

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

TRABAJO FIN DE GRADO



ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE FERROL



**MÁQUINA DE ENSAYOS 2D PARA DETERMINAR
LA RESISTENCIA A LA APERTURA DE MALLAS DE
REDES**

Autor:

Adrián Acción Montes

Tutores:

Manuel Jesús González Castro / Emilio Sanjurjo Maroño

Fecha:

Junio 2016

Índice de contenidos

1. Introducción	1
1.1 Objeto	2
1.2. Alcance	2
1.3 Normativa aplicable	3
1.3.1 Legislación española	3
1.3.2 Directivas europeas	3
2. Especificaciones de diseño	5
2.1 Especificaciones.....	5
2.2 Descripción del ensayo	5
3. Diseño conceptual	9
3.1 Alternativas exploradas	9
3.1.1 Actuador lineal centrado	9
3.2 Diseño seleccionado	13
4. Diseño mecánico	15
4.1 Husillo y tuerca	15
4.2 Motor y acoplamiento	20
4.3 Verificación de husillo y tuerca	22
4.4 Rodamientos y soportes	23
5. Diseño estructural	27
5.1 Cálculo estructural.....	27
5.2.1 Escuadras perfil transversal	30
5.2.2 Tornillos de sujeción	31
5.3 Elementos singulares.....	31
6. Diseño mecatrónico	33
6.1 Componentes del sistema	33
6.2 Motores	33
6.3 Células de carga	36
6.4 Detectores de fin de carrera	38
6.5 Alimentación	40
Anexo 1. Bibliografía	41
Anexo 2. Esquema eléctrico	42
Anexo 3. Resultados calibración células de carga	43
Anexo 4: Lista de material	45
Anexo 5. Presupuesto	47
Anexo 6. Planos.....	51
Anexo 7. Hojas de características.....	63

Índice de figuras

Figura 1. Malla de diamante en direcciones normal y transversal	1
Figura 2. Abertura en dirección normal y transversal.....	2
Figura 3. Estructura de la máquina de ensayos	6
Figura 4. Deformación de las mallas durante el ensayo	7
Figura 5. Esquema actuador lineal centrado.....	9
Figura 6. Esquema actuadores lineales laterales	10
Figura 7. Esquema motor paso a paso y husillo central.....	11
Figura 8. Esquema 2 motores paso a paso y husillos laterales	12
Figura 9. Tipos de sujeción del husillo.....	16
Figura 10. Geometría rosca trapezoidal.....	17
Figura 11. Geometría de un diente cuadrado	18
Figura 12. Acoplamiento de mordaza y helicoidal	22
Figura 13. Montaje soportes	24
Figura 14. Soportes rodamientos de 2 y 4 orificios paralelos al husillo.....	24
Figura 15. Fuerzas en los dos modelos planteados.....	27
Figura 16. Modelo de la estructura para el análisis por elementos finitos.....	28
Figura 17. Resultados del análisis de elementos finitos de la estructura	29
Figura 18. Sistema de coordenadas reacciones escuadras	30
Figura 19. Capacidad de carga de los escuadras	31
Figura 20. Esquema circuito mecatrónico.....	33
Figura 21. Modos excitación motor paso a paso	34
Figura 22. Par en función de la posición del eje.....	35
Figura 23. Puente de Wheatstone	36
Figura 24. Posición células de carga	38
Figura 25. Interruptor óptico EE-SX1041	38
Figura 26. Posición interruptores ópticos	39
Figura 27. Diagrama de circuito de un interruptor óptico	39
Figura 28. Caja de protección y control	40

Índice de tablas

Tabla 1. Coeficientes de sujeción velocidad crítica	16
Tabla 2. Coeficientes de sujeción fuerza axial máxima	17
Tabla 3. Características motor	21
Tabla 4. Reacciones en las escuadras	30
Tabla 5. Par incremental según el número de micropasos	35
Tabla 6. Características célula de carga.	37
Tabla 7. Especificaciones técnicas arduino Leonardo	40

MÁQUINA DE ENSAYOS 2D PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA APERTURA DE MALLAS DE REDES

1. Introducción

Las redes se usan mayoritariamente en la fabricación de aparejos de pesca. En esta aplicación predominan las redes con mallas en forma de rombo o diamante, cuya estructura y direcciones normal (1) y transversal (2) se representan en la figura 1. Como se puede apreciar, la dirección normal es la de la diagonal corta del rombo de la malla y la dirección transversal es la de su diagonal larga.

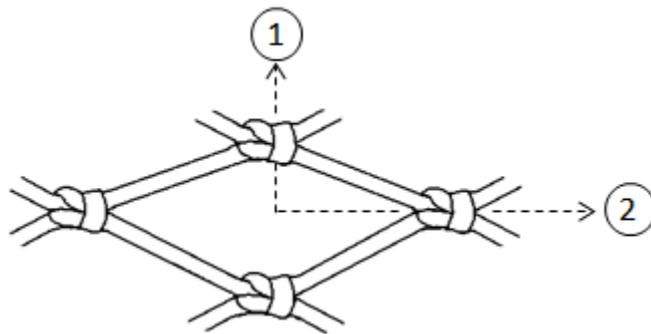


Figura 1. Malla de diamante en direcciones normal y transversal

En los últimos años hay una tendencia a usar redes con hilos más gruesos y robustos para aumentar la resistencia y duración de las mismas. Dichas redes tienen una mayor resistencia a la apertura de mallas, lo que dificulta la apertura de las mallas en dirección normal en comparación con la apertura en dirección transversal (figura 2).

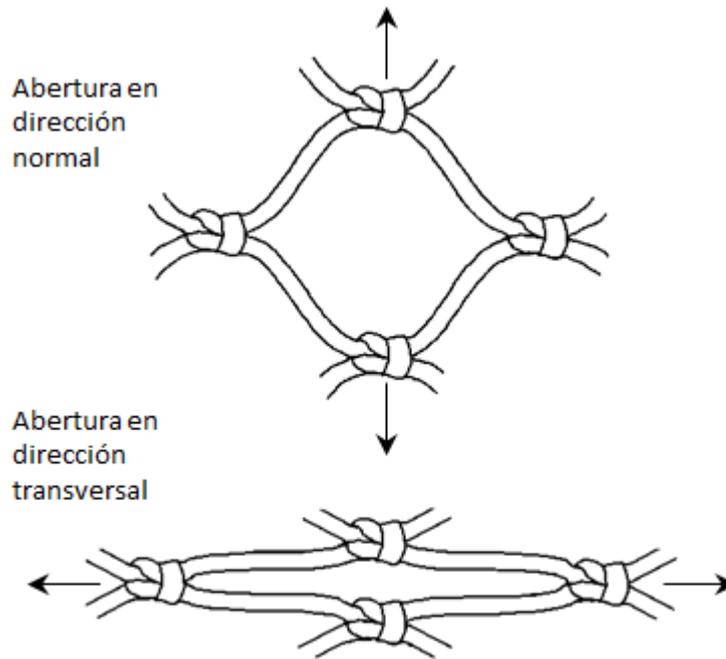


Figura 2. Abertura en dirección normal y transversal

Estudios experimentales demuestran que la resistencia a la apertura tiene un gran impacto en el comportamiento y en la respuesta estructural de las redes de pesca. Por ejemplo, desempeña un papel crucial en la reducción de selectividad observada en aparejos de pesca fabricados con redes de hilos más gruesos. Por ello, resulta de gran interés desarrollar modelos teóricos y métodos experimentales para medir la resistencia a la apertura de mallas, con el objetivo de poder predecir el comportamiento de las redes.

1.1 Objeto

El objeto del presente proyecto es el diseño y fabricación de una máquina de ensayos 2D para determinar la resistencia a la apertura de mallas de redes, para el caso de cargas contenidas en su propio plano, para el establecimiento de un modelo matemático de su comportamiento.

1.2. Alcance

- Diseño conceptual de la máquina, analizando las distintas alternativas consideradas y las ventajas e inconvenientes del diseño elegido.
- Diseño mecánico de la máquina, dimensionando los elementos mecánicos que la componen, siendo estos: husillos y tuercas, rodamientos y soportes, motores y acoplamientos.
- Diseño estructural, tanto de los elementos que componen la propia estructura como de los elementos de unión y piezas auxiliares del montaje.
- Diseño mecatrónico de los sistemas de actuación, medición y control necesarios para el correcto funcionamiento de la máquina.
- Programación del software de control para los distintos sistemas electrónicos de la máquina.

1.3 Normativa aplicable

Este apartado tiene como objetivo informar de la normativa y requisitos mínimos que debe cumplir cualquier máquina, equipo de laboratorio o taller, utilizada para docencia o investigación, con el fin de que su compra o diseño reúna los requisitos básicos de seguridad, cumpla la legislación vigente, y su utilización en el trabajo se realice en condiciones de seguridad.

Las disposiciones legales tanto de ámbito nacional como las de carácter comunitario de aplicación en este proyecto se recogen a continuación.

1.3.1 Legislación española

Ley 31/1995: Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

Ley de Industria: 21/1992 - Seguridad y calidad industrial.

R.D.: 1435/1992 - Máquinas, componentes de seguridad. Marcado "CE"

R.D.: 56/1995 que modifica parte del texto del R.D. 1435/1992.

R.D.: 1215/1997- Equipos de trabajo. Disposiciones mínimas de seguridad y de salud.

R.D.: 444/1994- Aparatos que pueden crear perturbaciones electromagnéticas.

R.D. 1644/2008- Normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas

1.3.2 Directivas europeas

Directiva 98/37/CE.

Directiva 2006/42/CE.

MÁQUINA DE ENSAYOS 2D PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA APERTURA DE MALLAS DE REDES

2. Especificaciones de diseño

2.1 Especificaciones

Las muestras a ensayar serán paños de red rectangulares con las siguientes características:

- Nº de mallas en dirección normal entre 3 y 6.
- Nº de mallas en dirección transversal entre 3 y 5.
- Material: polietileno (PE), polietileno compacto (PEC), nylon (NY), de simple hilo o doble hilo
- Tamaños de malla entre 40 y 120 mm.

El tamaño de malla se define como la distancia entre los centros de dos nudos de una malla medida en dirección transversal con la malla totalmente estirada en dicha dirección.

2.2 Descripción del ensayo

El procedimiento se explica en la figura 3. La muestra de red (3) tiene forma rectangular y sus mallas definen dos direcciones perpendiculares denominadas dirección normal (1) y dirección transversal (2). La muestra (3) se sujeta por los nudos de sus dos bordes paralelos a la dirección transversal (2) a una pieza de sujeción fija (4) y a una pieza de sujeción móvil (5), mediante el medio de sujeción (6). El medio de sujeción (6) mantiene constante la distancia en dirección normal entre los nudos del borde sujeto y la pieza de sujeción (4,5), a la vez que permite que la distancia transversal entre los nudos del borde sujeto pueda variar libremente cuando la muestra es extendida en dirección normal, de forma que la fuerza transversal soportada por cada uno de los nudos sujetos sea nula. La pieza de sujeción fija (4) está rígidamente unida a la bancada (7), mientras que la pieza de sujeción móvil (5) está unida a la bancada (7) mediante un par cinemático deslizante (8) que le permite trasladarse en la dirección normal (1) de las mallas de la muestra (3). Al aplicar una fuerza normal de tracción (9) sobre la pieza de sujeción móvil (5), se produce la extensión de la muestra en dirección normal y un aumento de su longitud normal (10).

La figura 4 ilustra la deformación producida en las mallas de la muestra (3) cuando la pieza de sujeción móvil (5) se traslada alejándose de la pieza de sujeción fija (4): las mallas se abren en dirección normal, al tiempo que se cierran en dirección transversal gracias a las características antes descritas del medio de sujeción (6).

La obtención de datos experimentales se realiza trasladando la pieza de sujeción móvil (5) y midiendo la fuerza (9) aplicada sobre la muestra en dirección normal y la longitud de la muestra (10) en dirección normal. En una realización alternativa se pueden aplicar valores predeterminados de la fuerza normal (9) y medir la longitud normal (10) asociada a cada uno de ellos. En otra realización alternativa se pueden aplicar desplazamientos de la pieza de sujeción móvil (5) que generen valores predeterminados de la longitud normal (10), y medir la fuerza normal (9) asociada a ellos. En otra realización alternativa un sistema de control puede controlar la velocidad de traslación de la pieza de sujeción móvil (5) mientras se mide la fuerza normal (9) y la distancia normal (10) en distintos instantes de tiempo.

La extensión aplicada a la muestra de red no debe ser tan elevada como para provocar una elongación apreciable de los hilos de las mallas.

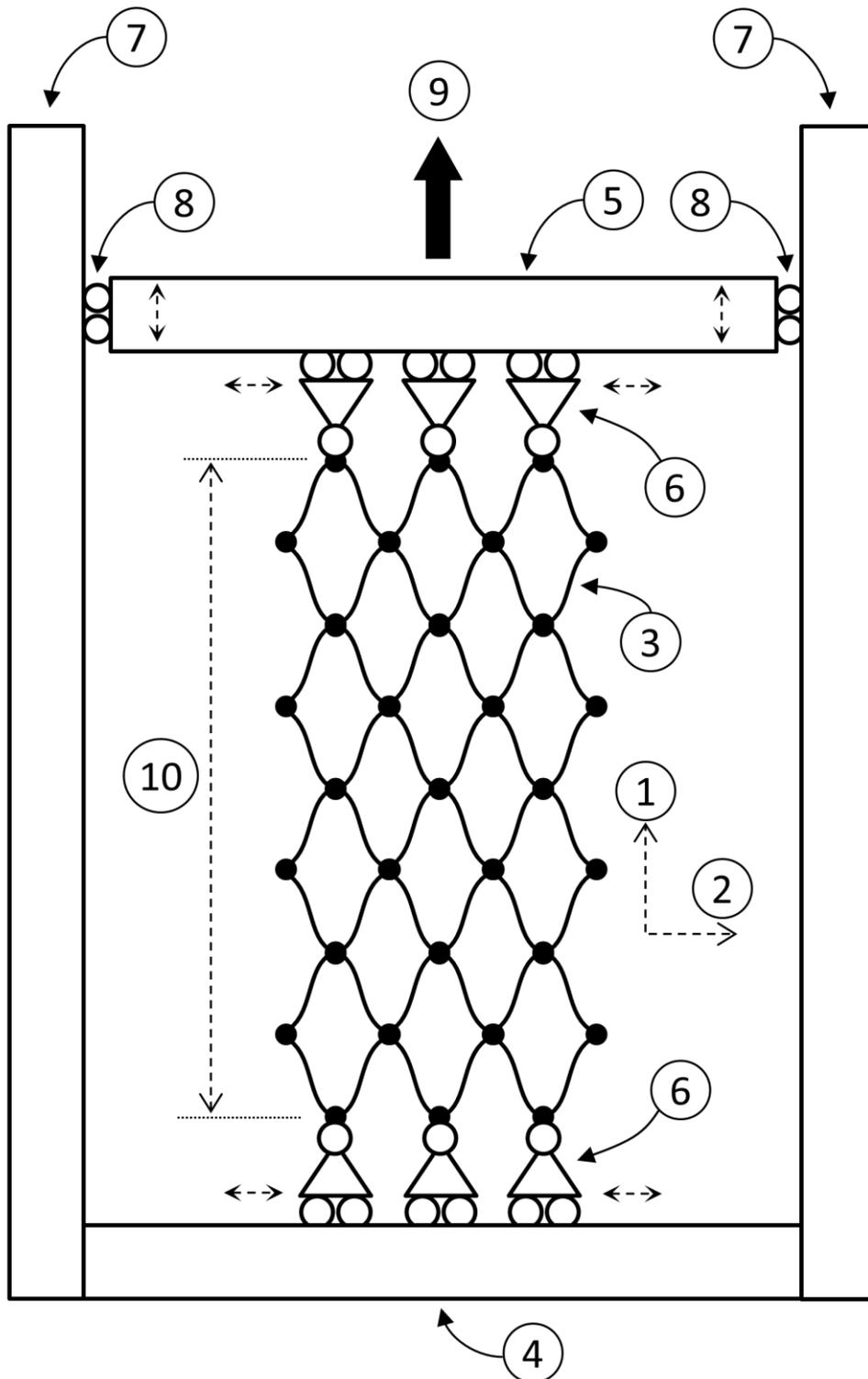


Figura 3. Estructura de la máquina de ensayos

MÁQUINA DE ENSAYOS 2D PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA APERTURA DE MALLAS DE REDES

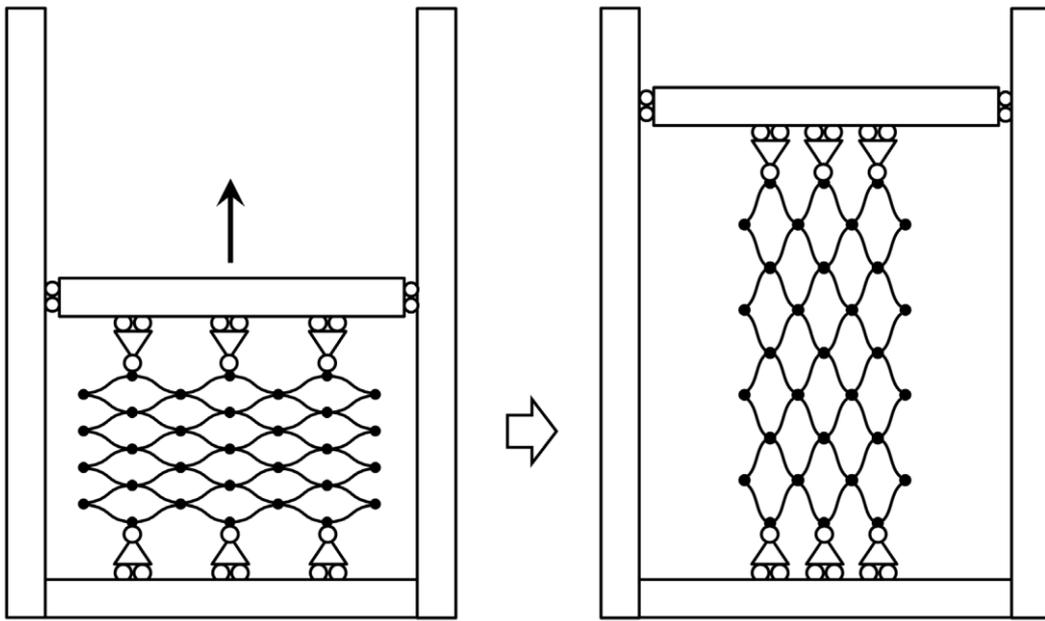


Figura 4. Deformación de las mallas durante el ensayo

3. Diseño conceptual

Antes de realizar un diseño en detalle se analizaron varias alternativas en las que se valoraban la viabilidad del diseño, inconvenientes y ventajas que mostraban las distintas opciones y costes de las mismas.

3.1 Alternativas exploradas

3.1.1 Actuador lineal centrado

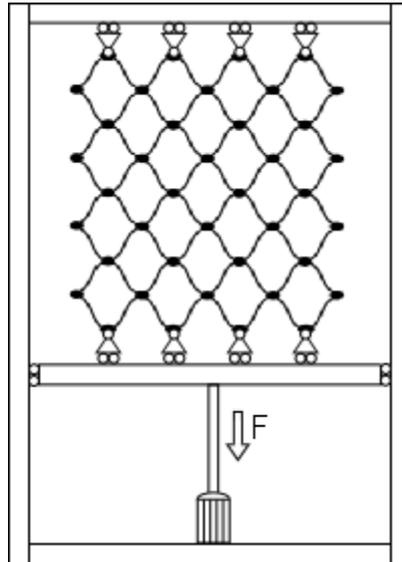


Figura 5. Esquema actuador lineal centrado

Ventajas

- Sistema más simple. Sólo requiere de un actuador.
- Sistema económico al emplear solamente un actuador.
- Posicionamiento muy preciso

Inconvenientes

- Posibilidad de desalineamiento en la sujeción móvil debido a una mala alineación de la red.
- Riesgo de flexión en el actuador si la red no está centrada- Necesidad de emplear un actuador de rigidez muy elevada y de gran carrera.

Este sistema es el más sencillo dado que sólo se requiere el uso de un único actuador, reduciendo el número de componentes de control necesarios y evitando la necesidad de coordinar más de un dispositivo de manera síncrona. Esta configuración también es económica ya que solo requiere de un actuador y un solo circuito de control.

El uso de actuadores lineales también permite una mayor precisión de posicionamiento que motores rotativos, pudiendo estos ser 500 veces más precisos que motores rotativos operando en lazo cerrado [1].

Por el contrario, el uso de un solo actuador centrado presenta el inconveniente de los fenómenos de flexión que pueden aparecer en el vástago si la red no se centra correctamente

[1] <http://machinedesign.com/motorsdrives/comparing-motor-options-motion-control-applications>

o se descentra durante los ensayos. Esto obliga a la utilización de un actuador de elevada rigidez, aliviando así los problemas derivados de la flexión pero no eliminando la flexión en sí.

El uso de actuadores lineales también implica la necesidad de que estos tengan una gran carrera, obligando a recurrir a actuadores lineales especiales, lo que dificulta y restringe la búsqueda de proveedores y puede llegar a encarecer mucho el montaje.

La conexión directa entre actuador y sujeción móvil también implica que el actuador debe soportar para cada posición toda la fuerza generada por la red de manera íntegra, por lo que se debe emplear un actuador de mayor potencia (y por tanto más caro) que si se emplearan sistemas de intermedios de transmisión como husillos o trenes de engranajes.

3.1.2 Actuadores lineales laterales

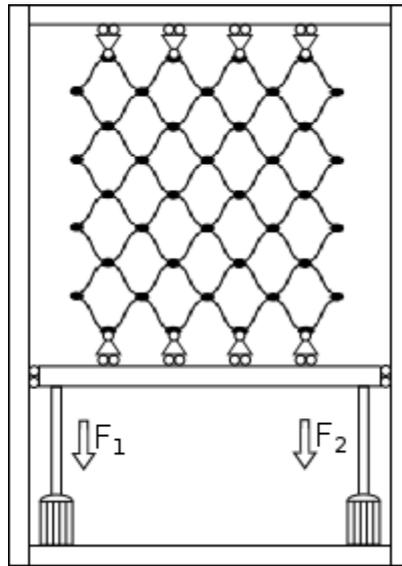


Figura 6. Esquema actuadores lineales laterales

Ventajas

- Actuadores de menor potencia que en el caso anterior.
- Soluciona los posibles problemas de desalineamiento.
- Soluciona los problemas de flexión en los actuadores.
- Posicionamiento muy preciso.

Inconvenientes

- Mayor coste al emplear dos actuadores, y por tanto el doble de circuitería.
- Mayor complejidad de montaje al duplicar el número de actuadores y necesidad de coordinación entre ambos.
- Conexión directa entre actuador y sistema móvil.
- Actuadores de gran carrera.

Este montaje permite reducir la rigidez y potencia necesarias de los actuadores, por lo que aunque los costes aumentan al duplicar el número de actuadores y componentes de control, estos no llegan a ser el doble.

MÁQUINA DE ENSAYOS 2D PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA APERTURA DE MALLAS DE REDES

Esta configuración también permite solucionar en gran medida los problemas de flexión y desalineamiento que se producían en el caso anterior, al actuar en los extremos de la sujeción móvil en lugar de hacerlo en el centro.

El empleo de dos actuadores requiere de un sistema de control mucho más preciso de manera que ambos sistemas funcionen de manera síncrona para evitar interferencias en el funcionamiento entre ambos actuadores que puedan dañar la máquina.

Este montaje, al igual que en caso anterior, presenta el inconveniente de una conexión directa entre actuador y soporte móvil. Esto impide reducir en mayor medida la potencia de los actuadores, lo que implica un gasto importante en electricidad durante los ensayos ya que estos tienen una duración elevada.

Con este montaje se sigue sin solucionar el problema de emplear actuadores de gran carrera, obligando a buscar proveedores especializados pudiendo encarecer enormemente el montaje.

3.1.3 Motor paso a paso y husillo central

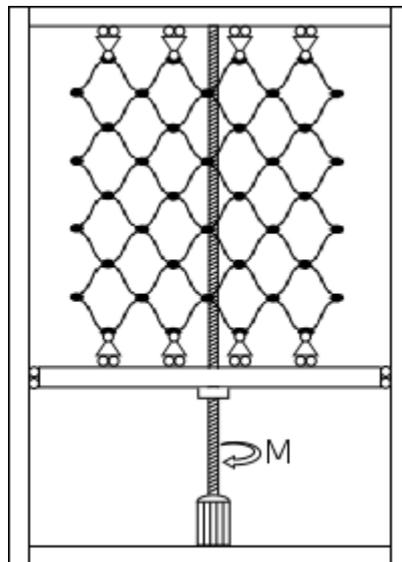


Figura 7. Esquema motor paso a paso y husillo central

Ventajas

- Sistema simple, solo requiere de un actuador.
- Montaje sencillo, aunque menos que para el caso de actuador lineal centrado
- Actuador de poca potencia.
- Sistema económico al emplear solo un actuador y un husillo.

Inconvenientes

- Problemas de desalineamiento en la sujeción móvil.
- Problemas de flexión en el husillo si la red no está centrada.
- Menor precisión de posicionado que los sistemas lineales
- Posibilidad de saltarse pasos por los motores.

