMC/ESD	CE, FCC Part 15, and FCC Part 18 Class B Compliant

Note: For EMC compliance, operate the chassis with shielded cabling. In addition, you must install all screws and filler panels.

### CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking activities.

Low Voltage Directive (LVD) 2006/95/EC

Electromagnetic Compatibility Directive (EMC) 2004/108/EC

Note: Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

### Disinfection

PXI-1280 series hardware is CE and FCC compliant.

---

## BNC-2090A Overview

This user manual contains in-depth information about using the National Instruments BNC-2090A.

The BNC-2090A is a desktop or rack-mount analog breakout accessory you can connect to E/M Series multifunction DAQ devices<sup>1</sup>. The BNC-2090A has the following features:

- 16 analog input (AI) BNC connectors for eight differential or 16 single-ended channels
- Two analog output (AO) BNC connectors
- Two user-defined BNC connectors
- One APFI BNC connector
- One PFI BNC connector
- Spring terminal block for digital input/output (DIO) and Programmable Function Interface (PFI) connections
- Silkscreened component locations for resistors and capacitors for building single-pole highpass and lowpass filters and voltage dividers
- Two 68-pin input/output (LIO) connectors for DAQ device connection

Refer to the *BNC-2090A Quick Start Guide* for basic installation and signal connection instructions.

Figure 1-1 shows the front panel and enclosure back of the BNC-2090A.

---

<sup>1</sup> You can also use the BNC-2090A with PCI-6013 and PCI-6014 B Series devices.

# A

---

## Specifications

This appendix lists the specifications of the BNC-2090A. These specifications are typical at 25 °C unless otherwise specified.

### Analog Input

Channels.....	8 differential (default), 16 single-ended
Field connections .....	16 BNC connectors
Signal conditioning .....	7 component positions per differential channel

### Analog Output

Channels.....	2 single-ended
Field connections .....	2 BNC connectors for AO, 1 BNC connector for APFI 0 input
Signal conditioning .....	2 component positions per output channel

### Digital Input and Output

Channels.....	8 digital I/O, 16 PFI
Field connections .....	1 BNC connector for PFI 0, 2 BNC connectors for user-defined, spring terminals for all other digital I/O and PFI
Signal conditioning .....	2 component positions per output channel

## Power Requirement

+5 VDC ( $\pm 5\%$ ) provided by DAQ device	
Typical power consumed by BNC-2090A.....	10 mA
Maximum power available at +5 V spring terminal.....	1 A (fuse-limited by host DAQ device)

## Physical

Dimensions .....	4.39 × 48.26 × 9.7 cm (1.73 × 19 × 3.82 in.)
Weight .....	700 g (24.69 oz)
I/O connector .....	Two 68-position male connectors
BNC connectors.....	22
Spring terminal block .....	29 positions

## Environment

The BNC-2090A is intended for indoor use only.

Operating temperature .....	0 to 70 °C
Storage temperature.....	-55 to 125 °C
Relative humidity .....	5 to 90% RH, noncondensing
Pollution Degree (indoor use only) .....	2
Maximum Altitude .....	2,000 m

## Safety

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1

# Universal Motion Interfaces

## NI UMI-7764, NI UMI-7774, NI UMI-7772

- 4 and 2-axis universal motion wiring interfaces with single cable connection from motion controller
- Per-axis motion signal breakout
- Screw terminal connectors for encoder, limit, motion I/O, and motor driver signals
- Host bus +5 VDC monitor with built-in driver inhibit control
- Connectivity for third-party drive and motion components
- Encoder rates of 20 MHz

## NI UMI-7774, NI UMI-7772

- Tailored for industrial applications
- Per-axis D-Sub connectivity
- Debated signals
- 4 and 2-axis versions
- 24 V I/O



## Overview and Applications

For connectivity to third-party power drives, use a National Instruments UMI interface. These products provide a comprehensive wiring and connection point for motion control and feedback signals. A single cable from the motion controller to the UMI carries input and output signals for all axes. By dividing these signals into per-axis and function-specific connections, the UMI interface simplifies integration of third-party drivers, amplifiers, encoders, limits, and I/O with NI controllers. Each UMI works with up to 20 MHz quadrature encoder rates.

