



UNIVERSIDAD DE JAÉN

# **DISEÑO, FABRICACIÓN Y ENSAYO DE UN SISTEMA MECÁNICO PARA EL ESTUDIO DE PROBLEMAS DE ESTÁTICA DE MÁQUINAS Y SISTEMAS MECÁNICOS**

**Alumno: Manuel Varela Roa**

Tutor: José Manuel Vasco Olmo

Dpto: Ingeniería Mecánica y Minera



Universidad de Jaén

Escuela Politécnica Superior de Jaén

Departamento de Informática

Don Jose Manuel Vasco Olmo, tutor del Trabajo Fin de Grado titulado: Diseño, fabricación y ensayo de un sistema mecánico para el estudio de problemas de estática de máquinas y sistemas mecánicos, que presenta Manuel Varela Roa, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, septiembre de 2022

El alumno:

Los tutores:

## INDICE

|  |    |
|--|----|
| 1. Objeto .....                            | 6  |
| 2. Motivación .....                        | 6  |
| 3. Justificación .....                     | 6  |
| 4. Resumen.....                            | 6  |
| 5. Análisis del problema.....              | 7  |
| 6. Elementos empleados .....               | 9  |
| 7. Presupuesto.....                        | 18 |
| 8. Resolución del problema .....           | 19 |
| 9. Análisis Paramétrico .....              | 23 |
| 10. Diseño.....                            | 30 |
| 11. Célula de carga.....                   | 32 |
| 12. Actuador.....                          | 36 |
| 13. LabView.....                           | 40 |
| 14. Montaje.....                           | 44 |
| 15. Conclusiones.....                      | 45 |
| ANEXO 1: Planos.....                       | 47 |
| ANEXO 2: CERTIFICADO CELULA DE CARGA ..... | 56 |
| ANEXO 3: GUIA DE FUNCIONAMIENTO.....       | 57 |
| Bibliografía.....                          | 60 |

## INDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 : Planteamiento del problema.....                     | 8  |
| Figura 2: Piezas de aluminio .....                             | 9  |
| Figura 3: Perfil Bosch y deslizaderas .....                    | 10 |
| Figura 4: Imagen varios elementos .....                        | 11 |
| Figura 5: Fuente de alimentación .....                         | 11 |
| Figura 6: Célula de carga .....                                | 12 |
| Figura 7: Tarjeta ClipX.....                                   | 13 |
| Figura 8: Cilindro .....                                       | 13 |
| Figura 9: Controlador del motor.....                           | 14 |
| Figura 10: Bornero.....  | 15 |
| Figura 11: Cable controlador .....                             | 15 |
| Figura 12: Tarjeta NI.....                                     | 16 |
| Figura 13: Circuito eléctrico.....                             | 17 |
| Figura 14: Cuadro eléctrico de superficie .....                | 17 |
| Figura 15: Presupuesto .....                                   | 18 |
| Figura 16: Nodo C .....  | 19 |
| Figura 17: Plataforma Superior.....                            | 20 |
| Figura 18: Barra BE .....                                      | 21 |
| Figura 19: Esquema con nomenclatura actualizada.....           | 22 |
| Figura 20: Comportamiento de la fuerza respecto al ángulo..... | 23 |
| Figura 21: Esquema cilindro extendido.....                     | 24 |
| Figura 22: Esquema cilindro retraído.....                      | 25 |
| Figura 23: Fuerza máxima ejercida por el cilindro.....         | 27 |
| Figura 24: Fuerza en B y C modificando d.....                  | 28 |
| Figura 25: Fuerza en la barra EF modificando d.....            | 29 |
| Figura 26: Fuerza en la barra BC modificando d.....            | 29 |
| Figura 27: Fuerza en la barra CD modificando d.....            | 30 |
| Figura 28: Diseño preliminar.....                              | 30 |
| Figura 29: Diseño Final .....                                  | 32 |
| Figura 30: Esquema trabajo célula de carga.....                | 32 |
| Figura 31: Montaje célula de carga.....                        | 33 |
| Figura 32: Calibración célula de carga.....                    | 34 |
| Figura 33: Montaje calibración célula de carga .....           | 34 |
| Figura 34: Grafica calibración célula de carga .....           | 35 |
| Figura 35: Interfaz configuración salida ClipX .....           | 35 |
| Figura 36: Montaje cilindro modo TEST .....                    | 36 |
| Figura 37: Modo Test cilindro .....                            | 36 |
| Figura 38: Esquema circuito electrónico .....                  | 37 |
| Figura 39: Tabla entradas al bornero .....                     | 38 |
| Figura 40: Tabla salidas del bornero.....                      | 39 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 41: Interfaz DAQExpress.....  | 40 |
| Figura 42: Lectura de datos célula de carga .....                          | 41 |
| Figura 43: Parte funcionamiento continuo LabView .....                     | 42 |
| Figura 45: Ciclo LabVIEW .....   | 43 |
| Figura 46:Interfaz LabVIEW.....  | 43 |
| Figura 48: Valores de fuerza medidos para distintos ángulos y cargas ..... | 44 |
| Figura 49:Error en distintos ángulos .....                                 | 45 |
| Figura 50: Grafica Error Angulo .....                                      | 45 |

## **1. Objeto**

El objeto del trabajo es el diseño, fabricación y ensayo de un dispositivo mecánico con el que poder analizar experimentalmente problemas de estática de máquinas y sistemas mecánicos. Con este objetivo, se creará un mecanismo basado en un problema del libro “Mecánica Vectorial para Ingenieros” (Beer, 2007). Este problema permitirá comprobar dos hipótesis, en primer lugar, la fuerza ejercida por el cilindro y en segundo lugar que la posición de la carga actuando sobre el mecanismo no afecta en esta fuerza.

## **2. Motivación**

Este proyecto se enmarca dentro del estudio del grado de ingeniería mecánica. En este se pretende que mediante un proyecto que resulte atractivo para el autor se puedan aplicar los distintos conocimientos que ha adquirido en diversos campos durante el transcurso de la titulación. Por esto mismo, este TFG suponía un reto en el cual se han debido plasmar distintos conocimientos y habilidades propios de la ingeniería al tener que trabajar las partes del proceso de fabricación de un producto desde su diseño, análisis, fabricación, resolución de problemas o validación de los resultados entre otros.

## **3. Justificación**

Este diseño se justifica por el deseo del Área de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Jaén de poseer un equipo mediante el cual poder corroborar de forma empírica los cálculos realizados de forma teórica. Por lo tanto, esto justifica la inversión necesaria para la fabricación del mecanismo.

## **4. Resumen**

El desarrollo de este proyecto comenzó con un análisis del problema original para determinar la distribución de las fuerzas en las distintas barras de forma teórica. Después de esto se procedió a determinar los parámetros que pueden afectar al comportamiento del mismo para determinar cómo afecta la modificación de los

mismos. De esta forma, se procedió a determinar el valor de los mismos en el diseño final.

Una vez determinados los parámetros geométricos del diseño se procedió a realizar un diseño en el que incluyendo algunas modificaciones para permitir que pudiera fabricarse de forma sencilla y que fuera funcional.

Tras realizar el diseño de la parte mecánica se comenzó a trabajar sobre los distintos componentes electrónicos que forman parte del diseño. Los cuales se pueden dividir en tres partes principales:

- Un cilindro que permite el movimiento del mecanismo para permitir su orientación en distintas posiciones.
- Una célula de carga que medirá la fuerza ejercida por el cilindro.
- Una tarjeta National Instruments la cual permite recopilar los datos recopilados por la célula de carga además de diseñar una interfaz gráfica para facilitar el control del cilindro. Esto se realizará mediante un código propio creado en LabView.

Finalmente, tras la fabricación, el ensamblaje y la conexión de los distintos elementos se procedió a la validación del funcionamiento del mecanismo analizando su comportamiento y correlación con los cálculos teóricos. Para llevar a cabo dicha validación se analizarán distintas situaciones tanto de carga como de posición y la fuerza medida por la célula.

## **5. Análisis del problema**

Como ya se ha mencionado anteriormente, el problema empleado como base es un problema de sistemas mecánicos recogido en el libro “Mecánica Vectorial para Ingenieros” (Beer, 2007). El planteamiento de este problema se puede observar en la figura 1. Este mecanismo se puede dividir en cinco partes diferenciadas.