Este sistema, al igual que el de un actuador lineal centrado, presenta la ventaja de su facilidad de ensamblaje, aunque su montaje sea más delicado debido a la necesidad de alinear con precisión motor y husillo para no introducir errores en la medición.

Al requerir sólo un motor de pequeña potencia y un husillo, este sistema es uno de los más económicos, aunque su coste puede ser algo mayor que el de un actuador lineal centrado ya que se requieren componentes adicionales para el husillo como pueden ser rodamientos y soportes para estos.

El empleo de un motor paso a paso conectado a un husillo también posibilita el uso de un motor de menor potencia que para el caso de un actuador lineal, aunque presenta el mismo inconveniente de posibles problemas de desalineamientos de la sujeción móvil y aparición de esfuerzos de flexión en el husillo.

Los motores paso a paso también presentan una menor precisión que los actuadores lineales, típicamente presentan un error no acumulativo en posición que suele estar alrededor del 5% por paso. Sin embargo, este error se puede mitigar mediante el uso de un encoder para conocer con mayor exactitud posición, velocidad y aceleración del motor.

Este tipo de motores también son susceptibles de saltarse pasos, es decir no variar su posición a pesar de recibir un impulso. Este comportamiento no es frecuente para el caso de cargas pequeñas pero tiende a aumentar a medida que aumenta la carga. Al igual que para el error de posición, este fenómeno se puede corregir mediante uso de encoders.

3.1.4 Motores paso a paso y husillos laterales

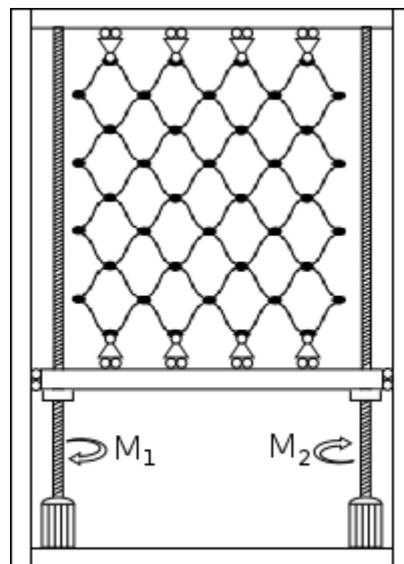


Figura 8. Esquema 2 motores paso a paso y husillos laterales

Ventajas

- Actuadores de menor potencia que en el resto de casos y por tanto más baratos.
- Soluciona los posibles problemas de desalineamiento.
- Soluciona los problemas de flexión en los actuadores.

Inconvenientes

- Montaje más complejo de todos al necesitar dos motores actuando de manera coordinada.
- Sistema caro al necesitar dos husillos y dos motores.
- Menor precisión que los sistemas basados en actuadores lineales.
- Posibilidad de saltarse pasos por los motores.

Este montaje es el que requiere actuadores de menor potencia, lo que conlleva un menor coste de recursos eléctricos durante los ensayos. Estos motores también son los más económicos, lo que permite su reposición a un menor coste en caso de avería o daño durante los ensayos.

El empleo de los actuadores situados en los laterales de la máquina también soluciona los problemas de desalineamiento y flexión en el husillo que se producían en los casos de emplear un único actuador centrado.

Este sistema presenta el problema de ser el más complejo en lo referente al montaje dada la necesidad de alinear de manera precisa ambos husillos y motores. Así mismo, presenta la dificultad añadida de coordinar de manera precisa ambos motores.

El empleo de dos husillos también convierte esta solución en la más cara dado los altos costes de estos elementos.

Como ya se dijo anteriormente, los motores paso a paso presentan una menor precisión que los actuadores lineales, así como tendencia a saltarse pasos a medida que la carga se acerca al límite soportado por el motor. Aun así, el empleo de encoders permite solucionar estos problemas de una manera eficaz.

3.2 Diseño seleccionado

Los sistemas basados en un único actuador centrado pueden presentar problemas de desalineamientos en la sujeción móvil así como flexiones en el actuador o husillo, por lo que pese a ser los más económicos y de más fácil ensamblaje, no son los más adecuados para el proyecto.

Aunque los actuadores lineales presentan una mayor precisión que los motores paso a paso, se requiere de proveedores especializados, lo que limita las opciones de compra y puede llegar a resultar muy caro debido a posibles gastos de transporte o elevados precios del actuador dada su especificidad.

Por tanto, se opta por el uso de dos motores paso a paso y husillos laterales como sistema de actuación de la máquina.

Este tipo de sistema necesita una excelente alineación de los husillos, pero esto se puede solucionar cuidando el montaje. Así mismo los problemas de menor precisión de estos motores y el posible salto de pasos durante los ensayos se puede solucionar de manera efectiva mediante realimentación de la señal de posición con encoders, lo que no supone un incremento significativo ni de coste ni de complejidad.

4. Diseño mecánico

En el diseño mecánico de la máquina se dimensionan los elementos mecánicos necesarios para su construcción, tanto desde el punto de vista de las cargas que deben desarrollar los actuadores como de los esfuerzos que deben soportar el resto de los elementos como husillos, soportes o rodamientos.

Según experimentos realizados por Amelia de la Prada y Manuel González [2], se estima una fuerza necesaria para abrir las mallas de las redes más resistentes de 2.5 kg/malla. El motor se dimensiona suponiendo mallas el doble de rígidas, 5 kg/malla, por si en un futuro se desea ensayar mallas de rigidez superior. Según las especificaciones del proyecto, el número de mallas en dirección transversal es de entre 3 y 5, por lo que la carga axial que se debe aplicar a las muestras debe ser,

$$\text{Carga axial} = (5\text{kg/malla}) \times (5 \text{ mallas en dirección transversal}) = 25 \text{ kg}$$

La carga se reparte entre los dos motores y husillos, pero para dimensionarlos se supone que el total de la carga es generada por un único grupo para que en caso de un fallo que haga que toda la carga sea absorbida por un único husillo y motor, ningún componente resulte dañado.

4.1 Husillo y tuerca

La función del husillo y la tuerca es transmitir el par que llega del acoplamiento del motor a la sujeción móvil que aplica la carga en la muestra.

Los principales tipos de husillos empleados como tornillos de potencia son los de rosca cuadrada, los de rosca trapezoidal y los husillos de bolas.

Aunque los husillos de bolas son los más precisos, su mantenimiento es muy delicado ya que para mantener su precisión se debe evitar la contaminación con polvo o partículas abrasivas que puedan dañar la superficie de trabajo, además su coste es varias veces superior al del resto, por lo cual su utilización no es factible

Los husillos de rosca cuadrada presentan una mejor eficacia que los de rosca trapezoidal pero son difíciles de mecanizar y no están normalizados, por lo que son más caros.

Por tanto, para este proyecto se emplearán husillos de rosca trapezoidal.

Como principio general, el grado de carga de los husillos trapezoidales depende de su material, calidad de la superficie, desgaste, presión en la superficie, condiciones de lubricación, velocidad y temperatura, y por lo tanto del ciclo de trabajo y la provisión para la dispersión del calor. La presión permitida en la superficie depende básicamente de la velocidad del husillo. Para todos los movimientos la presión en la superficie no debería exceder los 5 N/mm².

A continuación se plantean las ecuaciones para el diseño de y selección de los husillos y tuercas.

Superficie de contacto requerida A_{erf}

$$A_{erf} = \frac{F}{P_{zul}} [mm^2]$$

F Carga Axial (N)

P_{zul} Presión máxima de la superficie permitida

[2] ICES Journal of Marine Sciences 2015 págs. 697-707.

MÁQUINA DE ENSAYOS 2D PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA APERTURA DE MALLAS DE REDES

Velocidad lineal máxima V_{zul}

$$V_{zul} = \frac{pvf}{P_{zul}} [m/min]$$

pvf Factor de pv [$N/mm^2 \cdot m/min$] [3]

P_{zul} Presión máxima de la superficie permitida

Velocidad de rotación máxima teórica n_{zul}

$$n_{zul} = \frac{V_{zul} \cdot 1000}{D \cdot \pi} [rpm]$$

V_{zul} Velocidad lineal máxima (m/min)

D Diámetro primitivo (mm)

Velocidad lineal s

$$s = \frac{n \cdot p}{1000} [m/min]$$

p paso de la rosca (mm)

n velocidad de rotación (rpm)

Velocidad crítica del husillo a efectos de resonancia n_{kr}

$$n_{kr} = \frac{C_s \cdot 1.2 \cdot 10^8 \cdot d_p}{l^2} [rpm]$$

d_p Diámetro primitivo del husillo (mm)

l Longitud del husillo (mm)

C_s es un factor que depende del tipo de sujeción del husillo. En la tabla 1 se recogen sus valores para distintos tipos de sujeción.

Tipo de sujeción del husillo	C_s
Un extremo fijo y otro libre	0.36
Ambos extremos apoyados	1.00
Un extremo fijo y otro apoyado	1.47
Ambos extremos fijos	2.23

Tabla 1. Coeficientes de sujeción velocidad crítica

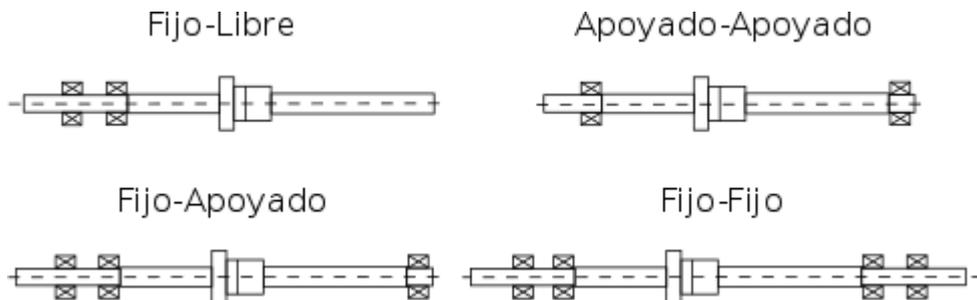


Figura 9. Tipos de sujeción del husillo

Fuerza axial máxima F_{zul}

$$F_{zul} = \frac{C_s \cdot 9.687 \cdot 10^4 \cdot d_p^4}{l^2} [N]$$

d_p Diámetro primitivo del husillo (mm)

l Longitud del husillo (mm)

C_s es un factor que depende del tipo de sujeción del husillo. En la tabla 2 se recogen sus valores para distintos tipos de sujeción.

[3] Husillos de rosca trapecial laminado, tecnopower pág. 9

Tipo de sujeción del husillo	C _s
Un extremo fijo y otro libre	0.25
Ambos extremos apoyados	1.00
Un extremo fijo y otro apoyado	2.00
Ambos extremos fijos	4.00

Tabla 2. Coeficientes de sujeción fuerza axial máxima

Eficacia para convertir movimiento rotacional en lineal η_A

$$\eta_A = \frac{\tan \alpha}{\tan(\alpha + \rho)}$$

α Ángulo de hélice (°)

ρ Ángulo de fricción de la rosca (°)

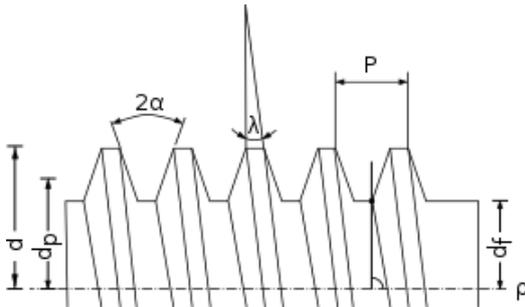


Figura 10. Geometría rosca trapecoidal

Ángulo de cresta α

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{p}{d_p \cdot \pi} \right)$$

Ángulo de avance λ

$$\lambda = p / \pi \cdot d_p$$

Ángulo de fricción ρ

$$\rho = \mu \cdot 1.07 \quad \mu \text{ Coeficiente de fricción}$$

Par necesario de aplicación T_d

$$T_d = \frac{F \cdot p}{2000 \cdot \pi \cdot \eta_A} + T_{rot} [Nm]$$

F Carga axial (N)

p Paso del husillo (mm)

η_A Rendimiento del sistema

T_{rot} Momento de aceleración (Nm)

J Momento de inercia (kgm²)

α_0 Aceleración angular (1/s²)

$$T_{rot} = J \cdot \alpha_0 [Nm]$$

Para garantizar que la sujeción móvil no se mueva en ausencia de par, se tiene que verificar la siguiente relación,

$$\mu \geq \tan \lambda \cdot \cos \alpha$$

μ Coeficiente de fricción

α Ángulo de cresta (°)

λ Ángulo de avance (°)

MÁQUINA DE ENSAYOS 2D PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA APERTURA DE MALLAS DE REDES

Si esta relación no se cumple, el husillo podría girar debido a la fuerza que ejerce la red, lo que obligaría a tener que mantener en todo momento los motores en activo. Dado que esto supone un gasto importante en electricidad es mejor evitarlo de manera que se puedan desconectar los motores durante los períodos del ensayo en los que no se requiera movimiento.

Eficiencia del husillo e

$$e = \frac{\cos \alpha - \mu \cdot \tan \lambda}{\cos \alpha + \mu \cdot \cot \lambda}$$

α Ángulo de cresta (°)

μ Coeficiente de fricción

λ Ángulo de avance (°)

Estas ecuaciones determinan las fuerzas, momentos y velocidades máximas teóricas que pueden soportar los husillos, sin embargo no se analizan los esfuerzos que se producen. En los husillos, los mayores esfuerzos se dan en las bases de los filetes que están en contacto con la tuerca que transmite la fuerza, por lo cual el análisis se centrará en dicha zona.

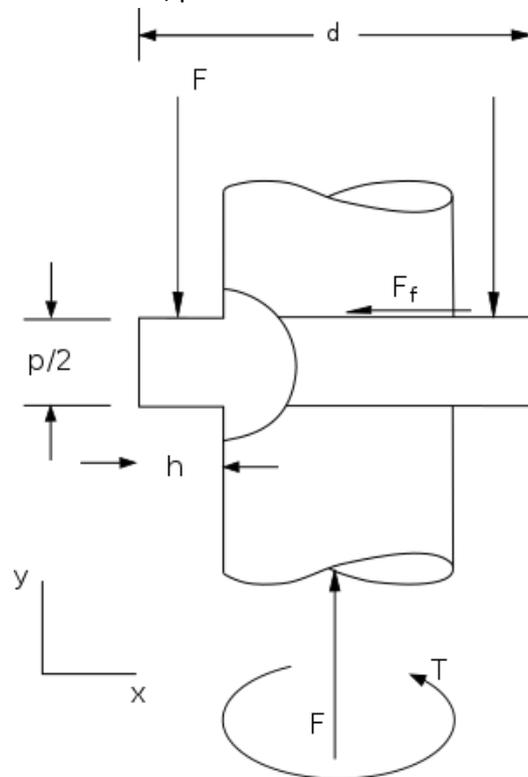


Figura 11. Geometría de un diente cuadrado

Diámetro primitivo d_p

$$d_p = d - \frac{p}{2}$$

Diámetro de fondo d_f

$$d_f = d - 2h$$

Altura del diente

$$h = \frac{p}{2} + 0.2$$

MÁQUINA DE ENSAYOS 2D PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA APERTURA DE MALLAS DE REDES

Tensión cortante debida al par torsor τ_{yz}

$$\tau_{yz} = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot d_f^3} [N/mm^2]$$

T Par torsor (N·mm²)
d_f Diámetro de fondo (mm)

Tensión normal debida a cargas axiales σ_x

$$\sigma_x = \frac{16 \cdot F}{\pi \cdot (d_f + d_p)^2} [N/mm^2]$$

F Carga axial (N)
d_f Diámetro de fondo (mm)
d_p Diámetro primitivo (mm)

Flexión del filete de la rosca σ_y

$$\sigma_y = \frac{6 \cdot F}{\pi \cdot d_f \cdot n \cdot p} [N/mm^2]$$

F Carga axial (N)
d_f Diámetro de fondo (mm)
p Paso del husillo (mm)
n Número de filetes cargados

Tensión cortante en la base del filete τ_{xy}

$$\tau_{xy} = \frac{3 \cdot F}{\pi \cdot d_f \cdot n \cdot p} [N/mm^2]$$

F Carga axial (N)
d_f Diámetro de fondo (mm)
p Paso del husillo (mm)
n Número de filetes cargados

Tensión de Von Mises en la base del filete σ_{VM}

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}{2}} [N/mm^2]$$

Aplicando estas ecuaciones para el caso de un husillo fijo-apoyado, de rosca trapezoidal Tr 10x2 de 1000 mm de longitud sin lubricación, con una rosca trapezoidal Tr 10x2 de material G-CuSn 7 ZnPb (Rg 7), con una aceleración angular de 43.85 rad/s² [4], se obtienen los siguientes resultados.

$$A_{erf} = 49.05 \text{ mm}^2$$

$$V_{zul} = 60 \text{ m/min}$$

$$n_{zul} = 2122 \text{ rpm}$$

$$s = 4.24 \text{ m/min}$$

$$n_{kr} = 1080 \text{ rpm}$$

$$F_{zul} = 636 \text{ N}$$

$$\eta_A = 0.21$$

$$T_d = 0.44 \text{ Nm}$$

Se cumple la condición de autobloqueo

$$e = 0.19$$

$$\tau_{yz} = 5.34 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_x = 4.59 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_y = 2.60 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{xy} = 1.30 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{VM} = 10.32 \text{ N/mm}^2$$

A pesar de que este husillo es capaz de soportar la carga para la que ha sido calculado, la selección del motor es el que determina la fuerza exacta que han de soportar los husillos, por lo que la elección de husillos y tuercas se efectuará una vez seleccionado los motores que se emplearán en la máquina.

[4] Aceleración angular de un NEMA-17 Bipolar Stepper with 26.85:1 Gearbox

4.2 Motor y acoplamiento

La misión del motor es la de generar el par necesario para realizar los distintos ensayos que se transmite al husillo a través del acoplamiento.

Los motores paso a paso o “steppers” son un tipo especial de motores eléctricos síncronos diseñados para rotar un número determinado de grados por cada pulso eléctrico recibido.

Cuando se aplica un voltaje a una fase del estator de estos motores, se induce un par en el rotor que lo alinea con el campo magnético del estator, de manera que la reluctancia del circuito magnético excitado sea mínima. El giro continuo del motor se consigue activando las distintas fases del motor de manera secuencial.

Los motores paso a paso se suelen clasificar en 3 categorías principales: de reluctancia variable, de imán permanente e híbridos.

Los motores de reluctancia variable están formados por un rotor de material ferromagnético. Este tipo de motores presentan una velocidad de respuesta alta, pero el par proporcionado es bajo y no presentan par estático en ausencia de alimentación.

Los motores de imán permanente son similares a los anteriores pero con un rotor de imán permanente. Este tipo de motores pueden producir un par más elevado que los de reluctancia variable, dado que los motores paso a paso de imán permanente generan un par debido al campo magnético del rotor de imán permanente y a los efectos de reluctancia.

El funcionamiento de los motores híbridos es una combinación de los otros 2, lo que les permite generar un alto par y presentar una alta precisión. El rotor de estos motores consiste en un imán permanente dispuesto en dirección axial situado en el medio de dos discos dentados de material ferromagnético.

Los motores paso a paso pueden presentarse en 2 configuraciones distintas, unipolares y bipolares.

En los motores unipolares cada bobina del estator dispone de una toma central con una conexión fija a la tensión de alimentación. La corriente fluye a través del bobinado de las fases en una sola dirección, ya que cada fase se enrolla en paralelo con dos cables. La dirección de la corriente de la bobina del estator depende de qué extremo de la bobina está conectado a tierra. Esta configuración resulta en un ahorro en la electrónica de control.

En los motores bipolares los bobinados de cada uno de los devanados de las fases del motor se suministran a través de un puente completo y por lo tanto pueden llevar corriente en ambas direcciones. Esta configuración aunque más compleja de controlar, permite pares más elevados.

Los principales parámetros a la hora de elegir motores paso a paso son el ángulo girado por paso, la precisión, el par que es capaz de proporcionar y velocidad y aceleración máxima que permiten.

Para los ensayos que se van a analizar interesa tener un paso pequeño que permita un mejor control de la posición. A pesar de esto, no interesa tener uno pasos excesivamente reducidos ya que cuanto menor es el paso, mayores son las posibilidades de que el motor se bloquee en posiciones cercanas a las de máximo par.

MÁQUINA DE ENSAYOS 2D PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA APERTURA DE MALLAS DE REDES

Como ya se indicó, el error no acumulativo en posición que presentan este tipo de motores es del 5%, lo que para los ensayos que se van a realizar es suficiente. Para mayores precisiones se pueden emplear encoders conectados al eje del motor.

En los cálculos para dimensionar los husillos, se calculó el par necesario para mover la carga, siendo este:

- Par necesario de aplicación T_d

$$T_d = 4.51 \text{ kg cm}$$

- Potencia necesaria P_a

$$P_a = 1000 \cdot \frac{T_d \cdot n}{9550} [W]$$

T_d Par necesario de aplicación (Nm)
 n Velocidad de rotación del husillo (rpm)

Los ensayos que se van a realizar van a ser muy lentos ya que se deben evitar efectos dinámicos que puedan introducir errores en las mediciones, pudiendo ser la velocidad en algunos momentos nula para estabilizar las tensiones producidas, por lo que para el cálculo de la potencia se va a suponer una velocidad de rotación $n = 500 \text{ rpm}$, correspondiente a una velocidad lineal $s = 1 \text{ m/min}$.

Por tanto, la potencia necesaria del motor resulta,

$$P_a = 23 \text{ W}$$

Teniendo en cuenta los parámetros anteriormente citados, se opta por la elección de un motor NEMA-23 Bipolar Gearless Steper.

Se trata de un motor híbrido bipolar, cuyas principales características son,

Ángulo de paso	1.8°
Precisión de paso	±5 %
Par	12.6 kg cm
Velocidad máxima	3000 rpm
Aceleración	589 rad/s ²
Potencia	67.2 W

Tabla 3. Características motor

Este motor cumple ampliamente con los requisitos anteriormente detallados, tanto en par como en potencia, por lo que en caso de necesitar ensayar muestras de resistencia mayor a la determinada anteriormente, no se necesite sustituir los motores

Para transmitir el giro del motor al husillo se emplea un acoplamiento. La misión del acoplamiento es la de recibir el par proporcionado por el motor y transmitirlo al husillo con la mayor integridad posible, corrigiendo en lo posible los desalineamientos entre ambos ejes.

Existen dos tipos de acoplamientos en función de su estructura, acoplamientos rígidos y flexibles. Ambos sistemas basan su funcionamiento en la transmisión del movimiento mediante la unión entre los ejes y el acoplador, siendo la fijación con tornillo prisionero la más empleada para el caso de cargas ligeras.

Los acoplamientos rígidos conectan los ejes sin permitir movimiento relativo entre ellos, sin embargo permiten cierto ajuste axial en el montaje. Se utilizan cuando la precisión y la

fidelidad de la transmisión de par es primordial. Suelen estar formados por una única pieza metálica en la que se insertan los ejes.

Los acoplamientos elásticos conectan los ejes, pero permiten cierto desalineamiento axial, angular, paralelo y torsional. Aunque existen distintos tipos en función de la aplicación y del par a transmitir, los más usados para pequeños pares son los de mordaza y los helicoidales.

Los de mordaza están formados por dos semicoronas con varios dientes en el extremo opuesto al de entrada de los ejes, que se conectan a un acoplador elástico de mandíbulas que transmite el movimiento entre las dos mordazas.

Los acoplamientos helicoidales se fabrican con un cilindro sólido metálico cortado con una ranura helicoidal para incrementar su flexibilidad. Dichos acoplamientos tienen una capacidad de par limitada comparados con otros diseños, pero ofrecen cero juego y alta rigidez a la torsión, en combinación con desalineación axial, angular y paralela.

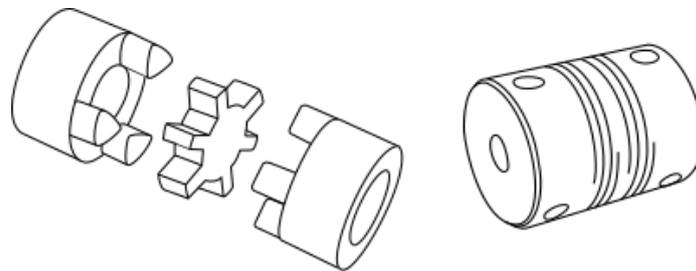


Figura 12. Acoplamiento de mordaza y helicoidal

Las principales características de los acoplamientos son el rango de diámetros de ejes que soportan así como el par máximo que pueden transmitir sin que se produzca deslizamiento.

El diámetro del eje de los motores seleccionados es de 6.35 mm, con un par máximo a transmitir de 0.44 Nm. Teniendo en cuenta estos parámetros, se escoge un acoplador de mordaza BF 6x6.35 D25 L34.

4.3 Verificación de husillo y tuerca

Una vez seleccionados los motores, se puede calcular la fuerza axial que van a desarrollar y si esta es menor que la máxima que pueden soportar los husillos.