Each UMI incorporates a host PC power monitor that inhibits the motion driver if the host PC loses power during motion control. The UMI monitors the +5 VDC from the PC and activates the inhibit signals if the voltage falls out of tolerance.

## Features

Enhanced motion-specific features set the UMI apart from simple connector-only screw terminal blocks. Compatibility with both TTL and differential encoders, input filtering, host-PC power monitoring, onboard inhibit functionality, and compact size make the UMI the ideal motion interface solution. The result is simplified wiring to third-party amplifier/driver and motor components. Refer to [ni.com/motion](http://ni.com/motion) for integrated amplifier, power supply, and connectivity solutions.

Some signals have compatibility defined as signal pass-through, which means the UMI may have passive filtering on these signals but voltage range or current handling capabilities are not affected. Consult your motion controller specifications to determine the allowable voltage range and logic level compatibility of the signal.

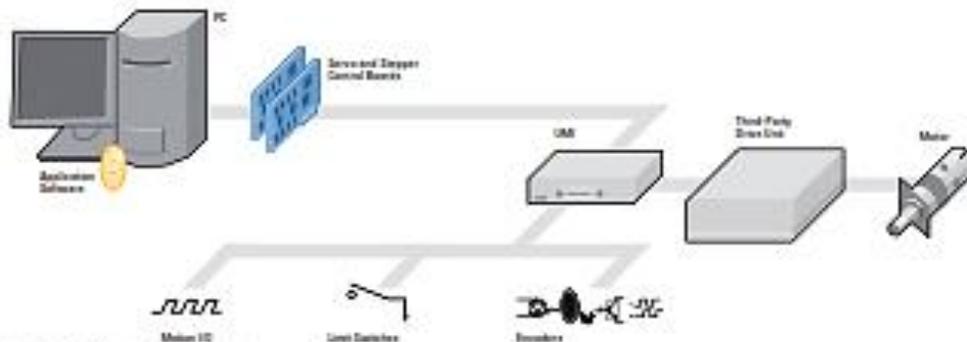


Figure 1. Typical Motor System Components



# Universal Motion Interfaces

## Connecting to Motor Drives

When interfacing to a third-party power drive and motor, it is important to consider the amount of current to drive the motor and the connectivity to a motor drive. National Instruments provides a wide selection of options for interfacing to motors. You can interface to 2-phase stepper motors with 4 A peak current using National Instruments power drives. In addition, you can interface to 5-phase stepper motors and other stepper motors outside the range of NI MID Series drives using National Instruments UMI interfaces. For DC-brush servo motors that need up to 10 A peak current, you can use National Instruments power drives and controllers. For DC brushless, AC, and other types of servo motors outside the range of

NI MID Series drives, an NI UMI interface simplifies connections to the motor and controller.

### Ordering Information

NI UMI-7764 (4-axis)	777676-02
NI UMI-7774 (4-axis)	778556-01
NI UMI-7772 (2-axis)	778556-01
Cable	
SST 68-CB8-5 cable	186361-02

### BUY ONLINE!

Visit [ni.com/lab](http://ni.com/lab) and enter am7764.

## Specifications

### UMI-7764

#### Encoder Interface (axis unit)

Axis	4
Inputs	Quadrature (incremental)
Differential input threshold	40 V (typical)
Single-ended input threshold	7 V (CMOS)
Range	0 to 5 VDC
Max. filter (RC time constant)	100 ns
Maximum quadrature frequency	20 MHz
Compatibility	Signal/pulse through

#### Trigger Inputs

Max. filter (RC time constant)	100 ns
Compatibility	Signal/pulse through

#### Inhibit and Inhibit All Inputs

Voltage range	0 to 5 VDC
Input voltage threshold	7 V (CMOS)
Input pull-up resistor	3.3 k $\Omega$

#### Analog Inputs

Max. filter (RC time constant)	10 $\mu$ s
Compatibility	Signal/pulse through

#### Axis Inhibit Out

Range	0 to 5 VDC
Output low voltage	0.4 V at 10 mA
Output high voltage	2.4 V at 10 mA

