



# **UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE TRACCIÓN BAJO LAS NORMAS  
ASTM-D638 E ISO 527-4, CON CAPACIDAD DE 10 KN**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
MECATRÓNICA**

**EDUARDO PAUL URRESTA PALACIOS**

**DIRECTOR: ING. JONATHAN CASTRO, M.Sc**

**D. M. Quito,**

**2022**

## **DECLARACIÓN**

Yo Eduardo Paul Urresta Palacios, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que se ha investigado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Internacional del Ecuador, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por normativa institucional vigente.

---

**Eduardo Paul Urresta Palacios**

**C.I. 0401750088**

## **CERTIFICACIÓN**

El docente de la Facultad de Ciencias Técnicas, escuela de Ingeniería Mecatrónica Ingeniero Jonathan Fernando Castro Revelo encargado de la revisión del documento final,

### **CERTIFICA QUE:**

El proyecto de investigación denominado “Diseño de una máquina de tracción bajo las normas ASTM-D638 e ISO 527-4, con capacidad 10 KN”, fue desarrollado por el Sr. Eduardo Paul Urresta Palacios y ha sido debidamente revisado y está en condiciones de ser entregado para que siga lo dispuesto por la Carrera de Ingeniería Mecatrónica, correspondiente a la sustentación y defensa del mismo.

---

**Ing. JONATHAN CASTRO, M.Sc**

**DIRECTOR DE PROYECTO**

*Dedico a mis padres y hermanos por su motivación y apoyo incondicional.*



## **Agradecimientos**

Agradezco a toda la comunidad que integra la Universidad Internacional del Ecuador quienes son la guía y apoyo de todos los estudiantes de la misma, personalmente de manera especial al Ing. Ramiro Brito Director de la Facultad de Ciencias Técnicas, escuela de Ingeniería Mecatrónica, al Ing. Jonathan Castro director del proyecto de titulación, personas de las cuales me llevo mi mayor admiración por su conocimiento científico, calidad y calidez personal.

A mis padres, Felipe y Flor por nunca dejar de apoyarme a lo largo de mi vida, no dejarme rendir, siendo ejemplo de sacrificio, perseverancia y demás cualidez para salir adelante de manera personal y profesional, por todo su amor y comprensión.

A mis hermanos, Luis y Marco quienes han sido fuente de sabiduría y un apoyo incondicional a la largo de mi vida quienes por la diferencia de edad muchas veces jugaron un rol como padres en la vida estudiantil y personal.

A mi familia, quienes están a mi lado en cada una de las circunstancias de la vida, de manera especial a mi abuelo Bolivar Palacios quién estaría orgulloso de vivir este momento a mi lado, a mis tíos y tías Kleber, Galuth, Silvana, etc que siempre han sido un hogar más para cada miembro de la familia, a mis cuñadas Evelyn y Carolina, a mi sobrino Joaquín quien con una simple sonrisa o locura hace que se desvanezcan por un momento las adversidades.

De manera especial a María Belén Lucero mi novia quién ha sido mi compañera de vida, de momentos buenos y malos, por ser el apoyo incondicional a lo largo de mi vida universitaria.

No menos importantes a los miembros de la empresa IMPOURRESTA S.A quienes siempre estuvieron prestos a ayudar cuando más se los necesitaba.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	Tema . . . . .	1
2.	Objetivos . . . . .	1
2.1.	General . . . . .	1
2.2.	Específicos . . . . .	1
3.	Problema . . . . .	1
4.	Hipótesis . . . . .	2
5.	Tracción bajo las normativas ASTM-D638 e ISO 527-4 (segunda edición año 2014) . . . . .	2
5.1.	Máquinas de ensayos de tracción . . . . .	2
5.2.	Norma ASTM D-638 . . . . .	2
5.3.	ISO 527-4 . . . . .	4
5.4.	Comparación de normas . . . . .	4
6.	Caracterización de máquinas de tracción desarrolladas hasta la actualidad .	9
7.	Diseño Mecatrónico . . . . .	16
7.1.	Cálculo de la estructura mecánica . . . . .	17
8.	Selección de componentes mecánicos . . . . .	48
9.	Dimensionamiento electrónico . . . . .	54
9.1.	Selección del módulo de control . . . . .	54
9.2.	Selección de módulo de interfaz . . . . .	57
9.3.	Selección de driver del motor . . . . .	58
9.4.	Elemento de medición . . . . .	59
9.5.	Elementos de comunicación . . . . .	60
9.6.	Elementos de sujeción . . . . .	61
9.7.	Fuente de poder . . . . .	61
10.	Interfaz y programación . . . . .	64
10.1.	Interfaz . . . . .	64
10.2.	Programación . . . . .	67
11.	Construcción y Pruebas de Funcionamiento . . . . .	69

11.1. Construcción . . . . .	69
11.2. Pruebas de funcionamiento . . . . .	72
11.3. Calibración de la máquina . . . . .	75
12. Conclusiones . . . . .	81
13. Recomendaciones . . . . .	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

1. Estructura de la máquina con cuatro columnas. . . . .	16
2. Chasis de la máquina. . . . .	17
3. Viga secundaria tipo C. . . . .	18
4. (a) Vista lateral de la viga, (b) Diagrama de cuerpo libre de la viga, c) Diagrama de fuerzas cortantes. . . . .	18
5. Soporte tornillos de potencia. . . . .	21
6. (a) Vista Frontal, (b) Diagrama de cuerpo libre, (c) Diagrama de momentos. . . . .	21
7. Viga Principal . . . . .	25
8. (a) Vista Lateral, (b) Diagrama de cuerpo libre, (c) Diagrama de fuerzas cortantes. . . . .	25
9. (a) Columna Inferior, (b) Vista Frontal, (c) Vista Superior. . . . .	28
10. (a) Columna Superior, (b) Vista Frontal, (c) Vista Superior. . . . .	31
11. Soporte Celda de Carga . . . . .	33
12. (a) Vista Frontal, (b) Diagrama de cuerpo Libre, (c) Diagrama de fuerzas cortantes, (d) Momento momentos flectores. . . . .	33
13. Cuerpo Móvil . . . . .	35
14. a) Vista frontal cuerpo móvil, b) Diagrama de cuerpo libre, c) Diagrama de momentos . . . . .	36
15. Viga secundaria tipo C disposición de cargas . . . . .	38
16. Viga secundaria tipo C esfuerzo . . . . .	38
17. Viga secundaria tipo C desplazamiento . . . . .	39
18. Soporte tornillos de potencia disposicion cargas. . . . .	40
19. Soporte tornillos de potencia esfuerzo . . . . .	40
20. Soporte tornillos de potencia deformación . . . . .	41
21. Viga principal disposición de cargas . . . . .	42
22. Viga principal esfuerzo . . . . .	42
23. Viga principal deformación . . . . .	43
24. Columna inferior disposición de cargas . . . . .	44

25. Columna inferior esfuerzo . . . . .	45
26. Columna inferior desplazamiento . . . . .	45
27. Columna superior disposición de cargas. . . . .	46
28. Columna superior esfuerzo . . . . .	47
29. Columna superior desplazamiento. . . . .	47
30. Conjunto tornillo y husillo de potencia . . . . .	48
31. Diagrama de bloques . . . . .	54
32. Driver de lazo cerrado CL-86T . . . . .	59
33. Celda de carga. . . . .	59
34. Módulo de amplificación Hx-711. . . . .	60
35. Arduino nano. . . . .	60
36. Mordazas de sujeción. . . . .	61
37. Regleta de 6 tomas. . . . .	62
38. Fuente de poder de 480W. . . . .	63
39. Cargador Lattepanda. . . . .	63
40. Menú principal. . . . .	64
41. Menú ASTM D-638. . . . .	65
42. Menú ISO 527-4. . . . .	65
43. Menú operación libre. . . . .	66
44. Gráfica del ensayo. . . . .	67
45. Visual Studio y Arduino. [1] . . . . .	68
46. Diagrama de flujo de programación. . . . .	68
47. Máquina de tracción. . . . .	69
48. Contrucción chasis máquina de tracción. . . . .	70
49. Contrucción chasis de la máquina de tracción. . . . .	71
50. Estructura terminada. . . . .	71
51. Placa electrónica. . . . .	72
52. Máquina de tracción completa. . . . .	72
53. Primer ensayo de tracción normativa ASTM D-638. . . . .	74
54. Gráfica primer ensayo. . . . .	74

55. Conexión Datatronic y máquina de tracción. . . . .	75
56. Disposición entre celdas de carga. . . . .	76
57. Aplicación de carga a 1 KN. . . . .	77
58. Aplicación de carga a 3 KN. . . . .	77
59. Aplicación de carga a 0,5 KN máquina. . . . .	78
60. Aplicación de carga a 1,5 KN máquina. . . . .	78

## ÍNDICE DE TABLAS

1. Aspectos para considerar según las normas . . . . .	5
2. Tesis máquinas de tracción . . . . .	9
3. Máquinas de tracción comerciales . . . . .	12
4. Contraste de valores viga secundaria tipo C . . . . .	39
5. Contraste de valores soporte celda de cargas . . . . .	41
6. Contraste de valores viga principal . . . . .	43
7. Contraste de valores columna secundaria . . . . .	45
8. Contraste de valores columna principal tipo C . . . . .	48
9. Comparación desplazamiento, revoluciones y pasos del motor . . . . .	50
10. Comparación de motores . . . . .	52
11. Comparación de módulos de control . . . . .	55
12. Comparación de módulos de interfaz . . . . .	57
13. Valores de alimentación. . . . .	62
14. Pruebas de funcionamiento del sistema. . . . .	73
15. Comparación primeras lecturas. . . . .	79
16. Lectura después de correcciones. . . . .	79

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Catálogo Dipac para perfil estructural en U . . . . .	2
Anexo B: Catálogo Dipac para tubo estructural cuadrado . . . . .	3
Anexo C: Módulo de elasticidad de los metales . . . . .	4
Anexo D: Factor K para columnas . . . . .	5
Anexo E: Husillos de bolas recirculantes comerciales . . . . .	6
Anexo F: Especificaciones soportes BK-10 y BF-10 . . . . .	7
Anexo G: Especificaciones catalina y piñon . . . . .	8
Anexo H: Parámetros de funcionamiento del motor. . . . .	9
Anexo I: Curva torque motor 34HS31-6004D. . . . .	10
Anexo J: Especificaciones Lattepanda. . . . .	11
Anexo k: Especificaciones Celda de Carga. . . . .	12
Anexo L: Especificaciones Mordazas . . . . .	13
Anexo M: Código Fuente. . . . .	14
Anexo N: Plano Informático. . . . .	15
Anexo O: Plano Electrónico. . . . .	16
Anexo P: Planos de Construcción . . . . .	17



# **MÁQUINA PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN**

## **1. Tema**

Diseño de una máquina de tracción bajo las normas ASTM-D638 e ISO 527-4, con capacidad de 10 KN.

## **2. Objetivos**

### **2.1. General**

Diseñar una máquina para ensayos de tracción bajo las normas ASTM D-638 e ISO 527-4, con capacidad de 10 KN.

### **2.2. Específicos**

- Investigar y documentar los sistemas y mecanismos necesarios para diseñar una máquina para ensayos de tracción de 10 KN.
- Dimensionar y diseñar los elementos mecánicos y componentes móviles de la máquina basados en las normativas ISO 527-4 y ASTM D638.
- Traccionar todos los tipos de probetas de hasta 7 mm de espesor de las normativas ISO 527-4 y ASTM D-638.
- Diseñar la máquina para un control de velocidad a través de una LattePanda.
- Implementar una HMI que permita operar la máquina y obtener la información de los ensayos.

## **3. Problema**

Las instituciones educativas proporcionan a los estudiantes diversos conocimientos de vital importancia para su desarrollo profesional, los cuales, en general no se ponen en práctica dado que muchas veces no se cuenta con las herramientas necesarias para fortalecer

el área experimental, razón por la cual dichos conocimientos tienden a ser olvidados. Específicamente en el área mecánica, el ensayar los materiales fortalece el área de diseño y selección estructural. Además, conforme la tecnología avanza, se encuentra en el mercado un basto número de dispositivos nuevos para implementar y mejorar el funcionamiento de máquinas universales que ayudan y guían al estudiante hacia un entorno laboral actualizado.

#### **4. Hipótesis**

La máquina de ensayos de tracción con capacidad de carga de 10 KN permite realizar ensayos en probetas de materiales poliméricos bajo las normativas ASTM D-638 e ISO-527-4. Estas probetas deben tener un espesor de hasta 7 mm para ensayos en materiales plásticos que tienden a expandirse cuando son sometidos a esfuerzos de tracción.

#### **5. Tracción bajo las normativas ASTM-D638 e ISO 527-4 (segunda edición año 2014)**

##### **5.1. Máquinas de ensayos de tracción**

Para el diseño de la máquina de ensayos de tracción se establecen las normas bajo las cuales se realizan las pruebas. Esto es importante, ya que, cada una de las normas están sujetas a las restricciones y tipos de materiales que pueden ser ensayados. Para la máquina propuesta se establecen los ensayos en materiales plásticos sin recubrimiento y con recubrimiento, para los cuales se escoge como método de ensayo la norma ASTM D638-14. Para esto, se debe trabajar ciertos parámetros con la finalidad de que los resultados obtenidos sean válidos. También se dispone de la norma ISO 527-4 que es usada para realizar ensayos de tracción en materiales plásticos compuestos isotrópicos y ortotrópicos reforzados con fibras.

##### **5.2. Norma ASTM D-638**

Este método de prueba cubre la determinación de las propiedades de tracción de plásticos no reforzados y reforzados en probetas de sección reducida bajo ciertas condiciones definidas de pretratamiento, temperatura, humedad y velocidad de la máquina. Esto es importante mencionar, ya que, las propiedades de tracción pueden variar con la preparación

de la muestra, con la velocidad y con el entorno de prueba. En consecuencia, cuando se desean resultados comparativos precisos, estos factores deben controlarse cuidadosamente, para lo cual, se deberá establecer cierta configuración de la máquina desde el principio [2].

### **Dimensiones de las probetas**

Las probetas deben ajustarse a las dimensiones que se indican en la norma ASTM D-638. En la norma se pueden apreciar 5 tipos de probetas, las más comunes son del tipo I y se deben usar donde haya suficiente material con un espesor de hasta 7 mm. Las probetas del tipo II pueden usarse cuando las probetas del tipo I no se rompen en la sección reducida. Las probetas del tipo V se usan cuando existe limitaciones de material que solamente permite obtener muestras de 4 mm de espesor o menos. Las probetas tipo IV se usan cuando se requiere comparar materiales con distinta rigidez o cuando se desean ensayar plásticos no rígidos de materiales de hasta 4 mm de espesor. Las probetas tipo III se usan para materiales cuyo espesor se encuentra entre 7 mm y 14 mm. Para plásticos no rígidos la probeta debe cumplir con las dimensiones que se indican en la norma. La probeta tipo IV se debe usar para probar plásticos no rígidos con un espesor de hasta 4 mm.

### **Velocidades de ensayo**

La velocidad de la prueba debe ser la velocidad de movimiento relativa de los agarres o de los dispositivos de prueba durante el ensayo. Se puede usar la velocidad de movimiento de la mordaza cuando la máquina de ensayos se encuentra inactiva. Esta consideración es posible, siempre y cuando se demuestre que la velocidad resultante de la prueba está dentro de los límites de variación permitidos.

La velocidad de prueba elegida es determinada de acuerdo a las especificaciones del material de ensayo o por mutuo acuerdo entre los interesados. Cuando no se especifica la velocidad, es recomendable usar la velocidad más baja estipulada en la Norma ASTM D-638, para la geometría de la muestra que se está utilizando, lo que da lugar a una ruptura dentro del tiempo de ensayo de 0,5 a 5 min. Las determinaciones de módulo se pueden realizar con la velocidad seleccionada para las otras propiedades de tracción, cuando la

respuesta y resolución del registrador sean adecuadas. Las determinaciones de la relación de Poisson se realizan con la misma velocidad seleccionada para las determinaciones de módulo.

### **5.3. ISO 527-4**

Este método de prueba de tracción se rige a los estándares de toda la sección 527 del manual de ensayos de la ISO, donde se define este ensayo para materiales plásticos compuestos de fibra reforzada isotrópicos y ortotrópicos. Consta de los métodos de preparación de la probeta, calibración e indicaciones de las especificaciones básicas de las máquinas con las que se realiza el ensayo [3].

#### **Velocidades de ensayo**

La norma establece las velocidades de ensayo de acuerdo al tipo de probeta. Con respecto al tipo 1B, se define para realizar la prueba de control de calidad, se debe ajustar una velocidad de 10 mm/min y para las pruebas de calificación 2 mm/min mientras se determina la máxima elongación y el módulo de elasticidad a la tracción. Para los tipos 2 y 3 se debe tener en cuenta que para la rutina de control de calidad se ajusta la velocidad a 5 mm/min, a diferencia de los ensayos de tensión que se realizan a 2 mm/min, mientras se determina la máxima elongación y el módulo de elasticidad a la tracción.

### **5.4. Comparación de normas**

En cada una de las normas se estipula una serie de condiciones y/o elementos que se deben cumplir, lo que permite al usuario calibrar y saber si las medidas que se muestran son las correctas. En la Tabla 1 se visualiza una comparación de las dos normas. [2], [3]

**Tabla 1.** Aspectos para considerar según las normas

	<b>ASTM D-638</b>	<b>ISO 527-4</b>
<b>Materiales.</b>	Este método de prueba cubre la determinación de las propiedades de tracción de plásticos no reforzados y reforzados en forma de muestras de prueba con sección reducida cuando se prueba en condiciones definidas de pretratamiento, temperatura, humedad y velocidad de la máquina.	Este método de prueba se realiza para determinar las propiedades a tensión de los plásticos compuestos de fibra reforzada isotrópicos y orthotrópicos, basados en los principios generales dados en el documento ISO 527-4.

	ASTM D-638	ISO 527-4
<b>Módulos.</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cuerpo fijo.</li> <li>2. Cuerpo móvil.</li> <li>3. Mordazas de sujeción de la probeta.</li> <li>4. Mordazas de sujeción de cuerpos móvil y fijo.</li> <li>5. Auto alineado de las mordazas.</li> <li>6. Grabado en las mordazas.</li> <li>7. Las superficies de agarre que están profundamente marcadas o dentadas con un patrón similar.</li> <li>8. Un mecanismo de accionamiento.</li> <li>9. Un indicador de carga.</li> <li>10. Un indicador de extensión.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cuerpo fijo.</li> <li>2. Cuerpo móvil.</li> <li>3. Mordazas de sujeción de la probeta.</li> <li>4. Auto alineado de las mordazas de sujeción de la probeta.</li> <li>5. Las superficies de agarre no deben causar daños prematuros a la probeta de prueba.</li> <li>6. Un mecanismo de accionamiento.</li> <li>7. Un indicador de carga.</li> <li>8. Un indicador de extensión.</li> <li>9. Un indicador de deformación.</li> <li>10. Una memoria de los datos tanto de deformación, velocidad, y carga.</li> </ol>

	ASTM D-638	ISO 527-4
<b>Consideraciones de medida.</b>	<p>Calcule la resistencia a la tracción dividiendo la carga máxima en newtons (o libras-fuerza) por el área de sección transversal mínima original de la muestra en metros cuadrados (o pulgadas cuadradas). Exprese el resultado en pascuales (o en libras-fuerza por cada pulgada cuadrada) e informe a tres cifras significativas como resistencia a la tracción. Cuando sea notorio el esfuerzo de fluencia, también puede ser conveniente calcular, de manera similar, y también debería ser representado con tres cifras significativas.</p>	<p>La tensión nominal en general se calculará como desplazamiento de la cruceta desde el comienzo de la prueba, en relación con la distancia de agarre, o como el método preferido si se usan muestras de prueba de usos múltiples, donde las tensiones hasta el punto de rendimiento se determinan utilizando un extensómetro, como la suma de la tensión de rendimiento y el incremento de la tensión nominal después del punto de rendimiento, este último también en relación con la distancia de agarre.</p>


	ASTM D-638	ISO 527-4
<b>Tipos de probetas.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>TIPO I.-</b> Se usa para condiciones de suficiente material en un espesor de 7 mm o menos.</li> <li>■ <b>TIPO II.-</b> Se usa por lo habitual cuando la muestra no se rompe con el tipo I.</li> <li>■ <b>TIPO III.-</b> Se usa cuando se tenga un material con un espesor entre 7 y 14 mm en materiales rígidos, a su vez para materiales no rígidos nos iríamos a las mismas medidas.</li> <li>■ <b>TIPO IV.-</b> Se usa para comparaciones directas entre materiales rígidos y no rígidos con un espesor de hasta 4 mm.</li> <li>■ <b>TIPO V.-</b> Se utiliza para materiales rígido con una disposición de material escasa donde el espesor sea de hasta 4 mm.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>TIPO I.-</b> Se usa para el analizar fibra reforzada termoplásticos siempre que esta se rompa dentro del límite del calibre.</li> <li>■ <b>TIPO II.-</b> Se usa para el ensayo de plásticos de fibra reforzada termoestables y termoplásticos con un grosor entre 2 y 10 mm.</li> <li>■ <b>TIPO III.-</b> Se usa cuando los ensayos realizados con el tipo III no fuesen satisfactorios o no se encuentran dentro del rango, se realiza con una pestaña de sujeción.</li> </ul>




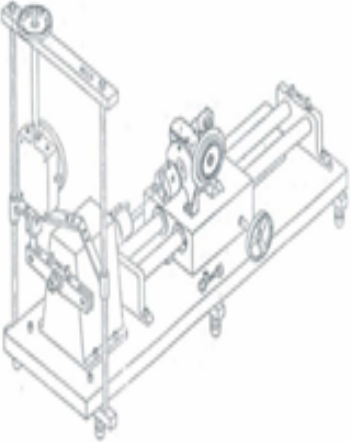
## 6. Caracterización de máquinas de tracción desarrolladas hasta la actualidad

El estudio de la máquina de tracción se basa en las similitudes y diferencias existentes con otras máquinas disponibles en el medio. Las diferentes máquinas son presentadas en la Tabla 2 y Tabla 3.