Fuerza axial F_d

$$F_d = \frac{2000 \cdot \pi \cdot \eta_A \cdot T_d}{p} - T_{rot} [N]$$

T_d Par necesario de aplicación (Nm)
 p Paso del husillo (mm)
 η_A Rendimiento del sistema
 T_{rot} Momento de aceleración (Nm)

Introduciendo en la ecuación el par de los motores $T_d = 1.1 Nm$, manteniendo el resto de parámetros iguales a lo detallado en el punto 4.1, se obtiene el siguiente resultado,

$$F_d = 609 N$$

Este valor es muy cercano a la fuerza máxima que soportan los husillos trapezoidales Tr 10x2 a efectos de pandeo, por lo que para una mayor seguridad en el diseño se opta por husillos

trapezoidales Tr 12x3 laminados de aluminio y tuercas de bronce con brida EFM Tr 12x3.
Repetiendo los cálculos, se obtienen los siguientes resultados.

$$\begin{aligned} F_d &= 553 \text{ N} & \tau_{yz} &= 10.25 \text{ N/mm}^2 \\ A_{erf} &= 110.80 \text{ mm}^2 & \sigma_x &= 7.82 \text{ N/mm}^2 \\ V_{zul} &= 60 \text{ m/min} & \sigma_y &= 3.77 \text{ N/mm}^2 \\ n_{zul} &= 1819 \text{ rpm} & \tau_{xy} &= 1.89 \text{ N/mm}^2 \\ s &= 5.46 \text{ m/min} & \sigma_{VM} &= 19.28 \text{ N/mm}^2 \\ n_{kr} &= 1260 \text{ rpm} \\ F_{zul} &= 1177 \text{ N} \\ \eta_A &= 0.21 \\ \text{Se cumple la condición de autobloqueo} \\ e &= 0.23 \end{aligned}$$

4.4 Rodamientos y soportes

Los rodamientos son elementos mecánicos cuya función es constreñir los movimientos relativos que se producen entre eje y soporte y reducir la fricción de las partes móviles.

A la hora de elegir un rodamiento los parámetros más influyentes en su elección son la magnitud y dirección de las cargas, desalineamiento, precisión, velocidad y niveles de vibración.

Dada la configuración de la máquina, los rodamientos estarán sometidos a carga radial y axial, por lo que será necesario que los rodamientos sean capaces de soportar ambos tipos de carga.

Para soportar cargas radiales es suficiente el empleo de rodamientos de bolas de ranura profunda, sin embargo estos rodamientos no están diseñados para soportar cargas axiales.

La carga axial es producida por la energía elástica que acumula la red durante su deformación, siendo su sentido opuesto al alargamiento de las mallas en dirección normal. Dado que la carga axial se produce en un único sentido, se pueden emplear rodamientos de bolas de contacto angular situados en uno de los extremos de los husillos para absorber la carga axial y rodamientos de bolas de ranura profunda en el otro.

El desalineamiento que pueden presentar los rodamientos de bolas de una hilera suele estar entre los 2 y los 10 minutos de arco. Este desalineamiento es plenamente asumible, ya que estos valores son pequeños y tanto los soportes de los rodamientos como los acopladores de los motores permiten corregir cierto desalineamiento.

Los rodamientos de bolas entre 2.5 y 10 mm de aro interior de precisión normal presentan una desviación superior respecto del diámetro interior de 0 μm e inferior de -8 μm . Las tolerancias respecto del diámetro exterior para rodamientos de bolas entre 2.5 y 18 mm de aro exterior son de 0 μm de desviación superior y -8 μm de desviación inferior. Esta precisión es suficiente para la máquina ya que estas desviaciones son muy inferiores a las que se pueden producir durante el montaje de los elementos de la máquina.

Como ya se indicó anteriormente, la velocidad de los ensayos va a ser muy reducida, por lo que tanto las velocidades como las vibraciones producidas van a entrar dentro del rango de funcionamiento de los rodamientos anteriormente descritos.

La función de los soportes es la de sujetar los rodamientos impidiendo el giro del anillo exterior del rodamiento así como los posibles movimientos axiales y radiales que se puedan producir de forma que el rodamiento esté centrado en su posición en todo momento.

MÁQUINA DE ENSAYOS 2D PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA APERTURA DE MALLAS DE REDES

Para evitar que la red flechte debido a la gravedad y aparezcan errores en la medición cuando esta no se encuentre traccionada, se debe de apoyar en una superficie que limite la deformación que se produce en su plano perpendicular. Para esto se pueden situar los husillos en el plano central de la estructura y colocar una plancha de plástico o madera justo debajo de la estructura de manera que la red vea limitado su desplazamiento en su plano perpendicular y que a la vez sirva de fondo en caso de querer realizar grabaciones de los ensayos.

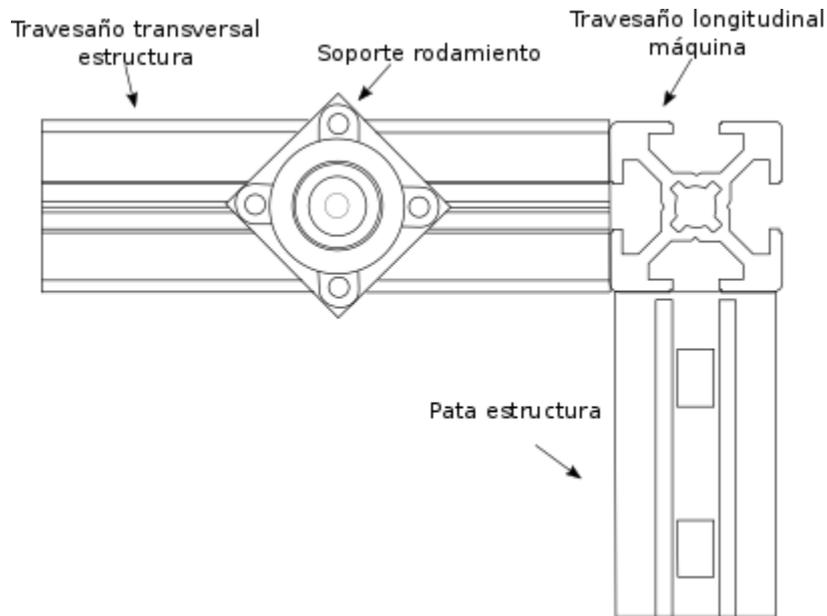


Figura 13. Montaje soportes

Para este tipo de montaje, lo más cómodo es emplear soportes que se puedan colocar como se indica en la figura 13, teniendo que situarse los rodamientos axiales en el extremo opuesto al de los motores dado el sentido de la carga axial. Para esta configuración, los soportes más adecuados son los de dos orificios paralelos al husillo centrados o de cuatro orificios (figura 14), teniendo estos últimos que orientarse de manera que queden dos de sus orificios alineados con el centro de los perfiles de aluminio que formarán la estructura de la máquina.

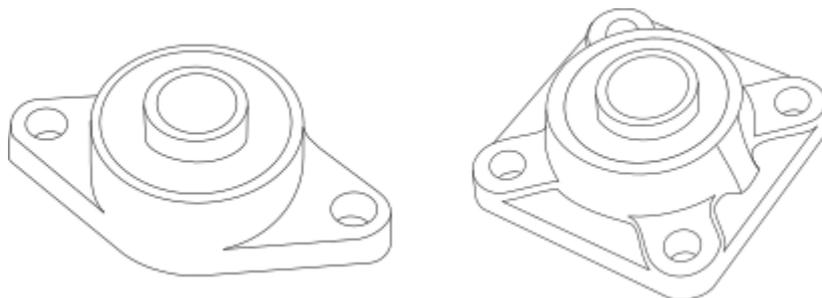


Figura 14. Soportes rodamientos de 2 y 4 orificios paralelos al husillo

Para el montaje de los rodamientos los extremos de los husillos deben de ser mecanizados. El proveedor ofrece este servicio con la compra de los husillos, suministrando además todos los accesorios necesarios para el montaje como rodamientos y soportes asociados. Por tanto, para minimizar la posibilidad de error en los pedidos, se opta por pedir todo el material al mismo proveedor, ahorrando así también gastos de envío.

MÁQUINA DE ENSAYOS 2D PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA APERTURA DE MALLAS DE REDES

Teniendo en cuenta esto, se opta por unos soportes FK06 con rodamientos de bolas de contacto angular 706A y soportes FF06 con rodamientos radiales de bolas de ranura profunda 606ZZ.

La carga axial máxima que pueden soportar los rodamientos axiales F06A es de 74 kg, siendo esta varias veces superior a la prevista, por lo que estos rodamientos son adecuados para su uso. La carga radial que se va a generar durante los ensayos es muy baja, por lo que los rodamientos seleccionados no presentan ningún problema en este aspecto.

5. Diseño estructural

Una vez obtenidas las fuerzas que se van a generar durante los ensayos, es necesario comprobar si estas son soportadas por la estructura y por los distintos elementos de unión y sujeción que forman parte de la máquina.

5.1 Cálculo estructural

Para el cálculo de la estructura se realiza un análisis mediante elementos finitos. Para el modelo de la estructura se emplearán elementos tipo viga, ya que estos elementos permiten realizar un análisis muy eficiente.

Las fuerzas que se introducen en el modelo son las máximas que se van a desarrollar durante los ensayos, es decir, 25 kg según lo calculado anteriormente para las redes con mallas más resistentes. Aunque en principio estas fuerzas se encontrarán uniformemente repartidas en las sujeciones cuando la red esté centrada, se puede dar el caso de que esta se desplace durante el transcurso de los ensayos, por lo que se realizarán dos modelos, uno en el que la carga esté uniformemente distribuida a lo largo de las sujeciones y otro en el que la carga solo se encuentre distribuida desde un extremo de las sujeciones hasta la mitad de las mismas.

Según la geometría de la máquina, la carga que soporta la sujeción móvil es transmitida a lo largo del husillo al perfil transversal superior de la estructura de manera que el perfil transversal inferior está descargado (figura 15). Según esto, el modelo simplificado de la máquina para el cálculo estructural es el mostrado en la figura 16.

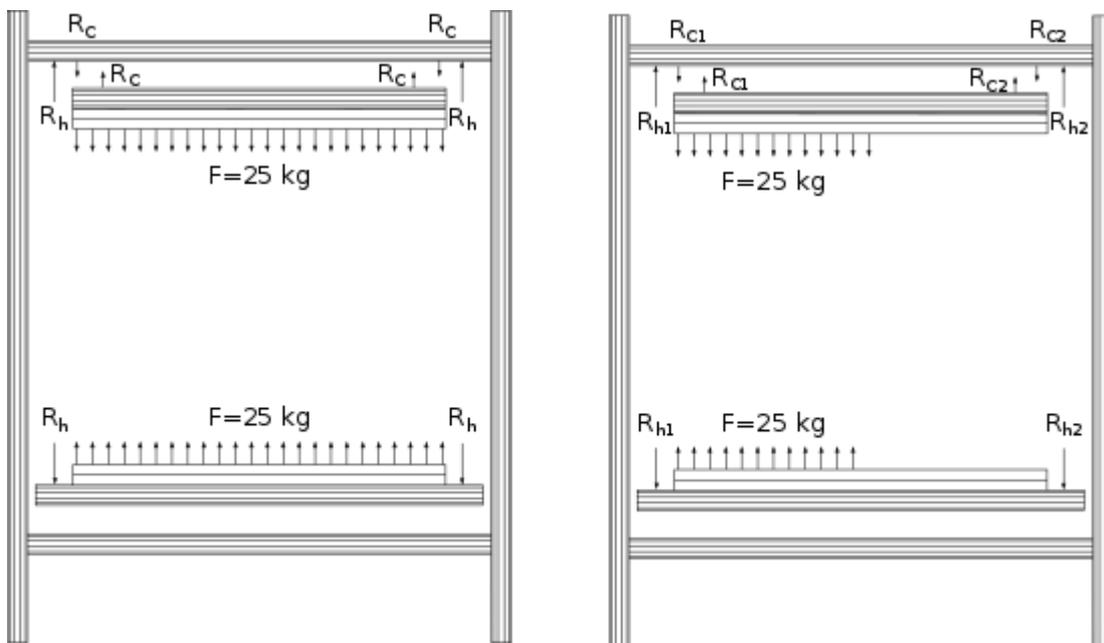


Figura 15. Fuerzas en los dos modelos planteados

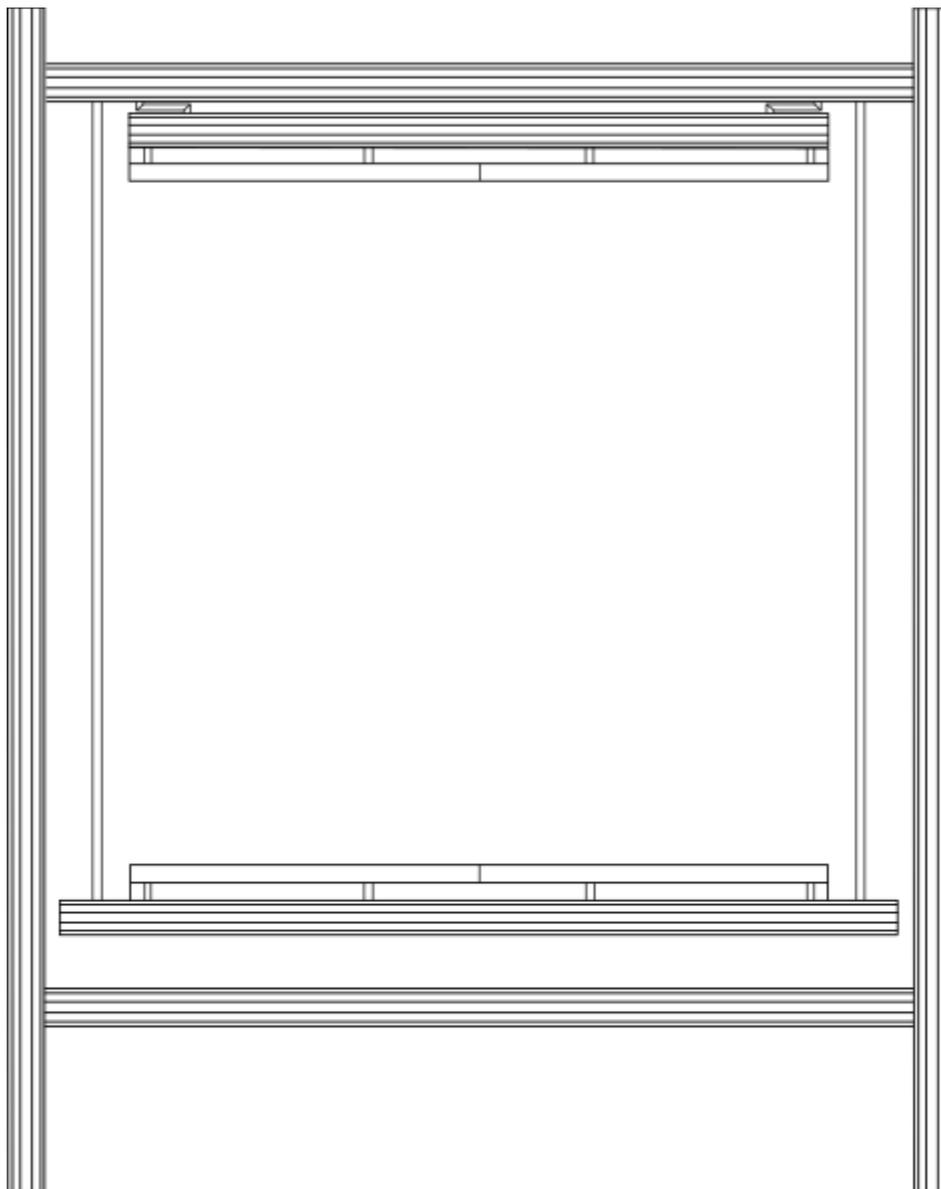


Figura 16. Modelo de la estructura para el análisis por elementos finitos

Para la ejecución del análisis se ha establecido el aluminio 6060 como material para el conjunto de los elementos ya que es el material empleado por el proveedor para los perfiles.

En la figura 17 se muestran los distintos resultados (tensión, factor de seguridad y desplazamientos) para cada uno de los modelos planteados. En el lado izquierdo se muestran los resultados del modelo de red centrada y a la derecha los correspondientes al modelo descentrado.

MÁQUINA DE ENSAYOS 2D PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA APERTURA DE MALLAS DE REDES

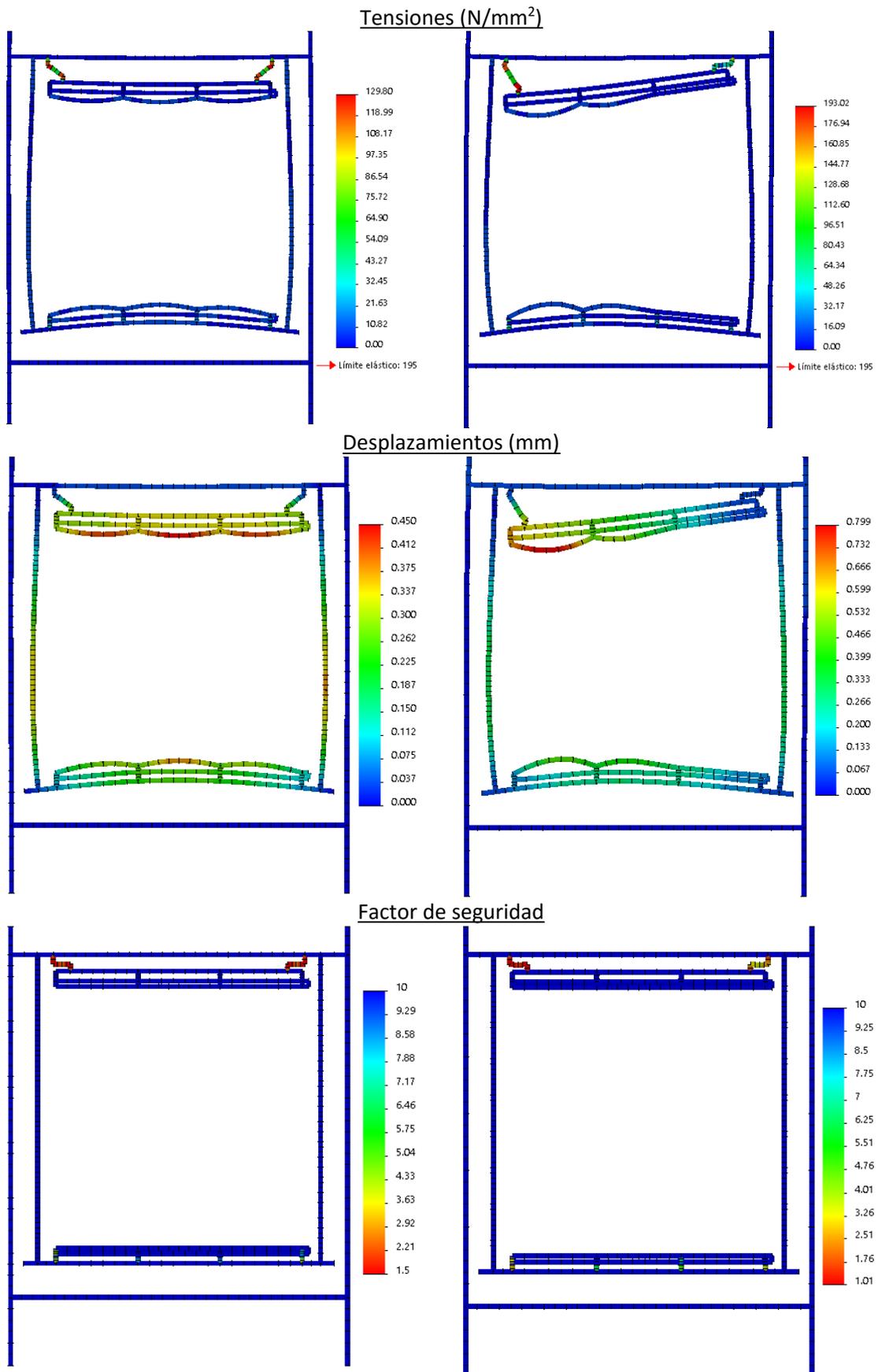


Figura 17. Resultados del análisis de elementos finitos de la estructura

Excluyendo del análisis las piezas que simulan las células de carga y elementos de unión entre los distintos perfiles, se observa que el coeficiente de seguridad para el resto de piezas toma valores superiores a dos y que los desplazamientos son inferiores a un milímetro, siendo tanto las tensiones como los desplazamientos plenamente asumibles para los ensayos que se van a realizar.

5.2 Cálculo de los elementos de unión estándar

Una vez comprobados los perfiles que componen la estructura, solo falta por determinar las reacciones que se producen en los principales elementos de unión que conforman la máquina como escuadras y tornillos de unión para los distintos perfiles. Estos valores se compararán con los máximos establecidos por los distintos proveedores para establecer la aptitud de los distintos elementos.

5.2.1 Escuadras perfil transversal

En la tabla 4 se muestran los valores de las reacciones de las escuadras del perfil transversal obtenidos del análisis. La figura 18 muestra el sistema de coordenadas empleado para referenciar las reacciones.

	Nudo	Axial (N)	Cortante 1 (N)	Cortante 2 (N)	Momento 1 (Nm)	Momento 2 (Nm)	Torsión (Nm)
Red centrada	1	2.8953	0.01728	-0.15551	0.00010561	1.656	0.11113
	2	-2.8953	0.01728	0.15129	0.00018598	1.6425	0.10995
Red descentrada	1	2.939	0.66343	-0.14887	0.00011039	1.4153	0.10703
	2	-2.939	0.66343	0.15794	0.00018191	1.9328	0.11406

Tabla 4. Reacciones en las escuadras

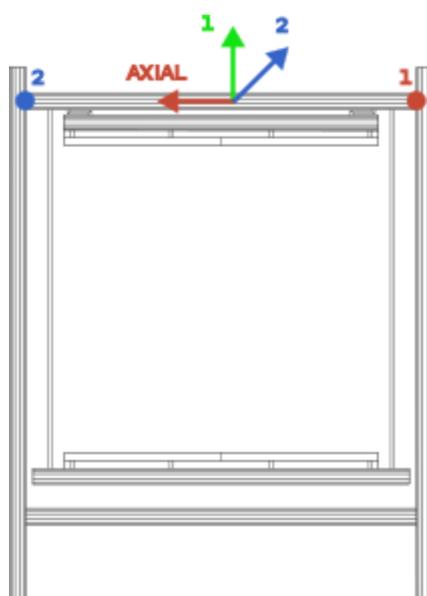


Figura 18. Sistema de coordenadas reacciones escuadras

MÁQUINA DE ENSAYOS 2D PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA APERTURA DE MALLAS DE REDES

Los máximos esfuerzos especificados por el proveedor que pueden soportar las escuadras seleccionadas se muestra en la siguiente figura.

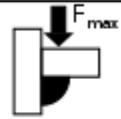
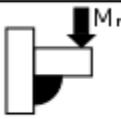
Modelo				
30/30	1250 N	25 Nm	75Nm	–

Figura 19. Capacidad de carga de las escuadras

Como se puede observar, las reacciones proporcionadas por el análisis son muy inferiores a las máximas establecidas por el proveedor, por lo que las escuadras son aptas para su uso en la estructura.

5.2.2 Tornillos de sujeción

Para la comprobación de los tornillos de sujeción, la máxima tensión a la que están sometidos se produce en el caso de la red descentrada, por lo que para su comparación se empleará la fuerza axial a la que está sometido el tornillo más cargado.

La fuerza axial que soporta el tornillo con mayor carga es de 178 N. Según el proveedor, la máxima carga de tracción que soportan los tornillos cabeza de martillo como los planteados es de 4000 N, por lo que estos elementos también son adecuados para su uso en la máquina.

5.3 Elementos singulares

Desde el punto de vista estructural, las células de carga deberán soportar una fuerza de 20 kg en el caso más desfavorable (red completamente desplazada hacia un lateral). Dado que estos elementos también tienen un papel destacado en la parte mecatrónica de la máquina, la elección y posterior comprobación de las células se hará en dicho apartado.

6. Diseño mecatrónico

En el diseño mecatrónico se analizan los sistemas de actuación, medición y control necesarios para el correcto funcionamiento de la máquina.

6.1 Componentes del sistema

Los principales elementos mecatrónicos del sistema son los motores que forman parte del sistema de actuación, las células de carga que registrarán la tensión que se le está aplicando en cada momento a las muestras, los interruptores ópticos para limitar la carrera de la sujeción móvil para que no haya colisiones con otros elementos y los controladores necesarios para los distintos elementos. En la figura 15 se muestra un esquema con los dispositivos de la máquina.