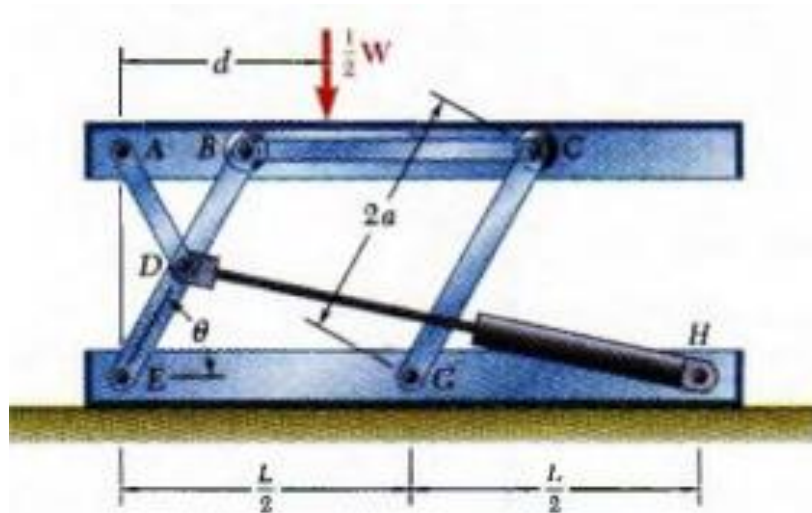


Figura 1 : Planteamiento del problema

Fuente: (Beer, 2007)

En primer lugar, se observa un cuadrilátero articulado formado por las barras EBCG. Este tipo de mecanismos están ampliamente estudiados y comúnmente utilizados en el análisis de la cinemática de mecanismos. En este caso particular, se puede observar cómo las barras son iguales dos a dos. Esta situación específica permite que la barra superior se mantenga en todo momento horizontal y únicamente haga un movimiento de translación curvilínea con respecto a la base.

Seguidamente se encuentra el cilindro entre los puntos DH. Este elemento ejerce la fuerza para sostener el mecanismo y su posible desplazamiento. Este será el elemento sobre el cual se realizarán mediciones empíricas para corroborar que el comportamiento teórico y real es similar.

Por otro lado, se encuentran las partes superior e inferior. La parte inferior únicamente actúa como base y no tiene mayor interés. Sin embargo, la parte superior, cuya función principal es sostener el peso que se coloque sobre el cuadrilátero articulado, también cuenta con un mecanismo de corredera para que la única transmisión de fuerzas entre el cuadrilátero y este elemento sea vertical.

Finalmente, se encuentra la barra AD, este es un elemento redundante en el mecanismo. Esto es porque forma una estructura triangular entre los nodos ABD, cuando ya la posición fija del cilindro asegura que el mecanismo pueda mantenerse

estático. Así mismo, al realizar los cálculos se observa como tampoco ejerce fuerza. Por todo esto, esta barra fue eliminada en el diseño final.

## 6. Elementos empleados

Para la realización de este proyecto ha sido necesaria la utilización de distintos elementos, los cuales serán nombrados y descritos brevemente a continuación. Algunos de estos no eran encontrados comercialmente por lo que fueron fabricados en las instalaciones de la universidad empleando corte por chorro de agua, torneado o fresado. Sin embargo, la mayor parte del diseño está compuesto por elementos comerciales cuyas prestaciones se adaptan a las necesidades del mismo.

- **Elementos de aluminio**

El cuerpo principal del diseño este compuesto por piezas de aluminio de 10 mm y 20 mm de espesor, cuyos planos se encuentran en el Anexo 1. Se seleccionó este material por su buen acabado, su precio reducido y sus características mecánicas que lo hacían adecuado para soportar las cargas a las que sería sometido.



Figura 2: Piezas de aluminio

Fuente: Creación Propia

- **Perfil Bosch**

Para que la plataforma superior deslizara con respecto al cuadrilátero articulado, se decidió emplear perfil Bosch y una deslizadera. Es ligeramente distinto al problema inicial, pero los movimientos relativos de las piezas son los mismos, y permitió eliminar una ranura en el lateral de la plataforma superior que dificultaría su fabricación y podría ser origen de problemas posteriores.



Figura 3: Perfil Bosch y deslizaderas

Fuente: Creación Propia

- **Elementos auxiliares**

Así mismo, fueron necesarios distintos elementos de tornillería para unir los componentes del mecanismo; unos ejes roscados en los extremos para permitir la rotación del cilindro, los cuales fueron torneados; un par de adaptadores para poder unir elementos de métrica distinta, uno de los cuales es comercial y el otro fue fabricado mediante torneado; y unas patas sobre las cuales se sostendrá todo el mecanismo.



Figura 4: Imagen varios elementos

Fuente: Creación Propia

- **Fuente de alimentación SPDM241201 Carlo Gavazzi.**

La fuente de alimentación empleada es la SPDM241201 de Carlo Gavazzi (Carlo Gavazzi, 2022). Esta fuente de alimentación permite transformar la corriente alterna de 230V a una corriente continua de 24 V. Esto es imprescindible ya que la mayoría de elementos empleados funcionan a este voltaje, por lo que este elemento alimentará el cilindro, el bornero y la tarjeta ClipX.



Figura 5: Fuente de alimentación

Fuente: Creación Propia

- **Célula de carga**

La célula de carga es el sensor que permitirá determinar la fuerza ejercida por el pistón. Se emplea una célula Dinacell CTC K1500 (Dinacell, 2022), esta es capaz de medir hasta 1500 N tanto en tracción como compresión. Su carga nominal es significativamente superior a las cargas que se emplean, pero era un excedente de un proyecto anterior así que se decidió emplearla para reducir los costes. Se realizó un estudio para establecer que, a pequeñas cargas, la sensibilidad de la célula era adecuada.

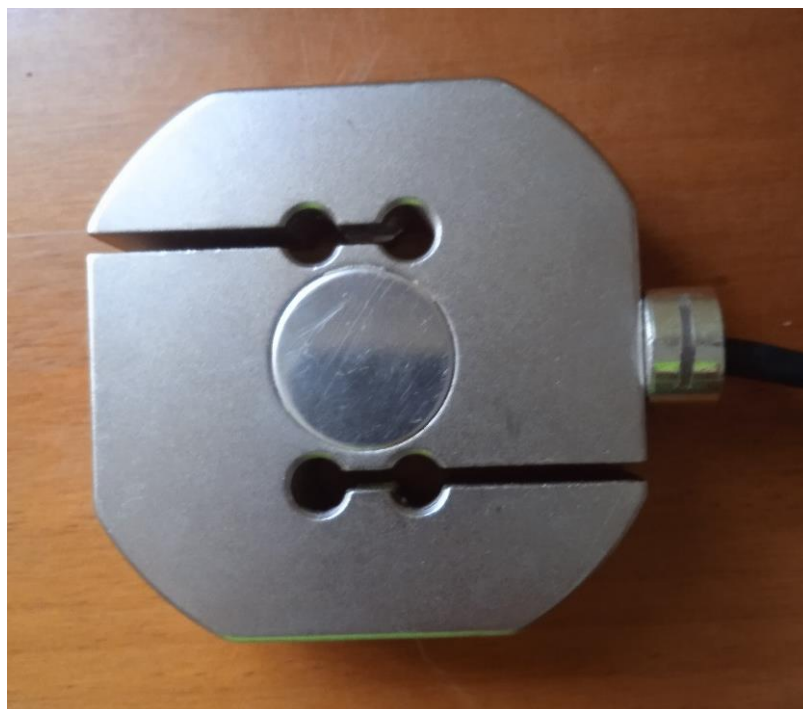


Figura 6: Célula de carga

Fuente: Creación Propia

- **Tarjeta HBM ClipX BM40**

La tarjeta HBM ClipX BM40 HBM (HBM, 2022) permite tanto excitar la célula de carga como acondicionar la señal de la misma mediante software. Esto facilita significativamente el proceso de recogida de datos ya que amplifica, filtra, excita y linealiza la señal ajustando la salida con los parámetros indicados.



Figura 7: Tarjeta ClipX

Fuente: Creación Propia

- **Actuador LEY32RC-100-S3**

El actuador empleado es un cilindro de SMC (SMC España., 2020) que tiene una carrera de 100 mm y es capaz de ejercer una fuerza nominal de hasta 80 Kg. Este elemento funciona mediante un motor paso a paso, este tipo de motor permite desplazar el cilindro de una forma muy precisa lo cual es muy útil para el propósito de este proyecto.