**Tabla 2.** Tesis máquinas de tracción

Máquina	Imagen	Especificaciones
<p><b>Máquina para realizar ensayos de tracción en cuerdas de fibras sintéticas.</b> [4] Esta máquina fue desarrollada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, como proyecto de titulación de Ingeniería Mecánica. Esta máquina se desarrolló bajo los estándares de la norma ISO-2307 para control de calidad de las fibras sintéticas.</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Capacidad de fuerza de carga de 50 KN.</li> <li>■ Sistema motriz impulsado por una bomba.</li> <li>■ Interfaz gráfica desarrollada en Labview compatible con Windows 7, 10.</li> <li>■ Sistema de doble columna.</li> <li>■ Precisión de 2.5 % en relación a la INSTRON ASTM D3822.</li> <li>■ Celda de carga de 70 KN.</li> <li>■ Mordazas ajustables en ángulo de giro, y ajuste axial.</li> </ul>


Máquina	Imagen	Especificaciones
<p><b>Máquina manual para ensayo de tracción.</b> [5]</p> <p>La presente máquina es desarrollada en la Universidad Nacional de Loja como proyecto de titulación. El enfoque de ésta máquina es el ensayo de tracción de materiales ferrosos dentro del laboratorio de la Universidad. Con el objetivo de afianzar la educación de los estudiantes en las materias de recursos naturales no renovables. Las normas del ensayo a tracción a realizarse en esta máquina son regidos por la norma DIN50125.</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mordaza de sujeción en el cuerpo fijo.</li> <li>■ Mordaza de sujeción en el cuerpo móvil.</li> <li>■ Capacidad de 300 KN en etapa de compresión.</li> <li>■ Capacidad de 240 KN en tracción.</li> <li>■ Área de trabajo de 1,1 m.</li> <li>■ Circuito hidráulico de accionamiento de la fuerza motriz.</li> <li>■ Manómetro de verificación para los acoples o aplicaciones hidráulicas.</li> <li>■ Extensómetro para obtención de los datos del ensayo.</li> </ul>


Máquina	Imagen	Especificaciones
<p><b>Máquina básica de ensayos de tracción y torsión.</b> [6] Esta máquina está diseñada bajo las normas de ISO 7500-1 para ensayos de tracción y torsión. Para los ensayos de materiales metálicos están estandarizados bajo las normas ISO-6892, ASTM-E8, NTC2 ASTM E111, ASTM A370-1. Esta máquina también es capaz de realizar ensayos didácticos de torsión bajo la norma ASTM-E143-01. La máquina es desarrollada en Colombia Universidad de Buenaventura.</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Capacidad máxima de carga de 17 kN.</li> <li>■ Modulo de celda de carga SIWAREX-SIEMENS.</li> <li>■ Velocidad ajustable de acuerdo a la norma.</li> <li>■ Sistema compatible con Windows 7.</li> <li>■ Motor Panasonic servo motor AC variable.</li> <li>■ Espacio de prueba de 1500 mm en posición horizontal.</li> <li>■ Lectura de datos cada 200 us.</li> <li>■ Interfaz gráfica amigable y diversidad de selecciones.</li> </ul>

**Tabla 3.** Máquinas de tracción comerciales

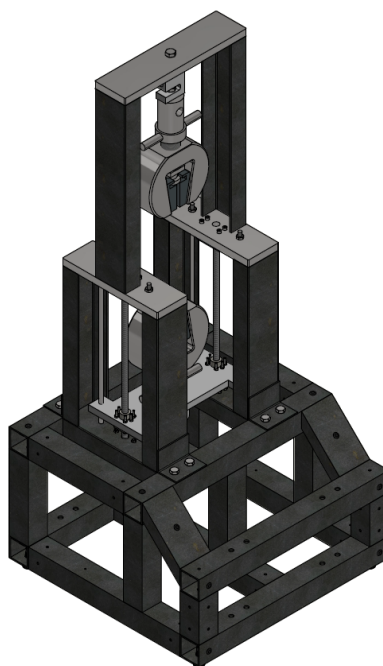
Máquina	Imagen	Especificaciones
<p><b>Instron 3345.</b> Máquina mono columna para ensayos de tracción de hasta 5KN. Se utiliza para ensayos mecánicos de plásticos bajo los estándares de las normas ASTM D638, ASTM D790 e ISO 527.</p>	 <p>The image shows an Instron 3345 single-column tensile testing machine. It features a tall, slender vertical column mounted on a sturdy, light-colored rectangular base. A horizontal crosshead is positioned on the column, with a test specimen held between grips. A digital display screen is attached to the side of the machine, showing test data. The overall design is compact and professional, typical of laboratory-grade equipment.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Rango de fuerza de 200:1.</li> <li>■ Precisión de carga del 0,5 % de la carga indicada.</li> <li>■ Tasa de adquisición de datos de 500 Hz.</li> <li>■ Control de software completo.</li> <li>■ Reconocimiento automático del transductor.</li> <li>■ Capacidad de 5 KN.</li> <li>■ 1,12 m espacio de prueba vertical.</li> </ul>

Máquina	Imagen	Especificaciones
<p><b>Instron 5965.</b> Máquina de doble columna que se utiliza para ensayos de: tracción, compresión, cizalladura, pelado y flexión. Sus ensayos mecánicos pueden ser ajustados a todos los estándares de ensayos en plásticos de las normas ASTM, ISO, DIN, BS, EN y AFNOR.</p>	 <p>The image shows an Instron 5965 universal testing machine. It is a tall, grey, dual-column machine with a black base and top. A central crosshead moves vertically between the columns. A digital display screen is mounted on the left column. The machine is designed for performing various mechanical tests on materials, including tension, compression, shear, and bending.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Precisión de la medición de carga: <math>\pm 0,5\%</math> de la lectura</li> <li>■ Opción de velocidad de adquisición de datos de hasta 2,5 KHz simultánea en los canales de carga.</li> <li>■ Rango de velocidad de 0,001 a 3000 mm / min (0,00004 -120 in / min), según el modelo.</li> <li>■ Panel de control personalizable.</li> <li>■ Reconocimiento automático de transductores para celdas de carga y extensómetros.</li> <li>■ Capacidad de 5 KN.</li> <li>■ Espacio de prueba vertical de 1,25 m.</li> <li>■ Velocidad de retorno de 3200 mm / min.</li> </ul>

Máquina	Imagen	Especificaciones
<p><b>Haida HD-B604B-S.</b> La máquina de prueba universal tiene un rango de trabajo de 0 KN a 20 KN y mantiene una precisión de <math>\pm 0,5\%</math> de la carga mostrada en el rango. Equipado con un software de sistema de prueba universal inteligente profesional TM 2101, una vez que se inicia el sistema, la máquina de prueba universal automáticamente con una velocidad de 0,1 - 500 mm / min en pruebas de carrera de 1200 mm.</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Capacidad máxima de carga de 20 KN.</li> <li>■ Celda de carga intercambiable de 5 kN a 10KN.</li> <li>■ Sistema compatible con Windows 7.</li> <li>■ Motor Panasonic servo motor AC variable.</li> <li>■ Lectura de fuerza en KN, lbf, T.</li> <li>■ Espacio de prueba de 1,2 m en posición vertical.</li> <li>■ Espacio de prueba horizontal de 0,4 m.</li> <li>■ Velocidad Variable entre 0,1 - 500 mm/min.</li> <li>■ Software TM-201.</li> </ul>

Máquina	Imagen	Especificaciones
<p><b>ADMET EXPERT 2600</b></p> <p>Los sistemas de pruebas universales electromecánicos de doble columna son instrumentos ideales para laboratorios de pruebas de plástico, fabricantes e instituciones de investigación. La serie eXpert 2600 son sistemas robustos y flexibles que tienen una amplia variedad de accesorios y pueden realizar muchas pruebas de fuerza comunes en plásticos, películas y elastómeros: tracción, compresión, flexión, punción, fricción, pelado y más. Los controladores y software ADMET son fácilmente programables para realizar una amplia variedad de métodos ASTM, ISO y de prueba definidos por el usuario. Cientos de empuñaduras, accesorios y accesorios están disponibles para estos sistemas.</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sistema de doble columna altamente configurable para pruebas de materiales de hasta 200 KN</li> <li>■ Realizar pruebas de tensión, compresión, flexión, fricción y peeling.</li> <li>■ Supera las normas ASTM e ISO para la precisión.</li> </ul>

Con esta base se establecen los parámetros adecuados para la máquina propuesta. Un modelo guía para el bosquejo inicial que se desarrolla mediante el software CAD INVENTOR, con una estructura de cuatro columnas similar a la INSTRON 5965 y al modelo de la compañía HAIDA, la celda de carga se selecciona conforme al requerimiento de 10 kN. En la Figura 1 se aprecia la estructura de la máquina de tracción con cuatro columnas, tomando como referencia lo presentado en la Tabla 2 y Tabla 3.



**Figura 1.** Estructura de la máquina con cuatro columnas.

En base al bosquejo se establece las distancias necesarias en la estructura que permiten albergar a cada uno de los componentes eléctricos, mecánicos y electrónicos necesarios para el funcionamiento de la máquina de ensayos de tracción.

## 7. Diseño Mecatrónico

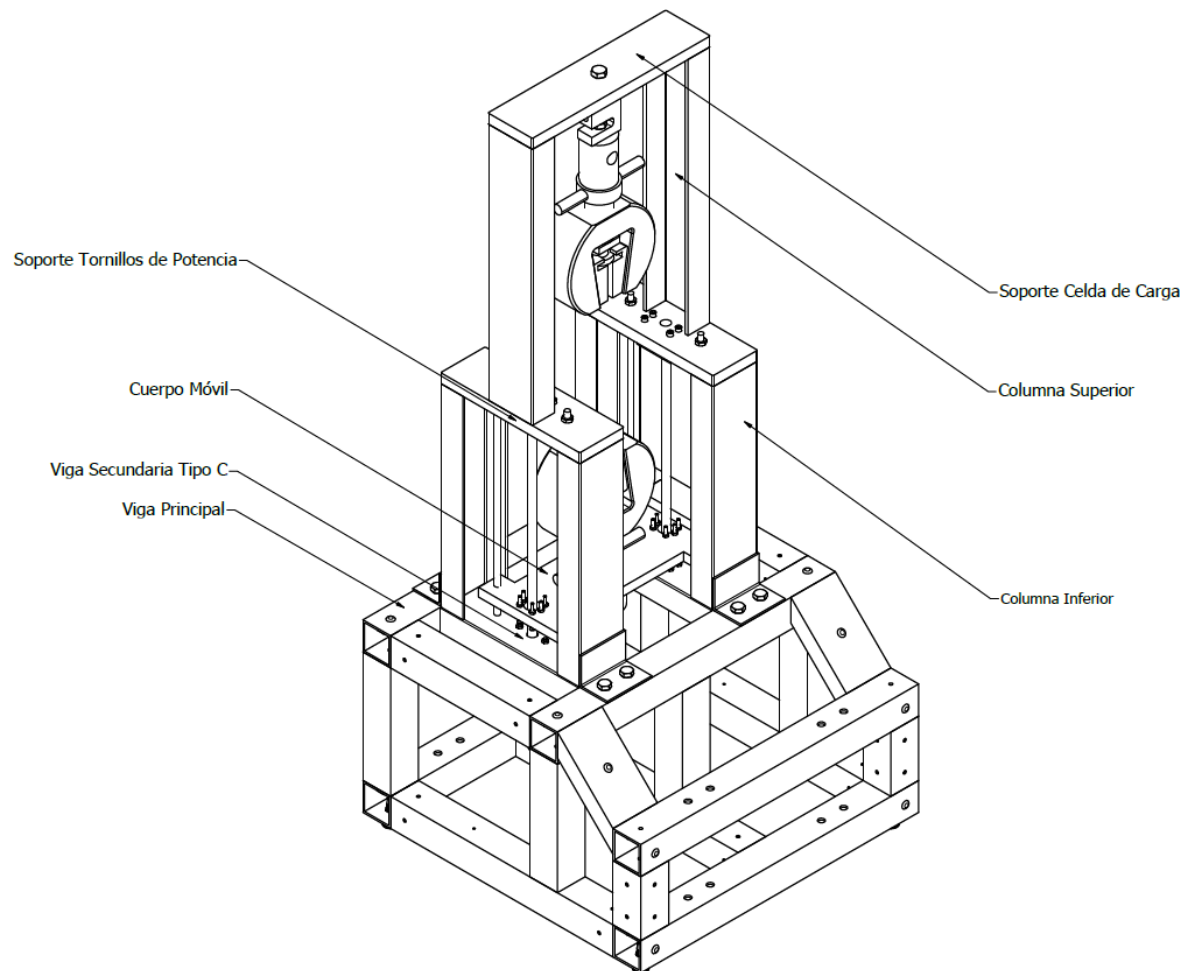
Para el diseño mecatrónico de la máquina se tiene como base un diseño previo que cuenta con diferentes elementos tanto mecánicos como electrónicos, los cuales son base de información para el presente proyecto, por lo cual las decisiones de emplear diferentes actuadores o controladores radican en los datos técnicos de esta [7].

El primer elemento a diseñar es la estructura mecánica debido a que esta aloja a los diferentes elementos mecánicos y electrónicos para el funcionamiento de la máquina.



### 7.1. Cálculo de la estructura mecánica

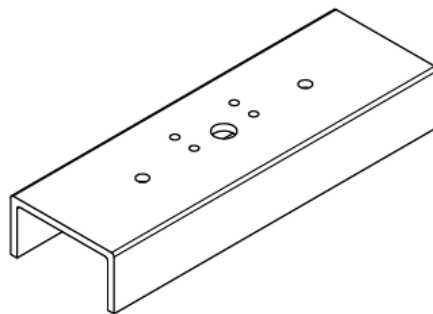
Para el análisis de la estructura mecánica se calcula los perfiles que van a sostener cada uno de los elementos necesarios para la máquina. En la Figura 2 se observa la estructura mecánica que sirve de base para toda la estructura de la máquina y los nombres de los elementos sometidos a diseño [8].



**Figura 2.** Chasis de la máquina.

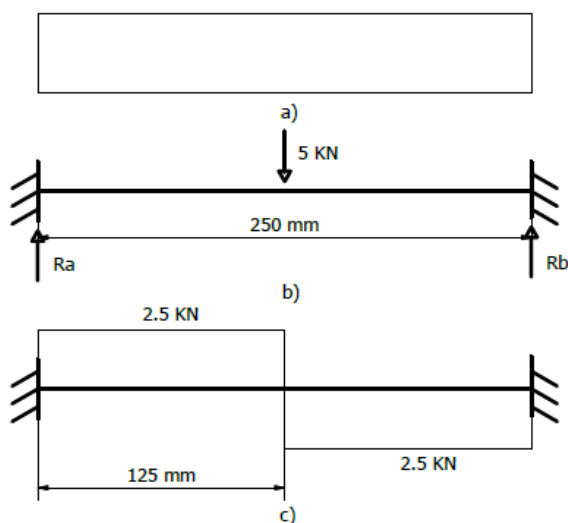
#### Cálculo viga secundaria tipo C.

El primer elemento que se analiza es el travesaño donde se soportan las cuatro columnas de la cabina de ensayos de la máquina como se lo puede observar en la Figura 3.



**Figura 3.** Viga secundaria tipo C.

Este análisis se basa en el factor de seguridad y el momento flector máximo generado por la capacidad máxima de 10 KN. Dicha carga transfiere a la viga tipo C una fuerza de 10 KN. Para ello se contrasta un esfuerzo calculado de acuerdo a las fuerzas que actúan en la máquina y un esfuerzo de diseño calculado a partir de las propiedades del material de los elementos. Las longitudes del elemento, distancia y fuerza que se aplica, se puede observar el esquema de la Figura 4 (b).



**Figura 4.** (a) Vista lateral de la viga, (b) Diagrama de cuerpo libre de la viga, c) Diagrama de fuerzas cortantes.

Para calcular el esfuerzo normal al que está sometida la viga, se usará la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (1)$$

Donde

- $\sigma$  Esfuerzo máximo, en MPa;  
 $M$  Momento flector, en Nm;  
 $c$  Distancia al centro de masas, en m;  
 $I$  Inercia, en  $m^4$ .

El momento flector se obtiene a partir de (2).

$$M = F * d. \quad (2)$$

Donde

- $M$  Momento flector, en Nm;  
 $F$  Fuerza, en KN;  
 $d$  Distancia, en m.

Teniendo en cuenta el diagrama de cuerpo libre de la Figura 4(b) y el diagrama de fuerzas cortantes de la Figura 4(c) se tiene la siguiente fuerza máxima:

$$F_1 = 2,5KN.$$

$$d_1 = 0,125m.$$

Con esta fuerza máxima se puede calcular el máximo momento flector usando (2), dando el siguiente resultado.

$$M_1 = 2,5KN * 0,125m.$$

$$M_1 = 312,5Nm.$$

Una vez que se calcula el momento flector que se origina por la carga, se obtiene de la hoja técnica del perfil que se muestra en el Anexo A la inercia y la distancia al centro de masa (c) correspondiente.

$$I_c = 4,39 * 10^{-7}m^4.$$

$$c_c = 0,014m.$$

Al reemplazar los datos obtenidos anteriormente en (1) se tiene:

$$\sigma_1 = \frac{312,5Nm * 0,014m}{4,39 * 10^{-7}m^4}$$

$$\sigma_1 = 9,966MPa$$

Este resultado se lo contrasta con un esfuerzo de fluencia del material [9] y se calcula el factor de seguridad a partir de (3).

$$\sigma_d = \frac{Sy}{N} \quad (3)$$

Donde:

$\sigma_d$  Esfuerzo de diseño, en MPa;

$Sy$  Esfuerzo de fluencia del material, en MPa;

$N$  Factor de diseño.

El esfuerzo de fluencia es una propiedad que se obtiene del Anexo C tabla de propiedades de los materiales, las propiedades del material son las establecidas por la norma especificada en el Anexo A:

$$Sy = 250MPa$$

Suponiendo como el esfuerzo de diseño al esfuerzo calculado en (2) se reemplaza en (3).

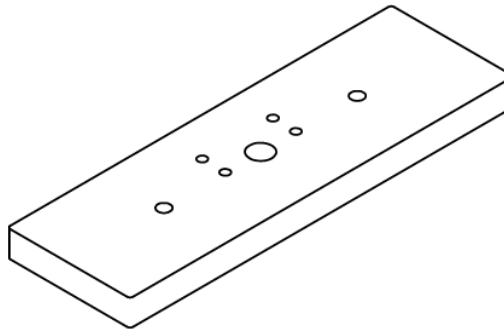
$$N_1 = \frac{250MPa}{9,966MPa}$$

$$N_1 = 25,085$$

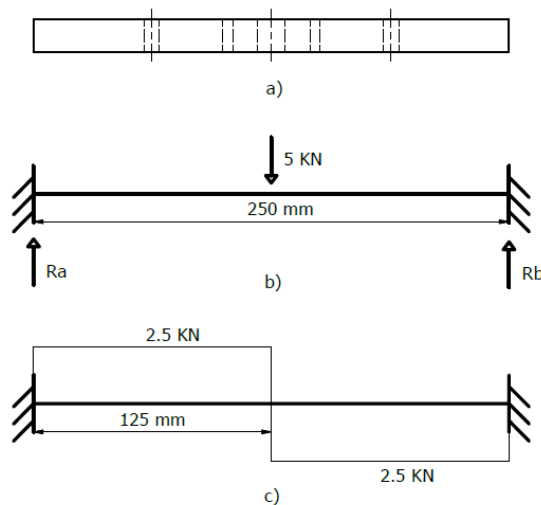
Con este factor de diseño se sabe que el elemento es el correcto para la máquina dado que se trata de un material dúctil sometido a carga repetida que necesita un factor de diseño superior a 8. En vista que, para alojar los elementos internos en la viga tipo C se necesita por lo menos 70 mm se escoge la viga disponible en el mercado con menor valor de inercia del Anexo A y con el espacio interno requerido, dado que comercialmente la viga disponible es de 80 mm de ancho, 40 mm de alto y 3 mm de espesor, con lo cual se realiza los cálculos y el factor de seguridad es mayor al requerido, las especificaciones del material son de acuerdo a la norma INEN 1 623:2000 como se indica de igual manera en el Anexo A. [10]

### Cálculo soporte tornillos de potencia .

El siguiente elemento a diseñar es el soporte de los tornillos de potencia como se puede ver la Figura 5. Para diseñar este elemento se lo trata como una viga soportada entre dos apoyos, donde la fuerza se ubica en el centro como se observa en la Figura 6 conjuntamente con los momentos generados en este elemento.



**Figura 5.** Soporte tornillos de potencia.



**Figura 6.** (a) Vista Frontal, (b) Diagrama de cuerpo libre, (c) Diagrama de momentos.

De acuerdo a lo requerido por este elemento, se necesita conocer su espesor, para ello, se calcula el esfuerzo con la ecuación (3). Además, se establece un factor de diseño mínimo de 8 en función de la recomendación del libro de Mott y conociendo la resistencia última a la cedencia. [10]

$$N_2 = 8.$$

$$Sy = 250 \text{ Mpa}$$

Reemplazando en (3).

$$\sigma_{d2} = \frac{250MPa}{8}$$

$$\sigma_{d2} = 31,25MPa$$

Para aplicar (1) se necesita calcular el momento flector, la distancia al centro de análisis y el momento de inercia de la viga. Dado que se necesita que el cuerpo resista el peor de los casos siempre se debe de calcular el momento flector con respecto a la distancia más larga como se observa en la Figura 5(c). Al momento de calcular la inercia, se aplica (4) dado que la cara es un rectángulo y la distancia del centro al punto de análisis se la calcula con (5).

$$I_2 = \frac{b * h^3}{12} \quad (4)$$

Donde:

$I$  Momento de Inercia, en  $m^4$ ;

$b$  Base de la sección transversal, en m;

$h$  Altura del rectángulo, en m.

$$c_2 = \frac{h}{2} \quad (5)$$

Donde:

$h$  Altura del rectángulo, en m.

Se reemplaza las expresiones (4) y (5) en (1) de tal manera que se obtiene (6).

$$\sigma_2 = \frac{12 * M * h}{2 * b * h^3} \quad (6)$$

Ahora se despeja la altura y se obtiene (7).

$$h_2^2 = \frac{6 * M}{b * \sigma} \quad (7)$$

Para obtener el momento flector reemplazamos en (2), para este caso de análisis se tiene en cuenta que a cada lado de la placa actúa 5KN, en base al diseño de 4 columnas.

$$M_1 = 2,5KN * 0,125m$$

$$M_1 = 312,5 Nm$$

$$h_2^2 = \frac{6 * 312,5 Nm}{0,08m * 31,25 MPa}$$

$$h_2 = 0,0274m$$

$$h_2 = 27,4mm$$

Dado que el valor obtenido es alto, se hace una verificación por rigidez, para un elemento de precisión moderada, para este caso se calcula con (8).

$$y_{max} = -\frac{F * l^3}{48 * E * I} \quad (8)$$

Donde:

$F$  Magnitud de las Fuerzas, en  $KN$ ;

$E$  Modulo de elasticidad, en  $KN/m^2$ ;

$I$  Momento de inercia, en  $m^4$ ;

$l$  Longitud de la viga, en  $m$ .

Para realizar los cálculos se conoce los siguientes valores.

$$F_1 = 2,5 KN$$

$$E = 2,066 * 10^8 KN/m^2$$

$$l_2 = 0,25m$$

$I$  se obtiene de (4).

$$b_2 = 0,08m$$

$$h_2 = 0,0274m$$

$$I_2 = \frac{0,08m * (0,0274m)^3}{12}$$

$$I_2 = 1,371 * 10^{-7} m^4$$

Se reemplaza los valores en (8) y se obtiene.

$$y_{max2} = -\frac{2,5 KN * (0,25m)^3}{48 * 2,066 * 10^8 KN/m^2 * 1,371 * 10^{-7} m^4}$$

$$y_{max2} = -0,0000287m$$

$$y_{max2} = -0,0287mm$$

El valor absoluto de la deflexión obtenida se debe contrastar con un valor de deflexión admisible calculado con (9) para saber si el espesor calculado de la placa es el correcto.

$$y_{adm} = \frac{L}{2000} \quad (9)$$

Donde:

$y_{adm2}$  Deformación admisible, en  $m$ ;

$L$  Longitud del elemento, en  $m$ .