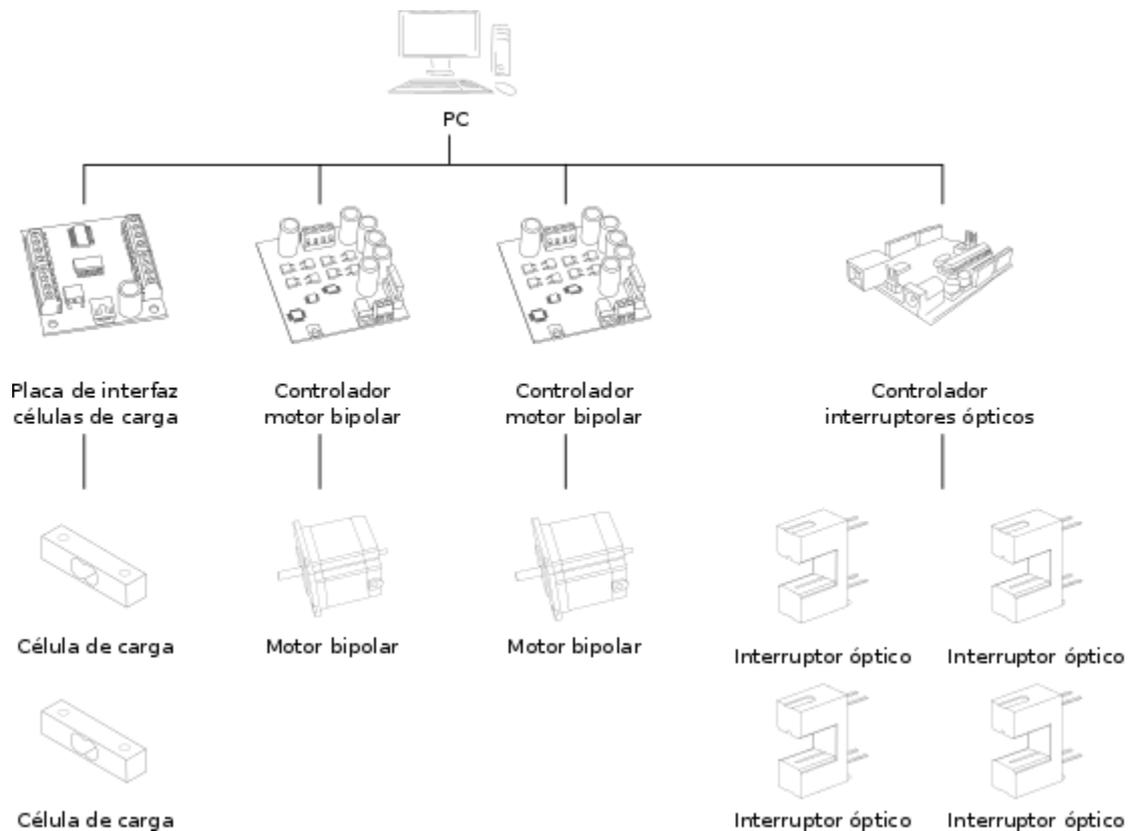


Figura 20. Esquema circuito mecatrónico

6.2 Motores

Los motores paso a paso basan su funcionamiento en el giro del rotor un determinado ángulo con cada impulso que reciben del controlador.

Existen tres tipos de excitación para los motores paso a paso: paso completo, medio paso y micropaso.

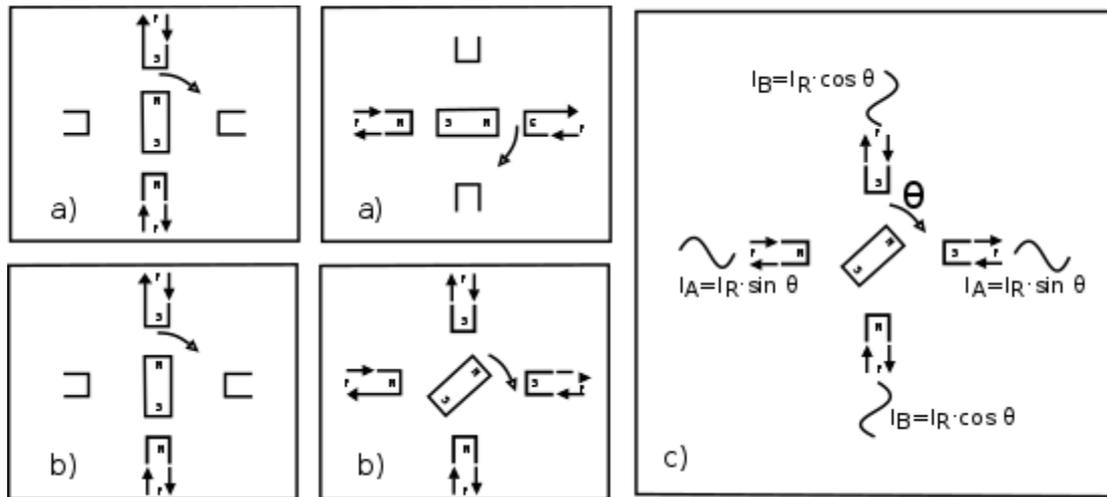


Figura 21. Modos excitación motor paso a paso. a) Paso completo b) Medio paso c) Micropaso

En el modo de operación de paso completo el motor se mueve su paso básico, 0.9° para los motores seleccionados. Hay dos modos de excitación de paso completo. En el modo de una fase, el motor funciona únicamente con una fase activada en cada instante de tiempo. Este modo es el que requiere de menos potencia del controlador de todos los modos de excitación.

En el modo de fase dual, el motor funciona con ambas fases activadas al mismo tiempo. Este modo proporciona el doble de resolución y un funcionamiento más suave, así como de un 30% a un 40% más de par que el de fase única, pero requiere del doble de potencia del controlador.

En la excitación de medio paso se van alternando los modos de una y dos fases resultando en pasos que son la mitad del paso básico. Debido al menor ángulo de paso, este modo proporciona el doble de resolución y más suavidad en el funcionamiento. Por el contrario, el modo de medio paso proporciona un 15% menos de par que el modo de paso completo de fase dual. Esta disminución de par se puede corregir aumentando la corriente transmitida al motor cuando solo está activada una fase.

La excitación en micropasos permite dividir el paso básico del motor hasta 256 veces. Los micropasos permiten una mayor suavidad y minimizar los efectos de resonancia a velocidades bajas. Este modo proporciona aproximadamente un 30% menos de par que el modo de paso completo de fase dual.

Los micropasos se basan en la superposición de dos ondas senoidales desfasadas 90° entre sí. Si el microcontrolador envía pulsos de corriente a las bobinas del motor con una forma senoidal ideal como las descritas anteriormente, el resultado es un movimiento continuo sin pasos detectables.

Esto se debe a que las dos ondas trabajan de forma conjunta para mantener al motor en una transición suave entre un polo y otro. Cuando la corriente aumenta en una bobina, decrece en la otra, en un avance a pasos suave y un par continuo de salida en cada posición. Sin embargo, los controladores de motores paso a paso no son capaces de generar ondas senoidales perfectas. Como resultado, las transiciones entre las posiciones no son tan suaves como en el caso ideal. Las ondas senoidales se pueden desviar significativamente del caso ideal. Estas desviaciones reciben el nombre de resonancias. Los controladores de motores de micropasos reducen los efectos de resonancia controlando las ondas de manera que estas desviaciones no ocurran.

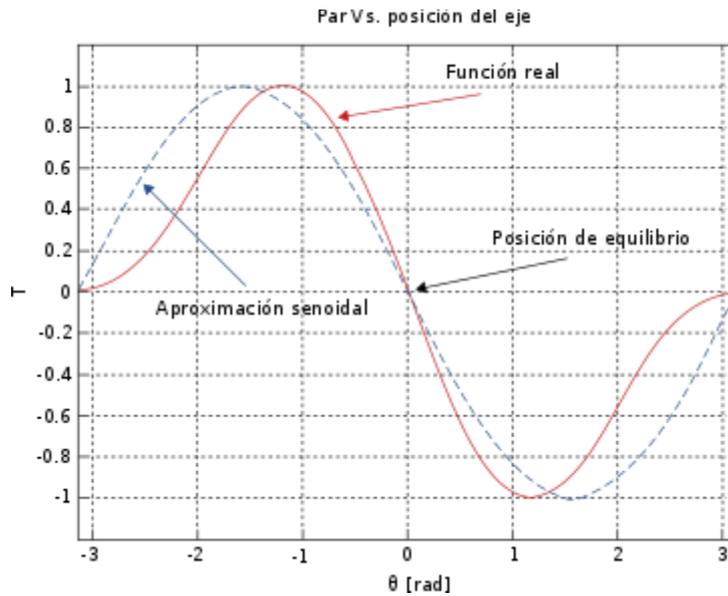


Figura 22. Par en función de la posición del eje

Los controladores de micropasos subdividen el paso de ángulo en múltiples divisiones para mejorar el control sobre el motor, permitiendo el control de motores de mayor resolución.

Sin embargo, los micropasos presentan el inconveniente de que a medida que se aumenta el número de micropasos por paso completo, se reduce drásticamente el par incremental por micropaso. La resolución mejora pero a costa de la precisión.

Par incremental T_n

$$T_n = T_H \cdot \sin \frac{90 \cdot n}{\mu_{PFS}} [Nm]$$

T_H Par estático (Nm)

n Número de micropasos dados

μ_{PFS} Número de micropasos por paso

Micropasos/paso completo	% Par estático/micropaso
1	100.00%
2	70.71%
4	38.27%
8	19.51%
16	9.80%
32	4.91%
64	2.45%
128	1.23%
256	0.61%

Tabla 5. Par incremental según el número de micropasos

La consecuencia es que si la el par de la carga más la fricción del motor y el par de retención es mayor que el par incremental, se tendrán que realizar varios micropasos hasta que se acumule el par necesario. Esto implica que aunque se den varios micropasos, el motor no tiene por qué moverse.

A pesar de esto, este problema se puede solucionar mediante el uso de un encoder o registrando únicamente las tensiones en la red cuando el motor avance su paso básico

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, para el control de los motores se emplea un controlador PhidgetStepper Bipolar HC. Este controlador permite ajustar posición, velocidad y aceleración de manera precisa, así como la corriente proporcionada y permite el modo de excitación mediante micropasos.

6.3 Células de carga

Las células de carga son transductores que convierten fuerzas entrantes en señales eléctricas a su salida. La medición se realiza a través de pequeños resistores flexibles llamados galgas extensométricas.

El método más común de conexión de las galgas extensométricas es el de puente de Wheatstone completo (figura 18). Este montaje permite conocer el valor de la carga mediante la medición del voltaje de salida V_o .

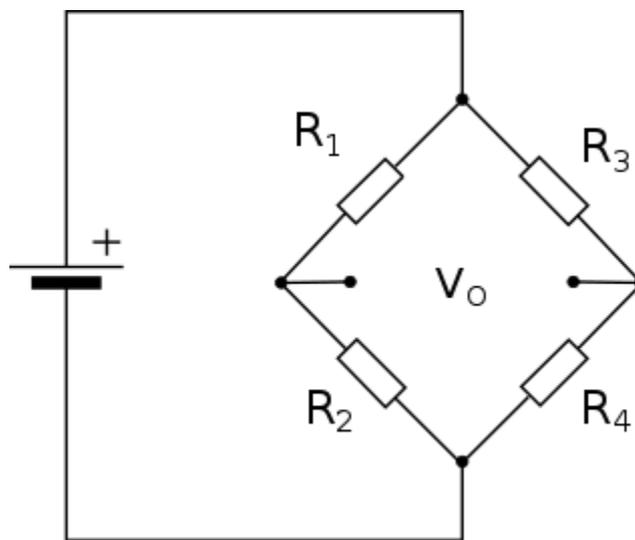


Figura 23. Puente de Wheatstone

Estas galgas se encuentran unidas a un miembro estructural que se deforma cuando se le aplica una carga, deformando a su vez las galgas. Cuando se deforman las galgas, su resistencia eléctrica varía proporcionalmente a la carga, por tanto, la tensión a la salida de la célula es proporcional a la carga que se está aplicando.

Aunque en teoría el voltaje V_o es proporcional a la carga aplicada, en la práctica se observa que este comportamiento no es completamente lineal, ya que existen una serie de factores que afectan a la medición.

Uno de los factores que introducen error en la medición es el error de offset o error de cero. Idealmente todas las galgas del circuito tienen la misma resistencia, por lo que si la célula no está cargada, el voltaje a la salida es cero. En la práctica las galgas que se utilizan para fabricar células de carga de bajo coste presentan una tolerancia típica del 5%. Esto implica que aún en ausencia de carga el circuito presentará cierto desequilibrio y la tensión a la salida será distinta de cero. Este error se puede minimizar mediante varios métodos: emplear galgas de menor tolerancia en las células de carga, implementar otro circuito que proporcione una tensión cuyo valor equilibre el circuito o introducir en la calibración de las células el error de offset.

MÁQUINA DE ENSAYOS 2D PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA APERTURA DE MALLAS DE REDES

Otra fuente de error son los fenómenos de histéresis que se producen en la célula de carga. Si se obtiene una lectura mediante el aumento de la carga de cero y otra lectura para la misma carga mediante la disminución la carga nominal, se observa una diferencia entre los dos valores. Esta diferencia se conoce como error de histéresis.

El voltaje de salida de la célula es muy pequeño, estando en el rango de los milivoltios, por lo que debe ser amplificada mediante un amplificador de instrumentación antes de que pueda ser utilizada. Esta amplificación de la señal tiene como contrapartida la amplificación del ruido eléctrico del circuito, de manera que la señal de salida oscilará en un rango de valores alrededor del valor teórico. Este comportamiento se puede atenuar de dos formas, mediante la disminución de la frecuencia de muestreo o mediante el uso de medias de valores para cada posición.

Existen otras fuentes de error como pueden ser los errores debidos a cambios de temperatura o errores de creep debido a la relajación de los materiales con cargas constantes durante largos períodos de tiempo, pero estos presentan una menor influencia en la medida.

Para la selección de la célula de carga, los principales parámetros técnicos a considerar son el tipo de esfuerzo a medir, la carga máxima que soporta y el valor de los errores anteriormente mencionados.

Para esfuerzos de tracción como los que se van a producir durante los ensayos, los tipos de sensores que se pueden emplear son las células de carga específicas para cargas de tracción o células de carga que funcionen a cortante, cuidando en estas últimas el montaje de manera que la carga a la que se somete esté orientada en la dirección en la que la célula presenta una mayor sensibilidad.

La carga que deben de soportar las células de carga se calculó anteriormente, siendo su valor de 25 kg para las redes más resistentes.

Dado que se dispone de células de experimentos anteriores, se opta por su uso para ahorrar costes. Los sensores disponibles son células de carga Micro Load Cell (0-20 kg) - CZL635.

Las características de este dispositivo se muestran en la tabla 5.

Tipo de sensor	Célula de carga a cortante
Carga máxima	20 kg
Creep	20 g/hr
Error de offset	± 300 g
No linealidad máxima	10 g
Error de histéresis máximo	10 g
Error de temperatura	3 g/°C

Tabla 6. Características célula de carga.

Como se observa, la carga máxima que soportan estas células es de 20 kg, por lo que habría que limitar los ensayos a unos 35 kg de carga máxima, ya que se colocarán dos células de carga, una en cada lado de la máquina. Si se quieren realizar ensayos con mayores cargas se deben sustituir las células anteriores por unas Micro Load Cell (0-50 kg) - CZL635, cuya carga máxima es de 50 kg.

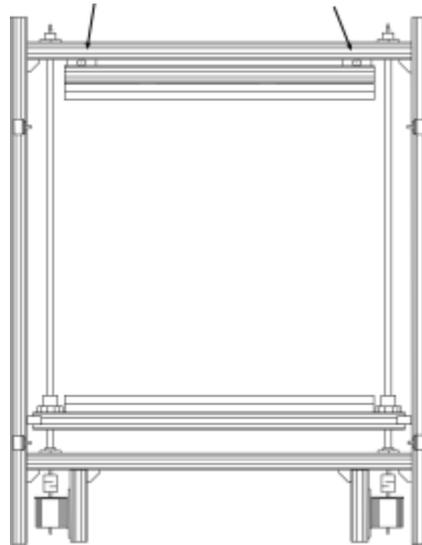


Figura 24. Posición células de carga

Para el muestreo de las células de carga se opta por un dispositivo PhidgetBridge 4-Input que permite la conexión de cuatro células de carga. Este dispositivo realiza la función de amplificación de la señal y permite a su vez establecer de una manera sencilla la frecuencia de muestreo y la ganancia del mismo.

Para poder utilizar las células de carga, estas se deben de calibrar previamente mediante una expresión del tipo $P = V_0 + k \cdot V$, que permita relacionar el voltaje de salida (V) con la carga aplicada (P).

6.4 Detectores de fin de carrera

Los detectores de fin de carrera son sensores eléctricos empleados para la limitación del rango de desplazamiento de un elemento móvil. Estos dispositivos tienen dos modos de funcionamiento: modo positivo y negativo. En el modo positivo, el detector de fin de carrera actúa como un interruptor normalmente abierto, mientras que en el modo negativo actúa como un interruptor normalmente cerrado. En función del método de accionamiento existen diferentes tipos de sensores, siendo los más empleados los de accionamiento mecánico, magnético y óptico. La principal ventaja de los de accionamiento magnético y óptico es la no existencia de contacto entre el elemento móvil y el detector, evitando posibles daños por colisión.

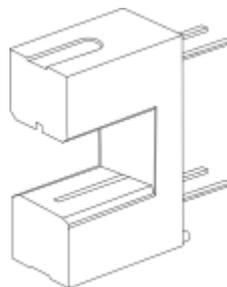


Figura 25. Interruptor óptico EE-SX1041

Según lo indicado, se opta por el uso de interruptores ópticos ranurados Omron EE-SX1041. Como estos dispositivos presentan un coste reducido, se opta por situar cuatro de estos

dispositivos en los laterales de la estructura, permitiendo así el alineamiento automático de la sujeción móvil mediante software y aportando una mayor seguridad durante los ensayos.

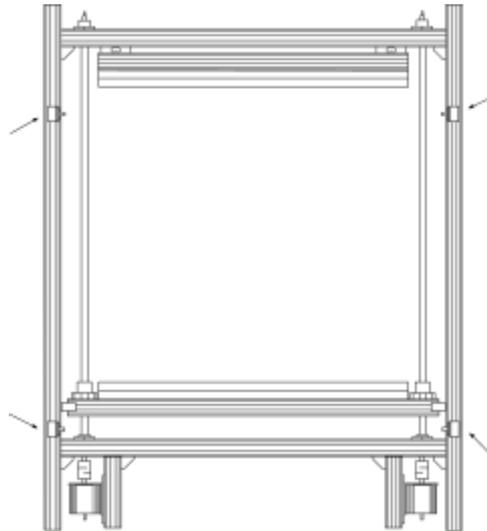


Figura 26. Posición interruptores ópticos

Estos dispositivos basan su funcionamiento en el montaje de un fototransistor y un diodo emisor de luz (LED) infrarrojo montados en lados opuestos de una ranura. Cuando se sitúa un objeto en la ranura, se interrumpe el haz de luz, lo que dispara el circuito.

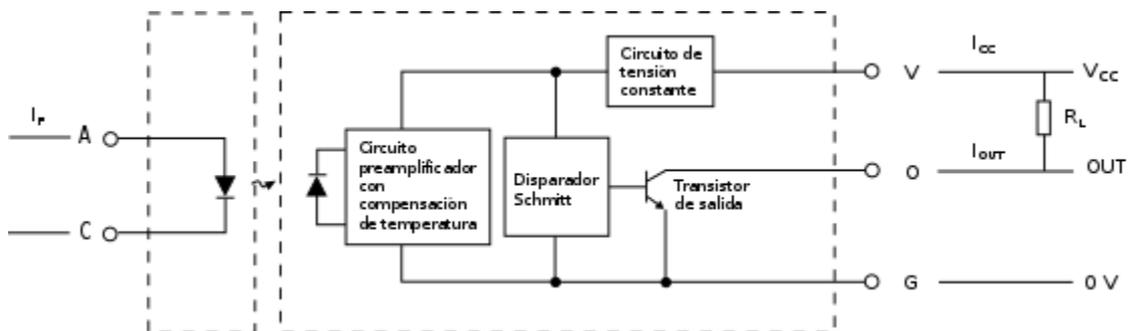


Figura 27. Diagrama de circuito de un interruptor óptico

Para el control de los interruptores ópticos se opta por el uso de un microcontrolador de bajo coste Arduino Leonardo. En la tabla 6 se muestran las principales características de este microcontrolador.

Microcontrolador	ATmega32u4
Voltaje de operación	5 V
Voltaje de alimentación	7-12 V
Pines digitales E/S	20
Pines digitales E/S con PWM	7
Pines analógicos E/S	12
Corriente por pin E/S	40 mA
Memoria Flash	32 kB
Memoria flash del gestor de arranque	4 kB
SRAM	2.5 kB
EEPROM	1 kB
Velocidad de reloj	16 MHz

Tabla 7. Especificaciones técnicas arduino Leonardo

6.5 Alimentación

Para una mayor seguridad de operación de la máquina así como para una mayor protección de los componentes, se opta por la instalación de una caja que cuente con sistemas de protección y control tales como interruptor de balancín con protección IP44, interruptor de parada de emergencia y conector de red con protección IP54.

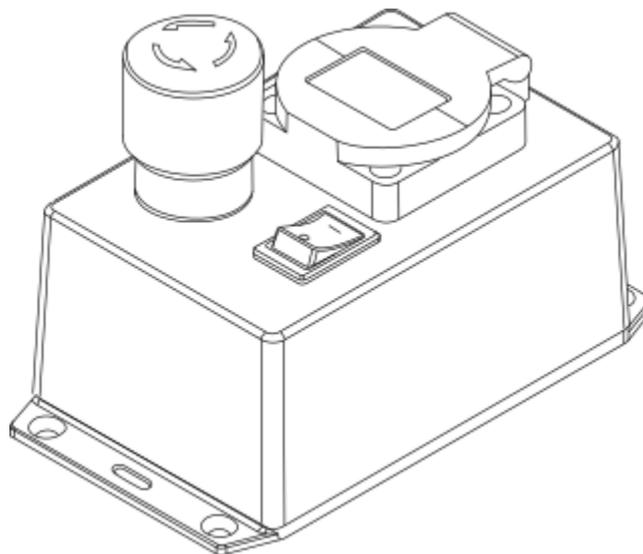


Figura 28. Caja de protección y control

En el Anexo 2 se muestra el esquema eléctrico de la máquina.

Anexo 1. Bibliografía

Libros

Chapman, Stephen. Electric Machinery Fundamentals. 2ª edición. McGraw-Hill. 700 p. ISBN: 978-0-07-352954-7

Norton, Robert. Diseño de máquinas. 4ª edición. Pearson Educación. 1056 p. ISBN: 978-607-32-0589-4

Moritz, Frederiick. Electromechanical Motion Systems: Design and Simulation. 1ª edición. Wiley. 308 p. ISBN-13: 978-1119992745

Artículos

ICES Journal of Marine Sciences 2015 págs. 697-707.

Stepper Motor Technical Note: Microstepping Myths and Realities. Micromomo

Catálogos

Husillos de rosca trapecial laminado. Tecnopower.