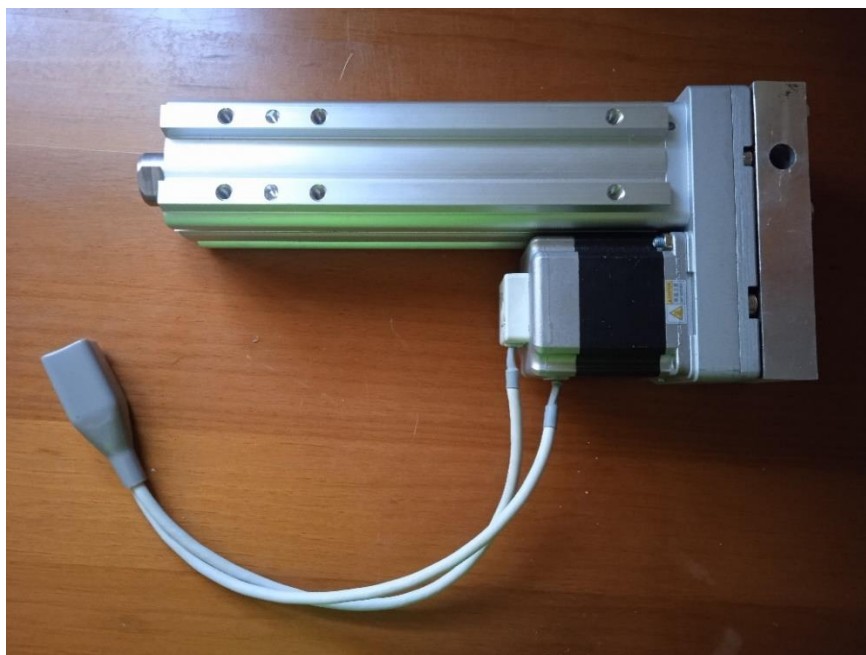


Figura 8: Cilindro

Fuente: Creación Propia

- **Step Motor Controller LECP6P-LEY 16RA-30**

Junto al actuador es imprescindible emplear una tarjeta controladora (SMC España., 2020), esta nos permite aportarle la potencia al motor además de ser un intermediario para controlar su movimiento. Esto se puede realizar mediante señales binarias o por software conectando el controlador a un PC.



Figura 9: Controlador del motor

Fuente: Creación Propia

- **Bornero LEC-IO-CB01**

El Bornero LEC-IO-CB01 (SMC España., 2020) sirve de unión entre el controlador del motor y la tarjeta NI. Este posee más de una veintena de conexiones que sirven para realizar el control de forma electrónica del cilindro transfiriendo y recibiendo señales del mismo.



Figura 10: Bornero

Fuente: Creación Propia

- **Controller setting kit LEC-W2**

Este cable permite conectar el controlador a un ordenador mostrando en este la situación del cilindro, enviándole órdenes y configurando las distintas funciones preprogramadas en el cilindro.



Figura 11: Cable controlador

Fuente: Creación Propia

- **Tarjeta National Instruments usb6002**

La tarjeta NI (National Instruments, 2022) nos permitirá tanto recopilar toda la información procedente de la célula de carga como actuar sobre el cilindro para modificar su posición. Para esto se empleará un software creado con LabView el cual nos aportará una interfaz gráfica en la cual podremos tanto modificar la posición del cilindro como ver la fuerza que se está ejerciendo en el momento.



Figura 12: Tarjeta NI

Fuente: Creación Propia

- **Placa electrónica.**

En el mecanismo se encuentra una tarjeta electrónica formada por dos elementos. Por un lado, unas resistencias de  $101 \Omega$  que servirán como elemento de seguridad. El otro elemento son los optoacopladores 4N35. Este circuito integrado sirve como elemento de unión entre el circuito del bornero y el de la tarjeta NI ya que los voltajes son respectivamente 24V y 5V.

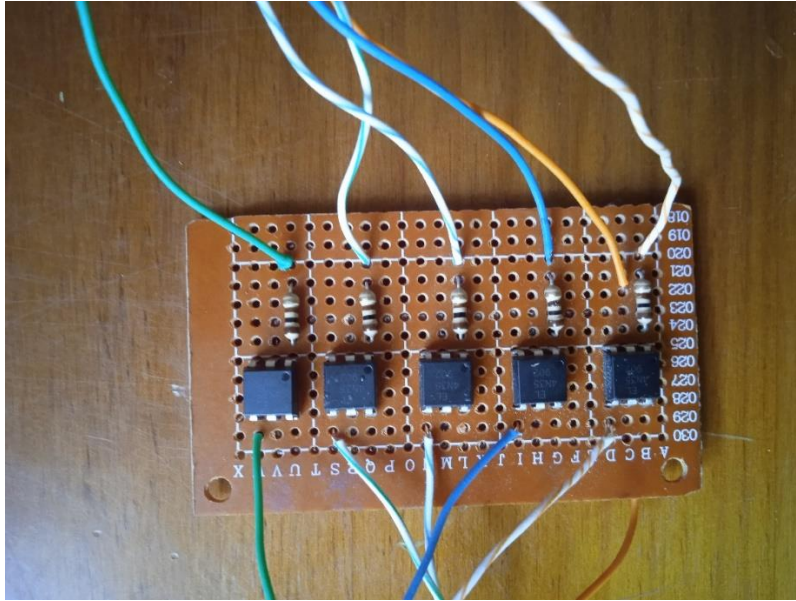


Figura 13: Circuito eléctrico

Fuente: Creación Propia

- **Cuadro eléctrico de superficie**

Para unificar todos los elementos eléctricos se empleó un cuadro eléctrico de superficie ya que gracias a su carril DIN permite conectar sencillamente la mayoría de componentes además de aportar espacio suficiente como para mantener fijos aquellos que no son compatibles con el carril.

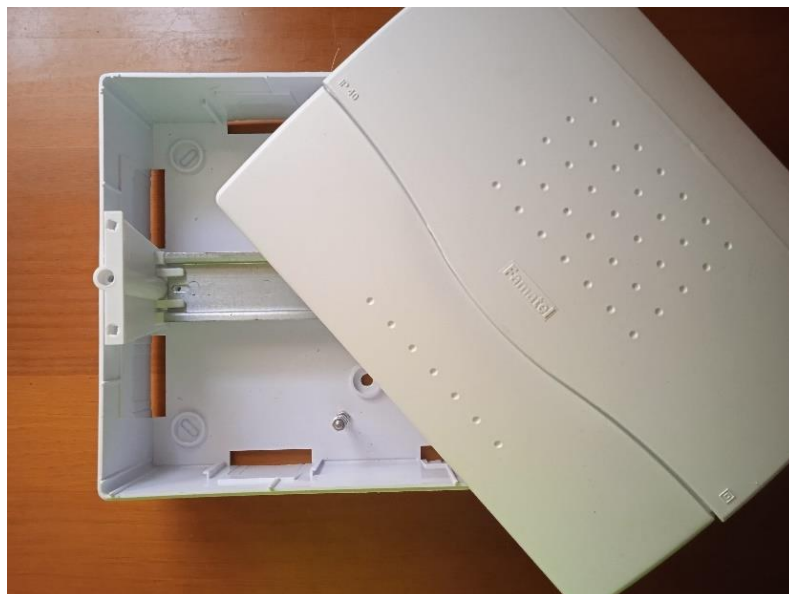


Figura 14: Cuadro eléctrico de superficie

Fuente: Creación Propia

## 7. Presupuesto

Tras describir los distintos elementos empleados, es interesante realizar un presupuesto para analizar el coste que tiene la culminación de un proyecto como este. Para la fabricación se emplearon algunos elementos que poseía anteriormente el departamento de ingeniería mecánica y minera y otros fueron adquiridos exclusivamente para el proyecto. Por esto, no se tiene la información del coste de los componentes que no han sido adquiridos expresamente. Así que el coste de estos componentes cuyo precio no se conoce será el que se encuentre en la página del fabricante o de algún distribuidor.

| ELEMENTOS                                   | UNIDADES | PRECIO (€/UD) | TOTAL (€) |
|---|----------|---------------|-----------|
| ALUMINIO 10MM                               | 1        | 65            | 65        |
| ALUMINIO 20MM                               | 1        | 154           | 154       |
| COSTES GESTION ALUMINIO                     | 1        | 15            | 15        |
| PERFIL BOSCH                                | 1        | 52 (1)        | 52        |
| DESLIZADERAS                                | 1        |               | 0         |
| PATAS                                       | 4        | 8,5           | 34        |
| ROTULA                                      | 1        | 19            | 19        |
| ADAPTADOR M10-M16                           | 1        | 15            | 15        |
| FUENTE DE ALIMENTACION                      | 1        | 110 (1)       | 110       |
| CELULA DE CARGA                             | 1        | 1000 (2)      | 1000      |
| TARJETA HBM CLIPX BM40                      | 1        | 1174 (3)      | 1174      |
| ACTUADOR LEY32RC-100-S3                     | 1        | 1170 (4)      | 1170      |
| STEP MOTOR CONTROLLER LECP6P-LEY<br>16RA-30 | 1        | 200 (4)       | 200       |
| BORNERO LEC-IO-CB01                         | 1        | 225 (4)       | 225       |
| CONTROLLER SETTING KIT LEC-W2               | 1        | 300 (4)       | 300       |
| TARJETA NATIONAL INSTRUMENTS<br>USB6002     | 1        | 536 (5)       | 536       |
| OPTOACOPLADOR 4N35                          | 5        | 1             | 5         |
| CUADRO ELECTRICO DE SUPERFICIE              | 1        | 11            | 11        |
| COSTES FABRICACION                          | 1        | 122           | 122       |
|   |          | Total:        | 5207      |

Figura 15: Presupuesto

Fuente: Creación Propia

- (1) (RS Components, 2022)
- (2) (Campos, 2022)
- (3) (HBM, 2022)
- (4) (SMC Internacional , 2022)
- (5) (National Instruments, 2022)

## 8. Resolución del problema

Antes de comenzar con el diseño se procedió a determinar las fuerzas a las que están sometidas las distintas barras del mecanismo (ver figura 1). En el mismo encontramos dos tipos de elementos: Por un lado, las barras AD, BC, CG y HD, que son elementos sometidos a dos fuerzas cuyas cargas serán determinadas mediante sumatoria de fuerzas en los nodos (figura 16); por otro lado, la barra EB y la plataforma superior ABC, para las cuales se emplearán diagramas de cuerpo libre (figuras 17 y 18).