Se realiza el cálculo requerido y se obtiene:

$$y_{adm2} = \frac{0,25m}{2000}$$

$$y_{adm2} = 0,125mm$$

Dado que la deformación admisible es mucho mayor a la deformación calculada, se analiza la altura necesaria para aproximarnos a la deformación admisible y no sobredimensionar el elemento, para esto se reemplaza la admisible en (8).

$$-0,125 * 10^{-3}m = -\frac{2,5KN * (0,25m)^3}{48 * 2,066 * 10^8 KN/m^2 * I}$$

Despejando la inercia se obtiene.

$$I_2 = 0,328 * 10^{-7}m^4$$

En base a (4) se reemplaza el valor de la inercia y se calcula la altura.

$$0,328 * 10^{-7}m^4 = \frac{0,08m * h^3}{12}$$

$$h_2^3 = \frac{12 * 0,328 * 10^{-7}m^4}{0,25m}$$

$$h_2 = 0,0170m$$

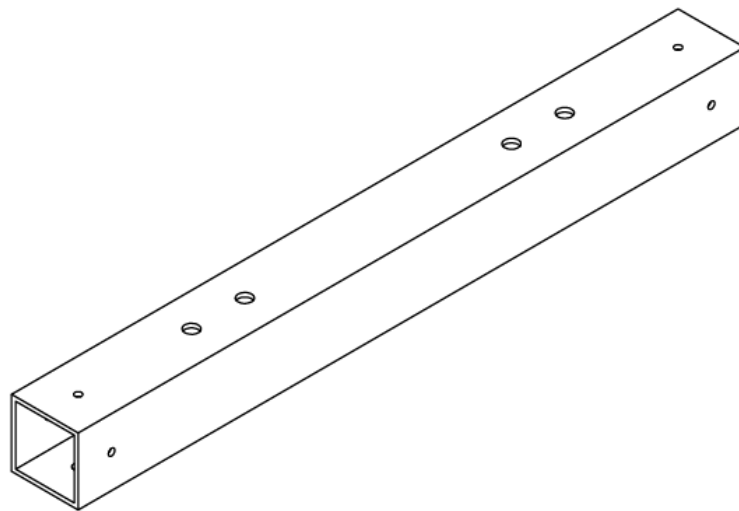
$$h_2 = 17mm$$

Se puede inferir que, una placa que se encuentre en el rango de espesor de 17 mm a 27 mm es apropiada para dicho uso.

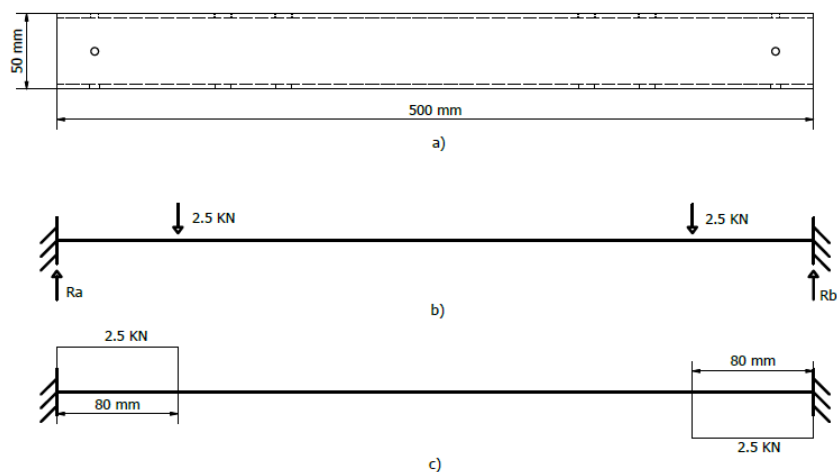


### Cálculo viga principal.

El siguiente elemento a dimensionar es la viga principal. Para ello, se toman algunas consideraciones desde el catálogo de tubos estructurales cuadrados, apreciado en el Anexo B, usando el perfil más común y se busca el espesor más adecuado. En la Figura 7 se observa el elemento, de acuerdo con las cargas soportadas por los anteriores elementos y se establece el diagrama de cuerpo libre como se observa en la Figura 8(b).



**Figura 7.** Viga Principal



**Figura 8.** (a) Vista Lateral, (b) Diagrama de cuerpo libre, (c) Diagrama de fuerzas cortantes.

Para el dimensionamiento de la viga, se recurre al cálculo de la deformación máxima del elemento, debido a la carga soportada. De acuerdo a lo estudiado en [9] se obtiene la medida requerida con (10), en base a lo observado en la Figura 8(c), donde se debe considerar dos cargas de igual magnitud, soportadas por dos apoyos y ubicadas a igual

distancia.

$$y_{max} = \frac{F * a_3}{24 * E * I_3} * (4a_3^2 - 3l_3^2) \quad (10)$$

Donde:

$F$  Magnitud de las fuerzas, en  $KN$ ;

$a_3$  Distancia de la fuerza al apoyo, en  $m$ ;

$E$  Módulo de elasticidad, en  $KPa$ ;

$I_3$  Momento de inercia de la viga principal, en  $m^4$ ;

$l_3$  Longitud de la viga, en  $m$ .

En base en la Figura 1 y la disponibilidad en el mercado se escoge un perfil estructural cuadrado de lado igual a 50 mm. Considerando el Anexo B y a la Figura 6(c), se tiene los siguientes valores para el perfil de 1,5 mm de espesor.

$$I_3 = 1,106 * 10^{-7} m^4$$

$$F = 2,5 KN$$

$$a_3 = 0,08 m$$

$$E = 2,066 * 10^8 KN/m^2$$

$$l_3 = 0,5 m$$

Estos valores se reemplaza en (8) y se obtiene:

$$y_{max3} = \frac{2,5 KN * 0,08 m}{24 * 2,066 * 10^8 KN/m^2 * 1,106 * 10^{-7} m^4} * (4 * (0,08 m)^2 - 3 * (0,5 m)^2)$$

$$y_{max3} = -0,2642 mm$$

El signo negativo hace referencia a una deflexión hacia abajo. A continuación, según [8] se debe contrastar el valor absoluto con una deflexión máxima admisible, para este caso se calcula de acuerdo a (9). Al reemplazar los valores y se obtiene.

$$L_3 = 0,5 m$$

$$y_{adm3} = \frac{0,5 m}{2000}$$

$$y_{adm3} = 0,00025 m$$

$$y_{adm3} = 0,25mm$$

Para un diseño satisfactorio se busca un valor inferior a este. Por lo cual, se escoge del Anexo B un espesor de 3 mm, dado que el anterior no satisface tal apartado. Los valores para un perfil de 3 mm son los siguientes:

$$I_3 = 2,1 * 10^{-7}m^4$$

$$E = 2,066 * 10^8 KN/m^2$$

Con estos valores se vuelve a reemplazar en (10) y se obtiene:

$$y_{max3} = \frac{2,55KN * 0,08m}{24 * 2,066 * 10^8 KN/m^2 * 2,1 * 10^{-7}m^4} * (4 * (0,08m)^2 - 3 * (0,5m)^2)$$

$$y_{max3} = -0,1391mm$$

Dado que se tiene un valor inferior a lo calculado en (9), se analiza si este perfil también es apto para las columnas secundarias de la máquina.

### **Cálculo columna C inferior.**

Las columnas inferiores de la Figura 9 se analizan de acuerdo al diseño de columnas [10]. Para ello, se calcula la carga crítica de pandeo y se compara con una carga admisible en relación de un factor de seguridad o también llamado factor de carga, tal como se muestra en (11). Para el diseño de la columna, se debe conocer si es considerada larga o corta, esto se sabe si se compara la razón de esbeltez (12) frente a una constante de columna  $C_c$  que se obtiene de (13).

$$P_a = \frac{P_{cr}}{N_c} \quad (11)$$

Donde:

$P_a$  Carga admisible, en  $KN$ ;

$P_{cr}$  Carga crítica de pandeo, en  $KN$ ;

$N_c$  Factor de carga.

$$SR_4 = \frac{K * L_4}{r_4} \quad (12)$$

Donde:

$SR$  Relación de esbeltez;

$K$  Factor de fijación de los extremos;

$L_4$  Longitud entre los puntos de apoyo;

$r_4$  Radio de giro de la sección transversal.

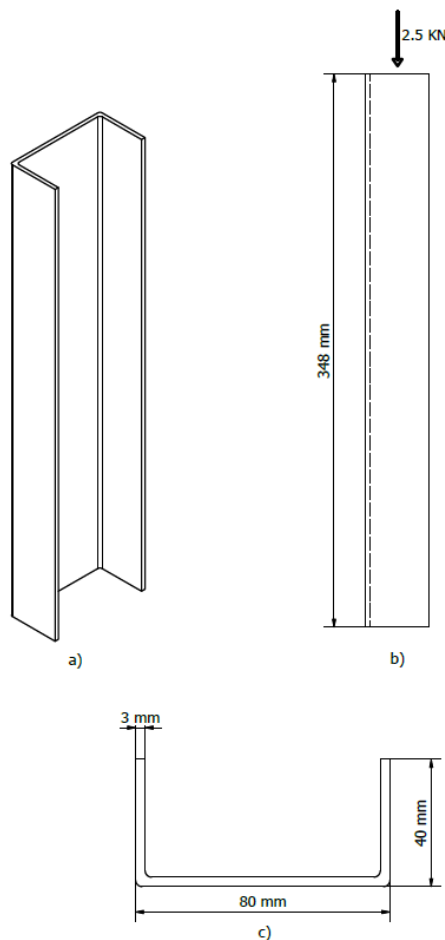
$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{S_y}} \quad (13)$$

Donde:

$C_c$  Constante de Columna;

$E$  Módulo de elasticidad, en  $GPa$ ;

$S_y$  Resistencia última a la cedencia.



**Figura 9.** (a) Columna Inferior, (b) Vista Frontal, (c) Vista Superior.

Antes de realizar los cálculos, se requiere conocer el valor del radio de giro de la sección transversal  $r$ , que se obtiene a partir de (14).

$$r_4 = \sqrt{\frac{I_4}{A_4}} \quad (14)$$

Donde:

$I_4$  Momento de Inercia;

$A_4$  Área transversal, en  $m^2$ .

$$I_4 = 0,7 * 10^{-7} m^4$$

$$E = 207 GPa$$

$$S_y = 250 MPa$$

Ahora se realiza el reemplazo de los valores y el cálculo de las diferentes expresiones, para calcular el área de la superficie transversal de la columna se divide en 3 áreas, 2 similares denominadas  $A_2$  y una  $A_1$ .

$$A_4 = A_1 + 2A_2$$

$$A_1 = 0,076m * 0,003m$$

$$A_1 = 0,00023m^2$$

$$A_2 = 0,003m * 0,04m$$

$$A_2 = 0,00012m^2$$

$$A_4 = 0,00023m^2 + 2 * 0,00012m^2$$

$$A_4 = 0,00047m^2$$

$$r_4 = \sqrt{\frac{0,7 * 10^{-7} m^4}{4,7 * 10^{-4} m^2}}$$

$$r_4 = 0,0122m$$

Se reemplaza los valores en (12), se toma en cuenta el valor de K del Anexo D y se obtiene:

$$K = 0,65$$

$$L_4 = 0,2m$$

$$SR_4 = \frac{0,65 * 0,348}{0,0122}$$

$$SR_4 = 18,64$$

Ahora se calcula la constante de columna con (13) y se obtiene:

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 207GPa}{250MPa}}$$

$$C_c = 127,84$$

Se verifica:

$$C_c > SR$$

Por lo tanto se considera una columna corta y se debe de aplicar la fórmula de J. B Johnson (15) para calcular la carga crítica de pandeo.

$$P_{cr4} = A_4 * S_y * \left(1 - \frac{S_y * SR_4^2}{4 * \pi^2 * E}\right) \quad (15)$$

Donde:

$P_{cr}$  Carga crítica de pandeo, en  $KN$ ;

$A_4$  Área transversal, en  $m^2$ ;

$E$  Módulo de elasticidad, en  $GPa$ ;

$S_y$  Resistencia última a la cedencia en  $MPa$ ;

$SR_4$  Relación de esbeltez;

Se reemplaza los valores y se obtiene.

$$P_{cr4} = 4,7 * 10^{-4}m^2 * 250MPa * \left(1 - \frac{250MPa * 18,54^2}{4 * \pi^2 * 207GPa}\right)$$

$$P_{cr4} = 116,26KN$$

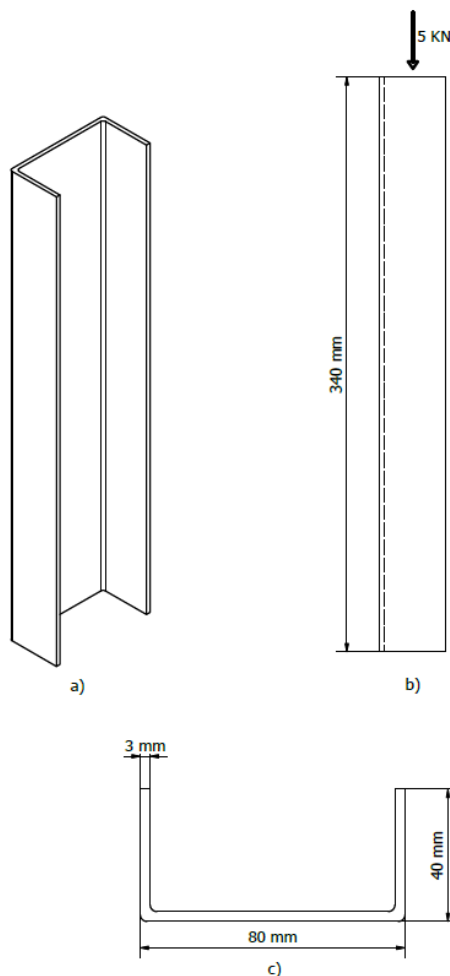
Se toma en cuenta que la carga que debe soportar este elemento es:

$$P_a = 2,5\text{KN}$$

Con esto se verifica que la carga crítica de pandeo es mucho mayor que la carga aplicada, entonces se sabe que se puede utilizar este elemento.

### Cálculo columna C superior

El siguiente elemento a diseñar para el chasis de la máquina, es la columna superior sobre la cual se apoya el soporte de la celda de carga. Considerando que se utiliza perfil tipo C en la viga secundaria, como se ve en la Figura 3, se decide comprobar si es apta para las columnas. El elemento en análisis se lo observa en la Figura 10 donde se ven las medidas necesarias para su comprobación.



**Figura 10.** (a) Columna Superior, (b) Vista Frontal, (c) Vista Superior.

Se procede de igual manera que para la columna inferior, los parámetros de la columna superior son:

$$L_5 = 0,340m$$

$$I_5 = 0,7 * 10^{-7}m^4$$

$$E = 207GPa$$

$$S_y = 250MPa$$

Se aplica y reemplaza valores en (14) para esta columna como se muestra a continuación:

$$A_5 = 0,00047m^2$$

$$r_5 = 0,0122m$$

Para esta columna de igual manera se aplica (12) y (13) con los valores correspondientes y se obtiene:

$$SR_5 = \frac{0,65 * 0,340m}{0,0122m}$$

$$SR_5 = 18,11$$

Dado que (13) depende de las propiedades del material y este es el mismo para los dos perfiles utilizados se toma el mismo valor de  $C_c$ , por ende se verifica:

$$C_c > SR$$

De igual forma se considera como una columna corta en donde se aplica la fórmula de J. B Johnson para obtener la carga crítica que soporta, por lo tanto se reemplaza los valores de esta columna en (15) y se tiene:

$$P_{cr5} = 4,7 * 10^{-4}m^2 * 250MPa * \left(1 - \frac{250MPa * 18,11^2}{4 * \pi^2 * 207GPa}\right)$$

$$P_{cr5} = 116,321kN$$

Esta columna como se muestra en la Figura 10(b) soporta una carga de:

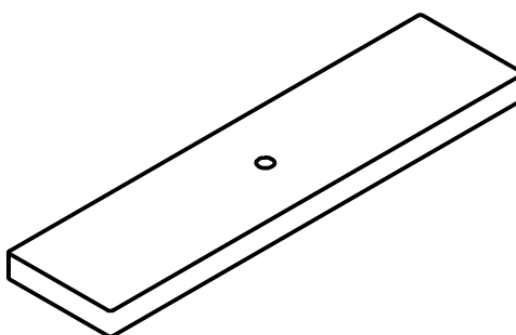
$$P_a = 5kN$$

Al igual que en el caso de la sección 7.4 se observa que la carga crítica de pandeo es mucho mayor a la que está actuando por lo tanto se decide ubicar estos perfiles.

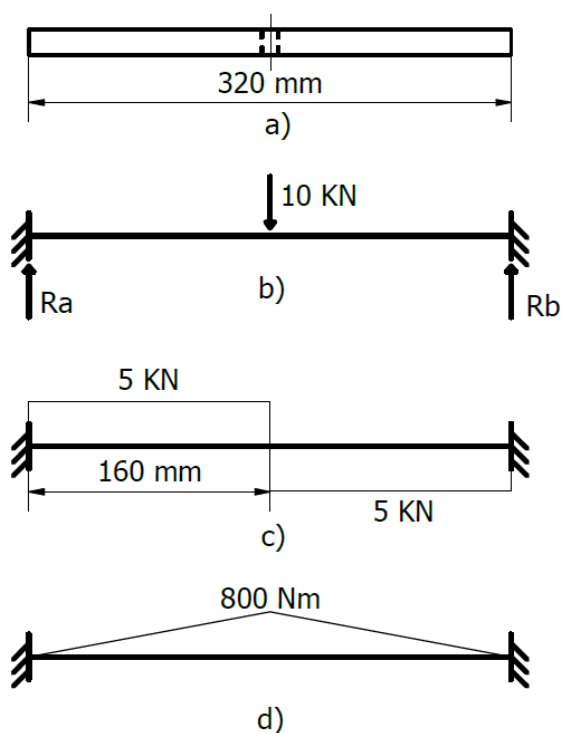


### Cálculo soporte celda de carga

El elemento que más carga soporta en la máquina es el soporte de la celda de carga, dado que en este punto se aplica toda la fuerza generada en la prueba de tracción. De hecho en este punto se aloja la celda que mide la fuerza generada como se muestra en la Figura 11. Uno de los datos que se tiene para el diseño de este elemento es la distancia entre los soportes la cual es necesaria para alojar los elementos de sujeción de las probetas. Esta medida se la observa en la Figura 12(a).



**Figura 11.** Soporte Celda de Carga



**Figura 12.** (a) Vista Frontal, (b) Diagrama de cuerpo Libre, (c) Diagrama de fuerzas cortantes, (d) Momento momentos flectores.

En este caso de análisis se necesita conocer el espesor de la placa, al igual que el caso anterior de los soportes de los tornillos de potencia. Por ello, se utiliza (7) con los datos del soporte de la celda de carga, los cuales son:

$$F_2 = 10KN$$

$$d_6 = 0,160m$$

$$b_6 = 0,08m$$

Reemplazando en (2) y (7) de acuerdo a lo que se observa en la Figura 12(c) y conociendo un esfuerzo de diseño con un factor de 8, se tiene:

$$M_6 = 5KN * 0,160m$$

$$M_6 = 800Nm$$

$$\sigma_{d6} = 31,25MPa$$

$$h_6^2 = \frac{6 * 800Nm}{0,08m * 31,25MPa}$$

$$h_6 = 0,0438m$$

$$h_6 = 43,81mm$$

Dado que se maneja un espesor alto, se verifica de igual manera para el soporte de los tornillos de potencia la posibilidad de usar un espesor menor usando (9), con lo que se tiene:

$$y_{adm6} = \frac{0,32m}{2000}$$

$$y_{adm6} = 0,16mm$$

Igualando expresiones en (8) y realizando el mismo procedimiento de despejar la inercia se tiene:

$$1,6m * 10^{-4} = \frac{5KN * (0,16m)^3}{48 * 2,066 * 10^8 KN/m^2 * I_6}$$

$$I_6 = 0,129 * 10^{-7}m^4$$

Reemplazando en (4):

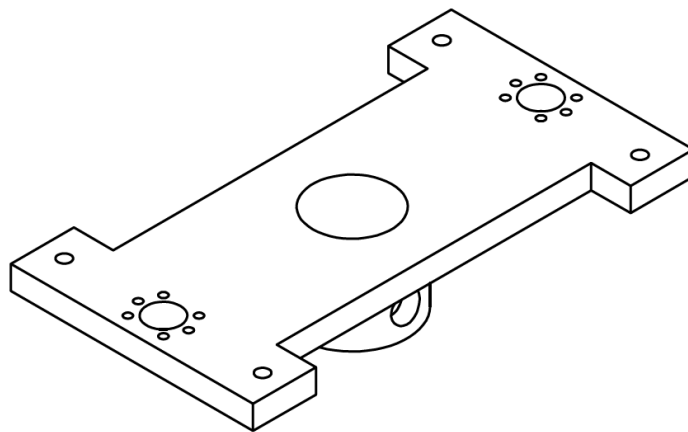
$$0,129 * 10^{-7} m^4 = \frac{0,08m * h_6^3}{12}$$

$$h_6 = 12,46mm$$

Dado que el margen entre los dos cálculos son elevados se decide usar un espesor próximo a los 20 mm debido al costo de los materiales.

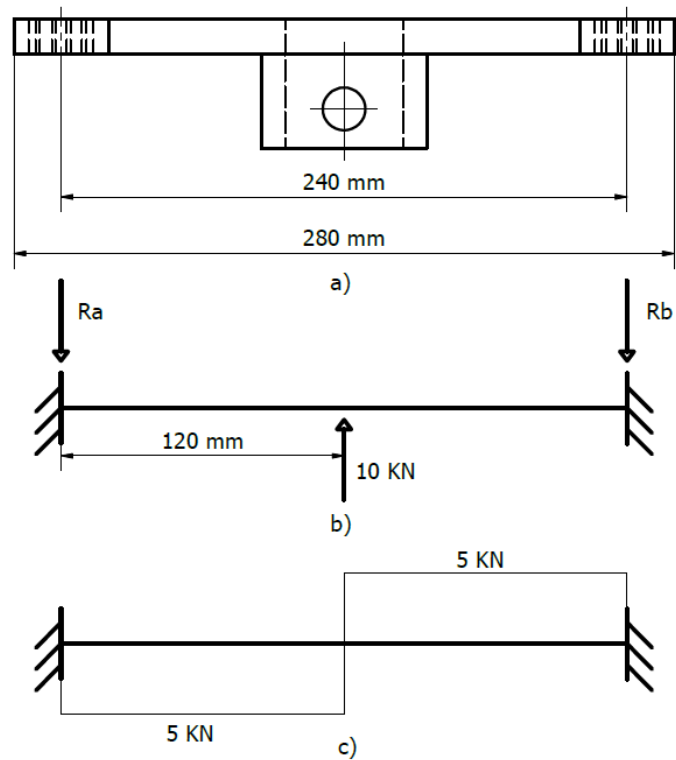
### Cálculo cuerpo móvil

El último elemento a diseñar es el cuerpo móvil de la Figura 13 en donde, también se requiere diseñar una placa de un espesor que garantice el funcionamiento y una vida útil prolongada, por lo cual, se establece un factor de diseño de 8 como en los demás elementos.



**Figura 13.** Cuerpo Móvil

A partir de la vista frontal del elemento se establecen los diagramas como se observa en la Figura 14(a) y se adquiere la información necesaria.