Los elementos básicos de mecánica. Rexroth

Rolling Bearings. SKF

Professional manufacturer 2015. SYK

Tornillería DIN. Dislas

Páginas Web

<http://machinedesign.com/motorsdrives/comparing-motor-options-motion-control-applications>

<http://www.geckodrive.com/support/step-motor-basics/accuracy-and-resolution.html>

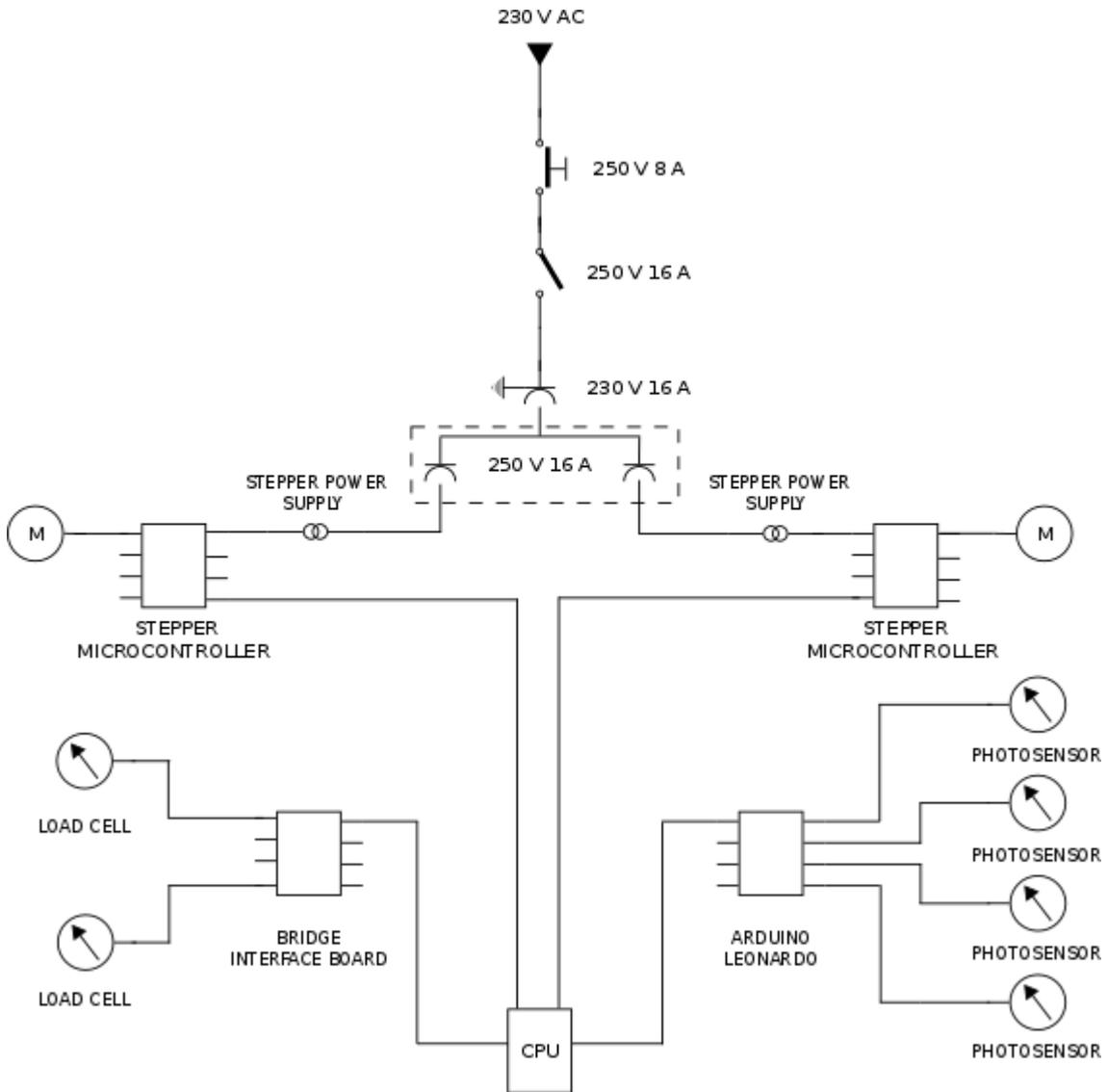
<http://www.nmbtc.com/step-motors/engineering/full-half-and-microstepping/>

<http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/StepperMicrostep.pdf>

<http://www.phidgets.com/>

<https://www.arduino.cc/>

Anexo 2. Circuito eléctrico



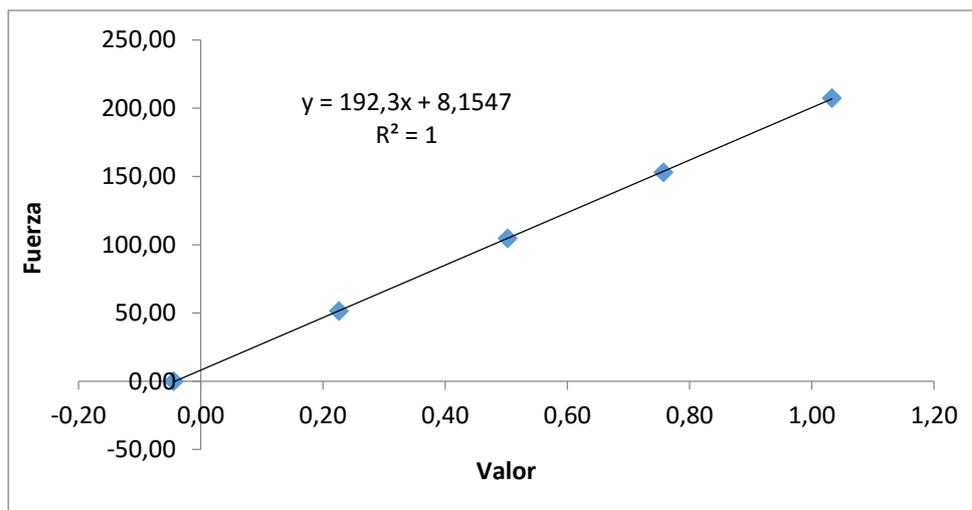
Anexo 3. Resultados calibración células de carga

Autor: Adrián Acción Montes **Fecha:** 18/05/2016

Célula de carga		Amplificador	
Identificador:	24/2/16-20-1	Serial No.:	407640
Fabricante:	Phidgets	Fabricante:	Phidgets
Modelo:	3134_0 - Micro Load Cell (0-20kg) - CZL635	Modelo:	1046_0 - PhidgetBridge 4-Input
Capacidad:	20 kg	Puerto:	0
		Ganancia:	128

Datos carga-tensión

Ciclo	Objeto	Masa (kg)	Valor (mV/V)	Fuerza (N)
Carga	Libre	0.000	-0.0442	0.000
	Masa eq. 5 kg	5.240	0.2260	51.404
	Masa eq. 10 kg	10.670	0.5020	104.673
	Masa eq. 15 kg	15.600	0.7570	153.036
	Masa eq. 20 kg	21.140	1.0330	207.383



Regresión lineal

$$\text{Fuerza (N)} = a + b \cdot \text{Tensión (unidades del amplificador)}$$

$$a = 8.1547$$

$$b = 192.3045$$

$$r^2 = 0.99996$$

MÁQUINA DE ENSAYOS 2D PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA APERTURA DE MALLAS DE REDES

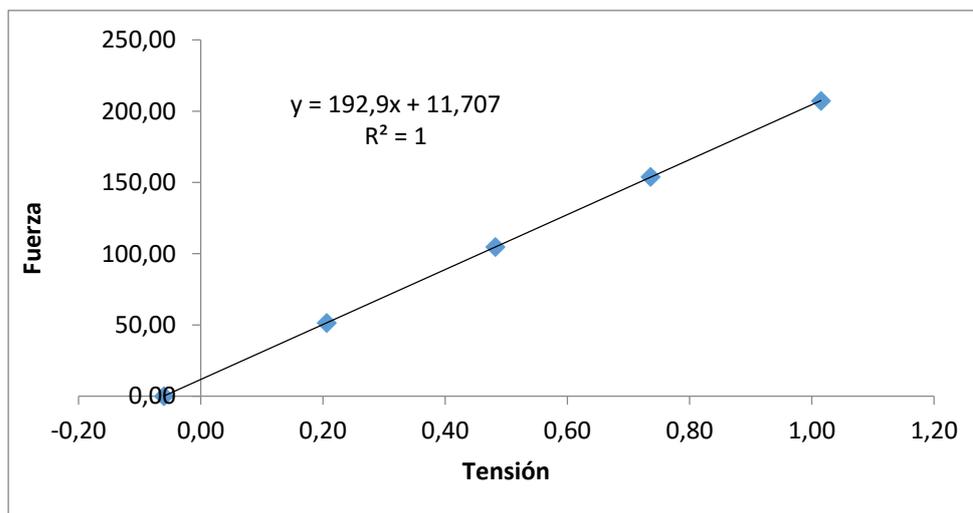
Autor: Adrián Acción Montes

Fecha: 18/05/2016

Célula de carga		Amplificador	
Identificador:	24/2/16-20-2	Serial No.:	470640
Fabricante:	Phidgets	Fabricante:	Phidgets
Modelo:	3134_0 - Micro Load Cell (0-20kg) - CZL635	Modelo:	1046_0 - PhidgetBridge 4-Input
Capacidad:	20 kg	Puerto:	1
		Ganancia:	128

Datos carga-tensión

Ciclo	Objeto	Masa (kg)	Valor (mV/V)	Fuerza (N)
Carga	Libre	0.000	-0.0603	0.000
	Masa eq. 5 kg	5.240	0.2060	51.404
	Masa eq. 10 kg	10.680	0.4820	104.771
	Masa eq. 15 kg	15.690	0.7360	153.919
	Masa eq. 20 kg	21.130	1.0150	207.285



Regresión lineal

Fuerza (N) = a + b*Tensión (unidades del amplificador)

a = 11.7074

b = 192.8963

r² = 0.999996

Anexo 4: Lista de material

N°	PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Structure	ESTRUCTURA	1
2	Bracket 30x30	ESCUADRA 30x30	6
3	strut_profile_30x30	PERFIL 30x30 RANURA 8 mm	2
4	Bracket 30x60	ESCUADRA 30x60	4
5	Micro_Load_Cell	CÉLULA DE CARGA (0-20 kg)	2
6	strut_profile_30x30	PERFIL 30x30 RANURA 8 mm	1
7	DIN 9021 M5	ARANDELA PLANA ANCHA M5	18
8	ISO 7380 M5x16	TORNILLO ALLEN CABEZA DE BOTÓN M5x16	18
9	Aluminium_Rail	RIEL DE CORTINA	2
10	T_NUT M6	TUERCA CABEZA DE MARTILLO M6	13
11	DIN 933 M5x50	TORNILLO HEXAGONAL M5x50	2
12	ISO 7380 M6x8	TORNILLO ALLEN CABEZA DE BOTÓN M6x8	9
13	NEMA 23 Bipolar_Gearless_Stepper	MOTOR PASO A PASO NEMA 23	2
14	NEMA 23_Stepper_Mounting_Bracket	SOPORTE MOTOR PASO A PASO NEMA 23	2
15	Motor_Fixing_Platen	PLACA CONEXIÓN MOTOR-ESTRUCTURA	2
16	T_BOLT M6x16	TORNILLO CABEZA DE MARTILLO M6x16	12
17	Jaw_Coupling 6-6.35mm	ACOPLADOR MOTOR-HUSILLO	2
18	DIN 315 M6	TUERCA DE PALOMILLA M6	4
19	DIN 125 M6	ARANDELA PLANA M6	20
20	DIN 985 M6	TUERCA HEXAGONAL AUTOBLOCANTE M6	16
21	strut_profile_30x30	PERFIL 30x30 RANURA 8 mm	1
22	Bronze_Flanged_Nut_with_Holes 12x3	TUERCA DE BRONCE CON REBORDE Y AGUJEROS Tr 12x3	2
23	Ball_Screw_Support FF06	SOPORTE RADIAL PARA RODAMIENTOS	2
24	Ball_Screw_Support FK06	SOPORTE AXIAL PARA RODAMIENTOS	2
25	Steel_Trapezoidal_Lead_screw Tr12x3	HUSILLO TRAPEZOIDAL Tr 12x3 DE ACERO	2
26	DIN 912 M6x20	TORNILLO ALLEN M6x20	4
27	DIN 125 M3	ARANDELA PLANA M3	22
28	DIN 934 M3	TUERCA HEXAGONAL M3	22

MÁQUINA DE ENSAYOS 2D PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA APERTURA DE MALLAS DE REDES

29	DIN 912 M3x35	TORNILLO ALLEN M3x35	8
30	Aluminium_L_Profile 20x20x1.5	PERFIL DE ALUMINIO EN L 20x20x1.5	4
31	Prototyping_Board	PLACA DE PROTOTIPADO	4
32	Photomicrosensor EE- SX1041	INTERRUPTOR ÓPTICO EE-SX1041	4
33	DIN 933 M4x10	TORNILLO HEXAGONAL M4X10	8
34	DIN 934 M4	TUERCA HEXAGONAL M4	20
35	DIN 125 M4	ARANDELA PLANA M4	12
36	DIN 6923 M6	TUERCA HEXAGONAL CON COLLAR BISELADO M6	14
37	DIN 9021 M6	ARANDELA PLANA ANCHA M6	2
38	DIN 934 M6	TUERCA HEXAGONAL M6	2
39	T_BOLT M6X25	TORNILLO CABEZA DE MARTILLO M6x25	6
40	Photo_Senor_Trigger_Pl ate	PLACA DISPARADORA INTERRUPTOR ÓPTICO	2
41	Wood_Board_Thick	TABLERO MDF	1
42	Spacer	ESPACIADOR	16
43	Stepper_Microcontrolle r	MICROCONTROLADOR MOTOR PASO A PASO	2
44	DIN 912 M3x30	TORNILLO ALLEN M3x30	14
45	Electrical_Box	CAJA ABS	1
46	Emergency_Switch	SETA DE EMERGENCIA	1
47	Switch	INTERRUPTOR DPST	1
48	Socket	CONECTOR HEMBRA MONTAJE EN PANEL	1
49	DIN 7991 M4x20	TORNILLO AVELLANADO HEXÁGONO INTERIOR M4x20	4
50	DIN 7991 M5x30	TORNILLO AVELLANADO HEXÁGONO INTERIOR M5x30	4
51	DIN 125 M5	ARANDELA PLANA M5	4
52	DIN 934 M5	TUERCA HEXAGONAL M5	4
53	Arduino	MICROCONTROLADOR ARDUINO LEONARDO	1
54	Bridge_Controller	CONTROLADOR CÉLULA DE CARGA FUENTE DE ALIMENTACIÓN	1
55	Stepper_Power_Supply	MOTOR PASO A PASO	2
56	Wood_Board_Thin	TABLERO MDF DELGADO	1

Anexo 5. Presupuesto

Tipo: Perfilera de aluminio especializada, conectores y tornillería asociada

Proveedores: KJN Aluminium profile

Prov.	Ref.	Ud.	Descripción	Precio		L (m)	Coste
KJN	KJN990720	2	Aluminium Profile 30x30	8.08	€/m	1.025	13.12 €
KJN	KJN990720	2	Aluminium Profile 30x30	8.08	€/m	0.75	9.60 €
KJN	KJN990720	1	Aluminium Profile 30x30	8.08	€/m	0.72	4.61 €
KJN	KJN990720	1	Aluminium Profile 30x30	8.08	€/m	0.6	3.84 €
KJN	KJN990720	2	Aluminium Profile 30x30	8.08	€/m	0.14	1.79 €
KJN	KJN523528	6	30x30 Bracket with Fixings	2.65	€/ud		12.60 €
KJN	KJN523538	4	30x60 Bracket with Fixings	3.79	€/ud		12.00 €
KJN	3842523920	12	M6x16 T-Bolt & Nut	6.44	€/pk (10 ud)		10.20 €
KJN	3842523922	6	M6x25 T-Bolt & Nut	6,57	€/pk (10 ud)		5.20 €
KJN	KJN501753	13	M6 T Nut	3.79	€/pk (10 ud)		6.00 €
TOTAL							78.96 €

Tipo: Tornillería standard

Proveedores: TorFer

Prov.	Ref.	Ud.	Descripción	Precio		Coste
TorFer	DIN 125 M3	22	Arandela Plana M3	0.02	€/ud	0.44 €
TorFer	DIN 125 M4	12	Arandela Plana M4	0.01	€/ud	0.12 €
TorFer	DIN 125 M5	4	Arandela Plana M4	0.02	€/ud	0.08 €
TorFer	DIN 125 M6	20	Arandela Plana M6	0.02	€/ud	0.40 €
TorFer	DIN 315 M6	4	Palomilla M6	0.08	€/ud	0.32 €
TorFer	DIN 912 M3x30	14	Tornillo Allen M3x30	0.16	€/ud	2.24 €
TorFer	DIN 912 M3x35	8	Tornillo Allen M3x35	0.16	€/ud	1.28 €
TorFer	DIN 912 M6x20	4	Tornillo Allen M6x20	0.11	€/ud	0.44 €
TorFer	DIN 933 M4x10	8	Tornillo Hexagonal M4x10	0.10	€/ud	0.80 €
TorFer	DIN 933 M5x50	2	Tornillo Hexagonal M5x50	0.18	€/ud	0.36 €
TorFer	DIN 934 M3	22	Tuerca Hexagonal M3	0.02	€/ud	0.44 €
TorFer	DIN 934 M4	20	Tuerca Hexagonal M4	0.02	€/ud	0.40 €
TorFer	DIN 934 M5	4	Tuerca Hexagonal M5	0.02	€/ud	0.08 €
TorFer	DIN 934 M6	2	Tuerca Hexagonal M6	0.02	€/ud	0.04 €
TorFer	DIN 985 M6	16	Tuerca Hexagonal Autoblocante M6	0.03	€/ud	0.48 €

MÁQUINA DE ENSAYOS 2D PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA APERTURA DE MALLAS DE REDES

TorFer	DIN 7991 M4x20	4	Tornillo Avellanado Allen M4x20	0.06	€/ud	0.24 €
TorFer	DIN 7991 M5x30	4	Tornillo Avellanado Allen M5x30	0.06	€/ud	0.24 €
TorFer	DIN 9021 M5	18	Arandela Plana Ancha M5	0.03	€/ud	0.54 €
TorFer	DIN 9021 M6	2	Arandela Plana Ancha M6	0.04	€/ud	0.08 €
TorFer	ISO 7380 M5x16	18	Tornillo Allen Cabeza de Botón M5x16	0.15	€/ud	2.70 €
TorFer	ISO 7380 M6x8	9	Tornillo Allen Cabeza de Botón M6x8	0.15	€/ud	1.35 €
TOTAL						13.07 €

Tipo: Husillos trapezoidales, tuercas trapezoidales y soportes

Proveedores: Moore international

Prov.	Ref.	Ud	Descripción	Precio	Coste
Moore Int		2	Trapezoidal Leadscrew : Steel 12x3x1000	31.72 €/ud	50.24 €
Moore Int		2	Trapezoidal Flanged Nut with Holes : Bronze 12 X 3	32,07 €/ud	50.80 €
Moore Int	FK06_C7	2	Ball Screw Support FK06 (Fixed-side round type)	39.47 €/ud	62.52 €
Moore Int	FF06_C7	2	Ball Screw Support FF06 C7 (Supported side- round type)	16,45 €/ud	26.06 €
TOTAL					189.62 €

MÁQUINA DE ENSAYOS 2D PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA APERTURA DE MALLAS DE REDES

Tipo: Electrónica y electricidad

Proveedores: Emmeshop/ WorldOfCNC/ RS/ Farnell

Prov.	Ref.	Ud.	Descripción	Precio	Coste
Emmeshop	ES001738	2	3331_0 - 57STH56 NEMA-23 Bipolar Gearless Stepper	21.30 €/ud	42.60 €
Emmeshop	ES001760	2	3339_0 - Stepper Mounting Bracket (NEMA 23)	4.80 €/ud	9.60 €
Emmeshop	ES001209	2	1067_0 - PhidgetStepper Bipolar HC	91.00 €/ud	182.00 €
Emmeshop	ES001211	2	3081_0 - Power Supply 12VDC 5.0A - EU	28.00 €/ud	56.00 €
Emmeshop	ES000119	2	3134_0 - Micro Load Cell (0-20kg) - CZL635	7.60 €/ud	15.20 €
Emmeshop	ES000016	1	1046_0 - PhidgetBridge 4-Input	90.00 €/ud	90.00 €
Emmeshop	ES000222	1	3808_1 - Acrylic Enclosure for the 1046	7.50 €/ud	7.50 €
WorldOfCNC	SRJ-25C-RD-6	2	SRJ 25mm Coupling - 6mm End	6.06 €/ud	9.60 €
WorldOfCNC	SRJ-25C-RD-6.35	2	SRJ 25mm Coupling - 6.35mm End	6.06 €/ud	9.60 €
Emmeshop	ES000365	1	Arduino Leonardo without Headers	17.95 €/ud	17.95 €
RS	2192533	4	Interruptor Óptico Ranurado Omron EE-SX1041	1.16 €/ud	4.64 €
RS	4935714	1	Caja de ABS Hammond 1591TFLBK, 1591, IP54, 120 x 80 x 55mm	7.58 €/ud	7.58 €
RS	3779759	1	Interruptor de balancín, C6053ALNAE 16 A a 250 V ac, IP44	6.15 €/ud	6.15 €
RS	3589304	1	Conector de red, Hembra, Montaje en Panel, 16A, 230 V	7.69 €/ud	7.69 €
Farnell	1606961	1	MULTICOMP MCADA16E6-R11-B1GR Interruptor con Pulsador Industrial	11.22 €/ud	11.22 €
Farnell	<u>1172154</u>	1	Placa de prototipado 160x100x1.5 mm	4.66 €/ud	4.66 €
TOTAL					481.99 €

MÁQUINA DE ENSAYOS 2D PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA APERTURA DE MALLAS DE REDES

Tipo: Varios

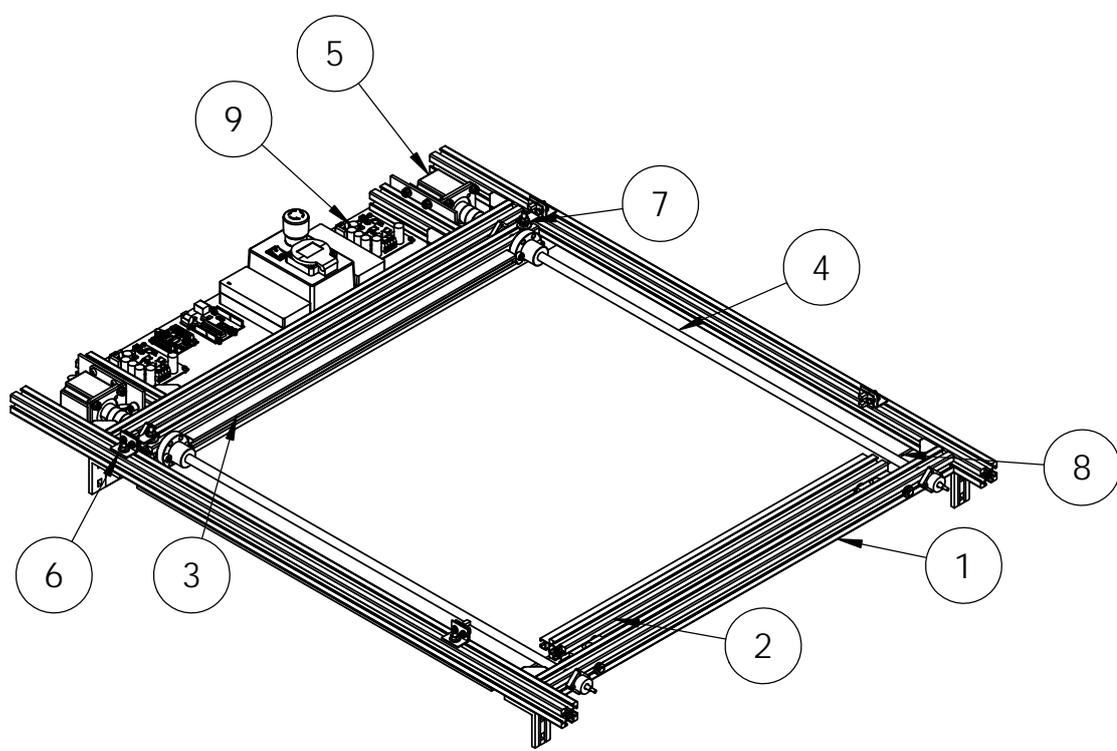
Proveedores: Aki/ Amazon

Prov.	Ref.	Ud.	Descripción	Precio	L (m)	Coste
Aki		1	Riel de cortina standard	4.25 €/m	2	8.50 €
Aki		1	Perfil de Aluminio en L 20x20x1.5	2.95 €/m	1	2.95 €
Aki		1	Tablero MDF lacado blanco 244x122x0.3 cm	16.40 €/ud		16.40 €
Aki		1	Tablero MDF 244x122x1.6 cm	43.05 €/ud		43.05 €
Amazon		1	Metacrilato transparente DINA5x4	1.75 €/ud		1.75 €
TOTAL						72.65 €

Item	Subtotal
Electrónica y electricidad	481.99 €
Husillos Trapezoidales, Tuercas Trapezoidales y Soportes	189.62 €
Perfilería de aluminio especializada y tornillería asociada	78.96 €
Tornillería standard	13.07 €
Varios	72.65 €
PRESUPUESTO MATERIAL	836.29 €
Gastos Generales (10%)	83.63 €
Mano de Obra (30 €/h)	1,680.00 €
PRESUPUESTO BRUTO	2,599.92 €
IVA (21%)	545.98 €
PRESUPUESTO	3,145.90 €