#### Power Requirements

±VDC	200 mA, ± user-defined (controller and load power)
------	--

#### Hot Bus Voltage Interlock

Voltage	4 VDC
---------	-------

#### Physical

Dimensions	10.1 by 14.2 by 4.6 cm (4.0 by 5.6 by 1.8 in.)
------------	--

#### Environment

Operating temperature	0 to 50 °C
Storage temperature	-20 to 70 °C
Relative humidity	10 to 90% (noncondensing)

### UMI-7774, UMI-7772

#### Encoder Interface

Axis	2
USB 0/1 <sup>0</sup>	4
USB 0/1 <sup>1</sup>	2
Inputs	Quadrature (incremental)
Differential input threshold	± 0.5 V (typical)
Input Voltage Range	0 to 5 VDC
Single-ended input threshold	Differential only
Maximum quadrature frequency	20 MHz
Encoder Phase	± 90°

#### Trigger Inputs

Type	Optically isolated, sinking input
Input Voltage Range	0 to 30 VDC
Protection	Discreet and reverse polarity

#### Inhibit and Inhibit All Inputs

Type	Optically isolated, sinking input
Voltage range	0 to 30 VDC

#### Input Voltage Threshold

OH	± 0.5 VDC
OL	± 0.5 VDC

Protection: Discreet and reverse polarity

#### Shielding Inputs

Protection	Pass through
------------	--------------

#### Axis Inhibit Out

Type	Optically isolated, sinking output
Range	0 to 30 VDC
Hot Bus Voltage Interlock	Inhibits all axes if controller power not present
Protection	Short circuit and overcurrent

#### General Purpose I/O

Inputs	8, optically isolated, current sinking
Outputs	8, optically isolated, current sourcing
Protection	Yes

#### Step/Direction/Breakpoint Outputs

Type	Signal/pulse through
------	----------------------

#### Power Requirements

±VDC (± 10%)	200 mA (plus optional 0 to 30 VDC power for isolated user-defined I/O)
--------------	--

#### Physical

Dimensions	20 by 10.1 by 2.2 cm (7.9 by 4.0 by 0.9 in.)
------------	--

#### Environment

Operating temperature	0 to 50 °C
Storage temperature	-20 to 70 °C
Relative humidity	10 to 90% (noncondensing)

#### Shock and Vibration

Operating Shock <sup>1</sup>	30 g, 11 ms half sine, 3 events
Operating Vibration (random) <sup>2</sup>	1 <sub>rms</sub> , 10 to 500 Hz at 0.01 g/rms
Operating Vibration (sinusoidal) <sup>3</sup>	1 g, 10 to 600 Hz

<sup>1</sup>Typical measured

---

## Introduction

This chapter includes information about the features of the National Instruments PXI/PCI-7350 controller and information about operating the device.

---

### About the NI 7350 Controller

---

The NI 7350 controller features advanced motion control with easy-to-use software tools and add-on motion VI libraries for use with LabVIEW.

#### Features

The NI 7350 controller is a combination servo and stepper motor controller for PXI, CompactPCI, and PCI bus computers. It provides fully-programmable motion control for up to eight independent axes of motion. Coordinated motion is supported through multi-dimensional coordinate spaces. Each axis provides dedicated motion I/O for limit and home switches and additional I/O for general-purpose functions.

You can use the NI 7350 controller for point-to-point and straight-line vector moves. The NI 7350 also performs arbitrary and complex motion trajectories through circular interpolation and contouring.

Servo axes can control DC brushed or brushless servo motors, servo hydraulics, servo valves, and other servo devices, such as closed-loop piezo motor systems. Servo axes always operate in closed-loop mode. These axes use quadrature encoders or analog inputs for position and velocity feedback and provide analog command outputs with an industry-standard range of  $\pm 10$  V.

Stepper axes control stepper motors in either open or closed-loop mode. They use quadrature encoders or analog inputs for position feedback (closed-loop only), and provide step/direction or clockwise (CW)/counterclockwise (CCW) digital command outputs. All stepper axes support full, half, and microstepping applications.

## Specifications

This appendix lists the hardware and software performance specifications for the PXI/PCI-7350 controller. Hardware specifications are typical at 25 °C, unless otherwise stated.