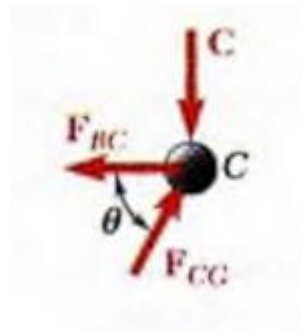


Figura 16: Nodo C

Fuente: (Beer, 2007)

La resolución se inicia a través del análisis del nodo C, en el cual se encuentran tres fuerzas que pueden determinarse mediante trigonometría:

$$C = F_{CG} \sin \theta$$

$$F_{BC} = F_{CG} \cos \theta$$

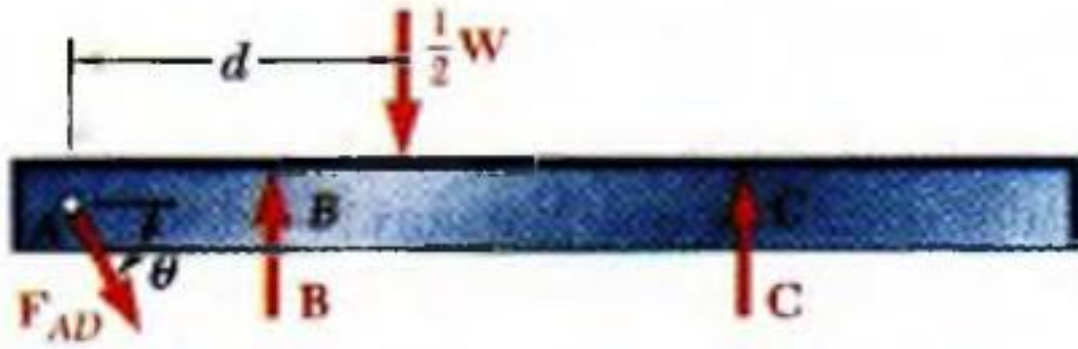


Figura 17: Plataforma Superior

Fuente: (Beer, 2007)

Posteriormente, analizando el diagrama de cuerpo libre de la plataforma superior e imponiendo que tanto la sumatoria de fuerzas horizontales y verticales han de ser nulas, obtenemos las siguientes igualdades.

$$\sum F_H = 0 \rightarrow F_{AD} = 0$$

$$\sum F_V = 0 \rightarrow B + C = \frac{W}{2}$$

Por lo tanto, podemos observar como la barra AD no está sometida a ninguna fuerza y las fuerzas  $B$ ,  $C$  y  $W$  están relacionadas entre sí. Así mismo, realizando sumatoria de momentos en uno de los nudos ( $B$  o  $C$ ) se puede determinar que la relación entre estos tres parámetros depende del parámetro  $d$  y de la geometría:

$$\sum M_B = 0 \rightarrow d \frac{W}{2} = d_{AC} C$$

Seguidamente, se realizará el análisis de cuerpo libre de la barra BDE. Imponiendo que la sumatoria de momentos en E tiene que ser cero, obtendremos la fuerza realizada por la barra DH:

$$a * F_{DH} * \cos(\phi - 90) = 2a * (B * \cos \theta + F_{BC} \sin \theta)$$

$$F_{DH} * \sin \phi = 2 * (B * \cos \theta + (C \cot \theta) \sin \theta)$$

$$F_{DH} * \sin \phi = 2 * (B + C) \cos \theta$$

$$F_{DH} = W \frac{\cos \theta}{\sin \phi}$$

Concluyendo, por tanto, que la fuerza en el cilindro es función de la carga soportada por el mecanismo y los ángulos de inclinación del elemento BDE (ángulo  $\theta$ ) y el ángulo formado por el cilindro y el elemento BDE (ángulo  $\phi$ ).

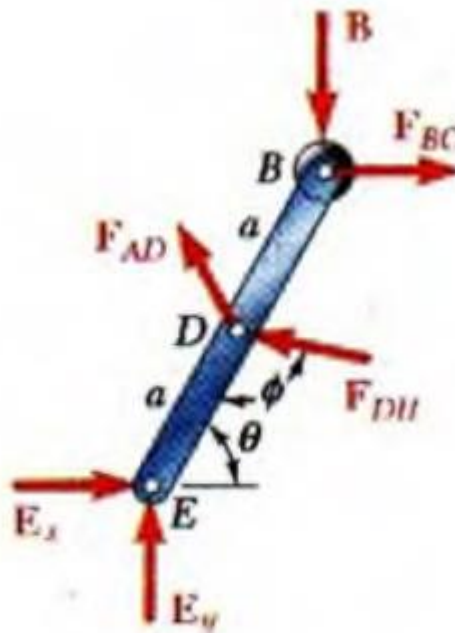


Figura 18: Barra BE

Fuente: (Beer, 2007)

Finalmente se determinarán las fuerzas en el nodo E, con lo que ya estarían determinadas las distintas ecuaciones para todas las fuerzas. Para esto, se realizará un sumatorio de fuerzas en E:

$$\sum F_V = 0$$

$$R_E^V = B - F_{DH} \sin \phi$$

$$\sum F_H = 0$$

$$R_E^H = F_{BC} - F_{DH} \cos \phi$$

Tras realizar el primer análisis del problema se obtuvieron distintas conclusiones:

En primer lugar, se observa que una de las barras no realiza ninguna fuerza, la barra AD, así mismo, si se analiza detenidamente el mecanismo se puede observar cómo los nodos ABD forman un triángulo articulado lo que ocasiona que el conjunto se comporte como una estructura. Por esto, se decidió eliminar la barra para permitir el movimiento del mecanismo. Al eliminar esta barra, se decidió actualizar la nomenclatura de los distintos nodos por una más coherente con el nuevo diseño, mostrado en la figura 19.

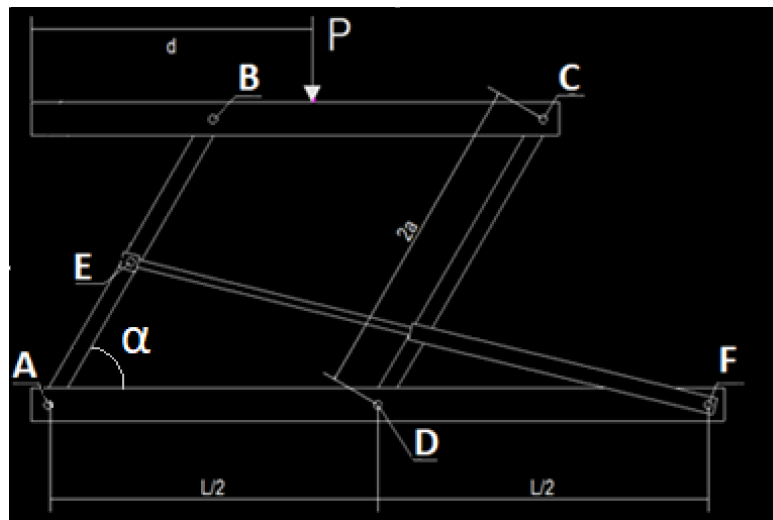


Figura 19: Esquema con nomenclatura actualizada

Fuente: Creación propia

Así mismo, se determinaron los distintos parámetros que rigen el comportamiento del mecanismo dividiéndolos en tres grupos.

- Posición del mecanismo ( $\alpha$ ): este ángulo será el que se utilizará como referencia para determinar en qué posición se encuentra el mecanismo.
- Parámetros geométricos ( $L, a$ ): estos parámetros son los que determinan la geometría.
- Parámetros de la fuerza ( $W, d$ ): en este último grupo encontramos el valor de la carga aplicada y la posición en la que esta se encuentra aplicada.