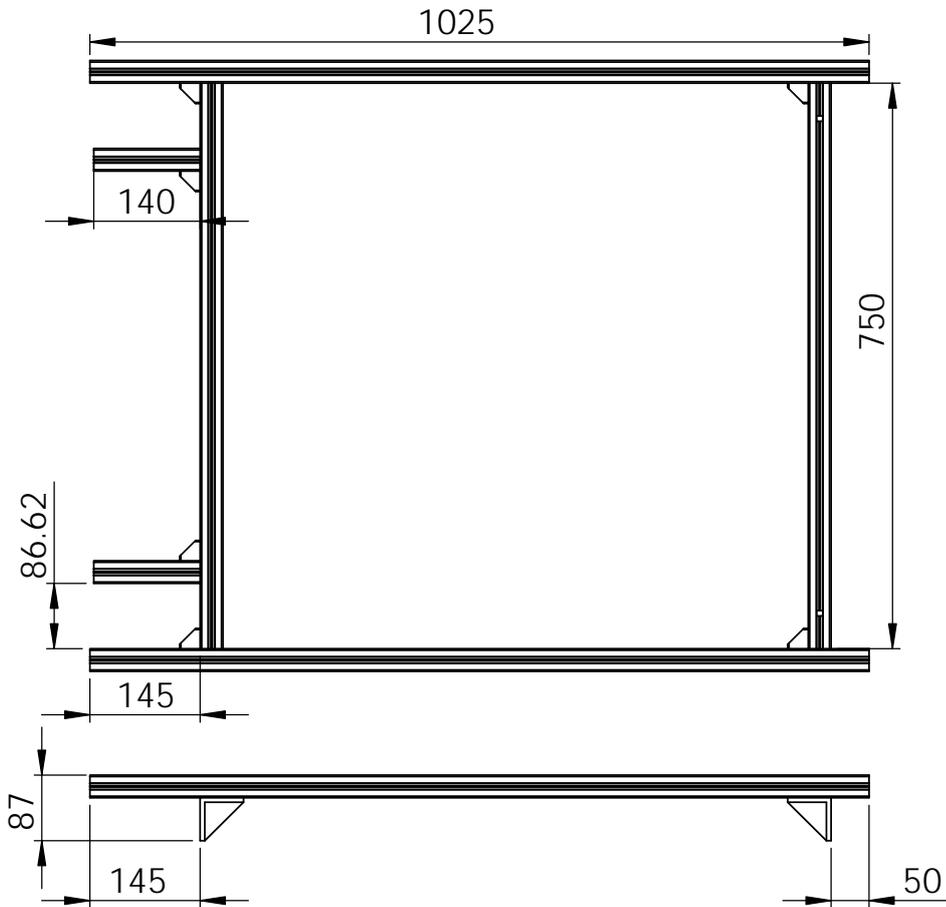
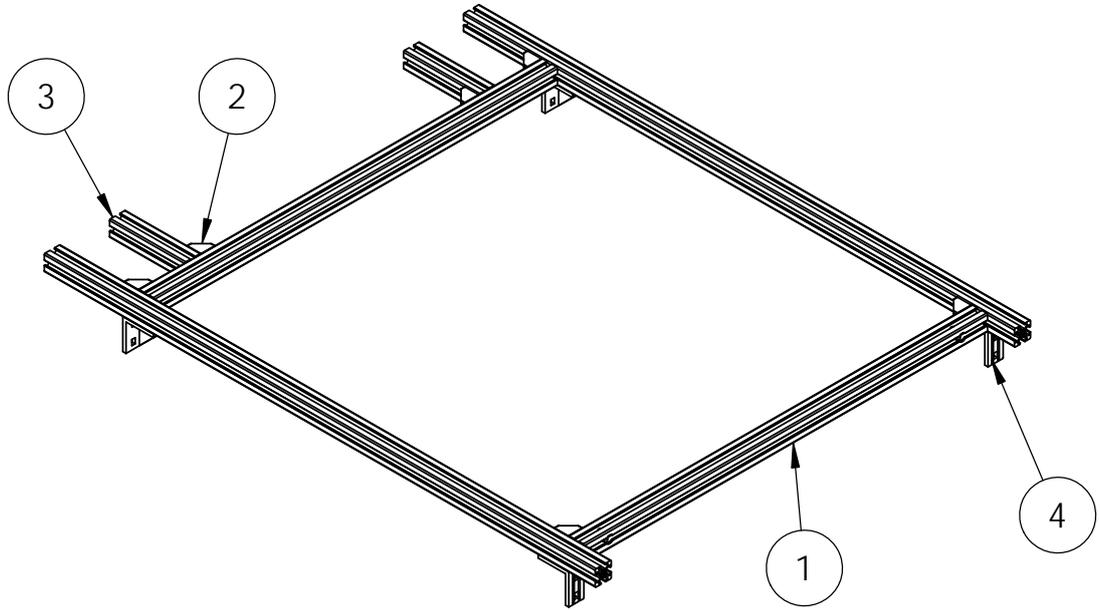
Anexo 6. Planos

Nº	ELEMENTO
1	ENSAMBLAJE ESTRUCTURA
2	ENSAMBLAJE SUJECIÓN FIJA
3	ENSAMBLAJE SUJECIÓN MÓVIL
4	ENSAMBLAJE HUSILLO
5	ENSAMBLAJE ACTUADOR
6	ENSAMBLAJE INTERRUPTOR ÓPTICO
7	ENSAMBLAJE DISPARADOR INTERRUPTOR ÓPTICO
8	ENSAMBLAJE TABLERO
9	ENSAMBLAJE ELECTRÓNICA



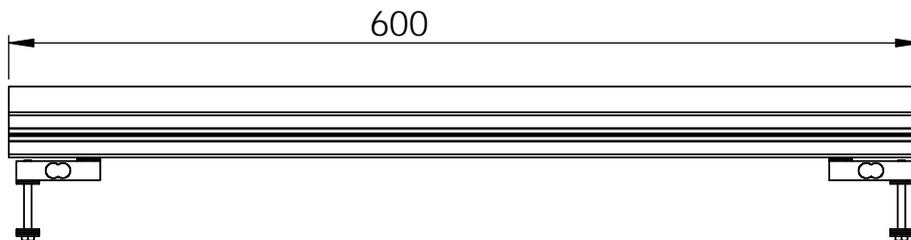
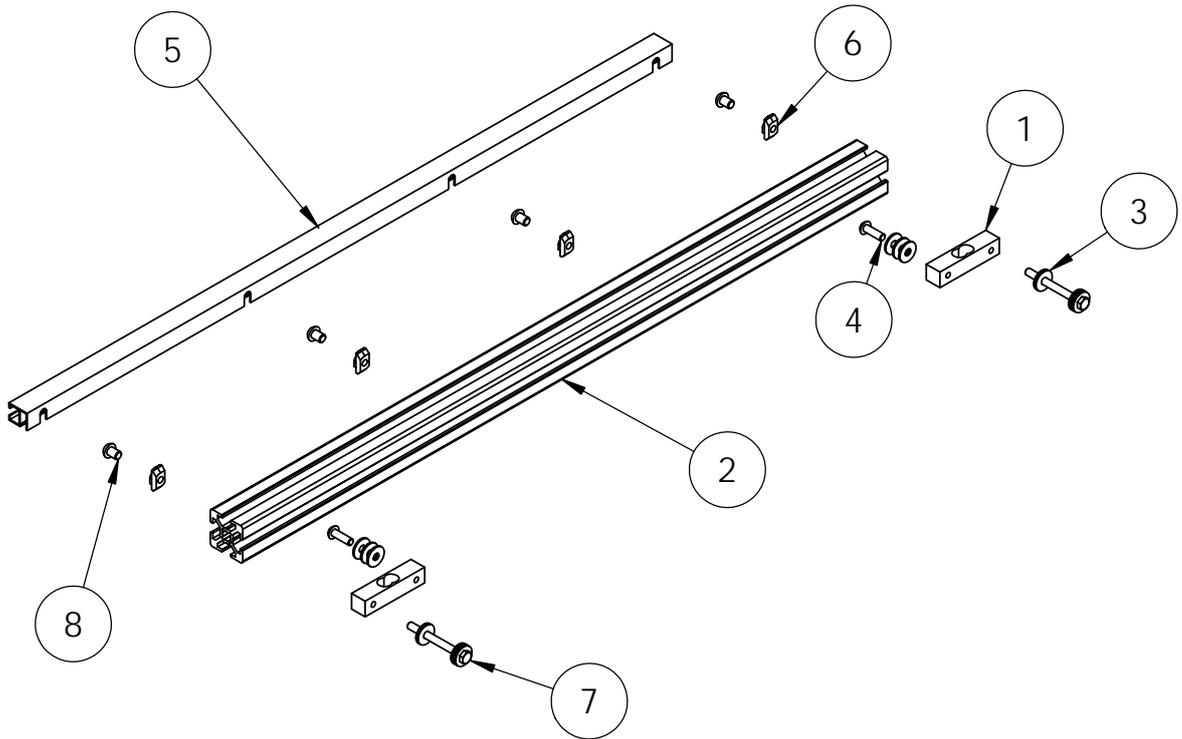
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	REVISIÓN	TÍTULO:	ENSAMBLAJE MÁQUINA 2D	
DIBUJ.	ADRIÁN ACCIÓN		17/06/2016	1.0	PROYECTO:	MÁQUINA 2D CÁLCULO RESISTENCIA DE REDES	
VERIF.	ADRIÁN ACCIÓN		17/06/2016		ESCALA:1:10	LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM	PLANO 1 DE 10
APROB.	MANUEL GONZÁLEZ		17/06/2016	A4			

Nº	PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Structure	ESTRUCTURA	1
2	Bracket 30x30	ESCUADRA 30x30	6
3	strut_profile_30x30	PERFIL 30x30 RANURA 8 mm	2
4	Bracket 30x60	ESCUADRA 30x60	4



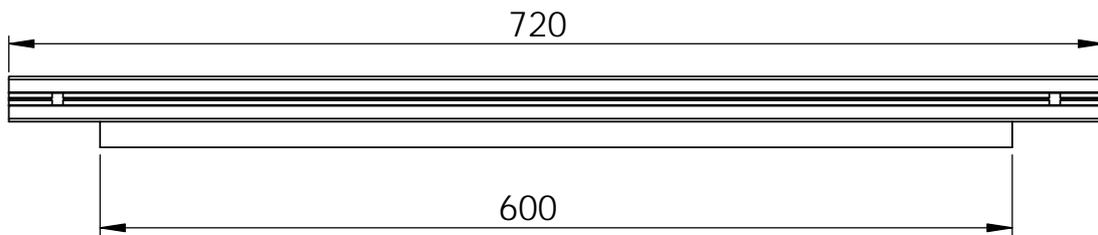
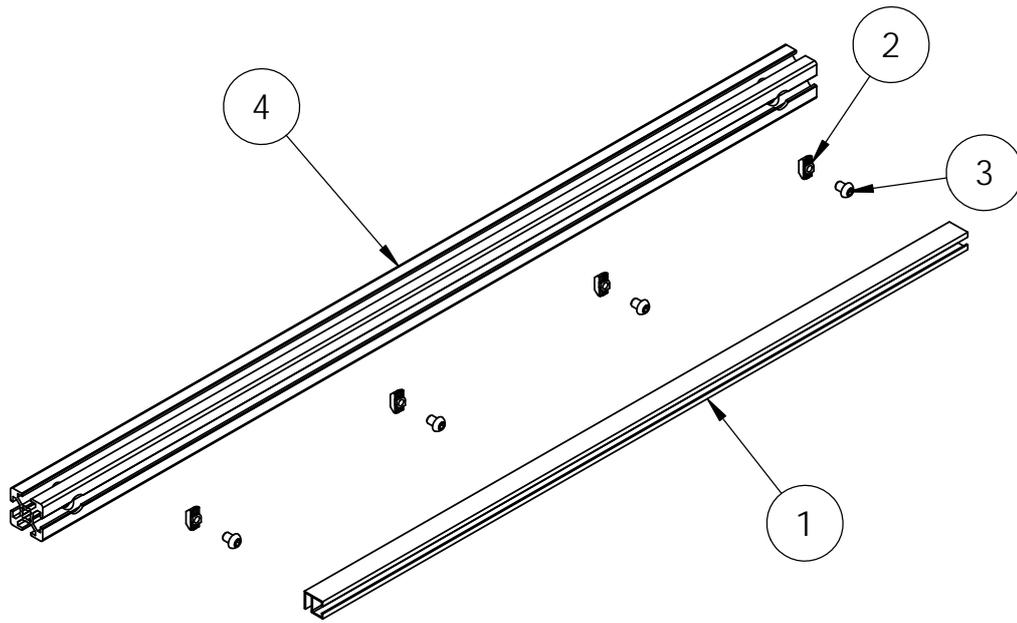
NOMBRE		FIRMA	FECHA	REVISIÓN	TÍTULO:
DIBUJ.	ADRIÁN ACCIÓN		17/06/2016	1.0	ENSAMBLAJE ESTRUCTURA
VERIF.	ADRIÁN ACCIÓN		17/06/2016		PROYECTO: MÁQUINA 2D CÁLCULO RESISTENCIA DE REDES
APROB.	MANUEL GONZÁLEZ		17/06/2016	A4	ESCALA:1:10
				LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM	
				PLANO 2 DE 10	

Nº	PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Micro_Load_Cell	CÉLULA DE CARGA (0-20 kg)	2
2	strut_profile_30x30	PERFIL 30x30 RANURA 8 mm	1
3	DIN 9021 M5	ARANDELA PLANA ANCHA M5	18
4	ISO 7380 M5x16	TORNILLO ALLEN CABEZA DE BOTÓN M5x16	2
5	Aluminium_Rail	RIEL DE CORTINA	1
6	T_NUT M6	TUERCA CABEZA DE MARTILLO M6	5
7	DIN 933 M5x50	TORNILLO HEXAGONAL M5x50	2
8	ISO 7380 M6x8	TORNILLO ALLEN CABEZA DE BOTÓN M6x8	5



NOMBRE		FIRMA	FECHA	REVISIÓN	TÍTULO:
DIBUJ.	ADRIÁN ACCIÓN		17/06/2016	1.0	ENSAMBLAJE SUJECIÓN FIJA
VERIF.	ADRIÁN ACCIÓN		17/06/2016		PROYECTO: MÁQUINA 2D CÁLCULO RESISTENCIA DE REDES
APROB.	MANUEL GONZÁLEZ		17/06/2016	A4	ESCALA:1:5
				LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM	
				PLANO 3 DE 10	

Nº	PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Aluminium_Rail	RIEL DE CORTINA	1
2	T_NUT M6	TUERCA CABEZA DE MARTILLO M6	4
3	ISO 7380 M6x8	TORNILLO ALLEN CABEZA DE BOTÓN M6x8	4
4	strut_profile_30x30	PERFIL 30x30 RANURA 8 mm	1



NOMBRE		FIRMA		FECHA		REVISIÓN		TÍTULO:	
DIBUJ.	ADRIÁN ACCIÓN			17/06/2016		1.0		ENSAMBLAJE SUJECIÓN MÓVIL	
VERIF.	ADRIÁN ACCIÓN			17/06/2016				PROYECTO: MÁQUINA 2D CÁLCULO RESISTENCIA DE REDES	
APROB.	MANUEL GONZÁLEZ			17/06/2016		A4		ESCALA:1:5	PLANO 4 DE 10

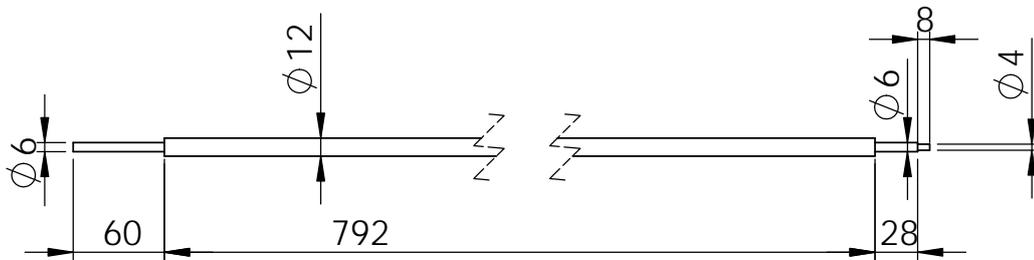
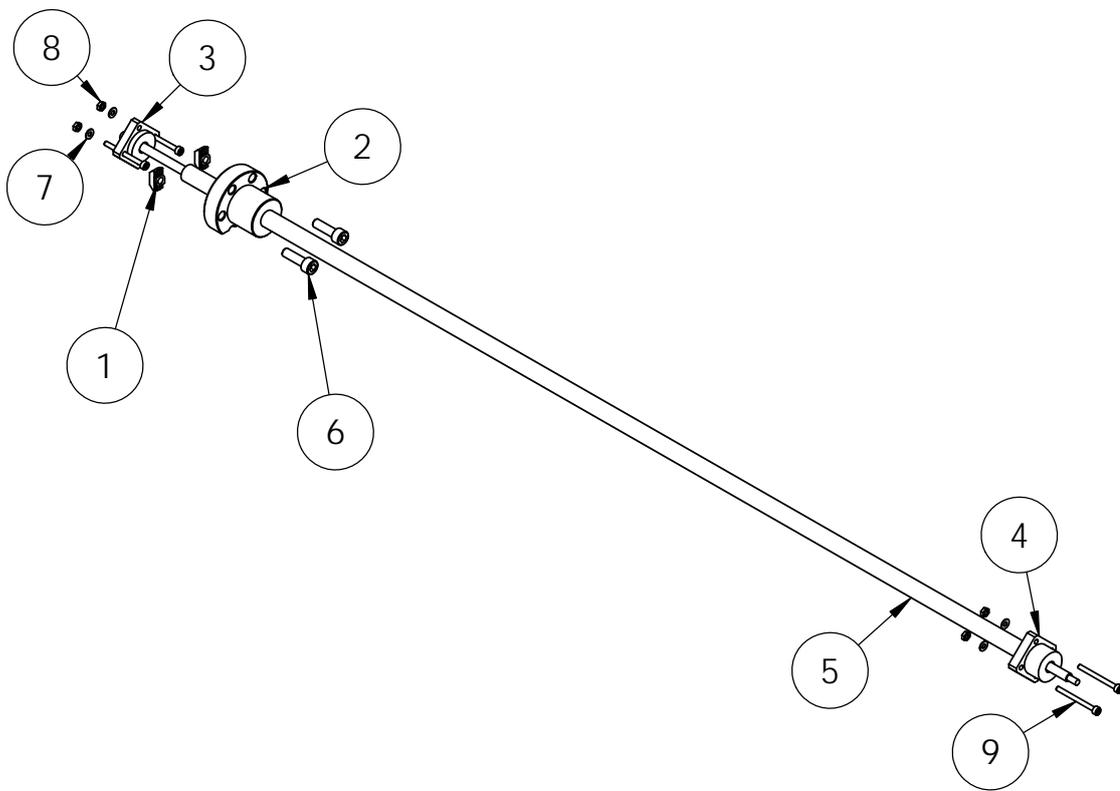
4

3

2

1

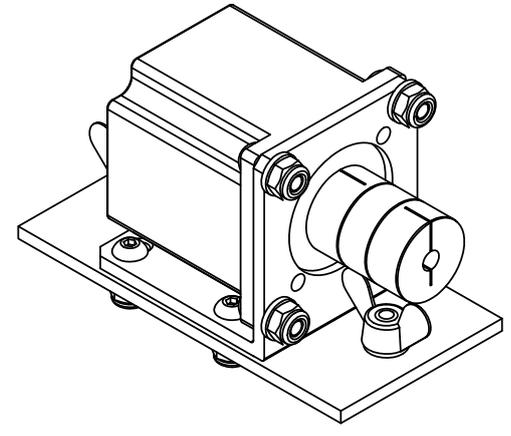
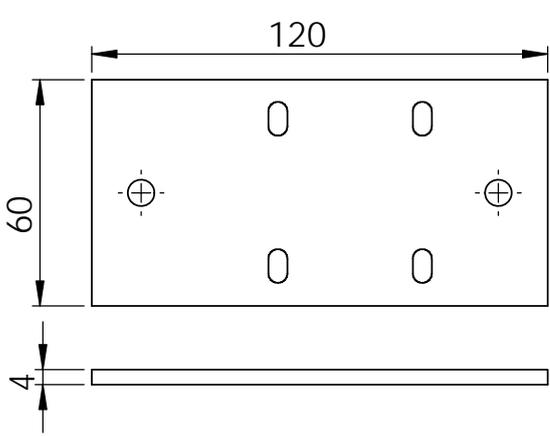
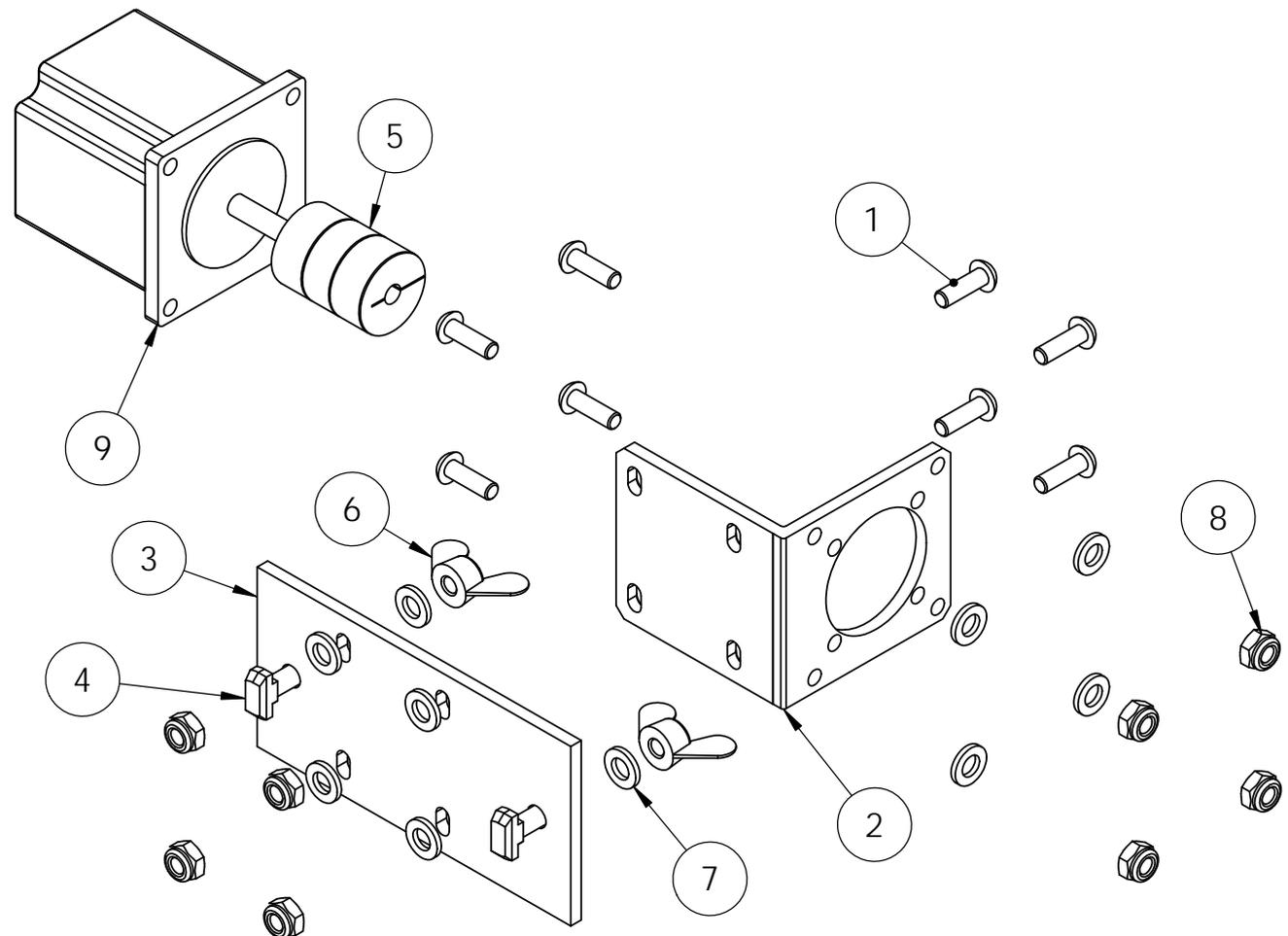
Nº	PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	T_NUT M6	TUERCA CABEZA DE MARTILLO M6	2
2	Bronze_Flanged_Nut_with_Holes 12x3	TUERCA DE BRONCE CON REBORDE Y AGUJEROS Tr 12x3	1
3	Ball_Screw_Support FF06	SOPORTE RADIAL PARA RODAMIENTOS	1
4	Ball_Screw_Support FK06	SOPORTE AXIAL PARA RODAMIENTOS	1
5	Steel_Trapezoidal_Leadscrew Tr12x3	HUSILLO TRAPEZOIDAL Tr 12x3 DE ACERO	1
6	DIN 912 M6x20	TORNILLO ALLEN M6x20	2
7	DIN 125 M3	ARANDELA PLANA M3	4
8	DIN 934 M3	TUERCA HEXAGONAL M3	4
9	DIN 912 M3x35	TORNILLO ALLEN M3x35	4



NOMBRE	FIRMA	FECHA	REVISIÓN	TÍTULO:
ADRIÁN ACCIÓN		17/06/2016	1.0	ENSAMBLAJE HUSILLO
ADRIÁN ACCIÓN		17/06/2016		PROYECTO: MÁQUINA 2D CÁLCULO RESISTENCIA DE REDES
MANUEL GONZÁLEZ		17/06/2016	A4	ESCALA:1:5

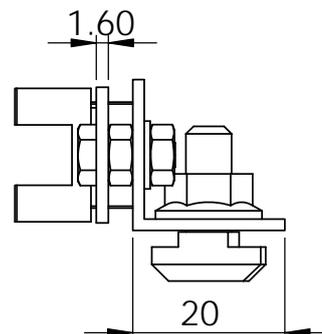
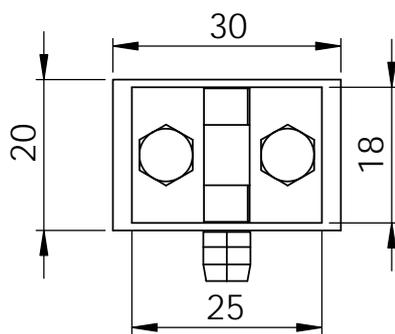
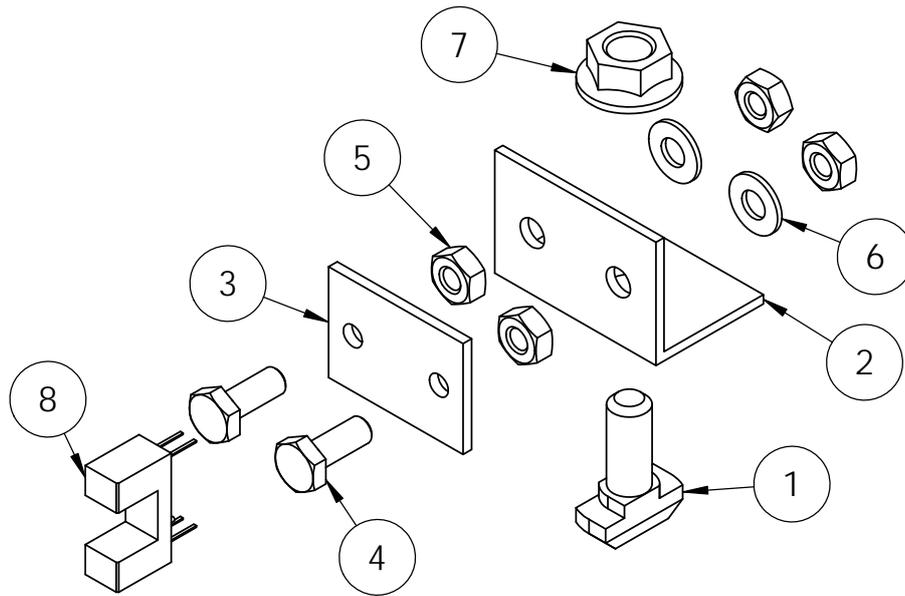
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM PLANO 5 DE 10