**Figura 14.** a) Vista frontal cuerpo móvil, b) Diagrama de cuerpo libre, c) Diagrama de momentos

$$F = 10 \text{ kN}$$

$$d_7 = 0,120 \text{ m}$$

$$b_7 = 0,104 \text{ m}$$

Se realizan los respectivos reemplazos y se tiene:

$$M_7 = 5 \text{ kN} * 0,120 \text{ m}$$

$$M_7 = 600 \text{ Nm}$$

$$\sigma_{d7} = 31,25 \text{ MPa}$$

$$h_7^2 = \frac{6 * 600 \text{ Nm}}{0,104 \text{ m} * 31,25 \text{ MPa}}$$

$$h_7 = 0,03328 \text{ m}$$

$$h_7 = 33,28 \text{ mm}$$

Se comprueba con el otro método el espesor adecuado por lo cual se usa de nuevo 4, 8 y 9 se tiene:

$$y_{adm7} = \frac{0,28m}{2000}$$

$$y_{adm7} = 0,14mm$$

$$1,4m * 10^{-4} = \frac{5KN * (0,12m)^3}{48 * 2,066 * 10^8 KN/m^2 * I_7}$$

$$I_7 = 0,622 * 10^{-8} m^4$$

Reemplazando en 4:

$$0,622 * 10^{-8} m^4 = \frac{0,104m * h^3}{12}$$

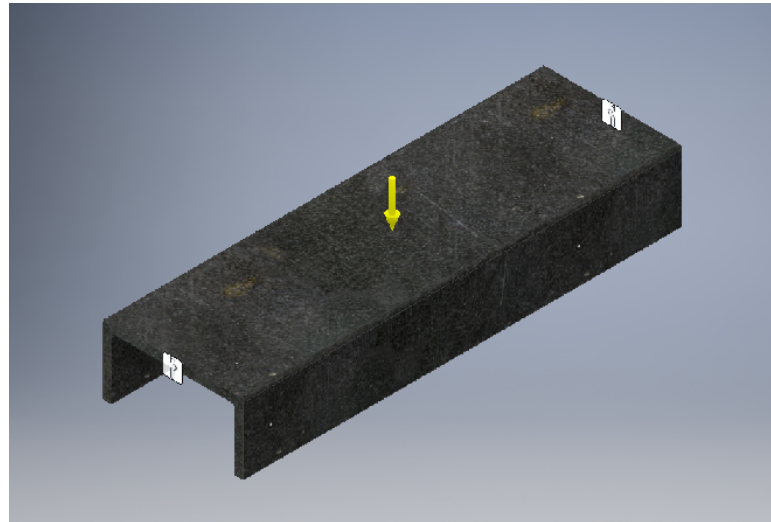
$$h_7 = 8,95mm$$

De igual manera, como la diferencia entre los dos métodos es bastante grande se decide por usar un perfil intermedio de 20 mm.

### **Simulación de la viga secundaria tipo C.**

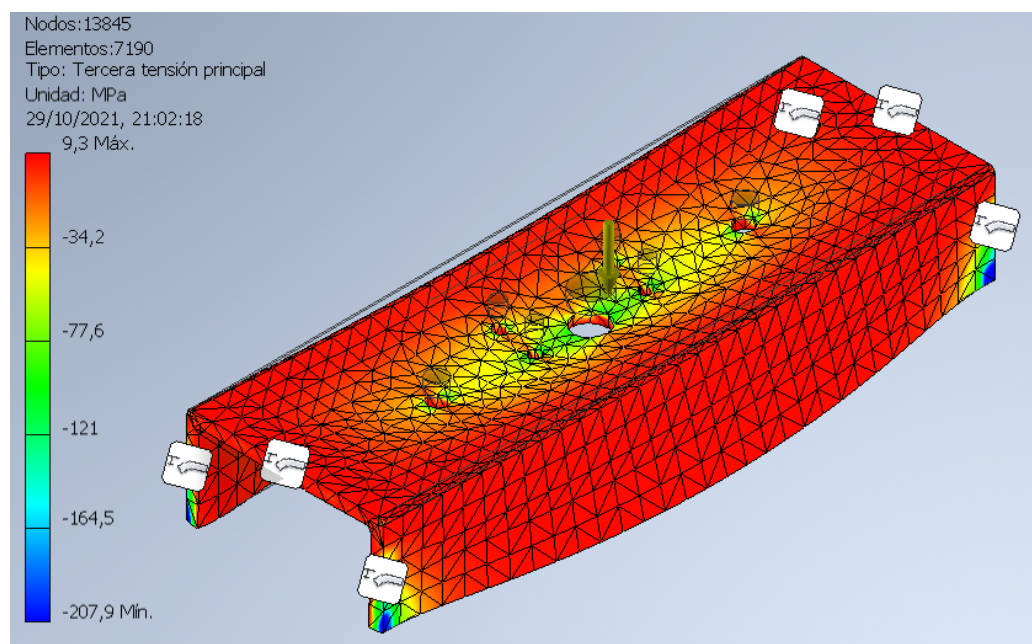
En la actualidad, gracias a la tecnología se tiene a disposición varias herramientas informáticas que permiten el modelado y simulación de elementos mecánicos y electrónicos. Ante la necesidad de contrastar la información presentada en los apartados anteriores, el uso de estas herramientas se vuelve indispensable para conocer si los datos obtenidos son cercanos a la realidad del problema. Los valores no pretenden ser los mismos dado que, el método analítico se lo realiza sobre varias suposiciones mientras que el software utiliza el análisis de elementos finitos para tratar de resolver el problema.

Se realiza la simulación de la viga secundaria tipo C en el software Inventor Professional 2017, las cargas se disponen al igual que en la sección 7.1 como se lo puede observar en la Figura 15.

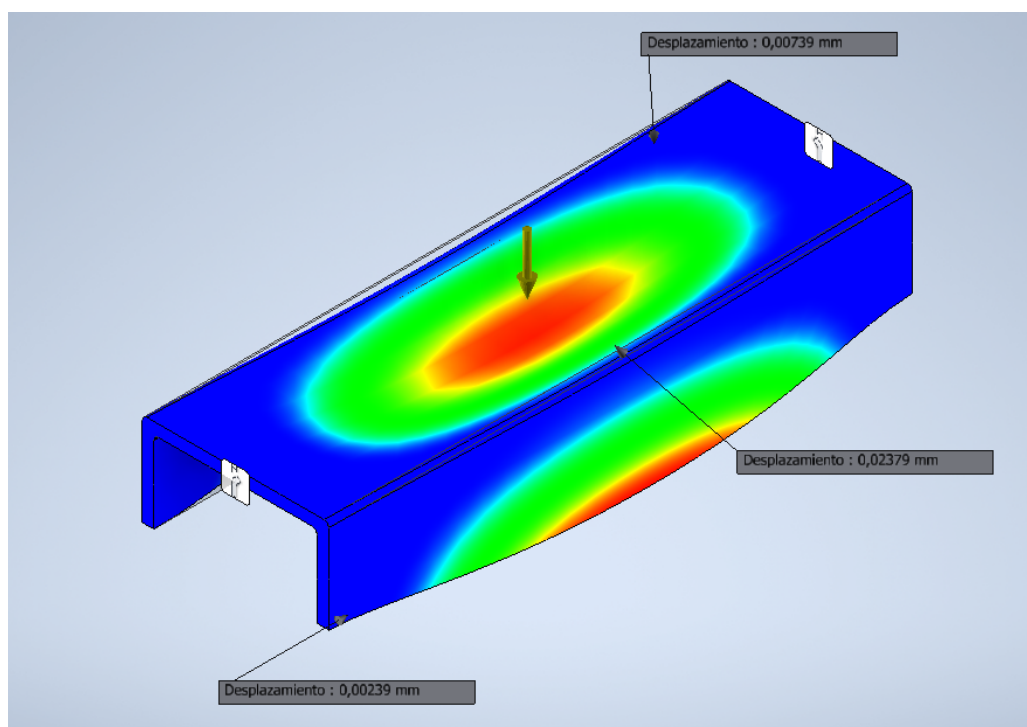


**Figura 15.** Viga secundaria tipo C disposición de cargas

Para realizar la simulación se puede manejar los parámetros de cantidad de nodos en las opciones de mallado, en este caso se trabaja bajo las condiciones preestablecidas por el sistema, en la Figura 16 y en la Figura 17 se observa la tercera tensión principal y el desplazamiento calculado por el software respectivamente. En este caso, se compara los resultados de tensiones para lo cual en el cuadro de resultados de inventor se debe escoger la tercera tensión principal debido a que esta es la que actúa en la dirección normal al plano en el que la tensión de corte es cero, donde se puede equiparar al cálculo 2D realizado.



**Figura 16.** Viga secundaria tipo C esfuerzo



**Figura 17.** Viga secundaria tipo C desplazamiento

Los valores que se visualizan en la Figura 16 y Figura 17 se contrastan con los valores de la sección 7.1, para tener una mejor apreciación se ordena los datos en la Tabla 4. Para el cálculo del error se aplica (16).

$$Error = \frac{Teorico - Simulado}{Teorico} * 100 \quad (16)$$

Donde:

Teórico Valor Calculado de forma Teórica;

Simulado Valor Obtenido de la Simulación.

**Tabla 4.** Contraste de valores viga secundaria tipo C

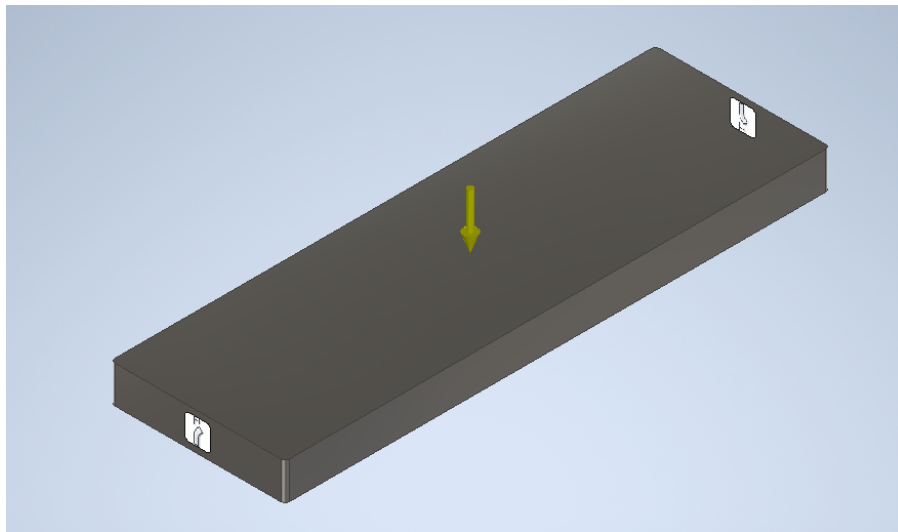
Elemento	Esfuerzo Simulado	Desplazamiento Simulado	Parámetro Comparado	Parámetro Teórico	Error
Viga Secundaria Tipo C	9,3MPa	0,04664mm	Tensión	9,966MPa	6,68 %

Visto que el error muestra una aproximación entre las dos respuestas se puede decir que

los valores obtenidos para el diseño son garantía de lo explicado en la sección 7.1, con esto se puede tomar una mejor decisión al momento de buscar un reemplazo a lo establecido.

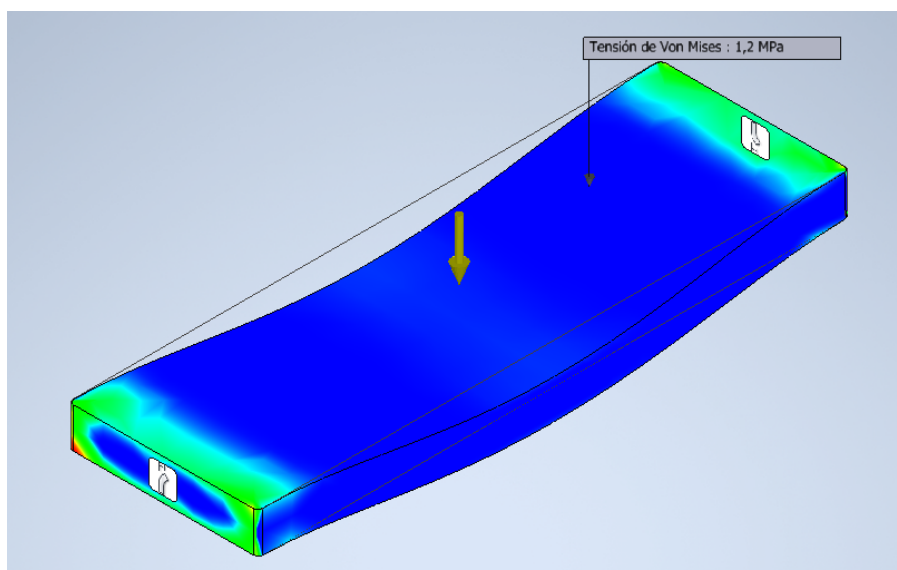
### Simulación soporte tornillo de potencia

Se simula el soporte de los tornillos de potencia teniendo en cuenta que para los cálculos se estableció este elemento como una viga. Se disponen las cargas y las restricciones fijas como se puede observar en la Figura 18.



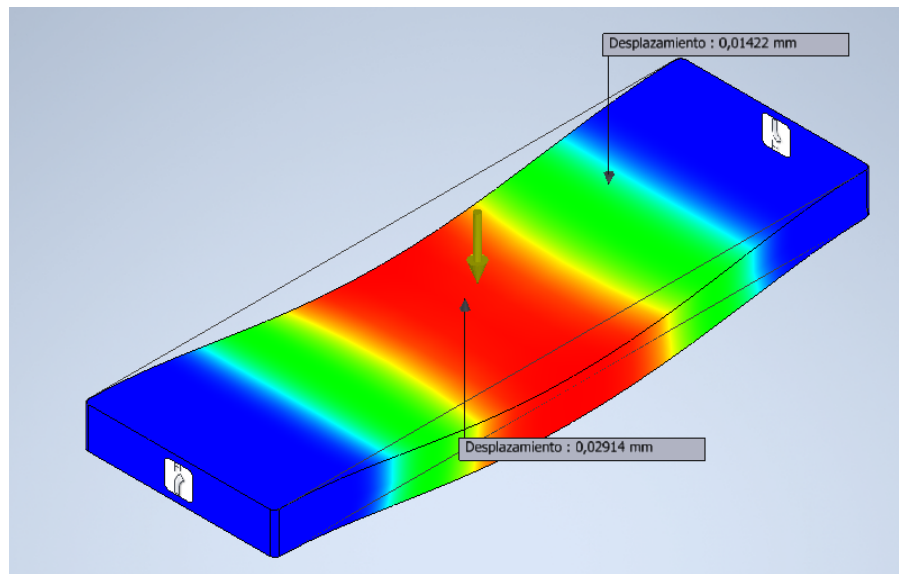
**Figura 18.** Soporte tornillos de potencia disposicion cargas.

Se realiza la simulación para obtener los valores de esfuerzo y deformación como en el caso anterior tal como se indica en la Figura 19 y Figura 20, estos datos se los ordena de mejor manera en la Tabla 5, en donde de igual manera, para calcular el error se aplica (16).



**Figura 19.** Soporte tornillos de potencia esfuerzo





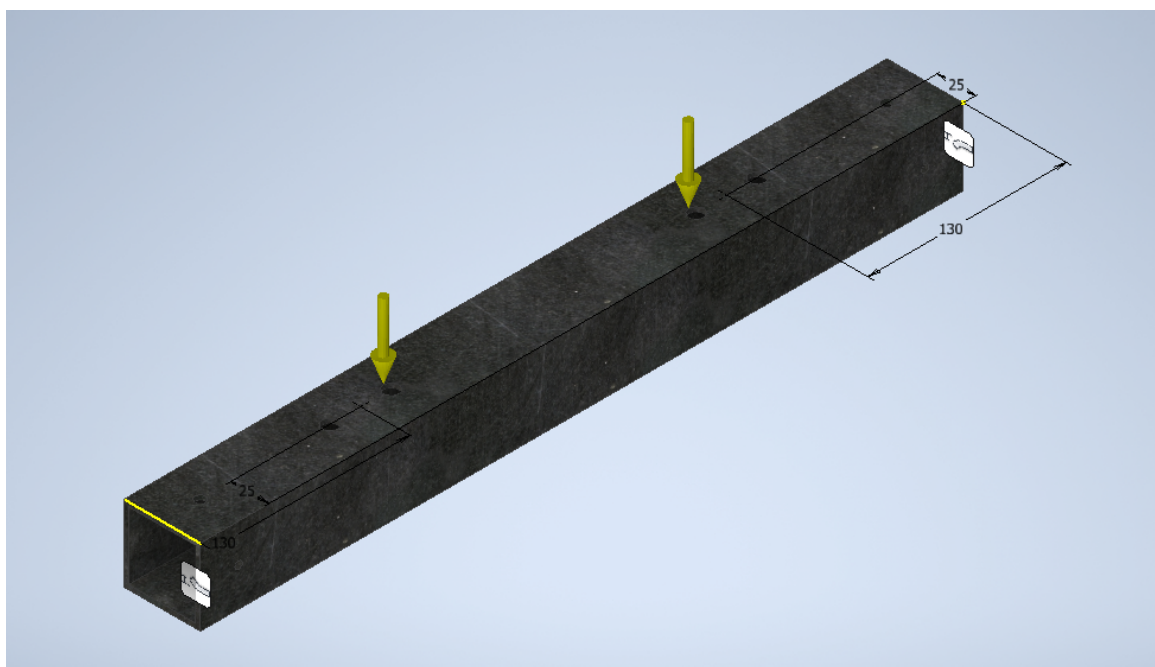
**Figura 20.** Soporte tornillos de potencia deformación

**Tabla 5.** Contraste de valores soporte celda de cargas

Elemento	Esfuerzo simulado	Desplazamiento Simulado	Parámetro Comparado	Parámetro Teórico	Error
Soporte Celda de Carga	$1,2MPa$	$0,0291mm$	Desplazamiento	$0,0287mm$	13,75 %

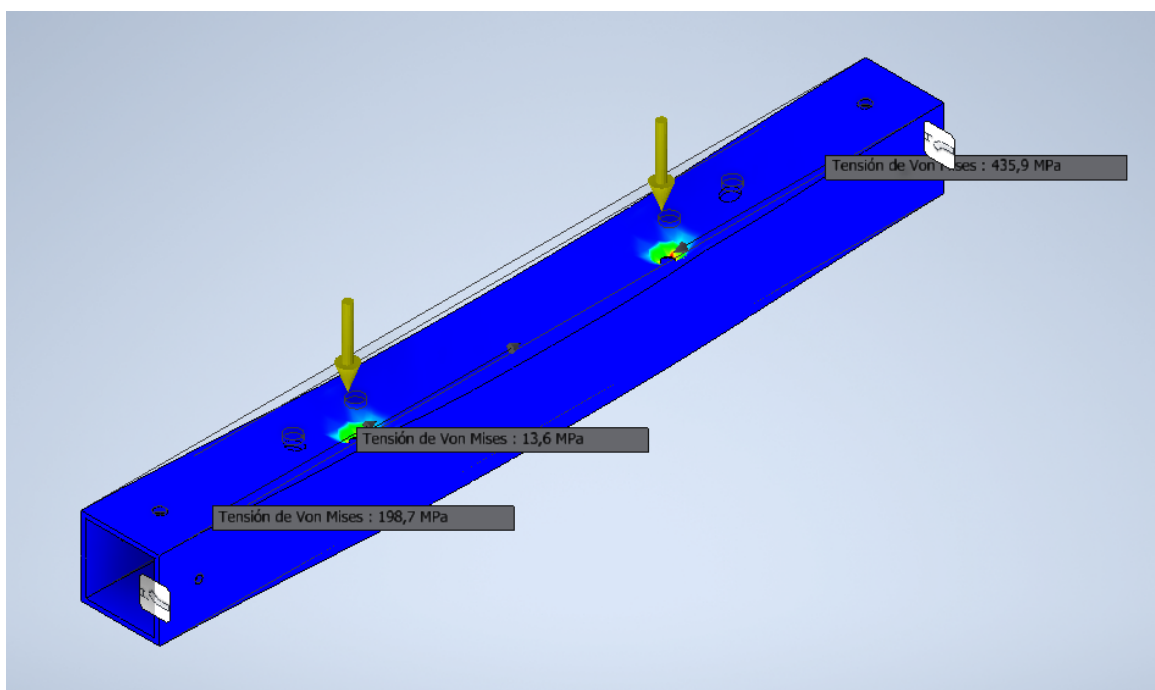
### Simulación viga principal

La viga principal se diseña calculando la deformación máxima que debe existir en la viga para que el diseño sea satisfactorio, esta deformación obtenida en el cálculo se contrasta con el valor de la simulación en la cual se ubican las cargas de manera similar a la Figura 6(a), esta disposición de las cargas se observa en la Figura 21.

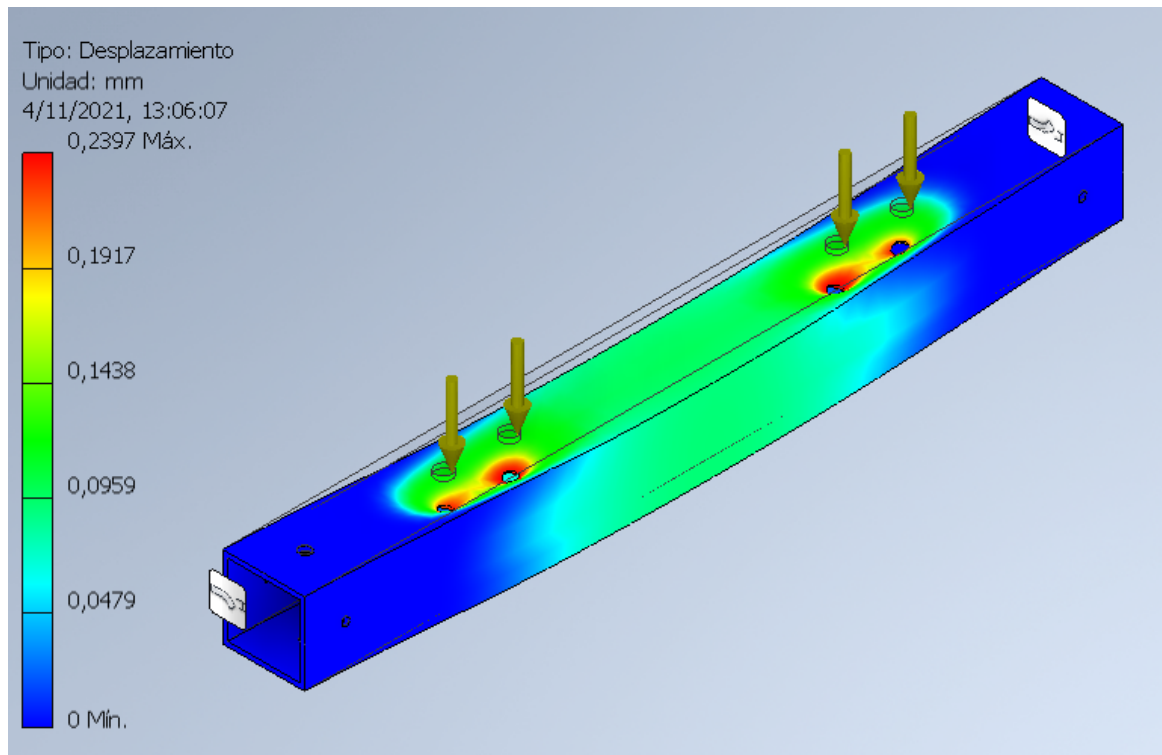


**Figura 21.** Viga principal disposición de cargas

En la Figura 22 y Figura 23 se observan los valores de las simulaciones realizadas, en donde, de la misma forma se utiliza la ecuación (16) para calcular el error y poder contrastar los valores simulados y calculados en la Tabla 6.



**Figura 22.** Viga principal esfuerzo



**Figura 23.** Viga principal deformación

**Tabla 6.** Contraste de valores viga principal

Elemento	Esfuerzo simulado	Desplazamiento Simulado	Parámetro Comparado	Parámetro Teórico	Error
Viga Principal	218,8MPa	0,2397mm	Desplazamiento	0,26mm	8,47 %

### Simulación columna inferior

En el caso del análisis de la simulación de las columnas, se debe tener en cuenta que el valor obtenido del esfuerzo actuante en el software se contrasta con un valor teórico calculado con (17). La disposición de las cargas y de los apoyos en la simulación se los puede observar en la Figura 24.