### Servo Performance

PID update rate range.....	62.5µs/sample to 5 ms/sample
Max PID update rate .....	62.5 µs per 2 axes
8-axis PID update rate.....	250 µs total
Trajectory update rate .....	Same as PID update rate
Multi-axis synchronization .....	<1 update sample
Position accuracy	
Encoder feedback.....	±1 quadrature count
Analog feedback .....	±1 LSB
Double-buffered trajectory parameters	
Absolute position range .....	±2 <sup>31</sup> counts
Max relative move size .....	±2 <sup>31</sup> counts
Velocity range.....	1 to ±20,000,000 counts/s
RPM range <sup>1</sup> .....	±1,200,000 revolutions/min
Acceleration/deceleration <sup>2</sup> .....	244 to 512,000,000 counts/s <sup>2</sup> at a PID update rate of 250 µs
RPS/s range <sup>1</sup> .....	±256,000 revolutions/s <sup>2</sup>
S-Curve time range .....	1 to 32,767 samples
Following error range .....	0 to 32,767 counts
Gear ratio .....	±32,767:1 to ±1:32,767

<sup>1</sup> Assumes a 2,000-count encoder.

<sup>2</sup> Refer to the *NJ-Motion User Manual* for more information.

## PC Control of PXI (MXI-4)

NI PXI-PC18331, NI PCI-8331, NI PXI-8331  
NI PXI-PC18336, NI PCI-8336, NI PXI-8336

- Multichassis configurations for PXI and CompactPCI
- MXI-4 link performance
  - 152 Mbytes/s peak
  - 78 Mbytes/s sustained
- Fiber-optic or copper cabling
  - Low cost with copper
  - Electrical isolation and long-range with fiber-optic
- Rugged connectivity
- Error checking and retransmission
- Support for 3.3 V and 5 V PCI

NEW



### Overview

The National Instruments PXI-PC18331 interface kits give PCs direct control of PXI systems using MXI-4 technology. You can also use NI PXI-8331 and NI PXI-8336 modules for linking multiple PXI chassis. MXI-4 is a high-bandwidth link that is transparent to software applications and drivers, therefore providing the ability to use high-performance desktop computers or servers to control PXI systems.

### Hardware

#### PC Control of PXI

With a MXI-4 link, you can transparently control a PXI system from any PCI slot, so high-performance desktop computers or servers can control PXI systems. Because PXI is based on the industry-standard PCI bus, MXI-4 provides a transparent link where all PXI modules appear to the user as if they were PCI boards within the computer itself. However, you benefit from the increased number of slots, power and cooling per slot, module selection, and synchronization features provided by PXI. Additionally, with fiber-optic MXI-4 you can electrically isolate your PXI measurement hardware from the PC with extended length cabling up to 200 m.

The MXI-4 link consists of a PCI-8331 (copper) or PCI-8336 (fiber-optic) board in the PC, connected via the appropriate cable to a PXI-8331 (copper) or PXI-8336 (fiber-optic) module in slot 1 of a PXI chassis. For convenience, you can purchase either a complete MXI-4 kit with all necessary components, or purchase the PCI board, PXI module, and cable separately.

#### Multichassis PXI Systems

MXI-4 can be used to connect multiple PXI chassis in a star or daisy-chain configuration within a single system. To connect two PXI chassis together with MXI-4, install a PXI-8331 (copper) or PXI-8336 (fiber-optic) module into any peripheral slot of the master chassis. Connect with the appropriate cable to a second PXI-8331 or PXI-8336 in slot 1 of the slave chassis. For more information on the possible star and daisy-chain topologies, please see the MXI-4 User Manual.

#### MXI-4 Technology

MXI-4 operates as a PCI-to-PCI bridge that achieves software and hardware transparency and high performance. MXI-4 builds on the standard PCI-to-PCI bridge architecture by splitting the bridge into two halves connected by a 1.5 Gb/s serial link. Additionally, you can create multiple-chassis PXI systems using multiple MXI-4 links. The PCI specification allows up to 255 buses to be connected in a system via PCI-to-PCI bridges such as MXI-4.

MXI-4 is an evolution of MXI-3. MXI-4 improves on MXI-3 by supporting both 3.3 V and 5 V PCI signaling environments, error checking and retransmission on the serial link for greater reliability in electrically noisy or harsh environments, and industrially rugged connectors.