4		3		2		1	
Nº	PIEZA	DESCRIPCIÓN				CANTIDAD	
1	ISO 7380 M5x16	TORNILLO ALLEN CABEZA DE BOTÓN M5x16				8	
2	NEMA 23_Stepper_Mounting_Bracket	SOPORTE MOTOR PASO A PASO NEMA 23				1	
3	Motor_Fixing_Platen	PLACA CONEXIÓN MOTOR-ESTRUCTURA				1	
4	T_BOLT M6x16	TORNILLO CABEZA DE MARTILLO M6x16				2	
5	Jaw_Coupling 6-6.35mm	ACOPLADOR MOTOR-HUSILLO				1	
6	DIN 315 M6	TUERCA DE PALOMILLA M6				2	
7	DIN 125 M6	ARANDELA PLANA M6				10	
8	DIN 985 M6	TUERCA HEXAGONAL AUTOBLOCANTE M6				8	
9	NEMA 23 Bipolar_Gearless_Stepper	MOTOR PASO A PASO NEMA 23				1	



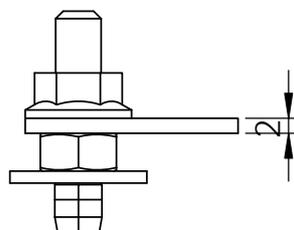
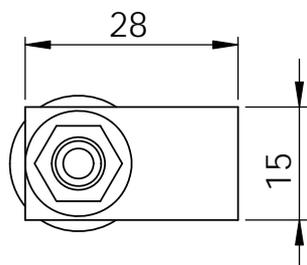
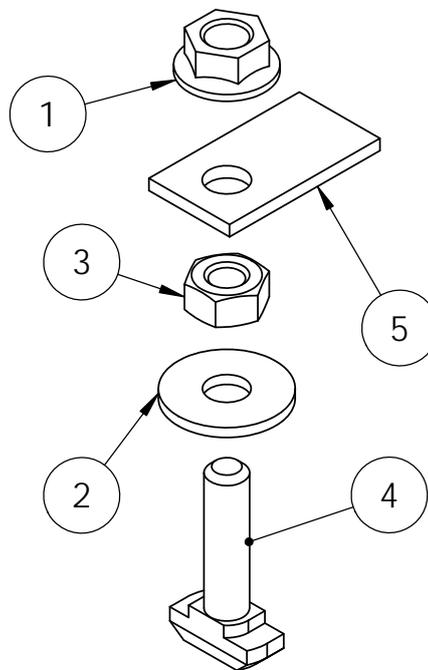
NOMBRE		FIRMA		FECHA		REVISIÓN		TÍTULO: ENSAMBLAJE ACTUADOR	
DIBUJ.	ADRIÁN ACCIÓN			17/06/2016		1.0		PROYECTO: MÁQUINA 2D CÁLCULO RESISTENCIA DE REDES	
VERIF.	ADRIÁN ACCIÓN			17/06/2016					
APROB.	MANUEL GONZÁLEZ			17/06/2016		A4		ESCALA:1:2	
							LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		PLANO 6 DE 10

Nº	PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	T_BOLT M6x16	TORNILLO CABEZA DE MARTILLO M6x16	1
2	Aluminium_L_Profile 20x20x1.5	PERFIL DE ALUMINIO EN L 20x20x1.5	1
3	Prototyping_Board	PLACA DE PROTOTIPADO	1
4	DIN 933 M4x10	TORNILLO HEXAGONAL M4X10	2
5	DIN 934 M4	TUERCA HEXAGONAL M4	4
6	DIN 125 M4	ARANDELA PLANA M4	2
7	DIN 6923 M6	TUERCA HEXAGONAL CON COLLAR BISELADO M6	1
8	Photomicrosensor EE-SX1041	INTERRUPTOR ÓPTICO EE-SX1041	1



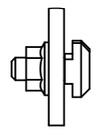
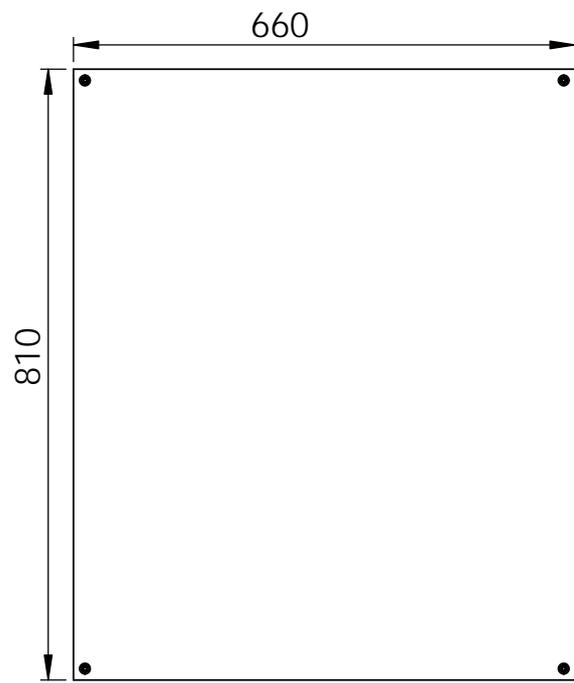
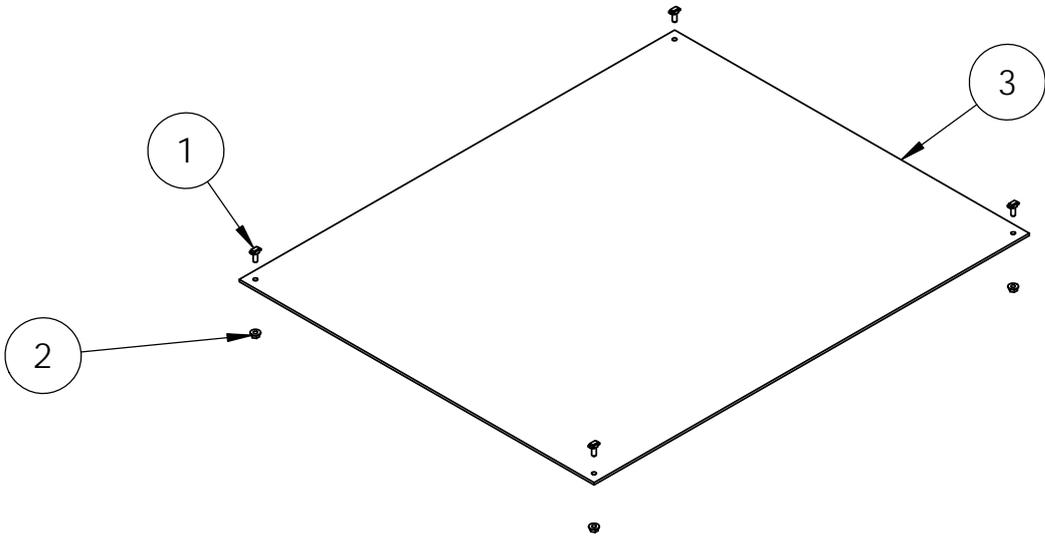
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	REVISIÓN	TÍTULO:	ENSAMBLAJE INTERRUPTOR ÓPTICO
DIBUJ.	ADRIÁN ACCIÓN		17/06/2016	1.0	PROYECTO:	MÁQUINA 2D CÁLCULO RESISTENCIA DE REDES
VERIF.	ADRIÁN ACCIÓN		17/06/2016			
APROB.	MANUEL GONZÁLEZ		17/06/2016	A4	ESCALA:1:1	LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM PLANO 7 DE 10

Nº	PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	DIN 6923 M6	TUERCA HEXAGONAL CON COLLAR BISELADO M6	1
2	DIN 9021 M6	ARANDELA PLANA ANCHA M6	1
3	DIN 934 M6	TUERCA HEXAGONAL M6	1
4	T_BOLT M6X25	TORNILLO CABEZA DE MARTILLO M6x25	1
5	Photo_Senor_Trigger_Plate	PLACA DISPARADORA INTERRUPTOR ÓPTICO	1



	NOMBRE	FIRMA	FECHA	REVISIÓN	TÍTULO:	ENSAMBLAJE DISPARADOR INTERRUPTOR ÓPTICO	
DIBUJ.	ADRIÁN ACCIÓN		17/06/2016	1.0	PROYECTO:	MÁQUINA 2D CÁLCULO RESISTENCIA DE REDES	
VERIF.	ADRIÁN ACCIÓN		17/06/2016		ESCALA:1:1	LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM	PLANO 8 DE 10
APROB.	MANUEL GONZÁLEZ		17/06/2016	A4			

Nº	PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	T_BOLT M6x16	TORNILLO CABEZA DE MARTILLO M6x16	4
2	DIN 6923 M6	TUERCA HEXAGONAL CON COLLAR BISELADO M6	4
3	Wood_Board_Thin	TABLERO MDF DELGADO	1



DETALLE A
ESCALA 1 : 2

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	REVISIÓN	TÍTULO:	ENSAMBLAJE TABLERO	
DIBUJ.	ADRIÁN ACCIÓN		17/06/2016	1.0	PROYECTO:	MÁQUINA 2D CÁLCULO RESISTENCIA DE REDES	
VERIF.	ADRIÁN ACCIÓN		17/06/2016	A4	ESCALA:1:10	LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM	PLANO 9 DE 10
APROB.	MANUEL GONZÁLEZ		17/06/2016				

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

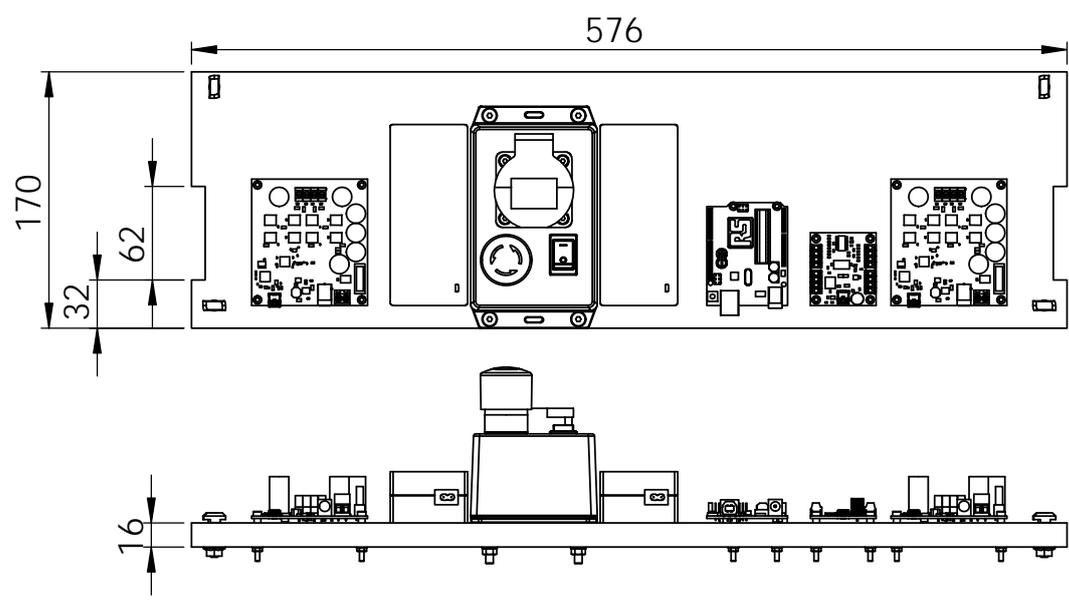
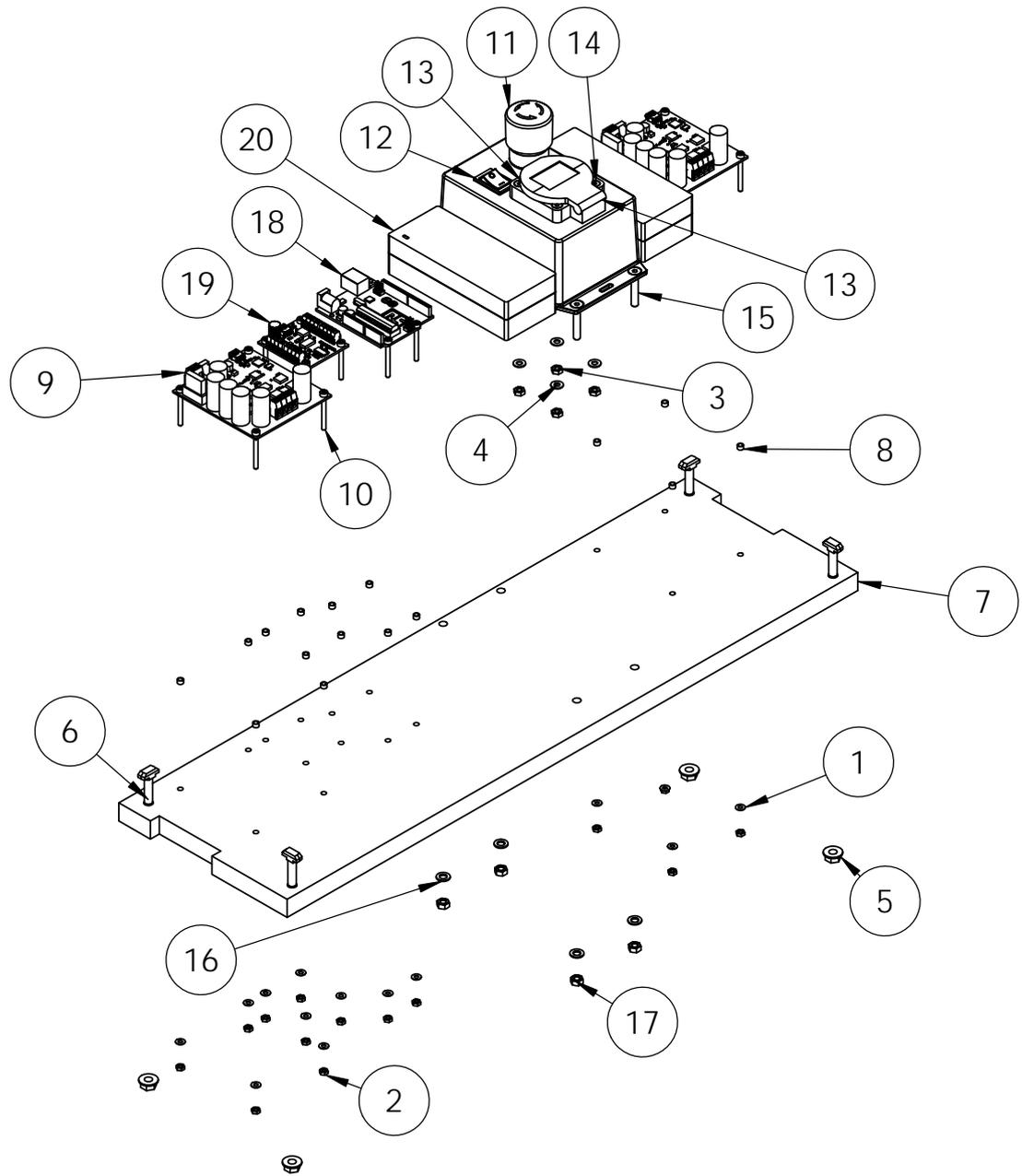
C

B

B

A

A



	NOMBRE	FIRMA	FECHA	REVISIÓN	TÍTULO:	ENSAMBLAJE ELECTRÓNICA		
DIBUJ.	ADRIÁN ACCIÓN		17/06/2016	1.0	PROYECTO:	MÁQUINA 2D CÁLCULO RESISTENCIA DE REDES		
VERIF.	ADRIÁN ACCIÓN		17/06/2016		ESCALA:1:5	LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM	PLANO 10 DE 10	
APROB.	MANUEL GONZÁLEZ		17/06/2016	A4				

4

3

2

1

4

3

2

1

Nº	PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	DIN 125 M3	ARANDELA PLANA M3	14
2	DIN 934 M3	TUERCA HEXAGONAL M3	14
3	DIN 934 M4	TUERCA HEXAGONAL M4	4
4	DIN 125 M4	ARANDELA PLANA M4	4
5	DIN 6923 M6	TUERCA HEXAGONAL CON COLLAR BISELADO M6	4
6	T_BOLT M6X25	TORNILLO CABEZA DE MARTILLO M6x25	4
7	Wood_Board_Thick	TABLERO MDF	1
8	Spacer	ESPACIADOR	16
9	Stepper_Microcontroller	MICROCONTROLADOR MOTOR PASO A PASO	2
10	DIN 912 M3x30	TORNILLO ALLEN M3x30	14
11	Emergency_Switch	SETA DE EMERGENCIA	1
12	Switch	INTERRUPTOR DPST	1
13	Socket	CONECTOR HEMBRA MONTAJE EN PANEL	1
14	DIN 7991 M4x20	TORNILLO AVELLANADO HEXÁGONO INTERIOR M4x20	4
15	DIN 7991 M5x30	TORNILLO AVELLANADO HEXÁGONO INTERIOR M5x30	4
16	DIN 125 M5	ARANDELA PLANA M5	4
17	DIN 934 M5	TUERCA HEXAGONAL M5	4
18	Arduino	MICROCONTROLADOR ARDUINO LEONARDO	1
19	Bridge_Controller	CONTROLADOR CÉLULA DE CARGA	1
20	Stepper_Power_Supply	FUENTE DE ALIMENTACIÓN MOTOR PASO A PASO	2
21	Electrical_Box	CAJA ABS	1

4

3

2

1

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	REVISIÓN	TÍTULO: ENSAMBLAJE ELECTRÓNICA
DIBUJ.	ADRIÁN ACCIÓN		17/06/2016	1.0	PROYECTO: MÁQUINA 2D CÁLCULO RESISTENCIA DE REDES
VERIF.	ADRIÁN ACCIÓN		17/06/2016		
APROB.	MANUEL GONZÁLEZ		17/06/2016	A4	ESCALA:1:5 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM PLANO 1 DE 1

Anexo 7. Hojas de características

6050 DP Splashproof Switches - & Twins # 16A 250Vac



- ▶ Water thru design
- ▶ Ratings up to 20A, 277V ac
- ▶ High in-rush (ON-OFF types)
- ▶ Positive switch action
- ▶ Distinctive styling
- ▶ Illuminated & non-illuminated
- ▶ Double pole
- ▶ Bezel size: 31.5 x 25mm



European 16(4)A 250Vac T125, 10A 400Vac T125



UL CSA 20A 277Vac, 250Vac 1'/.hp, 125Vac 1hp
UL 100°C, file E45221, CSA file LR10990

In house test

Inrush 150A* to EN61058-1
8(8)A 250Vac T125 5E4 on 6050 only
20A 28Vdc

* applies to non-momentary types



RoHS compliant

3mm contact gap with Positive Break switching.
Call factory for IP details on Twin units.
Technical data on pages 4 & 5 (switches), 66 (indicators).
Patent app.

C 6053 A L ---

TERMINAL FUNCTION ROCKER BODY PRINT, COLOUR, VOLTAGE ETC

TERMINAL	FUNCTION	ROCKER
<p>C</p> <p>6.3 x 0.8</p>	<p>Approvals & ratings vary with function ON OFF Switches - ON when pressed over terminals 3 & 6</p>	<p>A Softline Matt</p>
	<p>6050 ON - OFF </p> <p>6060 ON - ON </p>	
	<p>6051 ON - OFF (momentary ON) </p> <p>6061 ON - ON (momentary 1 side) </p>	
	<p>6052 ON - OFF (momentary OFF) </p> <p>6062 2 Circuit ON - ON <small>In house tests only</small> </p>	<p>A Softline Matt</p> <p>Lit</p>
<p>H</p> <p>4.8 x 0.8</p>	<p>6053 ON - OFF Lit </p> <p>6066 ON - ON (Single pole) (isolated light) </p> <p>6054 ON - OFF (momentary ON) Lit </p> <p>6067 ON - ON Lit </p> <p>6055 ON - OFF (Single pole) (momentary ON) Lit </p> <p>6068 ON - ON 1pole ON - OFF Lit 1pole </p> <p>6056 ON - OFF (Single pole) Isolated light </p> <p>6090 ON - OFF 1pole ON - OFF Lit 1pole </p> <p>6057 ON - OFF Isolated light </p> <p>6091 ON - OFF (momentary ON) Lit </p> <p>6058 ON - OFF (Single pole) Lit </p> <p>6092 ON - OFF 1 pole ON - ON 1 pole Lit </p> <p>6059 ON - OFF (Single pole) (momentary ON) Isolated light </p> <p>Circuits are Double Pole unless described otherwise</p>	<p>P Lit Window Matt</p> <p>Lit Window</p>
<p>S</p> <p>Screw & Clamp N/A for assemblies with 3 terminals in either pole</p>		



Splashproof to IP44

Current carrying parts are protected from moisture. Droplets which may enter the switch are channelled out through ports in the switch body

For IP65 see options below



C6050AL ---



C6053AL ---



C6053PL ---



C6000A/C6000AL



C6003P/C6003PL

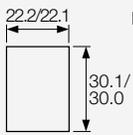


C6003P/C6030AL

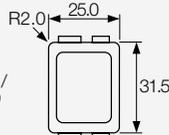
BODY

L Double pole

Panel cut-out *



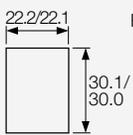
Bezel



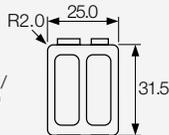
L Twin units

Contact factory for information on splashproofing and IP ratings

Panel cut-out *



Bezel



OPTIONS

Finish Matt is standard.

Colour Call factory for custom colours. A full range is available for large orders.

Legend printing Select from the examples or call factory for custom legends.

Lamp voltage Call factory for details.

Protective cover (designed to IP65 #)
The 6050 series is a water thru design. For a higher level of sealing, a snap on cover is available (add G after body code). This reduces maximum acceptable panel thickness to 2mm.



Panel sealing washer W42 is available, this reduces maximum acceptable panel thickness to 1.2mm. Covers are not suitable for momentary types.

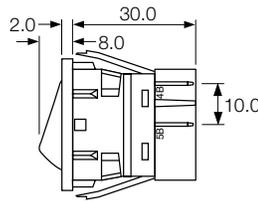
IP Ratings Call the factory for details.

Terminal Link P1067 connects the poles of a double pole switch or twin unit.

Mounting orientation may affect IP rating.

For all options call the factory.