**Figura 24.** Columna inferior disposición de cargas

$$\sigma = \frac{F_1}{A_4} \quad (17)$$

Donde:

$\sigma_4$  Esfuerzo en  $MPa$ ;

$F$  Fuerza en  $KN$ ;

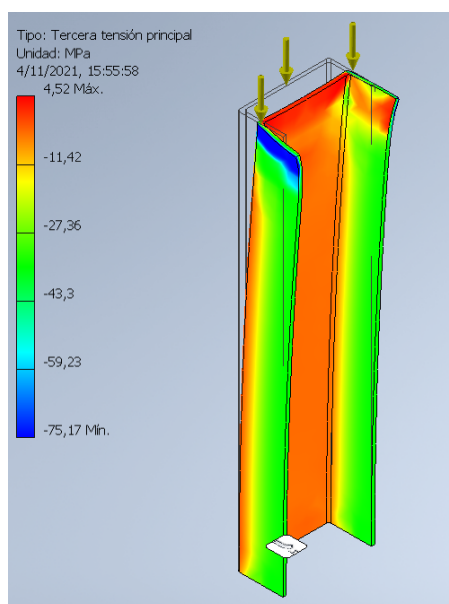
$A$  Area en  $mm^2$ .

$$F_1 = 2,5KN$$

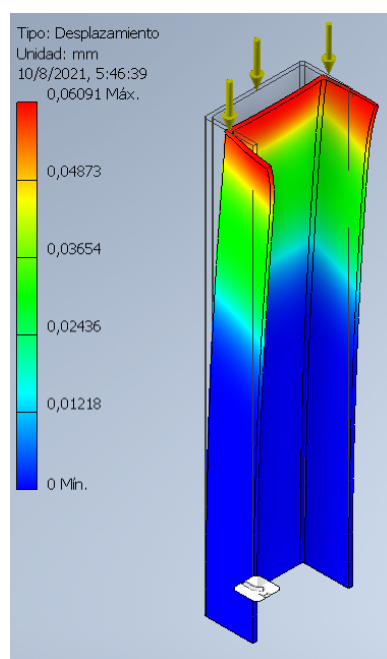
$$A_4 = 0,00047m^2$$

$$\sigma_4 = 5,31MPa$$

De la Figura 25 y Figura 26 se obtienen los datos para contrastar los valores pertenecientes a la columna secundaria en la Tabla (7).



**Figura 25.** Columna inferior esfuerzo



**Figura 26.** Columna inferior desplazamiento

**Tabla 7.** Contraste de valores columna secundaria

Elemento	Esfuerzo simulado	Desplazamiento Simulado	Parámetro Comparado	Parámetro Teórico	Error
Columna Secundaria	6,34MPa	0,0609mm	Esfuerzo	5,31MPa	19,45 %

### Simulación columna superior

Al igual que en la columna anterior, primero se disponen las cargas en el software de manera similar a lo observado en la Figura 10 y considerando que para obtener un valor para cotejar con la simulación se aplica (17) con los valores obtenidos en la sección 7.5, la disposición de las restricciones y de las cargas se observa en la Figura 27.



**Figura 27.** Columna superior disposición de cargas.

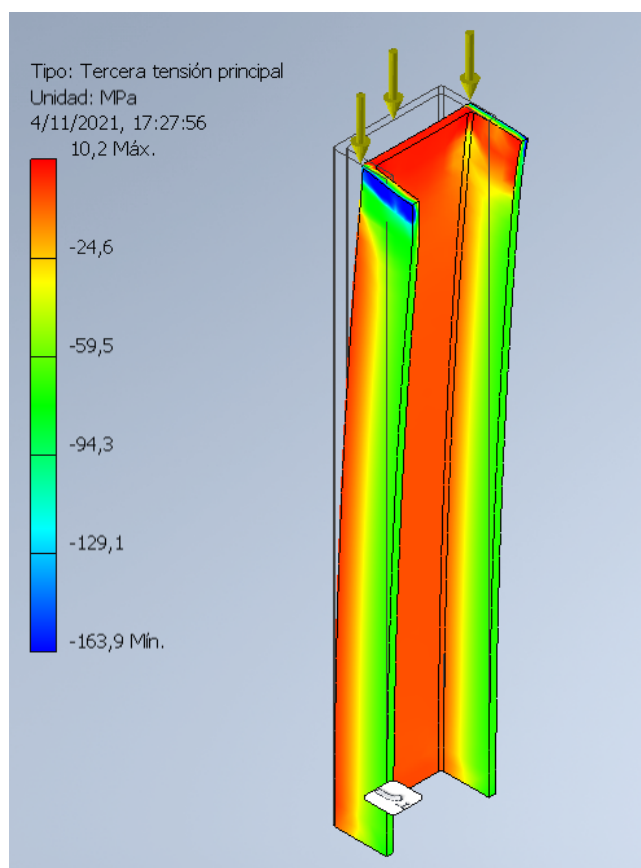
Los valores de las simulaciones tanto de esfuerzo y desplazamiento se pueden apreciar en la Figura 28 y Figura 29, de donde se toman los valores para la Tabla 8, para obtener el valor teórico se aplica (17).

$$\sigma_5 = \frac{F_2}{A_5}$$

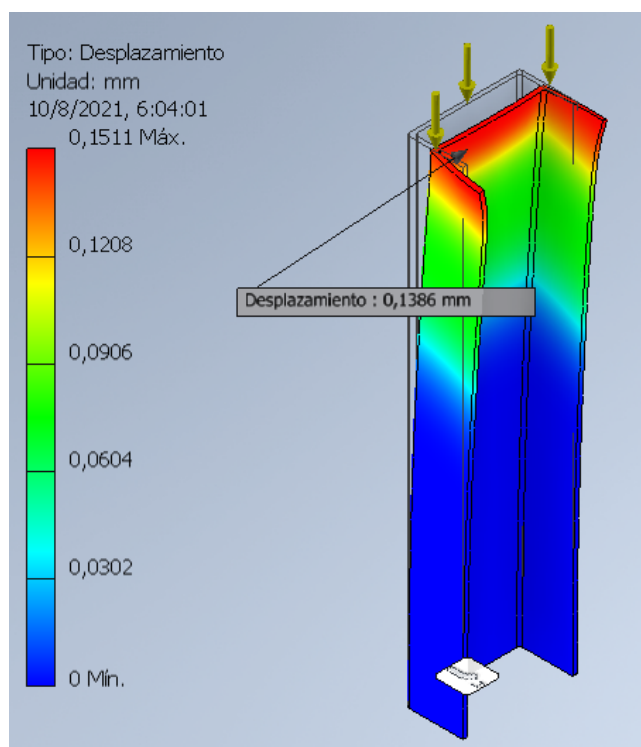
$$F_2 = 5KN$$

$$A_5 = 0,00047m^2$$

$$\sigma_5 = 10,64MPa$$



**Figura 28.** Columna superior esfuerzo



**Figura 29.** Columna superior desplazamiento.

**Tabla 8.** Contraste de valores columna principal tipo C

Elemento	Esfuerzo simulado	Desplazamiento Simulado	Parámetro Comparado	Parámetro Teórico	Error
Columna Principal Tipo C	10,2MPa	0,1511mm	Esfuerzo	10,64MPa	4,14 %

Las simulaciones de los demás elementos dependen del valor del espesor, y dado que los rangos son elevados, los valores simulados varían y no se puede establecer una comparación definida.

## 8. Selección de componentes mecánicos

Una vez diseñada la estructura que soporta el mecanismo, se dimensiona los elementos que soportan el torque entregado por el motor y que imparten la fuerza a los elementos de sujeción de las probetas.

Para la selección del tornillo se realiza un diseño que soporte las cargas correspondientes, que equivalen a la mitad de la fuerza en cada una de sus tuercas. Usando las tablas de los Anexos E y F se selecciona una tuerca que soporte dichas cargas. En la Figura 30 se observa la tuerca de bolas recirculantes a utilizar, cuyas capacidades son las que se muestran a continuación [11]:

**Figura 30.** Conjunto tornillo y husillo de potencia



$$C_a = 5,811KN$$

$$C_{oa} = 11,064KN$$

$$P_h = 2,5mm$$

$$d_o = 12mm$$

$$u = 0,006$$

Donde:

$C_a$  Carga dinámica en  $KN$ ;

$C_{oa}$  Carga estática en  $KN$ ;

$P_h$  Tamaño del paso en  $mm$ ;

$d_o$  Diámetro interno en  $mm$ .

$u$  Coeficiente de husillo.

Según [12] para calcular el torque de entrada en funcionamiento del sistema de husillos de bolas recirculantes se utiliza (18).

$$T = \frac{F * P_h}{2000 * \pi * n_p} \quad (18)$$

Donde:

$T$  Torque en  $Nm$ ;

$F$  Fuerza en  $KN$ ;

$P_h$  Tamaño del paso en  $mm$ ;

$n_p$  Eficiencia del husillo.

El único parámetro restante necesario es la eficiencia del husillo para lo cual, se utiliza (19).

$$n_p = \frac{1}{1 + \pi * \frac{d_o}{P_h} * u} \quad (19)$$

Donde:

$n_p$  Eficiencia del husillo;

$P_h$  Tamaño del paso  $mm$ ;

$d_o$  Diámetro interno en  $mm$ ;

$u$  Coeficiente de husillo.

Ahora se realizan los diferentes reemplazos en las ecuaciones y se obtienen los siguientes resultados.

$$n_p = \frac{1}{1 + \pi * \frac{12mm}{2,5mm} * 0,006}$$

$$n_p = 0,917$$

$$T = \frac{10KN * 2,5mm}{2000 * \pi * 0,917}$$

$$T = 4,339Nm$$

En base a la referencia [12] se selecciona los soportes tanto inferior y superior para cada uno de los tornillos. Los elementos BK-10 y BF10 que se especifican en el Anexo F.

Lo siguiente en realizar, es buscar un motor que cumpla los parámetros requeridos. En el Anexo H se tiene los parámetros del motor obtenidos de la referencia [13]. En base a estos datos se observan algunas opciones, teniendo en cuenta el precio de los elementos y las ventajas que se tiene con cada uno de estos. Con los datos y lo que se ha observado anteriormente en los documentos pertinentes a los tornillos de potencia, se construye la Tabla (9).

**Tabla 9.** Comparación desplazamiento, revoluciones y pasos del motor

Desplazamiento lineal	Número re-revoluciones	Número de pasos
1mm	0,4 rev	80 pasos
2,5mm	1 rev	200 pasos
100mm	40 rev	8000 pasos

Los desplazamientos lineales señalados en la Tabla (9), hacen referencia a un valor de

desplazamiento por minuto, los que se toman de las normas presentadas en la sección 5. El uno representa la velocidad mínima que se debe lograr y la velocidad máxima. El valor restante es el valor del desplazamiento del cuerpo móvil por cada revolución del tornillo. Cabe recalcar que esta velocidad es la analizada en los tornillos. Estos tornillos a su vez deben estar conectados al motor. En vista de que estas velocidades son muy bajas, se ve la necesidad de instalar una transmisión con reducción de velocidad lo que dará como contrapartida un aumento en el torque del motor que de acuerdo con [13], se sabe que es mayor a lo requerido.

Como se menciona antes, las velocidades de los ensayos son relativamente bajas entonces se busca una relación que en el motor permita tener como velocidad mínima 1 revolución, para lo cual, se hace el cálculo con (20).

$$n_{tm} = \frac{v_m}{v_t} \quad (20)$$

Donde:

$n_{tm}$  Relación tornillo motor;

$v_m$  Velocidad del motor en  $mm/min$ ;

$v_t$  Velocidad del tornillo en  $mm/min$ .

Con los valores de la tabla (9) y el requerido en el eje del motor se realiza el reemplazo y se obtiene:

$$n_{tm} = \frac{1rev}{0,4rev}$$

$$n_{tm} = 2,5$$

Este valor sirve para obtener la relación de número de dientes entre el piñon montado sobre el eje del motor y la catalina que se encuentra concéntrica a cada uno de los tornillos de potencia. Se busca en el mercado una relación de dientes igual o lo más próxima posible al valor de  $n_{tm}$  calculado, la relación que se encuentra en el mercado es la siguiente:

$$n_t = 38$$

$$n_m = 15$$

Donde:

$n_m$  Número de dientes del motor;

$n_t$  Número de dientes del tornillo.

La relación exacta existente se calcula con (21).

$$n_{tm} = \frac{n_m}{n_t} = \frac{T}{T_m} \quad (21)$$

Donde:

$T_m$  Torque del motor en  $Nm$ .

$T$  Torque en los tornillos en  $Nm$ .

Reemplazando valores se obtiene.

$$n_{tm} = 2,53$$

Con esta relación también se sabe cual es el torque necesario del motor para el funcionamiento de la máquina:

$$T_m = \frac{4,339Nm}{2,53}$$

$$T_m = 1,715Nm$$

Una vez que se conoce el valor del torque requerido para el funcionamiento de la máquina se procede con la búsqueda del actuador necesario, teniendo en cuenta que, en la Universidad la máquina previa que sirve de guía posee un motor de más altas capacidades para lo que se está utilizando se lo toma como una opción, debido a que este elemento se debe adquirir se toma en cuenta otra alternativa las cuales son comparadas en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Comparación de motores

	Siemens M111 FD-12	Stepperonline 34HS31
		

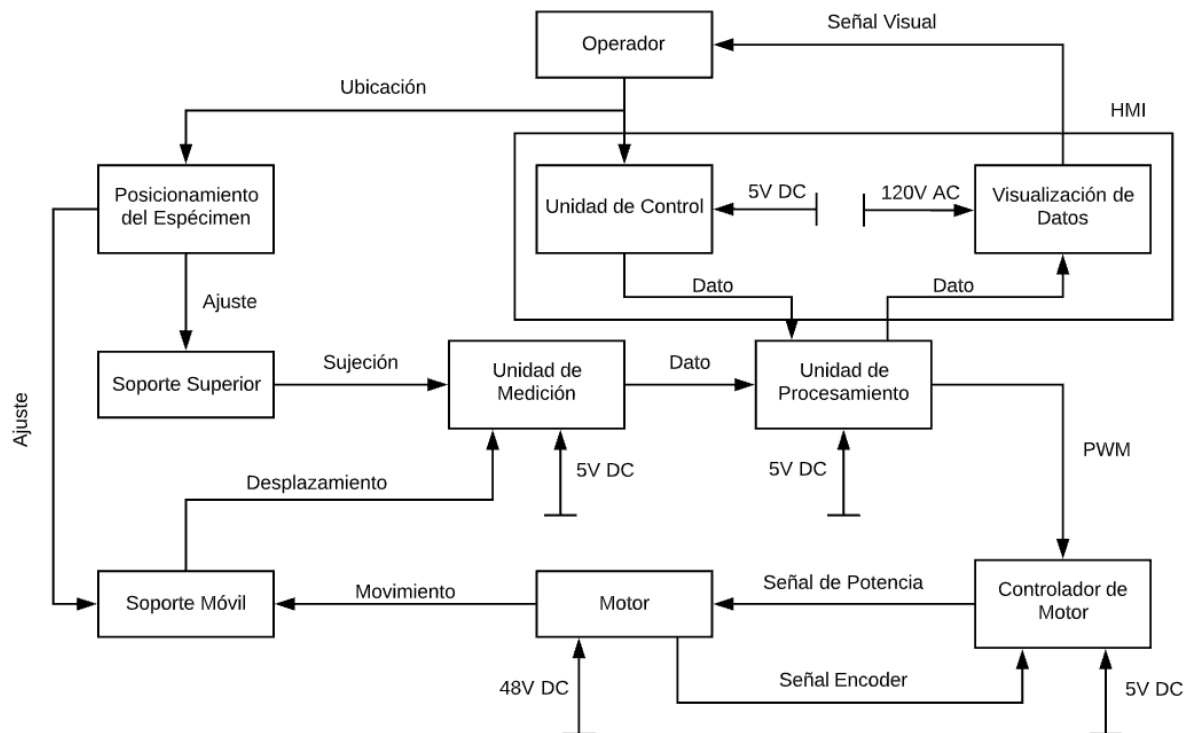
	Siemens M111 FD-12	Stepperonline 34HS31
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Alto torque.</li> <li>■ Bajo voltaje de alimentación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fácilidad de control.</li> <li>■ Alto torque.</li> <li>■ Bajo valor de corriente.</li> <li>■ Fácilidad de diseño de sujeción.</li> <li>■ Precio 169,00 USD.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Poca existencia de recambio en el país.</li> <li>■ Requiere diseño de controlador.</li> <li>■ Alto valor de corriente.</li> <li>■ Dificultad de diseño de sujeción.</li> <li>■ Precio 520,00 USD.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Alto valor de voltaje.</li> <li>■ Se necesita complementar con el driver de control de la marca con un valor adicional de 64,00 USD.</li> </ul>

EN base a que las dos opciones cumplen con los requerimientos mecánicos de la máquina, la selección se basa en otros aspectos como es la fiabilidad del uso en el sistema, el precio de adquisición y la facilidad de implementación en el sistema, es por ello que la mejor opción para la aplicación será la de Stepperonline, se tiene en cuenta que esto causa

que el driver de control deba ser de la misma marca. [14].

## 9. Dimensionamiento electrónico

La máquina de tracción cuenta con la función de seleccionar la norma y la velocidad de ensayo, dependiendo la forma de la probeta o del material que se va a tratar. También existen ocasiones en que se desee hacer una prueba a diferente velocidad sin importar lo recomendado por la norma, más bien con parámetros encontrados dentro de los límites de velocidad y esfuerzo soportado por la máquina. Teniendo en cuenta este caso, se puede ver el diagrama de funcionamiento en la Figura 31.




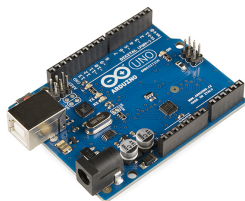

**Figura 31.** Diagrama de bloques

### 9.1. Selección del módulo de control

En este apartado se busca la mejor alternativa para el módulo de control. Existen varias formas en las que se realiza este procedimiento, muchas partiendo desde el periférico que sirve de interfaz entre el humano y la máquina, pero en el correspondiente análisis se empieza por el módulo de control dado que la interfaz no es de gran importancia puesto que la máquina debe ser manejada con un conocimiento previo [15].

En el diagrama de bloques de la Figura 31 se necesita implementar una interfaz entre la máquina y el operador para configurar la máquina de la manera deseada. En el mercado se encuentran varias alternativas para lograr dicho objetivo, con lo cual se analizan diferentes tipos de hardware para implementar el software de control deseado. En la Tabla 11 se observan varias alternativas con sus diferentes ventajas y desventajas sobre los demás. Se comparan de acuerdo al precio del mercado, capacidad de procesamiento, capacidad de almacenamiento que permita guardar los datos de los diferentes ensayos y a su vez la cantidad de periféricos para desarrollar las operaciones necesarias en cada uno de los controladores.

**Tabla 11.** Comparación de módulos de control

	Lattepanda	Arduino UNO	Raspberry PI 3B+
			

	Lattepanda	Arduino UNO	Raspberry PI 3B+
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sistema Operativo Windows.</li> <li>■ Alta capacidad de procesamiento.</li> <li>■ Velocidad de 2,4 GHz</li> <li>■ Conectividad Wi-Fi integrada</li> <li>■ Conector HDMI</li> <li>■ Alta compatibilidad con otros software.</li> <li>■ Baja complejidad de uso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fácil implementación.</li> <li>■ Costo medio bajo 12,00 USD.</li> <li>■ Compatibilidad con varios periféricos.</li> <li>■ Entradas análogas y digitales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Velocidad de 1,4 GHZ</li> <li>■ Compatibilidad de varios periféricos.</li> <li>■ Conector HDMI</li> <li>■ Permite multitarea.</li> </ul>





	Lattepanda	Arduino UNO	Raspberry PI 3B+
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Poca existencia de recambio en el país.</li> <li>■ Precio 135,00 USD.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ No permite multitarea.</li> <li>■ Se necesita varios módulos de complemento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Disponibilidad de periféricos en el país.</li> <li>■ Necesidad de otros componentes dependiendo las versiones [16].</li> </ul>

En conclusión la mejor alternativa para el módulo de control de la máquina es el Lattepanda véase Anexo J, dado que se trata de un microcomputador con el sistema operativo Windows 10 [17].

## 9.2. Selección de módulo de interfaz

Una vez que se decide utilizar el LattePanda, las opciones de interfaz se resumen a las que son compatibles con el módulo de control. Dado que las opciones para la implementación entre módulos es demasiado amplia, se investigan solo las más populares entre los usuarios de este sistema. Con lo cual las opciones que son dispuestas a análisis son las mostradas en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Comparación de módulos de interfaz

	Monitor IPS de 7in	Monitor, Mouse y Teclado
		

	Monitor IPS de 7in	Monitor, Mouse y Teclado
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Alta resolución.</li> <li>■ Base para Raspberry y LattePanda.</li> <li>■ Marcos delgados. [18]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Base ajustable.</li> <li>■ Case cubre todos los elementos.</li> <li>■ Elementos robustos.</li> <li>■ Disposición de recambio en el mercado nacional.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Poca robustez.</li> <li>■ Base Fija. [19]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ No se dispone de opción táctil.</li> </ul>

La mejor opción para la interfaz es la del conjunto de monitor, mouse y teclado, dado que en una máquina de ensayos de tracción es importante la robustez de los elementos. Considerando que la ventaja significativa de la otra pantalla es la resolución y esta característica no es importante para la máquina, se desecho la opción del monitor IPS de 7in. [18].

### 9.3. Selección de driver del motor

En el caso de la selección del driver para el motor, se inspecciona [20] en donde se encuentran todas las características del motor, parámetros de funcionamiento y recomendaciones de drivers para el actuador al igual que se encuentran los encoders y cajas de transmisión en caso de ser necesario. De igual manera se inspecciona en el mercado el elemento sugerido. En el caso del motor a usarse se cuenta con la recomendación del driver CL-86T de la misma marca Stepperonline, el cual es un driver de lazo cerrado, lo que quiere decir que entre el motor y este elemento se crea un controlador para garantizar la

velocidad del actuador. Esta característica es de gran importancia para controlar de mejor manera las velocidades de los ensayos [21], el driver se lo observa en la Figura 32.



**Figura 32.** Driver de lazo cerrado CL-86T

#### 9.4. Elemento de medición

Para la medición del esfuerzo que se está desarrollando en el ensayo de tracción es indispensable el uso de una celda de carga en donde se desarrolla la medición de los datos en tiempo real. En este caso se puede tener una infinidad de celdas de diferentes marcas, puesto que se trata de una máquina con fines didácticos no se tendrá en cuenta celdas de alta precisión debido al precio que requiere la adquisición de una celda de marca conocida. En la Figura 33 se observa la celda que se adquiere de acuerdo a la necesidad de una medición de hasta 10 KN y que sea certificada en medida de su calibración. [22]



**Figura 33.** Celda de carga.

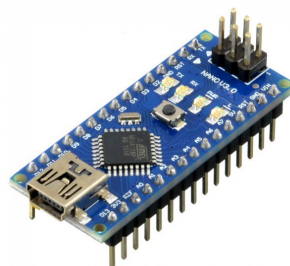
Para el uso de la celda de carga se debe tener en cuenta sus especificaciones, las cuales se pueden observar en el Anexo K. Además, se debe adquirir un módulo para amplificar la adquisición de datos. En este caso se usa un HX-711 el cual se puede encontrar fácilmente en el mercado, el elemento se puede observar en la Figura 34.



**Figura 34.** Módulo de amplificación Hx-711.

## 9.5. Elementos de comunicación

Debido a que los elementos de medición son muy sensibles al ruido generado en el sistema, se ve necesario un elemento que acople cada una de las señales de entrada y salida. En este caso por disposición de los elementos y poca necesidad de puertos de control, se cree conveniente el uso de dos Arduinos Nano como en la Figura 35. De ellos, uno se usa para la lectura de la celda de carga y otro para el control del motor. Para lo requerido en este caso, se usa un arreglo de maestro-esclavo entre los dos arduinos, donde el que realiza la lectura de la celda de carga envía una variable que activa al arduino esclavo y a su vez se encarga de activar al motor. El arduino que hace de maestro también es el encargado de hacer el paro del funcionamiento, este arreglo se basa en una librería disponible por el fabricante. [23]



**Figura 35.** Arduino nano.

## 9.6. Elementos de sujeción

Para garantizar el funcionamiento de la máquina y que cada uno de los ensayos sea exitoso se debe tener en cuenta que las mordazas que sujeten las probetas brinden un agarre perfecto para evitar deslizamientos de cada una de las probetas. Además, deben ser lo suficientemente resistentes para la carga que se va a generar en cada una de ellas. Dado esto, se verifica un juego de mordazas que cumpla estos requerimientos y que el precio sea lo más conveniente posible. En la Figura 36 se observa la mejor opción del mercado.