## PC Control of PXI (MXI-4)

### Ordering Information

For online configuration of a complete PXI system, including chassis, modules, and all accessories, visit [ni.com/paidriver](http://ni.com/paidriver).

<b>MXI-4 Kits for PCI CompactPCI</b>	
NI PXI-PCI8331 with 3 m copper cable	778640-03
NI PXI-PCI8336 with 30 m fiber-optic cable (included)	778641-10

(Kit includes one PCI-MXI-4 board (PCI-8331), one PXI 8034 module (PXI-8331), module, and one cable.)

#### PCI MXI-4 Modules + Modules

NI PXI-8331 (copper)	778935-01
NI PXI-8336 (fiber-optic)	778937-01

#### PCI MXI-4 Modules + Boards

NI PCI-8331 (copper)	778936-01
NI PCI-8336 (fiber-optic)	778938-01

#### MXI-4 Cables

<b>Copper</b>	
3 m	190957-03
5 m	190957-05
10 m	190957-10

#### Fiber-optic

10 m	778939-10
30 m	778939-30
200 m	778939-200

### BUY ONLINE!

Visit [ni.com/lab](http://ni.com/lab) and enter `pxi-pci8331`.

## Specifications

### Power Requirements

Vols	Current (A)†			
	Typical PCI-8331, PXI-8336	Maximum PCI-8331, PXI-8336	Typical PXI-8336, PXI-8336	Maximum PXI-8336, PXI-8336
+5V	0.35	0.30	0.30	0.4
-1.5	1.5	1.7	1.5	1.7

### Physical

<b>Dimensions</b>	
PXI-8331/6	10.7 by 17.3 cm (4.2 by 6.8 in.)
PXI-8336/6	22 mm (0.87 in.) wide, 10.7 by 17.3 cm (4.2 by 6.8 in.)
Die requirements	One 2.075 V system controller die or peripheral die
<b>Maximum cable lengths</b>	
33Ω (copper)	10 m
83Ω (fiber)	200 m
<b>Compatibility</b>	Fully compatible with PXI hardware
	Specifications 2.1 and the PCI
	Specifications 2.2

### Operating Environment

<b>Temperature</b>	0 to 50 °C (tested in accordance with IEC 60068-2-7 and IEC 60068-2-2)
<b>Relative humidity</b>	0 to 95% (tested in accordance with IEC 60068-2-33)

### Storage Environment

<b>Temperature</b>	-20 to 70 °C (tested in accordance with IEC 60068-2-1 and IEC 60068-2-2)
<b>Relative humidity</b>	5 to 95% noncondensing (tested in accordance with IEC 60068-2-33)

### Shock and Vibration

<b>Operational Shock</b>	30 g peak, half sine, 11 ms pulse (tested in accordance with IEC 60068-2-27)
<b>Test profile</b>	developed in accordance with IEC 60068-2-27

### Random Vibration

<b>Operating</b>	1 to 200 Hz, 0.1 g <sub>rms</sub>
<b>Nonoperating</b>	1 to 200 Hz, 2.5 g <sub>rms</sub>
† Tested in accordance with IEC 60068-2-64. Temperature profile exceeds the requirements of IEC 60068-2-33, Class 1.	

\*Specifications subject to change without notice.

Note: For full EMC compliance, you must operate this device with shielded cabling. In addition, all users and their panels must be installed fully in the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit Declaration of Conformity at [www.ni.com/doc](http://www.ni.com/doc). This Web site lists the DoCs by product family. Select the appropriate product family followed by your product, and a list of the DoCs appears in table format format. Click the DoC link to download or read the DoC.