## 9. Análisis Paramétrico

En primer lugar, se analizará cómo afecta el ángulo  $\alpha$  a la distribución de las distintas fuerzas. Para esto, se mantendrán constantes el resto de variables y se analizarán cómo se modifican las fuerzas en los distintos puntos.

De esta forma se puede obtener la siguiente gráfica en la que se muestran las distintas fuerzas de forma relativa a la carga aplicada. Como se puede observar, tenemos dos tendencias, en primer lugar, C se mantiene constante, siendo independiente del ángulo del mecanismo. Por otro lado, tenemos el resto de cargas las cuales crecen rápidamente cuando el ángulo se hace más pequeño. Especial mención a la fuerza en la barra EF, esta forma una asintota al infinito en  $0^\circ$  y dando valores tan elevados poco 10 veces la fuerza sobre el mecanismo cuando el ángulo es de  $10^\circ$ . Esto muestra que ángulos pequeños son muy problemáticos y deberían evitarse ya que son muy desfavorables para el comportamiento del mecanismo.

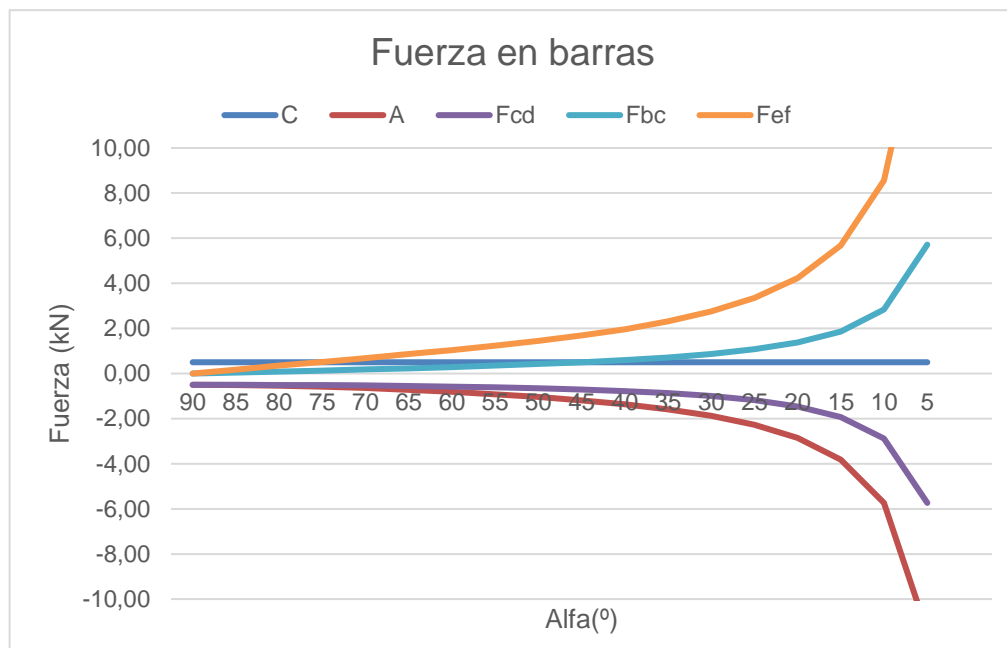


Figura 20: Comportamiento de la fuerza respecto al ángulo

Fuente: Creación propia

En cuanto a los parámetros geométricos, se puede deducir a partir de las ecuaciones que no afectan a las fuerzas, pero si son variables necesarias para asegurar el correcto funcionamiento del mecanismo. Analizando los elementos colocados en la posición del cilindro EF, hay unas dimensiones mínimas y máximas que puede tener éste y la diferencia máxima que puede haber entre las distancias.

Por esto mismo, se analizarán tres posiciones límites del cilindro para determinar  $L$  y  $a$ .

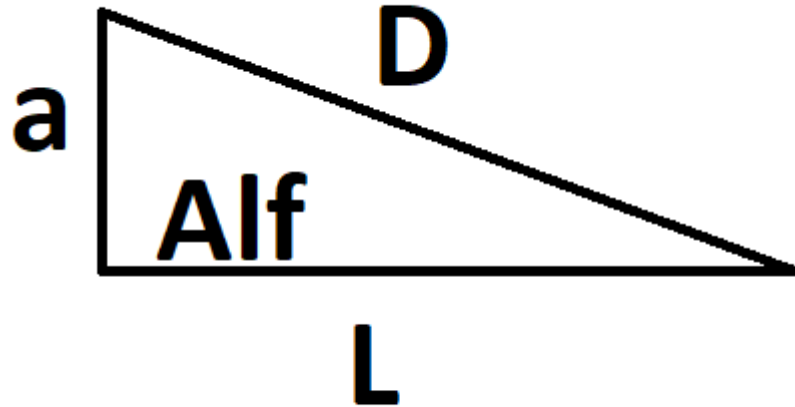


Figura 21: Esquema cilindro extendido

Fuente: Creación propia

En primer lugar, en la posición indicada en la figura 21, la distancia  $D$  debería ser inferior a la longitud de todos los elementos empleados y el pistón extendido, 470 mm. Para esto emplearemos el teorema de Pitágoras junto a un parámetro auxiliar  $c$  que es la relación entre  $a$  y  $L$ .

$$470 > \sqrt{a^2 + L^2}$$

$$470 > \sqrt{(cL)^2 + L^2}$$

$$470 > \sqrt{L^2(c^2 + 1)}$$

$$470 > L\sqrt{c^2 + 1}$$

$$L > \frac{470}{\sqrt{c^2 + 1}}$$

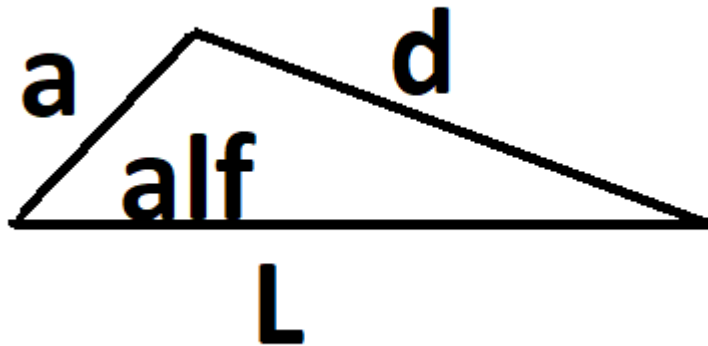


Figura 22: Esquema cilindro retraído

Fuente: Creación propia

La segunda posición analizada siguientes la indicada en la figura 22, la cual es la otra posición límite. Como se ha indicado anteriormente el ángulo mínimo será de  $45^\circ$ . En este caso se empleó el teorema del coseno y la distancia  $d$  tendrá que ser superior a 370 mm, que es la longitud de EF con el pistón retraído.

$$370 > \sqrt{a^2 + L^2 - 2aL \cos \alpha}$$

$$370 > \sqrt{(cL)^2 + L^2c - 2cL^2 \cos \alpha}$$

$$370 > \sqrt{L^2(c^2 + 1 - \sqrt{2}c)}$$

$$370 > L\sqrt{c^2 + 1 - \sqrt{2}c}$$

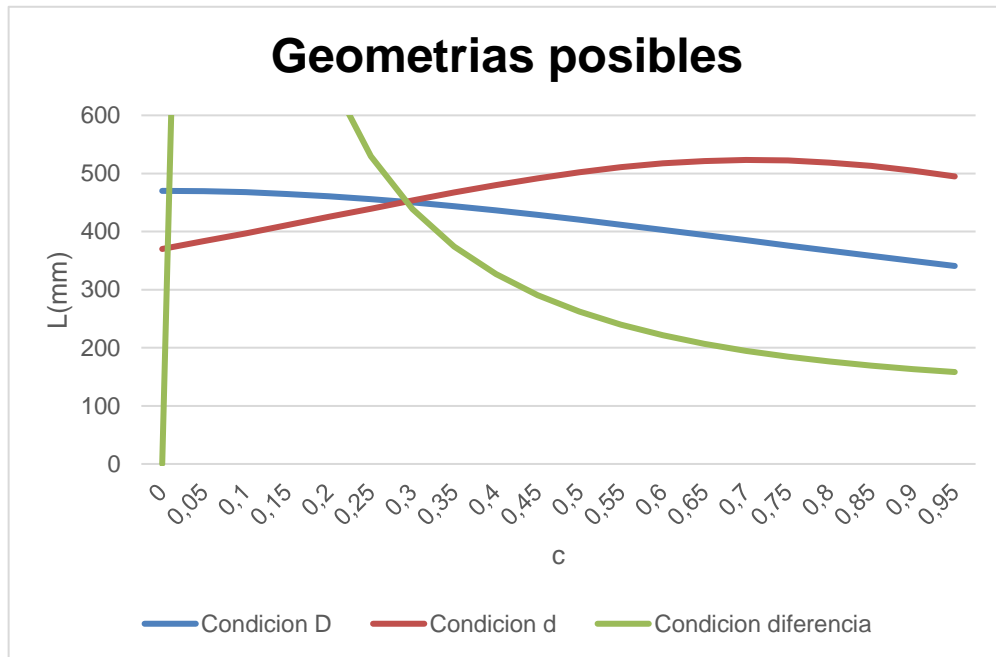
$$L > \frac{370}{\sqrt{c^2 + 1 - \sqrt{2}c}}$$