DIMENSIONS (mm)



Terminal spacing - Poles 10.5 between centres

Panel thickness

L 0.75 to 3.0mm

* For cut-out details on momentary switches call the factory

Examples of printing



EN1196



EN1197

Cut-outs must be punched in the direction of insertion

Emergency Stop Switch

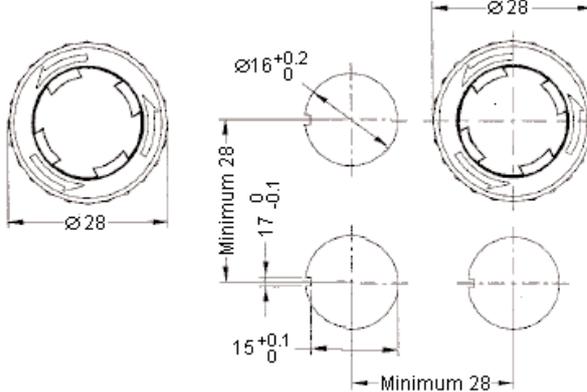
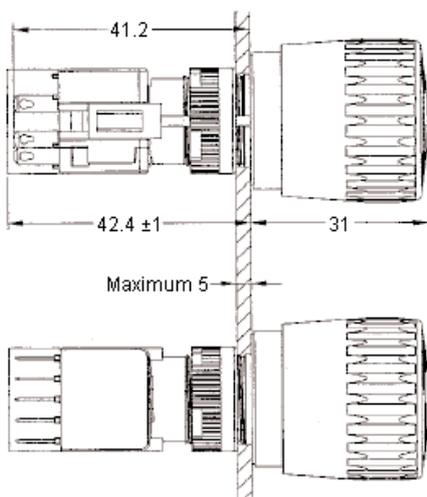


Specifications:

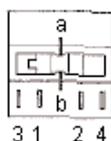
Mechanical lifetime	: >0.1 million operations
Electric rating	: 250V AC, 5A : 125V AC, 8A
Maximum insulation voltage	: 2,000V, 60HZ, 1 minute between all terminals and ground
Minimum motion tolerance	: <10 operation
Panel thickness	: 0.5mm to 5mm
Degree of protection	: IP 65
Operating temperature	: -25°C to +55°C
Storage temperature	: -40°C to +70°C

Soldering/Plug-in Type Emergency Stop Switch

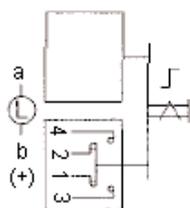
Hole Diameter



Bottom View



Electrical Diagram



Part Number Table

Description	Part Number
Switch, Emergency Stop, Blade Terminals	MCADA16E6-R11-B10R
Switch, Emergency Stop, 12V, LED Illum	MCADA16E6-R11-B1JR
Switch, Emergency Stop, 24V, LED Illum	MCADA16E6-R11-B1KR
Switch, Emergency Stop, 110V, Neon Illum	MCADA16E6-R11-B1FR
Switch, Emergency Stop, 240V, Neon Illum	MCADA16E6-R11-B1GR

Important Notice : This data sheet and its contents (the "Information") belong to the members of the Premier Farnell group of companies (the "Group") or are licensed to it. No licence is granted for the use of it other than for information purposes in connection with the products to which it relates. No licence of any intellectual property rights is granted. The Information is subject to change without notice and replaces all data sheets previously supplied. The Information supplied is believed to be accurate but the Group assumes no responsibility for its accuracy or completeness, any error in or omission from it or for any use made of it. Users of this data sheet should check for themselves the Information and the suitability of the products for their purpose and not make any assumptions based on information included or omitted. Liability for loss or damage resulting from any reliance on the Information or use of it (including liability resulting from negligence or where the Group was aware of the possibility of such loss or damage arising) is excluded. This will not operate to limit or restrict the Group's liability for death or personal injury resulting from its negligence. Multicomp is the registered trademark of the Group. © Premier Farnell plc 2012.

Arduino Leonardo



Overview

The Arduino Leonardo is a microcontroller board based on the ATmega32u4. It has 20 digital input/output pins (of which 7 can be used as PWM outputs and 12 as analog inputs), a 16 MHz crystal oscillator, a micro USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Leonardo differs from all preceding boards in that the ATmega32u4 has built-in USB communication, eliminating the need for a secondary processor. This allows the Leonardo to appear to a connected computer as a mouse and keyboard, in addition to a virtual (CDC) serial/COM port. It also has other implications for the behavior of the board.

Summary

Microcontroller	ATmega32u4
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	20
PWM Channels	7
Analog Input Channels	12
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega32u4) of which 4 KB used by bootloader
SRAM	2.5 KB (ATmega32u4)
EEPROM	1 KB (ATmega32u4)
Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.3 mm
Weight	20g

Power

The Arduino Leonardo can be powered via the micro USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the G_{nd} and V_{in} pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

VIN. The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.

5V. The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.

3V3. A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
GND. Ground pins.

I/OREF. The voltage at which the I/O pins of the board are operating (i.e. VCC for the board). This is 5V on the Leonardo.

Memory

The ATmega32u4 has 32 KB (with 4 KB used for the bootloader). It also has 2.5 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the EEPROM library).

Input and Output

Each of the 20 digital I/O pins on the Leonardo can be used as an input or output. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial:** 0 (RX) and 1 (TX). Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data using the ATmega32u4 hardware serial capability. Note that on the Leonardo, the Serial class refers to USB (CDC) communication; for TTL serial on pins 0 and 1, use the Serial1 class.
- **TWI:** 2 (SDA) and 3 (SCL). Support TWI communication.
- **External Interrupts:** 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 4 (interrupt 2), 5 (interrupt 3) and 6 (interrupt 4). These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or

falling edge, or a change in value.

- **PWM:** 3, 5, 6, 9, 10, 11, and 13. Provide 8-bit PWM output.
- **SPI:** on the ICSP header. These pins support SPI communication. Note that the SPI pins are not connected to any of the digital I/O pins as they are on the Uno, They are only available on the ICSP connector. This means that if you have a shield that uses SPI, but does NOT have a 6-pin ICSP connector that connects to the Leonardo's 6-pin ICSP header, the shield will not work.
- **LED:** 13. There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.
- **Analog Inputs:** AO-AS, A6 - All (on digital pins 4, 6, 8, 9, 10, and 12). The Leonardo has 12 analog inputs, labeled AO through All, all of which can also be used as digital I/O. Pins AO-AS appear in the same locations as on the Uno; inputs A6-All are on digital I/O pins 4, 6, 8, 9, 10, and 12 respectively. Each analog input provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default the analog inputs measure from ground to 5 volts, though is it possible to change the upper end of their range using the AREF pin.

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs.
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

3134_0 - Micro Load Cell (0-20kg) - CZL635

Product Description

A load cell is a force sensing module - a carefully designed metal structure, with small elements called strain gauges mounted in precise locations on the structure. Load cells are designed to measure a specific force, and ignore other forces being applied. The electrical signal output by the load cell is very small and requires specialized amplification. Fortunately, the 1046 PhidgetBridge will perform all the amplification and measurement of the electrical output.

Load cells are designed to measure force in one direction. They will often measure force in other directions, but the sensor sensitivity will be different, since parts of the load cell operating under compression are now in tension, and vice versa.

This Single Point Load Cell is used in small jewelry scales and kitchen scales. It's mounted by bolting down the end of the load cell where the wires are attached, and applying force on the other end in the direction of the arrow. Where the force is applied is not critical, as this load cell measures a shearing effect on the beam, not the bending of the beam. If you mount a small platform on the load cell, as would be done in a small scale, this load cell provides accurate readings regardless of the position of the load on the platform.

Product Specifications
Sensor Properties

Sensor Type	Shear Load Cell
Weight Capacity Max	20 kg
Maximum Overload	24 kg
Creep	20 g/hr
Zero Balance	± 300 g
Cell Repeatability Error Max	± 10 g
Cell Non-Linearity Max	10 g
Cell Hysteresis Max	10 g
Temperature Effect on Span	1 g/°C
Temperature Effect on Zero	2 g/°C

Electrical Properties

Rated Output	1 mV/V
Rated Output Error Max	± 150 µV/V
Output Impedance	1 kΩ
Supply Voltage Max	5 V DC

Physical Properties

Compensated Temperature Min	-10 °C
Compensated Temperature Max	40 °C
Operating Temperature Min	-20 °C
Operating Temperature Max	55 °C
Cable Length	550 mm
Cable Gauge	30 AWG
Material	Aluminium Alloy (LY12CZ)
Screw Thread Size	M5x0.8

Resources

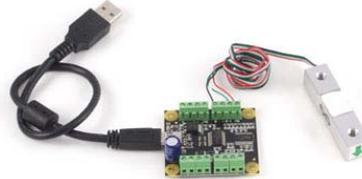
The Data Sheet below has a comprehensive glossary that describes in practical terms the meaning and usefulness of the specifications.

Warning


Make sure to calibrate your load cell before using it. You can find information on how to calibrate the cell in the [Load Cell Primer](#). You should also look at the [1046 - PhidgetBridge User Guide](#).

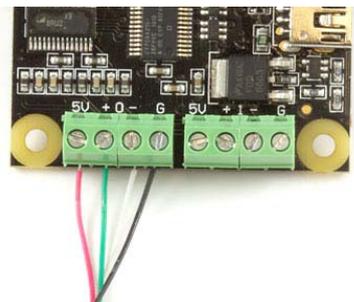
Connection

The 3134 connects to a bridge on the [1046 - PhidgetBridge 4-Input](#)



The following table shows how to connect the Load Cell Wires to the bridge connectors.

Wire Color	Red	Green	White	Black
Bridge Connector	5V	+	-	GND



1046_0 - PhidgetBridge 4-Input

Product Description

The PhidgetBridge lets you connect up to 4 un-amplified Wheatstone bridges, such as:

- strain gauges
- compression load cells
- pressure sensors/Barometers
- piezoresistive accelerometers
- Magnetoresistive sensors (Compasses)

The data rate and gain values can be configured in software.

Product Specifications
Board

API Object Name	Bridge
Number of Bridge Inputs	4
Bridge Data Rate Min	8 ms
Bridge Data Rate Max	1000 ms
Bridge Input Current Max	± 3 nA
Differential Voltage Resolution	24 bit

Electrical Properties

USB Voltage Min	4.5 V DC
USB Voltage Max	5.3 V DC
USB Speed	Full Speed
Current Consumption Min	35 mA
Current Consumption Max	500 mA
Available External Current	465 mA
Input Voltage Limit Min	Ground + 0.25V DC
Input Voltage Limit Max	5V Supply - 0.25V DC

Physical Properties

Recommended Wire Size	16 - 26 AWG
Operating Temperature Min	0 °C
Operating Temperature Max	70 °C

Comes Packaged with

- A [3018 - Mini-USB Cable 180cm](#)
- A Hardware mounting kit (4 nuts and bolts (M3), 4 plastic spacers)

Product Features

The PhidgetBridge is the interface board needed to measure the output from a load cell. You can connect up to four load cells, strain gauges, or wheatstone bridge sensors.

Enclosure

You can protect your board by purchasing the [3808 - Acrylic Enclosure for the 1046](#).



3331_0 - 57STH56 NEMA-23 Bipolar Gearless Stepper

Product Description

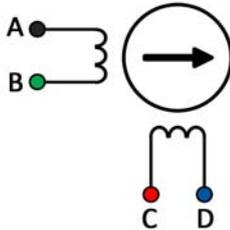
This NEMA-23 motor generates 12.6 kg-cm of holding torque at 2.8 Amps. It comes with the rear shaft exposed, so you can mount an [encoder](#) or [shaft coupler](#).

When connected to a [1067 - PhidgetStepper Bipolar HC](#), the 3331 has a maximum speed of 3000 RPM.

Motor Controller and Connection

The 3331 stepper motor connects to a bipolar motor controller such as the [1067 - PhidgetStepper Bipolar HC](#).

The following diagram shows how to connect the motor wires to the board connectors to produce a clockwise rotation in the stepper motor when increasing position. To wire for counter-clockwise rotation when increasing position, reverse the red and blue wires.



Note: Make sure to unplug the power cord from the motor controller before switching wires around.

The rear shaft of this motor can be equipped with the [HKT22 Optical Encoder](#) for applications where you need to keep track of the exact position, velocity, or acceleration of the motor.


Mounting Bracket

The mounting holes on this motor are compatible with the [3339 - Mounting Bracket \(NEMA23\)](#).


Product Features

This high-speed bipolar stepper with a rear shaft has a 1.8° step angle and 11 kg-cm of torque at low speeds.

Product Specifications
Motor Properties

Motor Type	Bipolar Stepper
Manufacturer Part Number	57STH56-2804B
Step Angle	1.8°
Step Accuracy	± 5 %
Holding Torque	12.6 kg-cm
Rated Torque	11 kg-cm
Maximum Speed (w/1067 Motor Controller)	3000 RPM
Acceleration at Max Speed (w/1067 Motor Controller)	300000 1/16 steps/sec ²

Electrical Properties

Recommended Voltage	12 V DC
Rated Current	2.8 A
Coil Resistance	900 mΩ
Phase Inductance	2.5 mH

Physical Properties

Shaft Diameter	6.4 mm
Rear Shaft Diameter	3.9 mm
Mounting Plate Size	NEMA - 23
Weight	686 g
Number of Leads	4
Wire Length	300 mm

Warning


Connecting the motor directly to a power supply will destroy the motor and void the warranty. If you want to check your motor make sure it is connected to a constant current / chopper drive controller.



Products for USB Sensing and Control

3081_0 - Power Supply 12VDC 5.0A - EU



Product Description

Removable European style wall plug.

The 3081 provides efficient power at 12DC, 5.0 Amps, 60 Watts. It is protected against over-current, over-voltage, short-circuits and over-temperature.

This power supply can be used with Phidgets that accept an external power supply, or for projects that need a power source.

This is the largest power supply we offer and should be used, for example, with the stepper and dc motor controllers that require a larger amount of current and power to meet your project's motor speed and torque requirements.

If you are unsure about how much power your project demands, call us.

Standards

- CE - EN60950/EN55022
- FCC - FCC part 15

Product Specifications

Electrical Properties

Power Supply Voltage Min	11.4 V DC
Power Supply Voltage Max	12.6 V DC
Power Supply Current	5 A
Output Power	60 W
AC Input Voltage Min	100 V AC
AC Input Voltage Max	240 V AC
AC Input Frequency Min	50 Hz
AC Input Frequency Max	60 Hz
Protection Circuitry	Over-Current, Over-Voltage, Over-Temperature, Short Circuit

Physical Properties

Wall Plug Style	European
Power Jack Hole Diameter	5.5 mm
Power Jack Pin Diameter	2.1 mm
Power Jack Polarity	Center Positive
Operating Temperature Min	-20 °C
Operating Temperature Max	40 °C

1067_0 - PhidgetStepper Bipolar HC

Product Description

The 1067 – PhidgetStepper Bipolar HC allows you to control the position, velocity, and acceleration of one bipolar stepper motor. This is the product you want to use to control larger industrial steppers or for applications that need a lot of torque.

The 1067 can also be used in applications that require very precise positioning. It uses micro-stepping at all times to ensure smooth acceleration.

This board is USB isolated, protecting your system from [ground loops](#), and comes with a built-in replaceable ATP Blade Terminal fuse to protect against an over-current scenario.

Recommended Accessories
Power Supplies:

- [3082](#) – [Power Supply 12VDC 5.0A](#) (North American style plug)
- [3081](#) – [Power Supply 12VDC 5.0A](#) (European style plug)
- [3083](#) – [Power Supply 12VDC 5.0A](#) (UK style plug)
- [3080](#) – [Power Supply 12VDC 5.0A](#) (Australian style plug)
- [3086](#) – [Power Supply 24VDC 1.0A](#) (North American style plug)

Fuses:

- [3700](#) – [Fuses - 5/10/20/30A 32V](#)

Comes Packaged with

- [A 3018](#) - [Mini-USB Cable 180cm](#)
- [A](#) Hardware mounting kit (4 nuts and bolts (M3), 4 plastic spacers)
- [A](#) 5 Amp ATP Blade Terminal fuse

Product Features

Accurately control one bipolar stepper motor with this controller. This board comes with a number of safety features.

Product Specifications
Controller Properties

API Object Name	Stepper
Motor Type	Bipolar Stepper
Number of Motor Ports	1
Motor Position Resolution	1/16 Step (40-Bit Signed)
Position Max	± 1E+15 1/16 steps
Stepper Velocity Resolution	1 1/16 steps/sec
Stepper Velocity Max	250000 1/16 steps/sec
Stepper Acceleration Resolution	1 1/16 steps/sec ²
Stepper Acceleration Min	2 1/16 steps/sec ²
Stepper Acceleration Max	1E+07 1/16 steps/sec ²

Electrical Properties

Available Current per Coil Max	4 A
Supply Voltage Min	10 V DC
Supply Voltage Max	30 V DC
Current Consumption Min	25 mA
USB Speed	Full Speed

Physical Properties

Power Jack	5.5 x 2.1mm Center Positive
Recommended Wire Size (Motor Terminal)	12 to 26 AWG
Recommended Wire Size (Power Terminal)	12 to 26 AWG
Operating Temperature Min	-20 °C
Operating Temperature Max	85 °C

Enclosure

We do not carry enclosures for the 1067_0, because motor controllers are prone to overheating when kept in enclosed spaces for extended periods of time with no airflow.

Warning


Make sure the power supply is unplugged before attaching or removing wires from the terminal blocks. Failure to do so could cause permanent damage to the PhidgetStepper board.

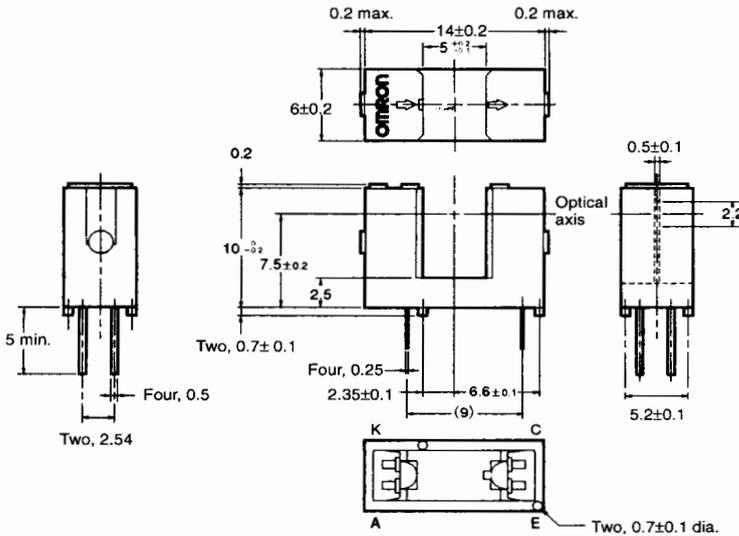
When using larger motors with heavy loads or high speeds, you should take caution because the back EMF generated when stalling or changing directions could damage the motor controller. As a rule of thumb, if the kinetic energy of your application exceeds 10 joules, you are at risk of damaging the controller. Feel free to contact us for advice for such applications.

EE-SX1041

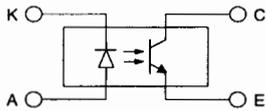
Photomicrosensor (Through-beam)

■ Dimensions

Note: All units are in millimeters unless otherwise indicated.



Internal Circuit



Unless otherwise specified, the tolerances are as shown below.

Dimensions	Tolerance
3 mm max.	±0.3
3 < mm ≤ 6	±0.375
6 < mm ≤ 10	±0.45
10 < mm ≤ 18	±0.55
18 < mm ≤ 30	±0.65

Terminal No.	Name
A	Anode
K	Cathode
C	Collector
E	Emitter

■ Features

- General-purpose model with a 5-mm-wide slot.
- PCB mounting type.
- High resolution with a 0.5-mm-wide slit.

■ Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Item	Symbol	Rated value
Emitter	Forward current	I_F 50 mA (see note 1)
	Pulse forward current	I_{FP} 1 A (see note 2)
	Reverse voltage	V_R 4 V
Receiver	Collector-Emitter voltage	V_{CEO} 30 V
	Emitter-Collector voltage	V_{ECO} ---
	Collector current	I_C 20 mA
	Collector dissipation	P_C 100 mW (see note 1)
Ambient temperature	Operating	T_{opr} -25°C to 95°C
	Storage	T_{stg} -30°C to 100°C
Soldering temperature	T_{sol}	260°C (see note 3)

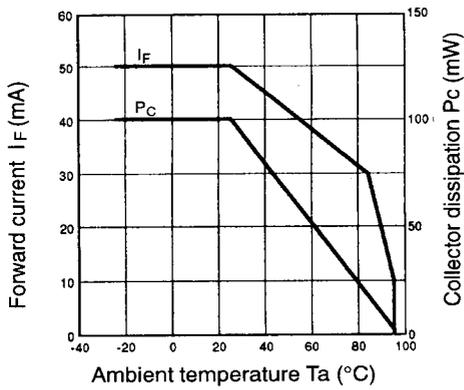
- Note:
1. Refer to the temperature rating chart if the ambient temperature exceeds 25°C.
 2. The pulse width is 10 μs maximum with a frequency of 100 Hz.
 3. Complete soldering within 10 seconds.

■ Electrical and Optical Characteristics (Ta = 25°C)

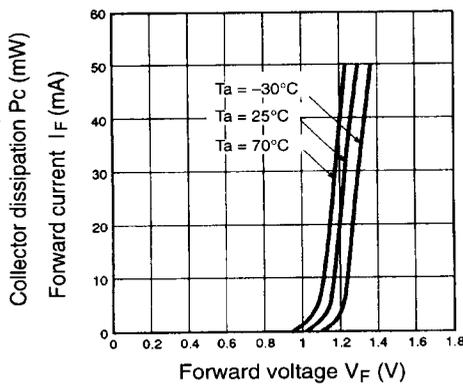
Item	Symbol	Value	Condition
Emitter	Forward voltage	V_F 1.2 V typ., 1.5 V max.	$I_F = 30$ mA
	Reverse current	I_R 0.01 μA typ., 10 μA max.	$V_R = 4$ V
	Peak emission wavelength	λ_P 940 nm typ.	$I_F = 20$ mA
Receiver	Light current	I_L 0.5 mA min., 14 mA max.	$I_F = 20$ mA, $V_{CE} = 10$ V
	Dark current	I_D 2 nA typ., 200 nA max.	$V_{CE} = 10$ V, 0 lx
	Leakage current	I_{LEAK} ---	---
	Collector-Emitter saturated voltage	$V_{CE(sat)}$ 0.1 V typ., 0.4 V max.	$I_F = 20$ mA, $I_L = 0.1$ mA
	Peak spectral sensitivity wavelength	λ_P 850 nm typ.	$V_{CE} = 10$ V
Rising time	t_r	4 μs typ.	$V_{CC} = 5$ V, $R_L = 100$ Ω, $I_L = 5$ mA
Falling time	t_f	4 μs typ.	$V_{CC} = 5$ V, $R_L = 100$ Ω, $I_L = 5$ mA

■ Engineering Data

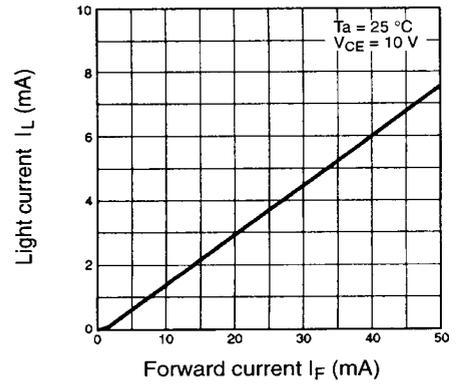
Forward Current vs. Collector Dissipation Temperature Rating



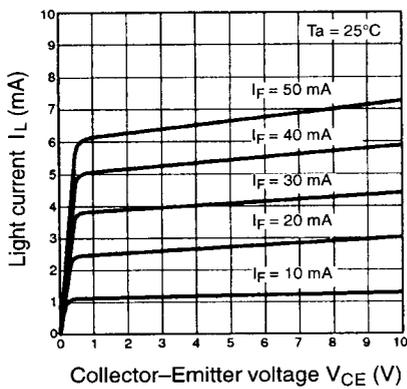
Forward Current vs. Forward Voltage Characteristics (Typical)



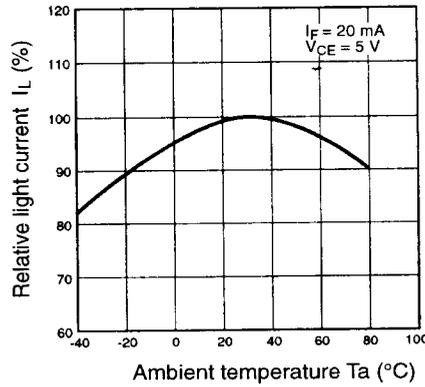
Light Current vs. Forward Current Characteristics (Typical)



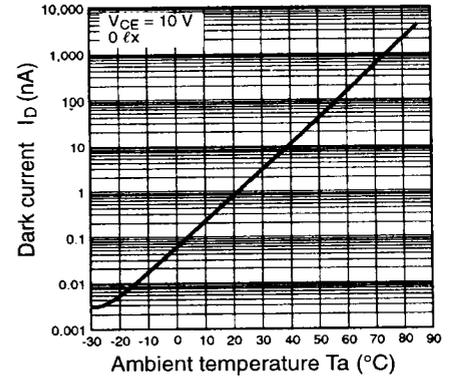
Light Current vs. Collector-Emitter Voltage Characteristics (Typical)



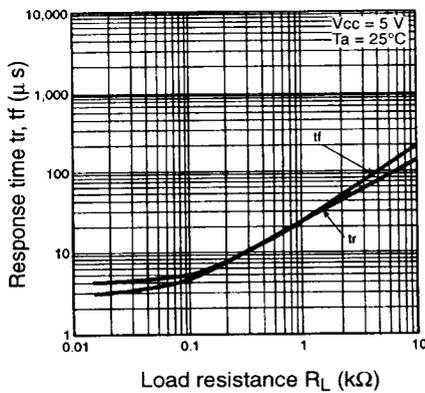
Relative Light Current vs. Ambient Temperature Characteristics (Typical)



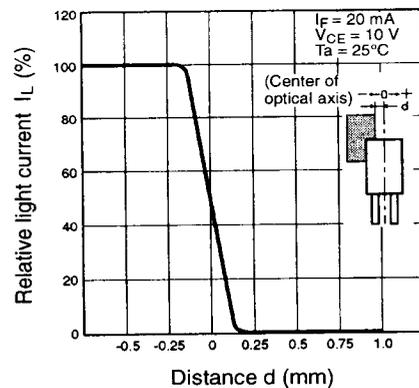
Dark Current vs. Ambient Temperature Characteristics (Typical)



Response Time vs. Load Resistance Characteristics (Typical)



Sensing Position Characteristics (Typical)



Response Time Measurement Circuit