Ventas  
México  
01 800 010 0793  
info.mexico@ni.com

## NI PXI-6281

18 Bits, 500 kS/s (Multicanal), 625 kS/s (Monocanal)

- 18 entradas analógicas; filtros pasabajo programables de 40 kHz
- Dos salidas analógicas de 16 bits (2.0 MS/s), 24 E/S digitales, dos contadores de 32 bits a 80 MHz
- DIO correlacionadas (9 líneas sincronizadas, 10 MHz), disparo analógico y digital
- La tecnología de calibración NI-MCal proporciona una mayor precisión
- Software controlador NI-DAQmx y software interactivo NI LabVIEW SignalExpress LE para registro de datos



### Información General

La NI PXI-6281 es un módulo de adquisición de datos (DAQ) multifunción de alta precisión de la Serie M optimizada para precisión de entrada analógica de 18 bits. Esta resolución equivale a 516 dígitos en mediciones de corriente directa. Para garantizar la precisión, se ha optimizado la tecnología del amplificador NI-PGA 2 para obtener alta linealidad y asentamiento rápido en 18 bits, y los filtros paso bajo programables rechazan el ruido de alta frecuencia y evitan las frecuencias falsas (alias). Las tarjetas de gran precisión de la Serie M tienen desfasos programables y referencias en los canales de salida analógica para alcanzar una resolución máxima de 18 bits en cualquier señal personalizada. Son ideales para aplicaciones que incluyen pruebas y caracterización de dispositivos y para medidas de sensores y señales que requieren precisión propia de un instrumento. Para descargar el certificado de certificación para un dispositivo en particular, visite [ni.com/calibration](http://ni.com/calibration), seleccione "Generar una copia de su calibración actual" y proporcione el número de serie del dispositivo DAQ.

#### Software Controlador

Los dispositivos de la Serie M funcionan con múltiples SOs usando tres opciones de software controlador: NI-DAQmx, NI-DAQmx Base y el Hardware de Medida DDX. Busque la información en la sección de Recursos para aprender más sobre el software controlador o para descargar un controlador. Los dispositivos de la Serie M no son compatibles con el controlador Tradicional NI-DAQ (Legacy).

#### Entornos de Desarrollo de Aplicaciones

Con NI LabVIEW usted puede crear aplicaciones de adquisición de datos personalizadas con la facilidad de la programación gráfica de más de 500 funciones de análisis y herramientas de programación avanzadas. Los Sistemas de Desarrollo Completo y Profesional de LabVIEW incluyen LabVIEW SignalExpress para registro de datos interactivo. Los dispositivos DAQ de la Serie M son compatibles con las siguientes versiones (o posteriores) de aplicación de software de NI: LabVIEW 7.x, LabWindows™/CVI 7.x o Measurement Studio 7.x; LabVIEW SignalExpress 1.x o LabVIEW con el Módulo LabVIEW Real-Time 7.1. Estos dispositivos también son compatibles con Visual Studio .NET, ANSI C/C++ y Visual Basic 6.0.

La marca LabWindows se usa bajo una licencia de Microsoft Corporation. Windows es una marca registrada de Microsoft Corporation en Estados Unidos y otros países.

### Especificaciones

#### Documentos con Especificaciones

- Especificaciones
- Hoja de Especificaciones

#### Resumen de Especificaciones

General

Rango de Voltaje Mínimo	-100 mV , 100 mV
Mínima Precisión del Rango de Voltaje	20 $\mu$ V
Mínima Sensibilidad del Rango de Voltaje	0.8 $\mu$ V
Número de Rangos	7
Muestreo Simultáneo	No
Memoria Interna	4096 muestras
<b>Salida Analógica</b>	
Canales	2
Resolución	16 bits
Máx. Voltaje de Entrada Analógica	10 V
Rango de Voltaje Máximo	-10 V , 10 V
Precisión Máxima del Rango de Voltaje	1540 $\mu$ V
Rango de Voltaje Mínimo	-1 V , 1 V
Mínima Precisión del Rango de Voltaje	250 $\mu$ V
Razón de Actualización	2.66 MS/s
Capacidad de Corriente Simple	5 mA
<b>I/O Digital</b>	
Canales Bidireccionales	24
Canales de Entrada Únicamente	0
Canales de Salida Únicamente	0
Temporización	Software , Hardware
Líneas Sincronizadas	8
Máximo Rango de Tiempo	10 MHz
Niveles Lógicos	TTL
Entrada de Flujo de Corriente	Sinking , Sourcing
Salida de Flujo de Corriente	Sinking , Sourcing
Filtros de Entrada Programables	SI
¿Soporta Estados de Encendido Programables?	SI
Capacidad de Corriente Simple	24 mA