Finalmente, después de conocer la condición para las posiciones extremo, la última imposición es que la diferencia entre estas posiciones es inferior a los 100 mm que tiene el cilindro como recorrido.

$$D - d < 100$$

$$L\sqrt{c^2 + 1} - L\sqrt{c^2 + 1 - \sqrt{2}c} < 100$$

$$L > \frac{100}{\sqrt{c^2 + 1} - \sqrt{c^2 + 1 - \sqrt{2}c}}$$



Estas ecuaciones se han representado en la figura 23, confrontando los valores de L y c. Los valores que serían funcionales para el mecanismo son aquellos que se encuentran por debajo de la línea azul y la verde y por encima de la roja. Esto da como resultado que los valores posibles están en la zona de L entre 370 mm y 480 mm y c inferior a 0,3. Siguiendo estos criterios se decidió elegir una dimensión L de 430 mm, c de 0,2 y a de 90 mm.

En cuanto a los parámetros de fuerza, la carga aplicada sobre el mecanismo únicamente actúa como un multiplicador de las fuerzas a las que están sometidas las distintas barras. Esta variable se ve limitada por dos factores, en primer lugar, la fuerza que puede ejercer el cilindro y en segundo lugar la resistencia del mecanismo. En primer lugar, se analizará el límite generado por la fuerza que puede ejercer el pistón.

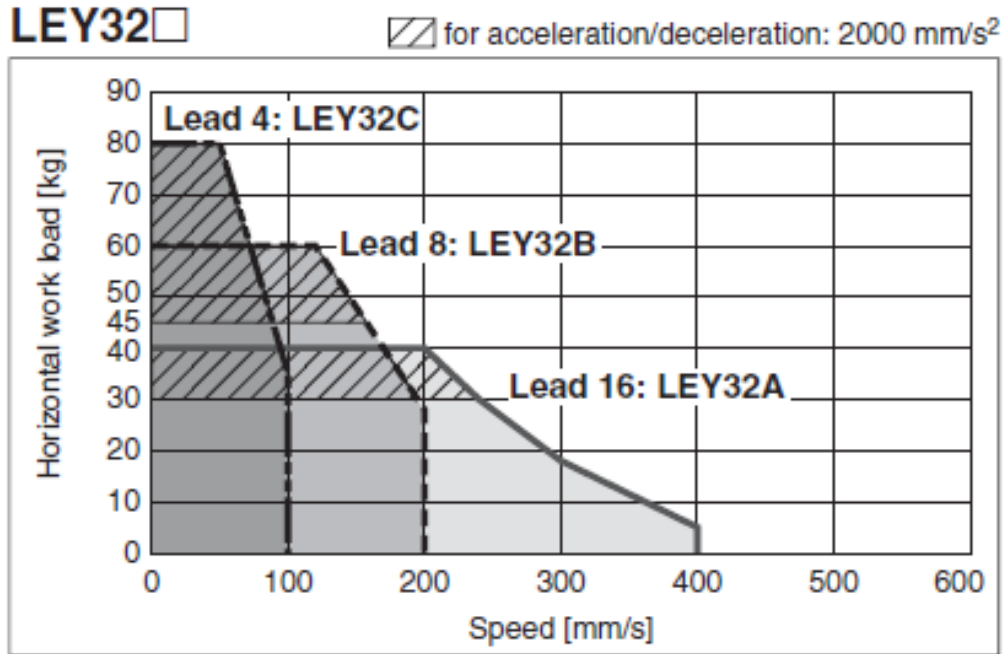


Figura 23: Fuerza máxima ejercida por el cilindro

Fuente: (SMC España., 2020)

Como se puede observar de la gráfica aportada por el fabricante, para el modelo LEY32C, el pistón es capaz de ejercer una fuerza de hasta 80 kg, a lo cual habría que reducirle la carga del mecanismo. Tras pesar el mecanismo se decidió emplear una reducción de 5 kg siendo un valor que se sitúa del lado de la seguridad. Así mismo, de los cálculos realizados anteriormente se puede obtener la relación entre la carga sobre el mecanismo y la ejercida por el pistón. Con lo que se puede deducir que la fuerza que se podría colocar sobre el mecanismo en la posición más desfavorable sería de 42,61 kg.

$$W + 5 = \frac{F_{EF}}{1,68}$$

$$W = \frac{F_{EF}}{1,68} - 5$$

$$W = \frac{80}{1,68} - 5 = 47,61 - 5 = 42,61 \text{ kg}$$

En cuanto al parámetro d (distancia de ubicación de la carga W) se considerarán 5 situaciones distintas:

- Carga a 50 mm a la izquierda de B

- Carga sobre B
- Carga en el centro de la barra BC
- Carga Sobre C
- Carga a 50 mm a la derecha de C

En este caso se pueden observar patrones de fuerza muy distintos en función de la situación analizada. En primer lugar, sobre los nodos que sostienen la plataforma superior se encuentra un comportamiento que no depende del ángulo y que es simétrico siendo las fuerzas más grandes mientras más cerca este del nodo.

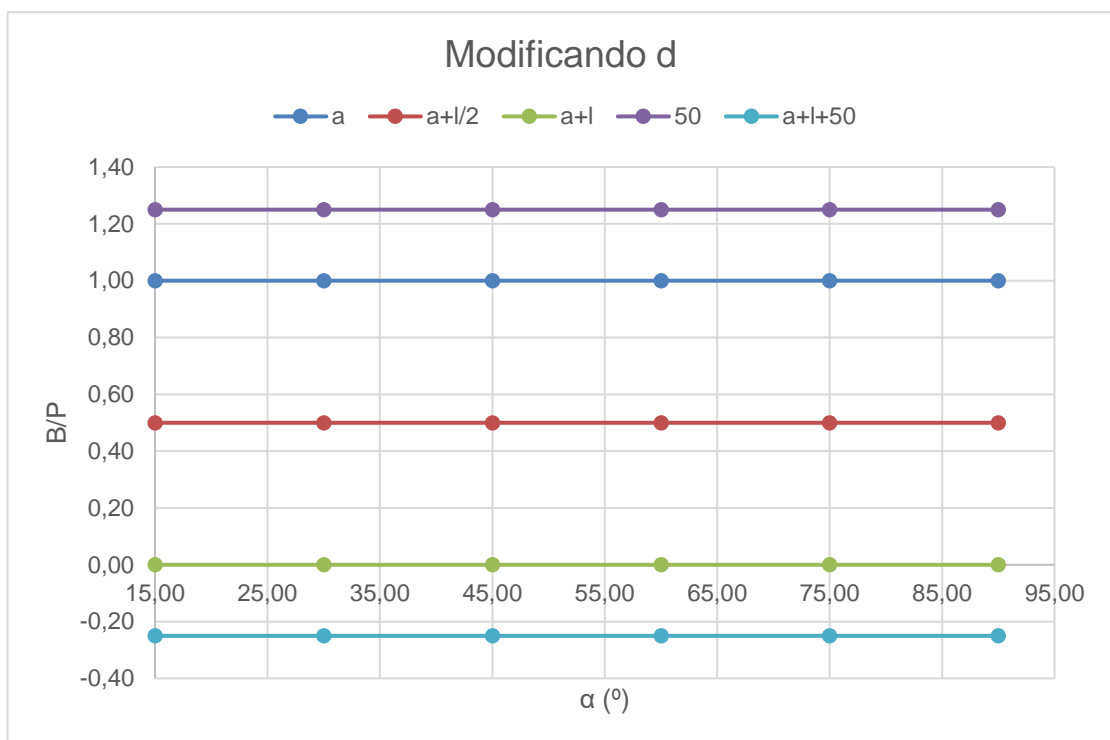


Figura 24: Fuerza en B y C modificando d

Fuente: Creación propia

Por otro lado, graficando la fuerza en la barra EF se puede observar cómo las líneas son coincidentes, lo que corrobora la hipótesis anteriormente comprobada por las ecuaciones de que esta variable no se ve afectada por la posición de la carga.