**Figura 36.** Mordazas de sujeción.

Las especificaciones de las mordazas se las puede apreciar en el Anexo L al final del documento. Cabe recalcar que, debido a que las mordazas solo vienen con un juego de pastillas, solo se puede ensayar probetas de hasta 7 mm de espesor. [24]

## 9.7. Fuente de poder

Una vez que se conoce los elementos a usarse en la máquina, se realiza un listado de los componentes con el voltaje de alimentación necesario de cada uno de estos, con lo cual, se busca una fuente de poder o en caso de ser necesario calcular los elementos para la implementación de una, en la Tabla 13 se pone a conocimiento los valores de cada uno.

**Tabla 13.** Valores de alimentación.

Elemento	Voltaje	Corriente
Lattepanda.	5V-12V.	Continua 2,5A.
Monitor 17in.	110V-120V.	Alterna.
Mouse y teclado.	3,3V.	Continua 500mA.
CL-86T.	24V-80V.	Continua 8,2A.
Hx-711.	5V-10V.	Continua.
Arduino Nano.	6V-12V.	Continua.

El primer parámetro que se analiza para la fuente es el mayor voltaje requerido dentro del sistema, en caso de la corriente continua es el voltaje del motor o a su vez del driver que es el encargado de controlar la potencia del mismo, y de corriente alterna el voltaje necesario para el monitor, se toma la decisión de conectar una regleta directo a los 110V de la red similar a la de la Figura 37 con interruptor de encendido y apagado para poder utilizar como botón de emergencia y de aquí conectar el monitor de manera directa y los otros elementos a través de fuentes que se encargan de transformar la corriente alterna en directa y regular el voltaje necesario para cada uno.

**Figura 37.** Regleta de 6 tomas.

Para el sistema del motor y el driver son requeridos 48V y 8,2A de corriente por lo que, la fuente de la Figura 38 es la que se acopla de manera correcta al funcionamiento, es de una entrada de 110V de corriente alterna que se toma desde la regleta y entrega hasta los 48V a 10A que son los suficientes para poner en marcha el sistema.



**Figura 38.** Fuente de poder de 480W.

Los elementos que faltan alimentar son: los arduinos, módulo de amplificación y Lattepanda, debido a que estos elementos necesitan una alimentación similar y la corriente que consumen es muy pequeña dado que se utilizan para la recepción y envío de señales, se establece como alimentación el cargador del lattepanda Figura 39 que se conecta a la regleta de 110V de corriente alterna y brinda una salida de 10V de corriente continua a 2,5A con lo que se logra alimentar al Lattepanda el cual, a su vez tiene los puertos USB que pueden alimentar a los demás elementos como se observa en el Anexo O.



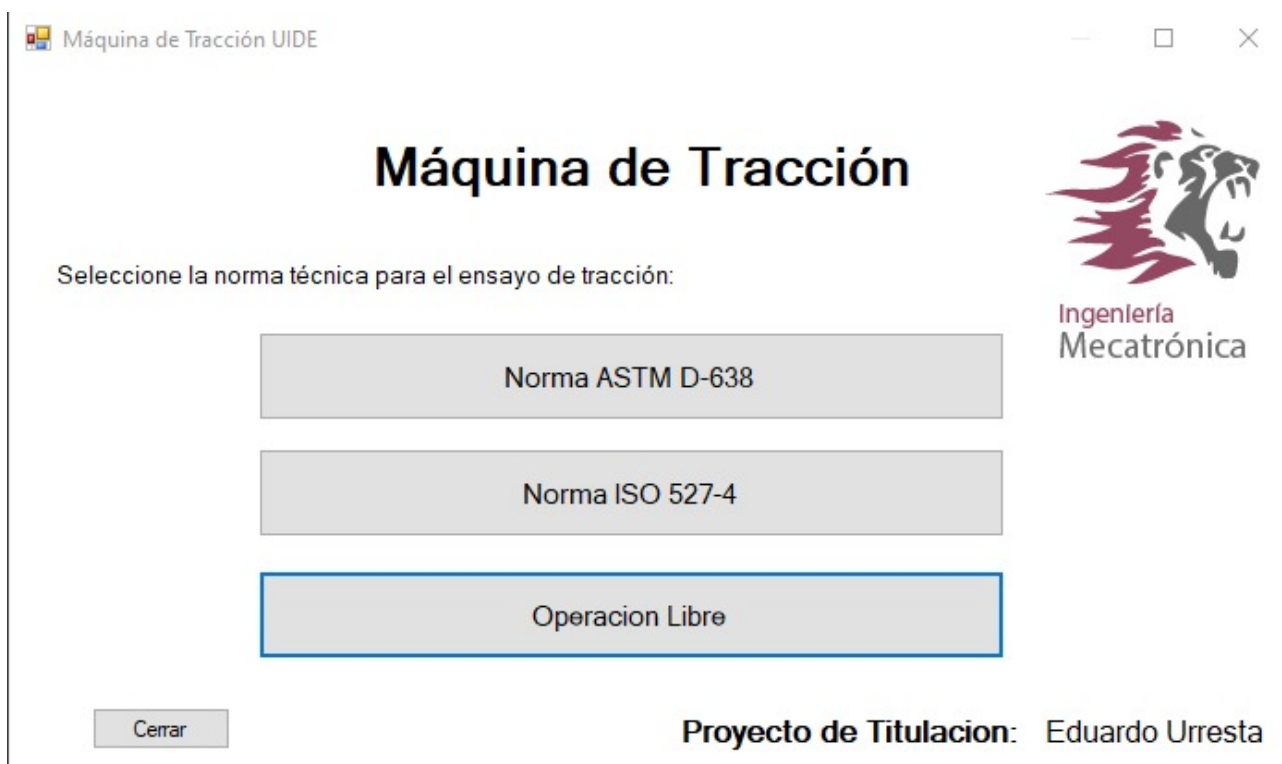
**Figura 39.** Cargador Lattepanda.

## 10. Interfaz y programación

Una vez que se definen los componentes de la máquina se comienza con el desarrollo de la interfaz y la programación para la correspondiente operación de la máquina.

### 10.1. Interfaz

La interfaz de la máquina se desarrolla en el software Visual Studio debido a que este tiene una versión libre que es compatible con el sistema operativo Windows y que en efecto es el que lleva el Lattepanda. Una de las ventajas en este caso, es que, de ser necesario una modificación en la aplicación, se podrá modificar en la misma máquina sin tener que desmontar el hardware en absoluto. La aplicación cuenta con 4 menús. El principal como se muestra en la Figura 40 y otros 3 que dependen del modo de operación seleccionado. [25]



**Figura 40.** Menú principal.

En la Figura 41 se observa los diferentes botones y las opciones de selección con las cuales se debe operar la máquina dentro de lo recomendado según la norma ASTM D-638. Los botones subir y bajar sirven para calibrar la posición del cuerpo móvil.




Norma ASTM D-638

Puerto disponible  Conectar

SUBIR Tipo I Iniciar Ensayo

BAJAR 5 mm/min Mostrar Gráfica

Cerrar Proyecto de Titulacion: Eduardo Urresta



**Figura 41.** Menú ASTM D-638.

De igual manera, para la norma ISO 527-4 se utiliza un menú de las mismas características, lo que cambiaría en sí son las opciones del tipo de probeta y de la velocidad de ensayo que varía de acuerdo a cada norma. En cualquiera de los dos menús, se puede observar un casillero donde se escoge un puerto disponible. Esto debe ser en consideración al puerto en donde se encuentre conectado el arduino maestro.

iso


Norma ISO 527-4

Puerto disponible  Conectar

SUBIR Tipo III Iniciar Ensayo

BAJAR 10 mm/min Test de rutina Mostrar Gráfica

Cerrar Proyecto de Titulacion: Eduardo Urresta



**Figura 42.** Menú ISO 527-4.

En el último de los menús de operación se observa la misma disposición de botones y

opciones, con la diferencia que se puede escoger cualquier tamaño de probetas y cualquiera de las velocidades configuradas en la máquina para tener una operación personalizada de la máquina. Así como en las anteriores figuras, en la Figura 43 se observa al costado derecho dos botones, el primero que comienza el ensayo una vez conectado el puerto, seleccionando un tipo de probeta y una velocidad. En el caso del botón inferior que dice "mostrar gráfica", arrojará una gráfica al final cuando la máquina llegue a romper la probeta.

OL

## Operación Libre

**Ingeniería Mecatrónica**

Puerto disponible

**Proyecto de Titulación: Eduardo Urresta**

**Figura 43.** Menú operación libre.

El botón de mostrar gráfica, arroja un menu similar al presentado en la Figura 44 en donde se tiene un botón de cerrar y un botón para guardar el documento en formato .csv, que arrojará todos los datos del ensayo. Se debe analizar la curva de cada uno de los ensayos para exportar el .csv, dado que en caso de que el ensayo no sea satisfactorio queda a decisión del operador el guardar los datos o descartarlos. El archivo se exportará con el nombre de la fecha y hora que se realiza el ensayo.



**Figura 44.** Gráfica del ensayo.

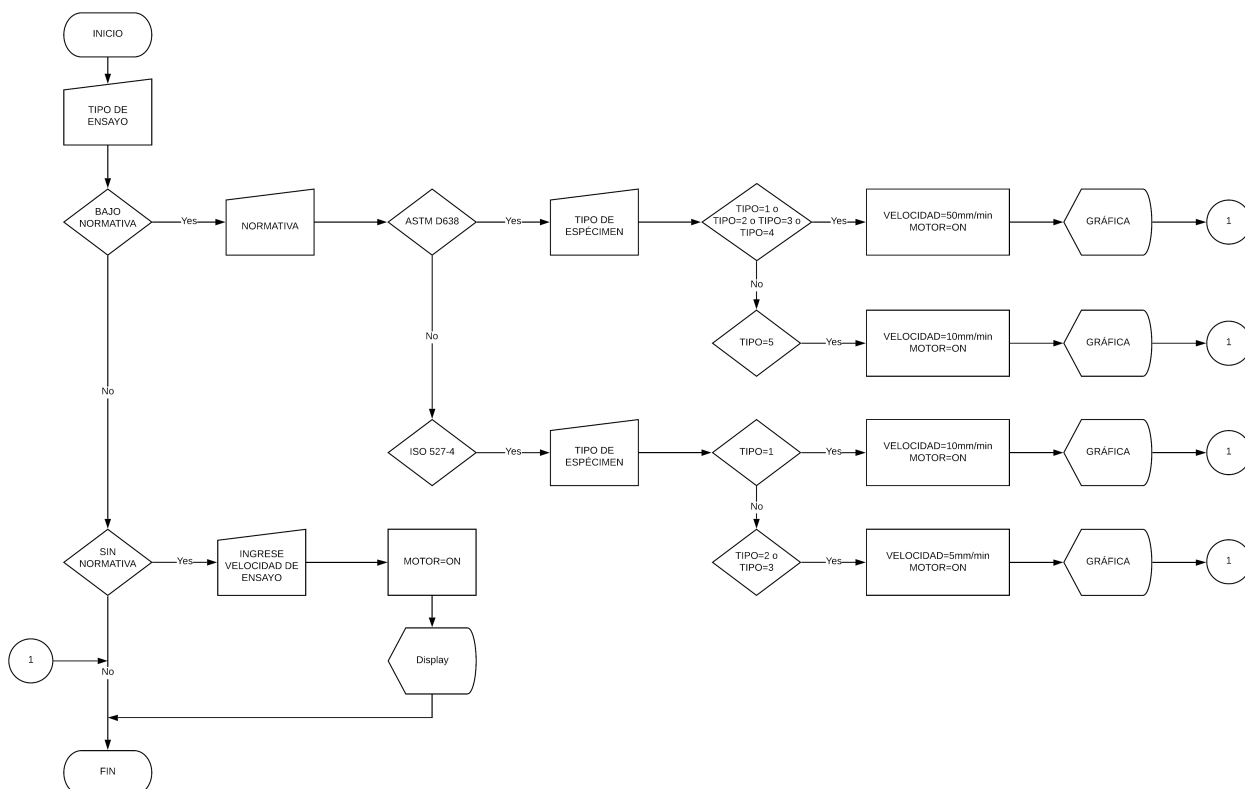
## 10.2. Programación

La programación de la interfaz y las funciones que se envían en Visual C, pero la programación orientada a objetos se realizaba en Arduino para la comunicación entre los dos software. En la interfaz de Arduino se hace un modelo de operación de maestro esclavo en donde el Arduino maestro se encargará de la lectura de los datos de la celda de carga, una vez seleccionada en la interfaz el tipo de probeta, la velocidad de ensayo, el puerto de conexión y se pulse el botón de iniciar ensayo, el Arduino maestro enviará un paquete de datos con dos variables (un número y una letra) los cuales se envían a través de protocolo I2C al arduino esclavo, el cual interpreta los datos y acciona la máquina de acuerdo a lo solicitado. El Arduino maestro lee los datos todo el tiempo desde la puesta en marcha de la máquina y envía una señal de paro inmediatamente al momento que detecta un cambio repentino a 0 del esfuerzo. La señal de detención es enviada al arduino esclavo encargado de la operación del motor. En el Anexo M se observa los códigos fuente de las aplicaciones y de los arduinos, de igual manera en el plano electrónico se puede observar la conexión de los dispositivos, lo cual fue desarrollado en Visual Studio y Arduino Figura 45.



**Figura 45.** Visual Studio y Arduino. [1]

La programación que se implementa para el control de la máquina es la presentada en la Figura 46 mientras el código para implementar dicha programación esta presentada en el Anexo M.

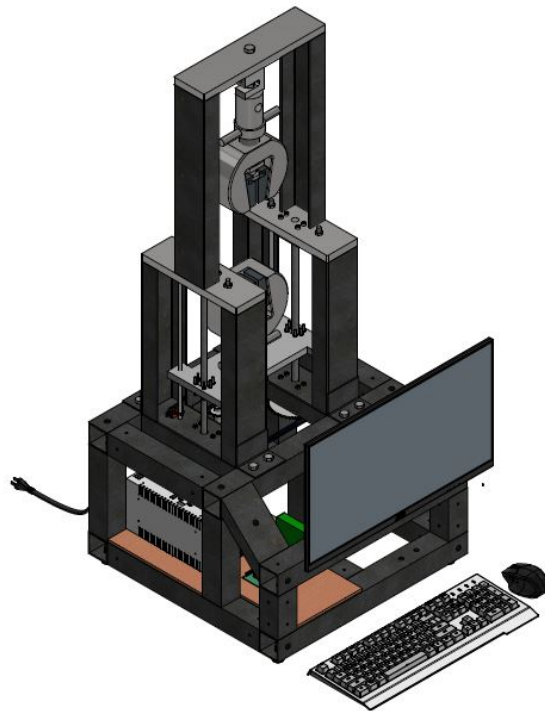


**Figura 46.** Diagrama de flujo de programación.

## 11. Construcción y Pruebas de Funcionamiento

### 11.1. Construcción

En base a todos los elementos estudiados y diseñados se realiza una simulación en Inventor de lo que sería el prototipo de la máquina con sus respectivos planos para la construcción, vease Anexo P. En la Figura 47 se observa el prototipo final de la máquina.



**Figura 47.** Máquina de tracción.

Se realiza todos los ajustes de la simulación y se comienza con la construcción del chasis de la estructura para luego ubicar los diferentes elementos mecánicos y electrónicos, las uniones en su mayoría se realizan con soldas convencionales dando el resultado de la Figura 48.



**Figura 48.** Contrucción chasis máquina de tracción.

Luego de que se realiza la construcción se debe acoplar todo el sistema de transmisión del torque del motor a los tornillos como se ve en la Figura 49. Dado que esto también conlleva proceso de soldadura se debe realizar un proceso de limpiado de impurezas con lo que se remueve la escoria de la soldadura y posteriormente se lija en su totalidad la máquina para eliminar imperfecciones. Por último se realiza el proceso de pintado y barnizado de la totalidad del chasis de la estructura. Con esto la estructura del chasis queda lista y se procede a poner todos los elementos como se observa en la Figura 50.



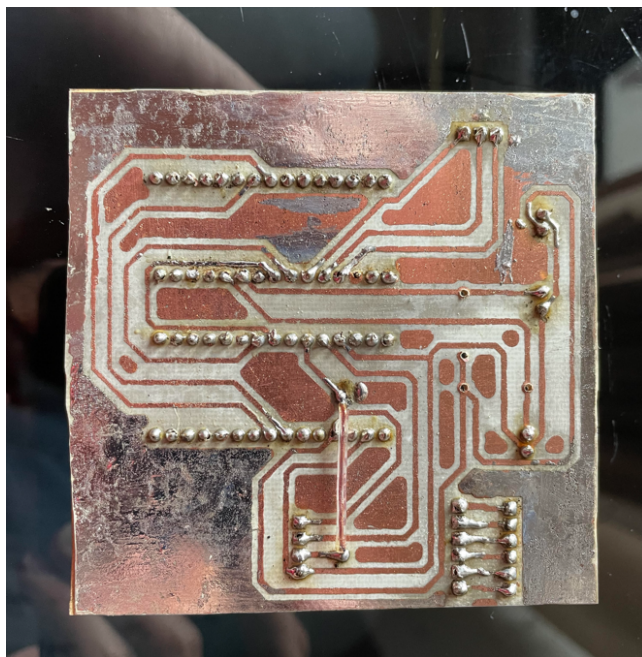
**Figura 49.** Contrucción chasis de la máquina de tracción.



**Figura 50.** Estructura terminada.

El siguiente paso para poner en funcionamiento la máquina, es realizar una placa electrónica como se muestra en la Figura 51 que conecte los elementos electrónicos de acuerdo al Anexo O con la finalidad de que se pueda asegurar todos los elementos electrónicos y evitar cortocircuitos.





**Figura 51.** Placa electrónica.

Finalmente, se puede observar la máquina con todos sus componentes en la Figura 52 lista para las pruebas de cada una de las probetas.



**Figura 52.** Máquina de tracción completa.

## 11.2. Pruebas de funcionamiento

Con la máquina ensamblada con todos los elementos mecánicos en su lugar y la interconexión entre los diferentes circuitos electrónicos, se comienza con las diferentes pruebas

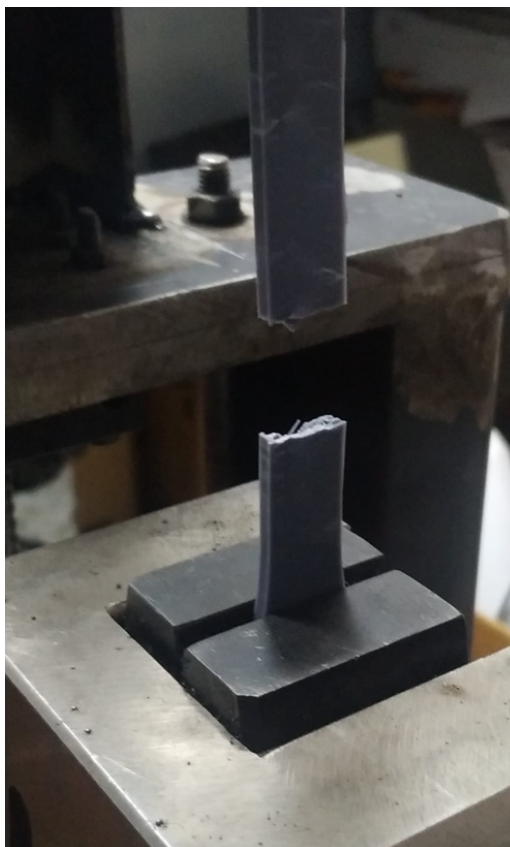


de funcionamiento. En la Tabla 14 se tratan los resultados de los diferentes funcionamientos que se pueden controlar dentro de la app.

**Tabla 14.** Pruebas de funcionamiento del sistema.

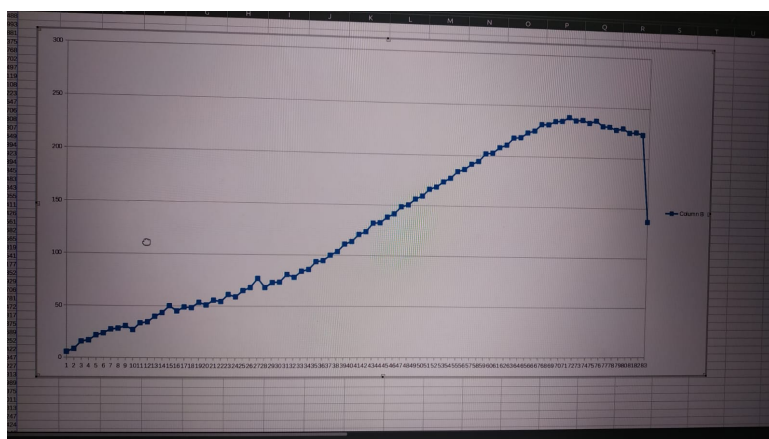
Elemento a Verificar	Satisfactorios	Problemas
Ventana principal App	Todos los botones realizan la operación solicitada.	No encontrados.
Ventana ASTM D-638	Todos los botones realizan la operación solicitada.	Los botones subir y bajar algunas veces no responden de manera ágil.
Ventana ISO 527-4	Todos los botones realizan la operación solicitada.	Los botones subir y bajar algunas veces no responden de manera ágil.
Ventana operación libre	Todos los botones realizan la operación solicitada.	Los botones subir y bajar algunas veces no responden de manera ágil.
Conexión serial	La conexión es estable mientras sea el puerto correcto.	Puede alternar el puerto debido a los periféricos conectados.
Velocidad de desplazamiento	En un minuto recorre la distancia requerida.	Por cuestión de distancia la velocidad de 500 mm/min no se puede medir de manera exacta.

La siguiente prueba sera la de funcionamiento en conjunto dentro de un ensayo por lo que se debe de realizar algunos ensayos de las probetas. El primer ensayo se lo realiza con una probeta de tipo II de la norma ASTM D-638 a una velocidad de ensayo de 5 mm/min. En la Figura 53 se puede observar el ensayo.



**Figura 53.** Primer ensayo de tracción normativa ASTM D-638.

Se obtienen los datos en el documento .csv y una figura similar a la Figura 54 donde se puede apreciar el comportamiento del material al ensayo de tracción.



**Figura 54.** Gráfica primer ensayo.

Estos datos para ser valederos se deben contrastar, tomando en cuenta la información de una empresa que puede verificar los datos correctos y valederos de la máquina.

### 11.3. Calibración de la máquina

Una vez garantizado el funcionamiento correcto de la máquina se realiza una calibración de la misma dado que esto es lo único que corrobora que los datos arrojados por la máquina sean valederos y se los pueda utilizar en informes de ensayos. Para esto, se contrata una empresa especializada que verifique y certifique los valores y en caso de ser necesario se pueda ajustar ciertos parámetros de la medición. En la Figura 55 se observa el proceso de instalación de los equipos para poder hacer la inspección.



**Figura 55.** Conexión Datatronic y máquina de tracción.

Para entender el proceso que se realiza se debe instalar la celda de carga patrón en serie con la celda de carga de la máquina de tracción y someter las dos a la misma fuerza en cadena y comparar los datos entre cada una de estas. Para tener claro la manera de instalación se puede observar en la Figura 56 como se posicionan las dos celdas de carga.