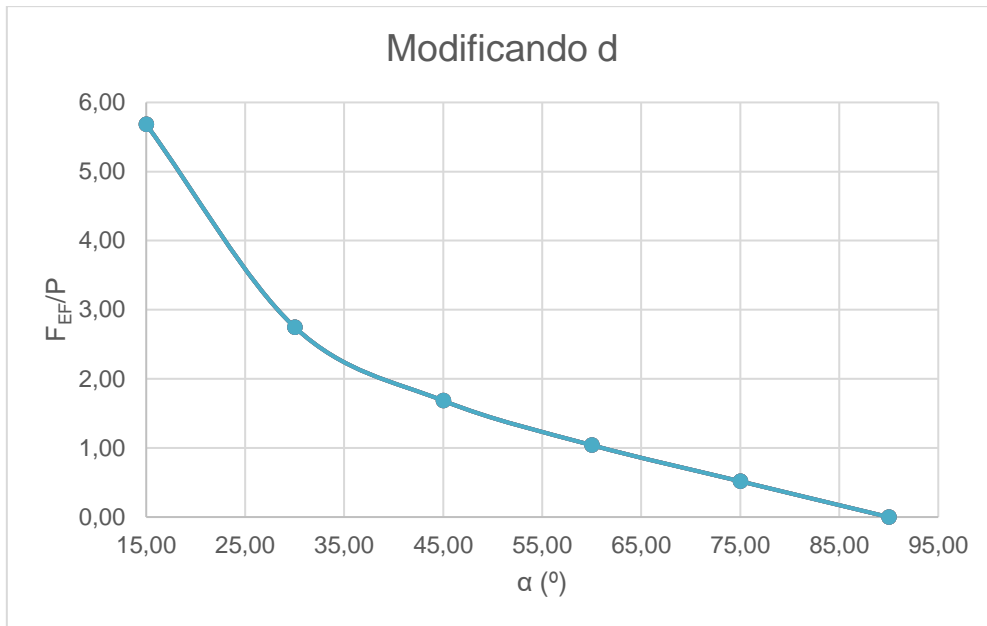


Figura 25: Fuerza en la barra EF modificando d

Fuente: Creación propia

El caso de la barra BC es bastante distinto a los anteriores, la fuerza es afectada en gran medida por  $d$  especialmente en ángulos pequeños. Así mismo, mientras la carga esta mas alejada del centro la fuerza es mayor.

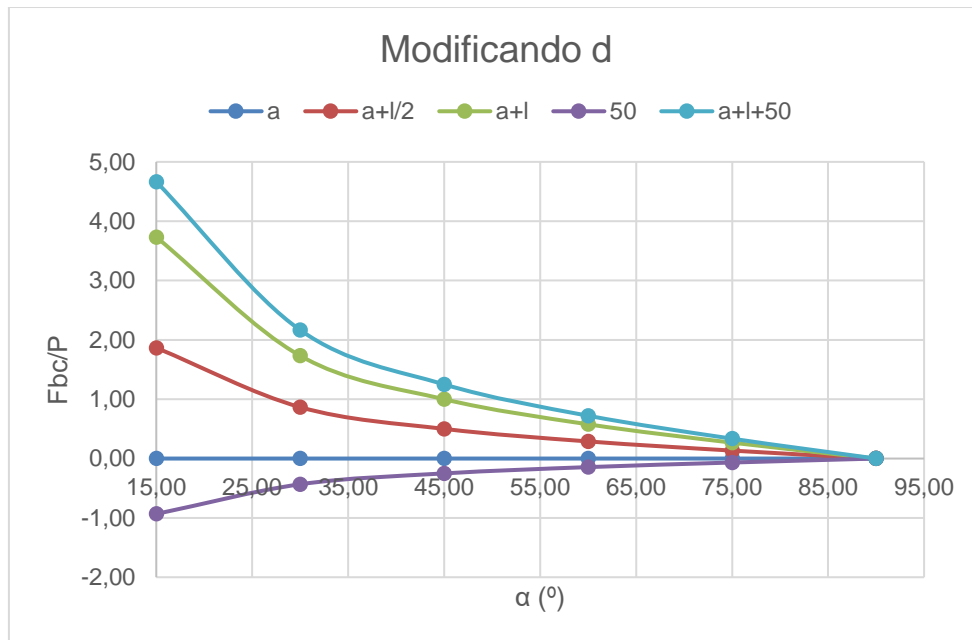


Figura 26: Fuerza en la barra BC modificando d

Fuente: Creación propia

Finalmente, en las barras CD y AB sucede algo similar a lo que ocurría en las fuerzas C y B estas graficas son complementarias siendo mayor la fuerza mientras

más alejada este la carga de la barra. Por lo tanto, una vez más se observa que cuando  $d$  está centrado es mucho mas eficiente para el mecanismo.

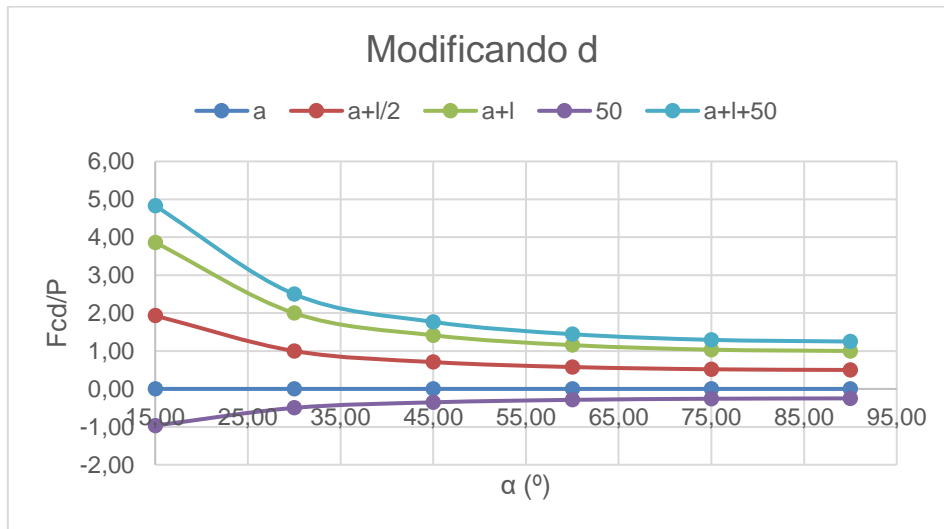


Figura 27: Fuerza en la barra CD modificando d

Fuente: Creación propia

## 10. Diseño

Tras realizar el análisis del problema y los distintos parámetros que influyen sobre el mismo, se propuso un diseño inicial, mostrado en la figura 28. Como se puede observar es un diseño bastante fiel al original, encontrandolas siguientes modificaciones.

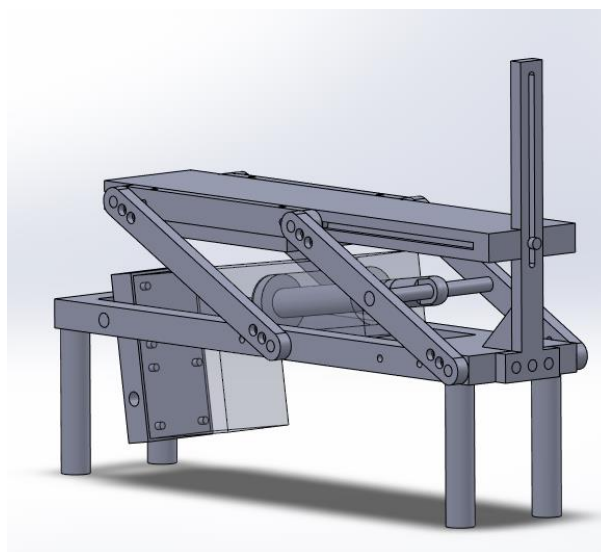


Figura 28: Diseño preliminar

Fuente: Creación propia

En primer lugar, la base está levantada con respecto al suelo por unas patas, esto es debido a la forma del cilindro, gran parte del cual queda por debajo de la línea de tierra del mecanismo. Por lo tanto, es obligatorio levantar la misma para que funcione correctamente.

En segundo lugar se puede observar como el cilindro está en un plano distinto al del cuadrilátero articulado. Por limitaciones físicas, es necesaria esta disposición ya que si ambos estuvieran en el mismo plano impactarían.

Finalmente, encontramos el soporte de la parte delantera, que permite dar estabilidad a la plataforma superior y que su movimiento sea únicamente lineal. Esta mejora se vio recomendable para evitar problemas de desplazamientos indeseados de la plataforma.