**Figura 56.** Disposición entre celdas de carga.

Conociendo que la celda de carga está conectada a un amplificador para poder interpretar la señal como se aprecia en el Anexo O. Se sabe que en la programación del arduino maestro Anexo M se tiene un factor de escalado de la señal obtenida. Este factor se puede cambiar lo cual crea una ventaja frente a otros sistemas en donde no se pueda escalar los valores obtenidos. Para ajustar este factor, se realiza la comparación con los valores que arroje el datatronic de la celda de carga calibrada y certificada por la empresa contratada. En la Figura 57 se observa los valores leídos con el Datatronic y en la Figura 58 hasta que rango de fuerza se pudo comparar debido a la capacidad de la celda de carga patrón.





**Figura 57.** Aplicación de carga a 1 kN.



**Figura 58.** Aplicación de carga a 3 kN.

Para la lectura de las medidas de la celda de carga de la máquina se lo realiza a través

de la comunicación serial del arduino maestro en donde se puede observar los valores que arroja la misma. En la Figura 59 se observan las medidas obtenidas y la repetición que se tiene bajo el 10 % de la capacidad de la celda de carga y en la Figura 60 una lectura sobre este porcentaje en donde se ve que los valores son más continuos y repetitivos.

```
one reading:    -510.8 | average:    -510.7
one reading:    -510.8 | average:    -510.6
one reading:    -510.7 | average:    -510.6
one reading:    -510.7 | average:    -510.4
one reading:    -510.8 | average:    -510.6
one reading:    -510.6 | average:    -510.5
one reading:    -510.7 | average:    -510.5
one reading:    -510.6 | average:    -510.5
one reading:    -510.7 | average:    -510.4
one reading:    -510.6 | average:    -510.4
one reading:    -510.4 | average:    -510.4
one reading:    -510.7 | average:    -510.4
one reading:    -510.5 | average:    -510.5
one reading:    -510.6 | average:    -510.4
one reading:    -510.5 | average:    -510.4
one reading:    -510.6 | average:    -510.4
one reading:    -510.5 | average:    -510.3
one reading:    -510.5 | average:    -510.4
one reading:    -510.4 | average:    -510.4
one reading:    -510.4 | average:    -510.4
one reading:    -510.4 | average:    -510.3
one reading:    -510.4 | average:    -510.3
one reading:    -510.2 | average:    -510.2
one reading:    -510.0 | average:    -510.1
one reading:    -510.3 | average:    -510.2
one reading:
```

**Figura 59.** Aplicación de carga a 0,5 KN máquina.

```
one reading:    -1516.7 | average:    -1518.1
one reading:    -1517.8 | average:    -1517.4
one reading:    -1517.3 | average:    -1517.0
one reading:    -1517.1 | average:    -1516.8
one reading:    -1517.1 | average:    -1517.0
one reading:    -1517.2 | average:    -1516.9
one reading:    -1516.7 | average:    -1516.7
one reading:    -1516.7 | average:    -1516.3
one reading:    -1516.3 | average:    -1516.2
..
```

**Figura 60.** Aplicación de carga a 1,5 KN máquina.

Dado que en las máquinas de tracción el proceso de calibración se debe realizar a lo

largo del ensayo y realizar una comparación en varios puntos del ensayo, se realiza una primera toma de datos entre el datatronic y la máquina propuesta para comprobar cual es el error existente en la medición. Los valores de la primera toma de datos se analiza en la Tabla 15.

**Tabla 15.** Comparación primeras lecturas.

Fuerza Máquina	Fuerza Datatronic	Error
117,4 N	116,3 N	0,937 %
510,8 N	505.3 N	1,077 %
1017,5 N	1006,04 N	1,126 %
1519 N	1501,4 N	1,159 %
2023,4 N	2000,21 N	1,146 %

Dado que hay un error preexistente y que todos los valores medidos por la máquina son inferiores a los valores obtenidos por el datatronic se realiza una compensación del factor de escalado el cual se lo establece en la programación, veasé Anexo O. El factor de escalado de los valores de la Tabla 15 es de 4310, se va incrementando este factor de escalado de 10 en 10 hasta cuando los valores entre las dos celdas de carga se sobreponen, y el error sea lo más bajo posible. En la Tabla 16 se ajusta un valor de 4350, a continuación se observa los resultados.

**Tabla 16.** Lectura después de correcciones.

Fuerza Máquina	Fuerza Datatronic	Error
105 N	105,2 N	0,19 %
518 N	517,92 N	0,02 %
1020,4 N	1019 N	0,14 %
1618,5 N	1616,28 N	0,14 %
2020,8 N	2017,2 N	0,18 %
2575 N	2569,57 N	0,21 %
2920,4 N	2917,13 N	0,11 %

Visto que los valores de las celdas de carga tanto la de la máquina como la del datatronic tienen un error demasiado bajo se puede decir que se tiene una trazabilidad estable y similar, en donde la diferencia de los datos es imperceptible y se debe en mayor medida a la sensibilidad de los equipos.



## 12. Conclusiones

El diseño por deflexión y diseño por resistencia del material de la estructura garantiza el correcto funcionamiento de la estructura en cuanto al chasis que se encuentra diseñado bajo un factor de seguridad mínimo de 6 para cada uno de los elementos estructurales con lo cual la máquina tiene unas dimensiones finales de 728mm de altura, un frente de 506mm de ancho y una longitud hacia la parte posterior de 502mm en cuanto la cabina de operación cuenta con un recorrido total de 300mm para desplazamiento del cuerpo móvil, de igual manera los elementos de la cabina son diseñados para soportar la carga de 10KN y el conjunto de hardware y software es capaz de regular la velocidad del ensayo a lo requerido por el operador en base a las normas tratadas.

La máquina se controla de manera intuitiva y sencilla dando la posibilidad de ajustar los parámetros de los ensayos o a su vez hacer pruebas a una velocidad no estipulada en las normas pero que se encuentre dentro del rango de operación y crear pruebas bajo los parámetros del operador dando esto cavida a nuevas interpretaciones de datos fuera de las normativas con fines de afianzar el conocimiento obtenido en clase.

La máquina es capaz de informar la curva de esfuerzo deformación al operador siempre y cuando se opere dentro de los rangos establecidos en el documento, minimizando los errores que se puedan dar por inpercepciones en las estructuras y que el movimiento no sea constante de acuerdo a lo que se establece en los ensayos de tracción esto gracias a la robustez del diseño tanto mecánico como electrónico.

### **13. Recomendaciones**

Los elementos que se deben de tener en cuenta para el armado de la estructura son la base de información para el dimensionamiento de los elementos aledaños, dado que estos son los elementos que en algún caso se debería de reemplazar.

La máquina cada cierto tiempo debe ser sometida a un proceso de mantenimiento para ajustar los valores del controlador del motor, realizar una inspección de cada uno de los elementos, lubricar en caso de ser necesario y por último en caso de ser necesario un ajuste las piezas dado que se pueden someter a sobreesfuerzos debido a malos manejos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Conexión visual y arduino. [En línea]. Disponible: <https://www.luisllamas.es/el-mejor-ide-para-arduino-visual-studio-con-visual-micro/> [Fecha de consulta: Mayo 2021]
- [2] A. Committee, *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*, tercera ed., American National Standard, United States, Enero 2014.
- [3] I. O. for Standardization, *Test Conditions for Isotropic and Orthotropic Fibre-Reinforced Plastic Composites*, segunda ed., ISO, Suiza, Julio 2005.
- [4] C. M. A. Buñay, "Diseño, construcción y pruebas de una máquina para realizar ensayos de tracción en cuerdas de fibras sintéticas," Riobamba, Ecuador, 2015.
- [5] C. E. V. Abendaño, H. Castillo, "Diseño y construcción de una máquina manual para el ensayo a la tracción de materiales ferrosos," Loja, Ecuador, 2006.
- [6] J. L. G. Moreno, "Diseño y construcción de una máquina básica de ensayos destructivos de tracción y torsión," Bogota, Colombia, 2006.
- [7] C. M. E. Castillo, O. Loor, "Diseño y construcción de una máquina para ensayos de tracción," Quito, Ecuador, 2016.
- [8] M. Rober, *Diseño de Elementos de Máquina*, cuarta ed. Pearson - México, 2006.
- [9] B. Richard y K. Nisbett, *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, octava ed. Mc Graw Hill - México, 2008.
- [10] M. Rober, *Resistencia de Materiales Aplicada*, tercera ed. Pearson - México, 2000.
- [11] Amazon. [En línea]. Disponible: <https://www.amazon.com/gp/product/B076PCVC8F> [Fecha de consulta: Diciembre 2019]
- [12] T. Kjellberg y H. Goh., *Husillos de Bolas Laminados de Precisión*, tercera ed., SKF, Suecia, Agosto 2013.
- [13] S. Electric, *SL0-SYN DC Step motors, gearmotors and AC synchronous motors*, segunda ed., Antisan Group, United States, Febrero 2010.

- [14] B. Apolo, "Memoria técnica de celda de manufactura robotizada para cromado de piezas plásticas," Quito, Ecuador, 2019.
- [15] E. Ávila, "Sistema mecatrónico de movilidad asistida para personas con paraplejia," Quito, Ecuador, 2020.
- [16] Amazon. [En línea]. Disponible: <https://www.amazon.com/gp/product/B07BDR5PDW/> [Fecha de consulta: Junio 2020]
- [17] Lattepanda. [En línea]. Disponible: <https://www.lattepanda.com/> [Fecha de consulta: Julio 2021]
- [18] Amazon. [En línea]. Disponible: <https://www.amazon.com/gp/product/B0153R2A9I> [Fecha de consulta: Diciembre 2019]
- [19] Amazon. [En línea]. Disponible: <https://www.amazon.com/gp/product/B01HV97F64/> [Fecha de consulta: Diciembre 2019]
- [20] Motor stepperonline. [En línea]. Disponible: <https://www.omc-stepperonline.com/s-series-nema-34-closed-loop-stepper-motor-4-8-nm-679-87oz-in-encoder-1000cpr.html?search=34HS31-6004D> [Fecha de consulta: Julio 2021]
- [21] Amazon. [En línea]. Disponible: <https://www.amazon.com/-/es/Stepper-24-80VDC-Microstep-Milling-Engraving> [Fecha de consulta: Junio 2020]
- [22] Amazon. [En línea]. Disponible: <https://www.amazon.com/gp/product/B01F6IOW0O> [Fecha de consulta: Junio 2020]
- [23] Arduino. [En línea]. Disponible: <https://www.arduino.cc/> [Fecha de consulta: Julio 2021]
- [24] Mordazas. [En línea]. Disponible: <https://www.ebay.com/itm/254702203947> [Fecha de consulta: Julio 2021]
- [25] M. M. Serafín, *Introducción a Visual C Manual del Estudiante*, primera ed., Ti Capacitación, México, Agosto 2017.

# Anexo A: Catálogo Dipac para perfil estructural en U



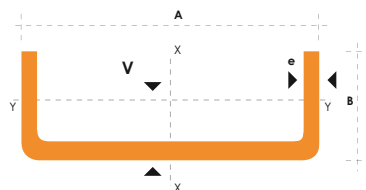
**DIPAC**<sup>®</sup>  
PRODUCTOS DE ACERO

CANALES "U"

## PERFILES ESTRUCTURALES CANALES "U"

### Especificaciones Generales

<b>Norma</b>	INEN 1 623: 2000
<b>Otras calidades</b>	Previa consulta
<b>Largo normal</b>	6mts
<b>Otros largos</b>	Previa consulta
<b>Espesores</b>	Desde 1.5mm hasta 12mm
<b>Acabado</b>	Natural
<b>Otro acabado</b>	Previa consulta



DIMENSIONES			PESOS			TIPOS						
A	B	e	6 metros	1 metro	SECCION	EJE X-X			EJE Y-Y			
mm	mm	mm	kg	kg	cm2	I	W	I	I	W	I	x
mm	mm	mm	kg	kg	cm2	cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm	cm
40	25	2	7.86	1.31	1.67	4.20	2.10	1.59	1.06	0.62	0.80	0.79
50	25	2	8.82	1.47	1.87	7.06	2.83	1.94	1.13	0.63	0.78	0.72
50	25	3	12.72	2.12	2.70	9.70	3.88	1.89	1.57	0.91	0.76	0.77
60	30	2	10.62	1.77	2.26	12.50	4.16	2.35	2.00	0.93	0.94	0.85
60	30	3	15.54	2.59	3.30	17.50	5.85	2.31	2.84	1.34	0.93	0.89
60	30	4	19.80	3.30	4.20	21.10	7.03	2.24	3.51	1.72	0.91	0.95
80	40	2	14.46	2.41	3.07	30.80	7.71	3.17	4.89	1.68	1.26	1.09
80	40	3	21.24	3.54	4.50	43.90	11.00	3.12	7.01	2.45	1.25	1.14
80	40	4	27.66	4.61	5.87	55.40	13.90	3.07	8.92	3.17	1.23	1.19
80	40	5	34.44	5.74	7.18	65.49	16.37	3.02	10.62	3.83	1.21	1.23
80	40	6	40.44	6.74	8.42	74.18	18.54	2.96	12.10	4.44	1.19	1.28
100	50	2	18.24	3.04	3.87	61.50	12.30	3.99	9.72	2.66	1.58	1.34
100	50	3	26.88	4.48	5.70	88.50	17.70	3.94	14.10	3.89	1.57	1.39
100	50	4	35.22	5.87	7.47	113.00	22.60	3.89	18.10	5.07	1.56	1.44
100	50	5	43.20	7.20	9.18	135.00	27.10	3.84	21.80	6.19	1.53	1.48
100	50	6	51.96	8.66	10.82	155.26	31.05	3.79	25.14	7.24	1.52	1.53
100	60	4	38.28	6.38	8.13	128.00	25.60	3.97	29.70	7.17	1.91	1.86
100	60	5	46.86	7.81	9.95	152.00	30.50	3.91	35.70	8.76	1.90	1.92
100	60	6	57.72	9.62	12.02	181.80	36.36	3.89	42.25	10.38	1.87	1.93
100	60	8	74.40	12.40	15.50	22.60	44.52	3.78	52.47	13.32	1.83	2.06
125	50	2	20.58	3.43	4.37	103.60	16.50	4.86	10.40	2.74	1.54	1.20
125	50	3	30.42	5.07	6.45	149.00	23.90	4.81	15.10	4.02	1.53	1.24
125	50	4	39.90	6.65	8.47	192.00	30.70	4.76	19.40	5.24	1.51	1.29
125	50	5	49.14	8.19	10.40	231.00	37.00	4.71	23.40	6.40	1.50	1.34
125	50	6	59.16	9.86	12.32	266.00	42.67	4.65	27.19	7.51	1.48	1.38
125	60	5	53.82	8.97	11.43	266.98	42.71	4.83	39.36	9.15	1.86	1.70
125	60	6	64.92	10.82	13.52	309.25	49.48	4.78	45.85	10.78	1.84	1.75
125	60	8	84.00	14.00	17.50	383.34	61.33	4.68	57.30	13.94	1.80	1.81
125	80	6	76.44	12.74	15.92	394.28	63.08	4.97	102.94	19.10	2.54	2.61
125	80	8	99.30	16.55	20.69	493.02	78.88	4.88	130.27	24.30	2.50	2.64
125	80	10	120.96	20.16	25.21	576.62	92.25	4.78	154.19	29.31	2.47	2.74
150	50	2	22.92	3.82	4.87	159.00	21.10	5.71	10.90	2.80	1.50	1.09
150	50	3	33.96	5.66	7.20	230.00	30.70	5.65	15.90	4.11	1.49	1.13
150	50	4	44.64	7.44	9.47	297.00	39.60	5.60	20.50	5.36	1.47	1.17
150	50	5	55.02	9.17	11.70	359.00	47.90	5.55	24.80	6.55	1.46	1.22
150	50	6	66.36	11.06	13.82	416.69	55.55	5.49	28.80	7.70	1.44	1.26
150	60	5	59.70	9.95	12.68	441.85	54.91	5.7	41.72	9.40	1.81	1.56
150	60	6	72.12	12.02	15.02	478.93	63.85	5.64	48.70	11.07	1.80	1.60
150	60	8	93.60	15.60	19.50	598.74	79.83	5.54	61.15	14.35	1.77	1.74
150	80	6	83.64	13.94	17.42	603.42	80.45	5.88	109.91	19.73	2.51	2.43
150	80	8	108.90	18.15	22.69	760.23	101.36	5.78	139.53	25.09	2.47	2.44
150	80	10	132.96	22.16	27.71	896.29	119.50	5.68	165.85	30.37	2.44	2.54

También en galvanizado e inoxidable

## Anexo B: Catálogo Dipac para tubo estructural cuadrado



**DIPAC**<sup>®</sup>  
PRODUCTOS DE ACERO



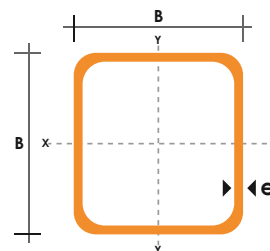
### TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

#### Especificaciones Generales

<b>Norma</b>	ASTM A-500
<b>Recubrimiento</b>	Negro o galvanizado
<b>Largo normal</b>	6 mts.
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Dimensiones</b>	Desde 20mm a 100mm
<b>Espesor</b>	Desde 2,0mm a 3,0mm



DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



## Anexo C: Módulo de elasticidad de los metales

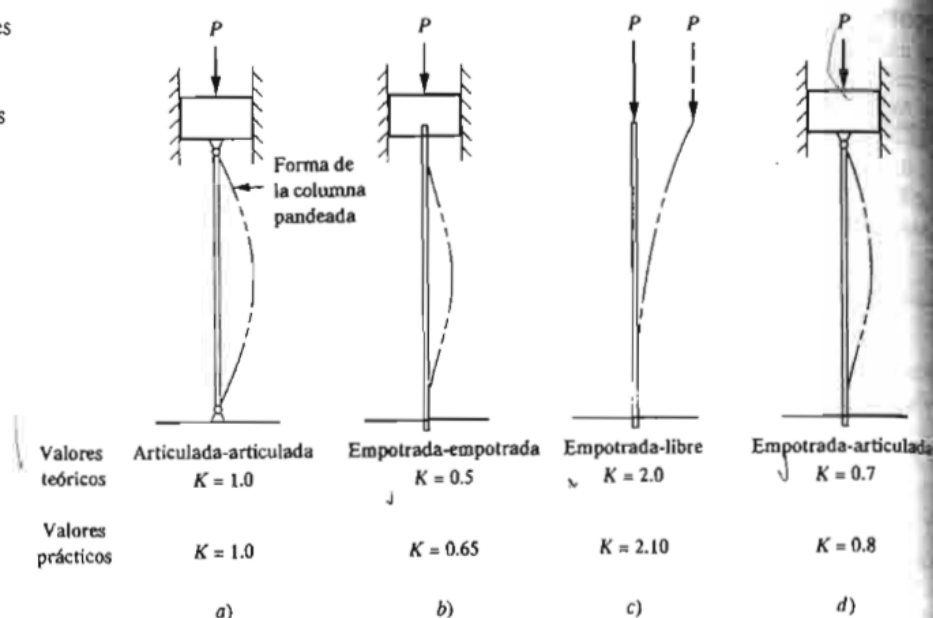
Material usado	Relación de Poisson	Módulo de elasticidad,		A	B
		GPa	Mpsi		
Acero	0.291	207	30.0	0.787 15	0.628 73
Aluminio	0.334	71	10.3	0.796 70	0.638 16
Cobre	0.326	119	17.3	0.795 68	0.635 53
Hierro fundido gris	0.211	100	14.5	0.778 71	0.616 16
Expresión general				0.789 52	0.629 14

## Anexo D: Factor K para columnas

234

Capítulo 6 ■ Columnas

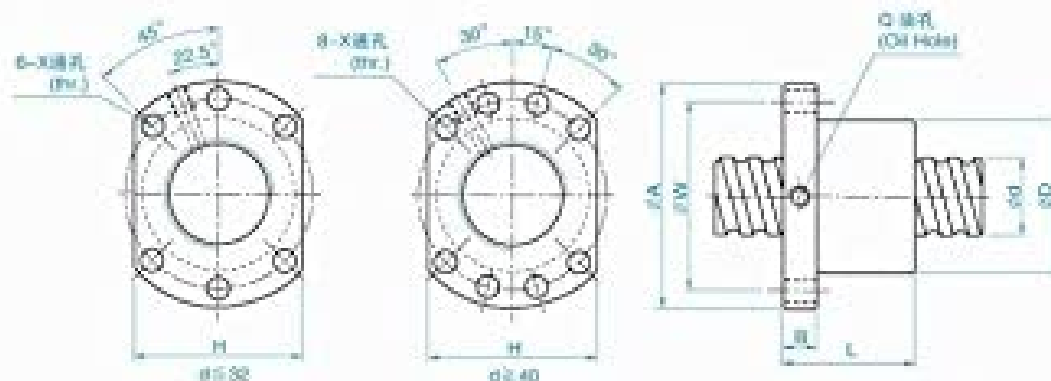
**FIGURA 6-3** Valores de  $K$  para obtener longitud efectiva,  $L_e = KL$ , para distintas conexiones en los extremos





## Anexo E: Husillos de bolas recirculantes comerciales

### SFU 型滚珠丝杠尺寸表 Size Table of SFU Ball Screws



单位(Unit):mm

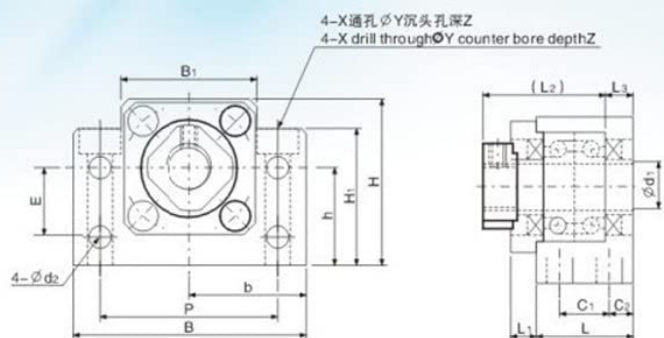
1: 导程 Lead Da: 球径 Ball Dia. n: 珠圈数 Number of Circuits K: 刚性 Stiffness (Kg/μm)  
Ca: 动额定负荷 Basic Dynamic Rating Load (Kg) Coa: 静额定负荷 Basic Static Rating Load(Kgf)

型号 Model No.	滚珠螺母、螺帽之基准数据 Dimensions														
	d	l	Da	D	A	B	L	W	X	H	Q	n	Ca	Coa	K
SFU01204-4	12	4	2.5	24	40	10	40	32	4.5	30		4	593	1129	12.5
★ SFU01604-4	16	4	2.381	28	48	10	40	38	5.5	40	M6	4	629	1270	35
★ SFU01605-4	16	5	3.175	28	48	10	50	38	5.5	40	M6	4	780	1790	20
★ SFU01610-3	16	10	3.175	28	48	10	57	38	5.5	40	M6	3	721	1249	15
★ SFU02004-4	20	4	2.381	36	58	10	42	47	6.6	44	M6	4	699	1617	41
★ SFU02005-4	20	5	3.175	36	58	10	51	47	6.6	44	M6	4	1130	2380	25
★ SFU02504-4	25	4	2.381	40	62	10	42	51	6.6	48	M6	4	777	2052	48
★ SFU02505-4	25	5	3.175	40	62	10	51	51	6.6	48	M6	4	1280	3110	35
★ SFU02506-4	25	6	3.969	40	62	10	54	51	6.6	48	M6	4	1528	3284	40
★ SFU02508-4	25	8	4.762	40	62	10	63	51	6.6	48	M6	4	1941	3863	38
★ SFU02510-4	25	10	4.762	40	62	12	85	51	6.6	48	M6	4	1944	3877	33
★ SFU03204-4	32	4	2.381	50	80	12	44	65	9	62	M6	4	871	2661	56
★ SFU03205-4	32	5	3.175	50	80	12	52	65	9	62	M6	4	1450	4150	40
★ SFU03206-4	32	6	3.969	50	80	12	57	65	9	62	M6	4	1720	4298	47
★ SFU03208-4	32	8	4.762	50	80	12	65	65	9	62	M6	4	2189	5079	44
★ SFU03210-4	32	10	6.350	50	80	12	90	65	9	62	M6	4	3390	7170	79
★ SFU04005-4	40	5	3.175	63	93	14	55	78	9	70	M8	4	1610	5330	49
★ SFU04006-4	40	6	3.969	63	93	14	60	78	9	70	M6	4	1911	5458	55
★ SFU04008-4	40	8	4.762	63	93	14	67	78	9	70	M6	4	2435	6469	52
★ SFU04010-4	40	10	6.350	63	93	14	93	78	9	70	M8	4	3910	9520	50
★ SFU05010-4	50	10	6.350	75	110	16	93	93	11	85	M8	4	4450	12500	65
★ SFU05020-4	50	20	7.144	75	110	16	138	93	11	85	M8	4	4644	14327	59.5
★ SFU06310-4	63	10	6.350	90	125	18	98	108	11	95	M8	4	5070	16000	80
★ SFU06320-4	63	20	9.525	96	135	20	149	115	13.5	100	M8	4	7573	23860	84.1
★ SFU08010-4	80	10	6.350	105	145	20	98	125	13.5	110	M8	4	5620	21300	90
★ SFU08020-4	80	20	9.525	125	165	25	154	145	13.5	130	M8	4	8485	30895	84.1
★ SFU10020-4	100	20	9.525	150	202	30	180	170	17.5	155	M8	4	9420	39163	110.1

备注:有标注 ★ 记号者可制作左螺纹 Note: with sign★ can produce left helix

## Anexo F: Especificaciones soportes BK-10 y BF-10

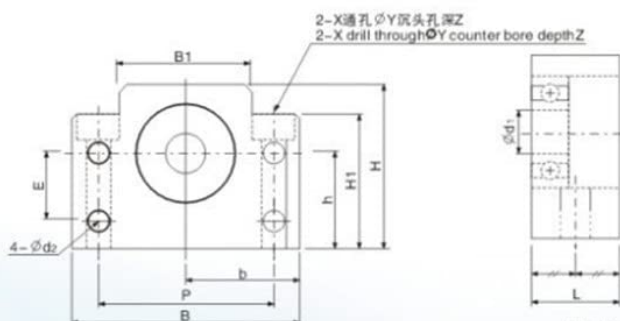
### BK 丝杆支撑座 固定端 Fixed Side



单位 (Unit): mm

公称型号 Model No.	d <sub>1</sub>	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	B	H	b <sup>±0.02</sup>	h <sup>±0.02</sup>	B <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	E	P	d <sub>2</sub>	X	Y	Z
BK 10	10	25	5	29	5	13	6	60	39	30	22	34	32.5	15	46	5.5	6.6	10.8	5
BK 12	12	25	5	29	5	13	6	60	43	30	25	34	32.5	18	46	5.5	6.6	10.8	1.5
BK 15	15	27	6	32	6	15	6	70	48	35	28	40	38	18	54	5.5	6.6	11	6.5
BK 17	17	35	9	44	7	19	8	86	64	43	39	50	55	28	68	6.6	9	14	8.5
BK 20	20	35	8	43	8	19	8	88	60	44	34	52	50	22	70	6.6	9	14	8.5
BK 25	25	42	12	54	9	22	10	106	80	53	48	64	70	33	85	9	11	17.5	11
BK 30	30	45	14	61	9	23	11	128	89	64	51	76	78	33	102	11	14	20	13
BK 35	35	50	14	67	12	26	12	140	96	70	52	88	79	35	114	11	14	20	13
BK 40	40	61	18	76	15	33	14	160	110	80	60	100	90	37	130	14	18	26	17.5

### BF 支持端 Floated Side



单位 (Unit): mm

公称型号 Model No.	d <sub>1</sub>	L	B	H	b <sup>±0.02</sup>	h <sup>±0.02</sup>	B <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	E	P	d <sub>2</sub>	X	Y	Z
BF 10	8	20	60	39	30	22	34	32.5	15	46	5.5	6.6	10.8	5
BF 12	10	20	60	43	30	25	34	32.5	18	46	5.5	6.6	10.8	1.5
BF 15	15	20	70	48	35	28	40	38	18	54	5.5	6.6	11	6.5
BF 17	17	23	86	64	43	39	50	55	28	68	6.6	9	14	8.5
BF 20	20	26	88	60	44	34	52	50	22	70	6.6	9	14	8.5
BF 25	25	30	106	80	53	48	64	70	33	85	9	11	17.5	11
BF 30	30	32	128	89	64	51	76	78	33	102	11	14	20	13
BF 35	35	32	140	96	70	52	88	79	35	114	11	14	20	13
BF 40	40	37	160	110	80	60	100	90	37	130	14	18	26	17.5

## Anexo G: Especificaciones catalina y piñon





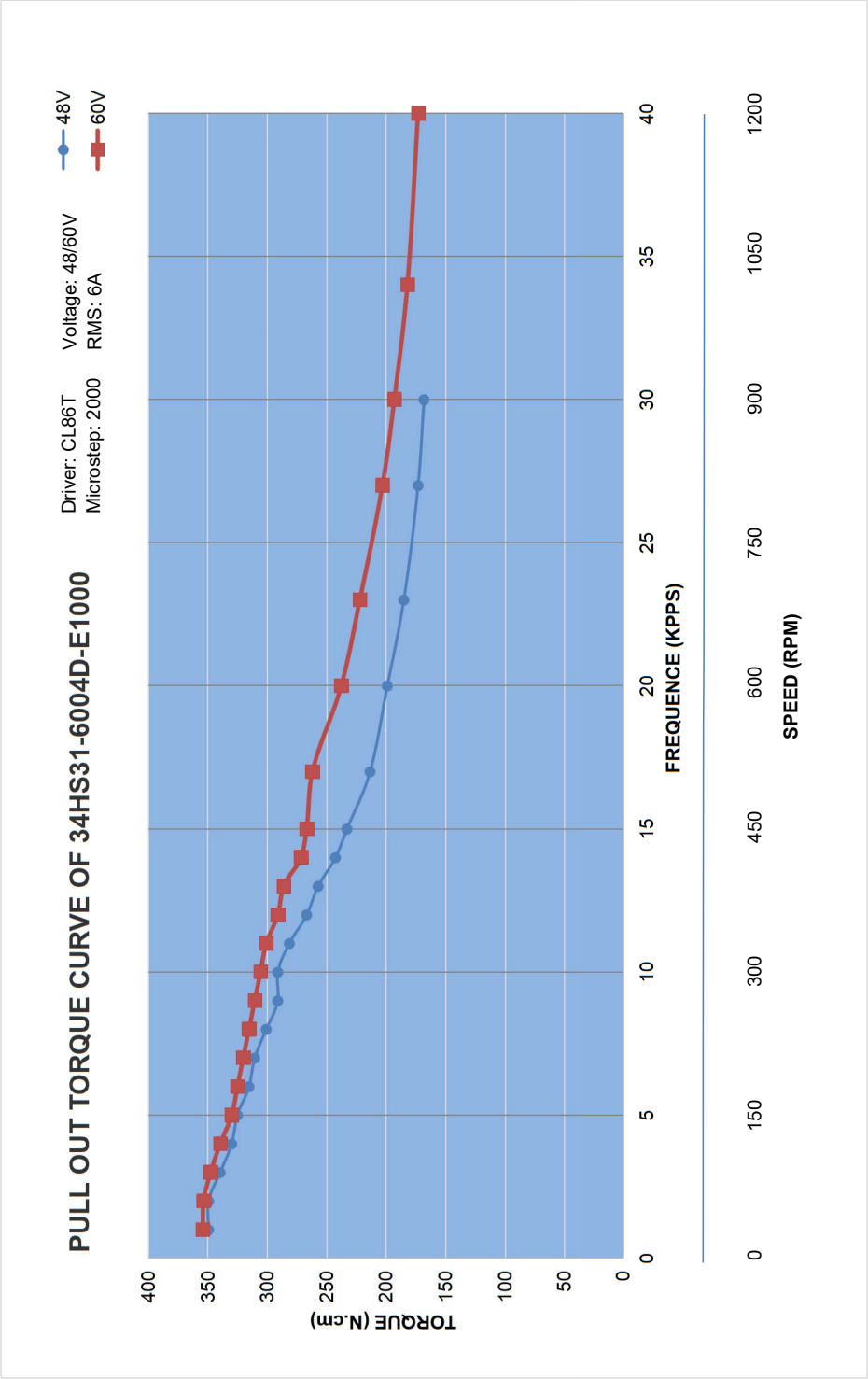
Anexo H: Parámetros de funcionamiento del motor

110mm (NEMA Size 42) & 165mm (NEMA Size 66) RATINGS and SPECIFICATIONS

MOTOR TYPE 5% ACCURACY			CONNECTIONS NUMBER TYPE		TYPICAL TIME FOR SINGLE STEP (ms)	UNIPOLAR CONFIGURATION				BIPOLAR CONFIGURATION											
						NOMINAL DC VOLTS (3)	RATED AMPERES PER WINDING	NOMINAL RESISTANCE PER WINDING (25 C) OHMS (2)	NOMINAL INDUCTANCE PER PHASE (MILLI- HENRYS) (2) (4)	MINIMUM HOLDING TORQUE OZ-IN (N·m)	SERIES CONNECTION					PARALLEL CONNECTION					
											VOLTS	AMPERES	R	L	MINIMUM HOLDING TORQUE OZ-IN (N·m)	VOLTS	AMPERES	R	L	MINIMUM HOLDING TORQUE OZ-IN (N·m)	
M111-FD-12	6	TERM.	4.4	2.26	6.1	0.37	2.3	625 (441)	3.75 (265)	3.2	4.3	0.74	9.2	85.0 (600)	500 (353)	—	—	—	—	—	—
M111-FD-16*	6	TERM.	4.4	1.7	8	0.21	1.1	625 (441)	3.75 (265)	2.4	5.7	0.42	4.4	85.0 (600)	500 (353)	—	—	—	—	—	—
M111-FF-206	4	TERM.	—	—	—	—	—	—	—	3.5	5	0.7	9.2	76.0 (537)	—	—	—	—	—	—	—
M111-FD-327*	6	TERM.	7	4.1	3.5	1.17	7.2	625 (441)	3.75 (265)	5.85	2.5	2.34	28.8	85.0 (600)	500 (353)	—	—	—	—	—	—
M111-FF-401	4	TERM.	—	—	—	—	—	—	—	4	3.4	1.14	17.7	85.0 (600)	500 (353)	—	—	—	—	—	—
MX111-FF-401	4	TERM.	—	—	—	—	—	—	—	4	3.4	1.14	17.7	85.0 (600)	500 (353)	—	—	—	—	—	—
M111-HD-8003*	8	TERM.	—	6.93	1.55	4.47	26.2	625 (441)	3.75 (265)	9.8	1.1	8.94	105	85.0 (600)	500 (353)	4.9	2.2	2.24	26.2	85.0 (600)	500 (353)
M111-HD-8007*	8	TERM.	7	4.1	3.5	1.17	7.2	625 (441)	3.75 (265)	5.85	2.5	2.34	28.8	85.0 (600)	500 (353)	2.93	5	0.585	7.2	85.0 (600)	500 (353)
M111-FD-8012	8	TERM.	4.4	2.26	6.1	0.37	2.3	625 (441)	3.75 (265)	3.2	4.3	0.74	9.2	85.0 (600)	500 (353)	1.6	8.63	0.185	2.3	85.0 (600)	500 (353)
M111-FD-8016*	8	TERM.	4.4	1.7	8	0.21	1.1	625 (441)	3.75 (265)	2.4	5.7	0.42	4.4	85.0 (600)	500 (353)	1.2	11.3	0.105	1.1	85.0 (600)	500 (353)
M112-FD-008*	6	TERM.	7	5.8	3.8	1.53	14	1125 (794)	6.75 (477)	8.25	2.7	3.05	56	139.0 (981)	83.0 (586)	—	—	—	—	—	—
M112-FD-12	6	TERM.	5.5	3.66	6.1	0.6	5.3	1125 (794)	6.75 (477)	5.2	4.3	1.2	21.2	139.0 (981)	83.0 (586)	—	—	—	—	—	—
M112-FD-16	6	TERM.	5.5	3.66	6.1	0.6	5.3	1125 (794)	6.75 (477)	5.2	4.3	1.2	21.2	139.0 (981)	83.0 (586)	—	—	—	—	—	—
M111-FF-206	4	TERM.	—	—	—	—	—	—	—	2.95	6	0.49	8.8	139.0 (981)	—	—	—	—	—	—	—
MX112-FF-401	4	TERM.	—	—	—	—	—	—	—	1.95	4	0.49	8.8	95.0 (671)	67.5 (477)	—	—	—	—	—	—
MX112-FF-401U	4	TERM.	—	—	—	—	—	—	—	1.95	4	0.49	8.8	95.0 (671)	67.5 (477)	—	—	—	—	—	—
M112-F-J-326*	6	TERM.	6	1.52	15.2	0.1	0.88	1125 (794)	6.75 (477)	2.15	10.75	0.2	3.52	139.0 (981)	83.0 (586)	—	—	—	—	—	—
M112-F-J-327*	6	TERM.	6	2.26	9.2	0.246	2.2	1125 (794)	6.75 (477)	3.2	6.5	0.492	8.8	139.0 (981)	83.0 (586)	—	—	—	—	—	—
M112-F-J-335(5)*	6	TERM.	6	2.26	9.2	0.246	2.2	1125 (794)	6.75 (477)	3.2	6.5	0.492	8.8	139.0 (981)	83.0 (586)	—	—	—	—	—	—
M112-F-J-344(5)*	6	TERM.	6	1.52	15.2	0.1	0.88	1125 (794)	6.75 (477)	2.215	10.75	0.2	3.52	139.0 (981)	83.0 (586)	—	—	—	—	—	—
M112-F-J-8008*	8	TERM.	7	5.8	3.8	1.53	14	1125 (794)	6.75 (477)	8.25	2.7	3.05	56	139.0 (981)	83.0 (586)	4.1	5.4	0.765	14	139.0 (981)	83.0 (586)
M112-FD-8012*	8	TERM.	5.5	3.66	6.1	0.6	5.3	1125 (794)	6.75 (477)	5.2	4.3	1.2	21.2	139.0 (981)	83.0 (586)	2.6	8.6	0.3	5.3	139.0 (981)	83.0 (586)
M112-F-J-8012	8	TERM.	5.5	3.66	6.1	0.6	5.3	1125 (794)	6.75 (477)	5.2	4.3	1.2	21.2	139.0 (981)	83.0 (586)	2.6	8.6	0.3	5.3	139.0 (981)	83.0 (586)
M112-F-J-8018*	8	TERM.	6	2.1	9.2	0.242	2.1	1125 (794)	6.75 (477)	3	6.5	0.483	8.4	139.0 (981)	83.0 (586)	1.5	13	0.12	2.1	139.0 (981)	83.0 (586)
M112-F-J-8025*	8	TERM.	6	1.75	12.7	0.137	1	1125 (794)	6.75 (477)	2.5	9	0.274	4	139.0 (981)	83.0 (586)	1.25	18	0.063	1	139.0 (981)	83.0 (586)
M112-F-J-8030*	8	TERM.	6	1.52	15.2	0.1	0.88	1125 (794)	6.75 (477)	2.15	10.75	0.2	3.52	139.0 (981)	83.0 (586)	1.1	21.5	0.05	0.68	139.0 (981)	83.0 (586)
M113-FF-401	4	TERM.	—	—	—	—	—	—	—	4.5	6	0.75	17	215.0 (1518)	125.0 (911)	—	—	—	—	—	—
M172-FD-306*	6	TERM.	24	2.35	15	0.15	1.98	2700 (1906)	1600 (1130)	3.3	10.6	0.3	7.92	330.0 (2330)	190.0 (1398)	—	—	—	—	—	—
M172-FD-308*	6	TERM.	24	1.45	20	0.075	1.06	2700 (1906)	1600 (1130)	2.1	14.1	0.15	4.24	330.0 (2330)	190.0 (1398)	—	—	—	—	—	—
M172-FF-401	4	TERM.	—	—	—	—	—	—	—	2.6	4	0.65	14.6	200.0 (1412)	120.0 (847)	—	—	—	—	—	—
M172-FD-8030	8	TERM.	24	2.35	15	0.15	2.50	2700 (1906)	1600 (1130)	3.3	10.6	0.3	10.0	330.0 (2330)	190.0 (1398)	1.7	21.5	0.075	2.50	330.0 (2330)	190.0 (1398)
M172-FD-8040*	8	TERM.	24	1.45	20	0.075	1.06	2700 (1906)	1600 (1130)	2.1	14.1	0.15	4.24	330.0 (2330)	190.0 (1398)	1	28.3	0.0375	1.06	330.0 (2330)	190.0 (1398)

(1) With 24 volts drive.  
(2) Values shown are for reference only and are correct to the best of our knowledge at the time of publication, but are subject to change without notice. Parameters to be used as part of a specification should be verified with the factory.  
(3) Voltage shown is per phase at rated current at zero steps per second, with winding at 25 °C. Resistance tolerance and winding temperature will influence voltage.  
(4) Tolerance is ±20%. Measured at 1 kHz with a General Radio #1650B impedance bridge having a 1 volt rms open circuit sinusoidal signal. Rotor position preconditioned by energizing same phase, then deenergizing same phase during measurement without changing rotor position.  
(5) Has double end shaft.  
(6) These motors are obsolete and should not be used in a new application design. They can be provided to support existing systems.

Anexo I: Curva torque motor 34HS31-6004D



## Anexo J: Especificaciones Lattepanda

### Especificación

- Procesador: Intel Cherry Trail Z8350 de cuatro núcleos, caché de 2 M, hasta 1,92 GHz
- Sistema operativo: **Windows 10** preinstalado
- RAM: 4 GB DDR3L
- Capacidad de almacenamiento: 64 GB
- GPU: Intel HD Graphics, 12 EU a 200-500 Mhz, memoria de un solo canal
- Un puerto USB3.0 y dos puertos USB 2.0
- WiFi y Bluetooth 4.0
- Coprocesador Arduino incorporado: ATmega32u4
- Salida de video: HDMI y MIPI-DSI
- Conector superpuesto de panel táctil integrado
- Admite Ethernet de 100 Mbps
- GPIO:
  - 6 GPIO del procesador Cherry Trail
  - 20 GPIO de Arduino Leonardo
  - 6 conectores de sensor de gravedad Plug and Play
- Energía: 5v / 2A
- Dimensión del tablero: 88 \* 70 mm / 3.46 \* 2.76 pulgadas
- Tamaño del embalaje: 110 \* 94 \* 30 mm / 4.33 \* 3.70 \* 1.18 pulgadas
- NO: 55g
- GW: 100 g

#### **Nota:**

Este producto requiere una fuente de alimentación de 5 V a 2 A para funcionar correctamente con un cable USB de calidad. Una fuente de alimentación para iPad es ideal.

## Anexo K: Especificaciones Celda de Carga

### Technical Parameters:

Parameter	Unit	Technical Specifications	Parameter	Unit	Technical Specifications
Sensitivity	mV/V	$2.0 \pm 0.05$	Temperature coefficient of sensitivity	$\leq \%F \cdot S / 10^{\circ}C$	$\pm 0.03$
Nonlinear	$\leq \%F \cdot S$	$\pm 0.03$	Operating temperature range	$^{\circ}C$	$-20^{\circ}C \sim +80^{\circ}C$
Hysteresis	$\leq \%F \cdot S$	$\pm 0.03$	Input resistance	$\Omega$	$350 \pm 20\Omega$
Repeatability	$\leq \%F \cdot S$	$\pm 0.03$	Output Resistance	$\Omega$	$350 \pm 5\Omega$
Creep	$\leq \%F \cdot S / 30min$	$\pm 0.03$	Safe Overload	$\leq \%F \cdot S$	150% F·S
Zero output	$\leq \%F \cdot S$	$\pm 1$	Insulation resistance	M $\Omega$	$\geq 5000M\Omega(50VDC)$
Zero temperature coefficient	$\leq \%F \cdot S / 10^{\circ}C$	$\pm 0.03$	Excitation voltage	V	10V-15V

### Wire color

Red(+E) Black(-E) Green(+S) White(-S)

## Anexo L: Especificaciones Mordazas

### Scope of use:

1. Maximum test force :100kN
2. Plate: Flat jaw 0-7mm
3. Suitable for 100kN testing force electronic universal testing machine

### Function description:

This fixture is suitable for tensile test of metal and non-metal plates, bars and other samples

### Operation instructions:

1. Install the upper and lower clamps on the upper and lower joints of the test machine respectively, insert the bolt and tighten the nut;
2. The handle of the upper clamping device should be moved first, which means that the clamping port should be opened properly, larger than the thickness of the sample installed;
3. Place one section of the sample between the pliers of the upper clamping device and place the sample in the center of the clamping device. Loosen the upper handle and clamp the upper end of the sample.
4. Return the force value to zero;
5. Lift the handle of the lower clamping device, adjust the height of the moving beam, insert the sample into the clamping port of the lower clamping device, and then release the lifting handle, which is the clamping sample of the clamping device.

### Item Included:

The batteries jig(one set includes two pieces)054131

---



# Anexo M: Código Fuente

## Código Fuente

### Código Menú Principal

```
namespace app
{
    partial class Form1
    {
        /// <summary>
        /// Required designer variable.
        /// </summary>
        private System.ComponentModel.IContainer components = null;

        /// <summary>
        /// Clean up any resources being used.
        /// </summary>
        /// <param name="disposing">true if managed resources should be disposed;
        otherwise, false.</param>
        protected override void Dispose(bool disposing)
        {
            if (disposing && (components != null))
            {
                components.Dispose();
            }
            base.Dispose(disposing);
        }

        #region Windows Form Designer generated code

        /// <summary>
        /// Required method for Designer support - do not modify
        /// the contents of this method with the code editor.
        /// </summary>
        private void InitializeComponent()
        {
            System.ComponentModel.ComponentResourceManager resources = new
            System.ComponentModel.ComponentResourceManager(typeof(Form1));
            this.lbl_titulo = new System.Windows.Forms.Label();
            this.lbl_sel = new System.Windows.Forms.Label();
            this.btn_Astm = new System.Windows.Forms.Button();
            this.btn_ISO = new System.Windows.Forms.Button();
            this.btn_OL = new System.Windows.Forms.Button();
            this.btn_Cerrar = new System.Windows.Forms.Button();
            this.lbl_pro = new System.Windows.Forms.Label();
            this.lbl_edu = new System.Windows.Forms.Label();
            this.pictureBox1 = new System.Windows.Forms.PictureBox();

            ((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox1)).BeginInit();
            this.SuspendLayout();
            //
            // lbl_titulo
            //
            this.lbl_titulo.AutoSize = true;
            this.lbl_titulo.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans
            Serif", 21.75F, System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
            ((byte)0));
            this.lbl_titulo.Location = new System.Drawing.Point(191, 37);
            this.lbl_titulo.Name = "lbl_titulo";
            this.lbl_titulo.Size = new System.Drawing.Size(306, 33);
            this.lbl_titulo.TabIndex = 0;
            this.lbl_titulo.Text = "Máquina de Tracción";
```

## **Anexo N: Plano Informático**

## **Anexo O: Plano Electrónico**

## **Anexo P: Planos de Construcción.**