Asimismo, se puede observar como las barras presentan distintos agujeros para modificar la disposición del mecanismo gracias al cambio de la posición de las barras.. Sin embargo, esto fue algo que se eliminó del diseño final porque las variaciones que podía aportar al mecanismo eran mínimas además de que esto complicaría significativamente el software controlador.

Por otra parte, se observó que el rail de la plataforma lateral a través de la cual desliza una rueda podría ser un punto crítico del diseño ya que tal y como está planteado es un punto en el que cualquier defecto de fabricación podría impedir el movimiento del mecanismo además de ser un punto de gran fricción y difícil fabricación. Por lo tanto, se buscaron alternativas para eliminar este elemento.

La solución fue reemplazar estos laterales por perfiles Bosch, los cuales se unirán mediante deslizaderas al cuadrilátero articulado, asegurando de esta forma el movimiento del mecanismo. El diseño final se muestra en la figura 29.

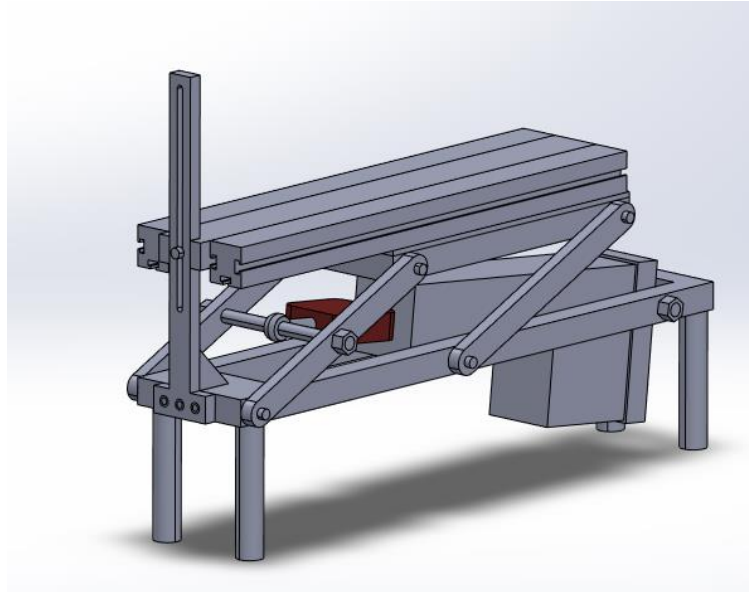


Figura 29: Diseño Final

Fuente: Creación propia

## 11. Célula de carga

Tras realizar el diseño del mecanismo, se procedió a trabajar sobre la parte de electrónica empezando por la célula de carga. El modelo empleado es el CTC K1500 de Dinacell. Esta célula de carga utiliza un puente de Winston completo para su funcionamiento (Figura 30), que consiste en un circuito de cuatro resistencias que es excitado en los extremos por un voltaje y mide las variaciones de voltaje en los puntos intermedios. Estas variaciones serán causadas por las deformaciones ocasionadas por las cargas.

### Diagrama de trabajo

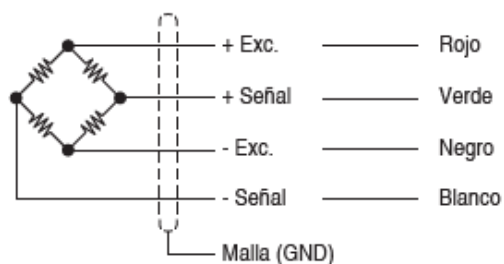
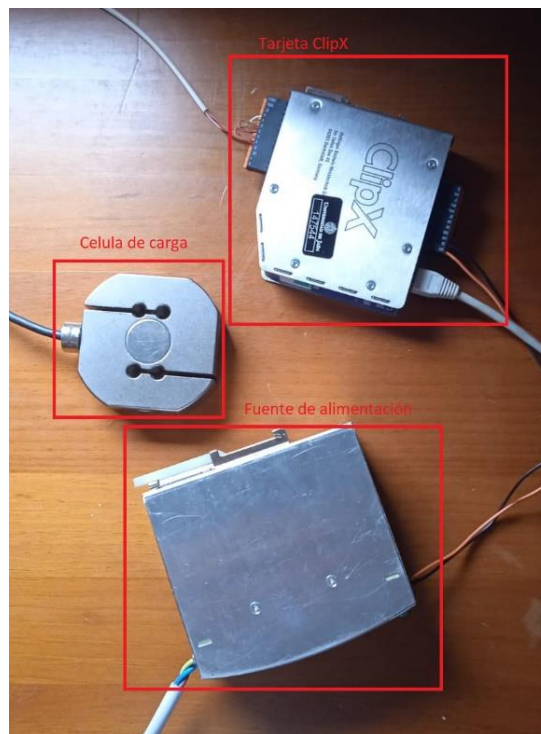


Figura 30: Esquema trabajo célula de carga

Fuente: (Dinacell, 2022)

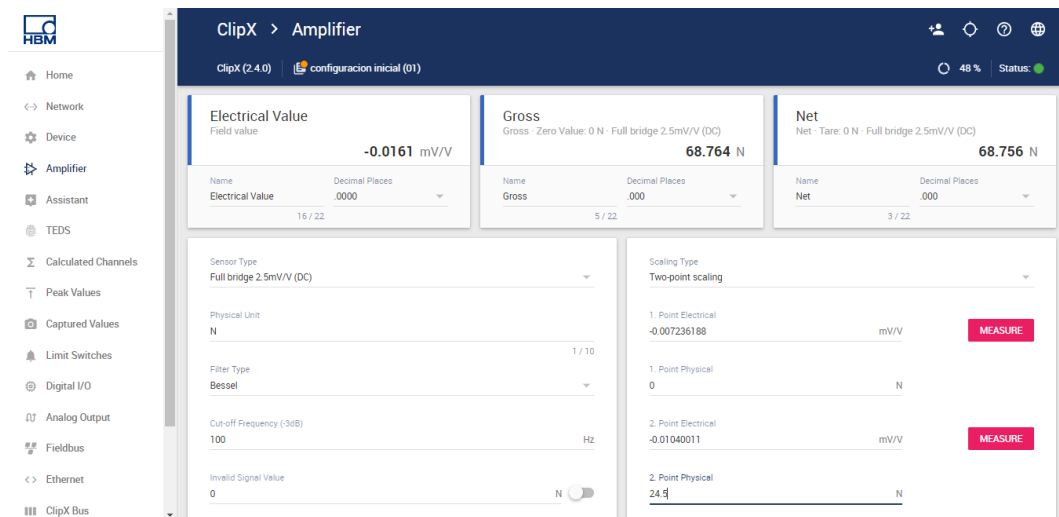
Para acondicionar la señal se emplea una tarjeta HBM ClipX BM40. Este elemento facilita significativamente la lectura de los valores obtenidos por la célula de carga ya que mediante el software proporcionado por el fabricante es capaz de acondicionar la señal de una forma muy sencilla. Para hacer que funcione únicamente es necesario realizar el montaje que se observa en la figura 31, donde se observa cómo la fuente de alimentación aporta el voltaje necesario a la tarjeta ClipX, que se conecta con la célula de carga y mediante un cable ethernet al ordenador.



**Figura 31: Montaje célula de carga**

**Fuente: Creación propia**

Una vez realizado el montaje, es necesario configurar la tarjeta para que realice una lectura correcta de la señal emitida por la célula de carga. Para esto se empleará la interfaz que se encuentra en la figura 32. En ésta se puede observar en la parte superior izquierda la variación de voltaje medida por la célula de carga y a su derecha los valores de fuerza que a los que equivale estas variaciones. Para que estas medidas de la fuerza sean correctas, es necesario en primer lugar calibrar la célula de carga, para esto se emplea la parte inferior derecha de la interfaz en la que se puede observar cómo es necesario emplear dos puntos para la calibración.



**Figura 32: Calibración célula de carga**

**Fuente: Creación propia**

Además de la obtención de los dos valores para la calibración, se consideró interesante realizar más mediciones con distintas cargas para asegurar la linealidad en las mediciones de la célula de carga, así como su exactitud para niveles bajos de carga. Esto último se debe a que la carga nominal es de 1500 kg, mientras que las fuerzas a las que vamos a someterla en este caso no van a ser superiores a 80 kg.



**Figura 33: Montaje calibración célula de carga**

**Fuente: Creación propia**

Para realizar estas mediciones se realizó el montaje que se observa en la figura 33. En él se incrustó una tuerca en un tablón que sirve para mantener perpendicular la célula de carga y de este modo se procedió a ir añadiendo una carga progresiva mediante una serie de pesos calibrados hasta llegar a 20 kg. Los resultados de este análisis se observan en la figura 34, en la que se observa cómo  $R^2$  es prácticamente 1, lo que corrobora que la relación es lineal.

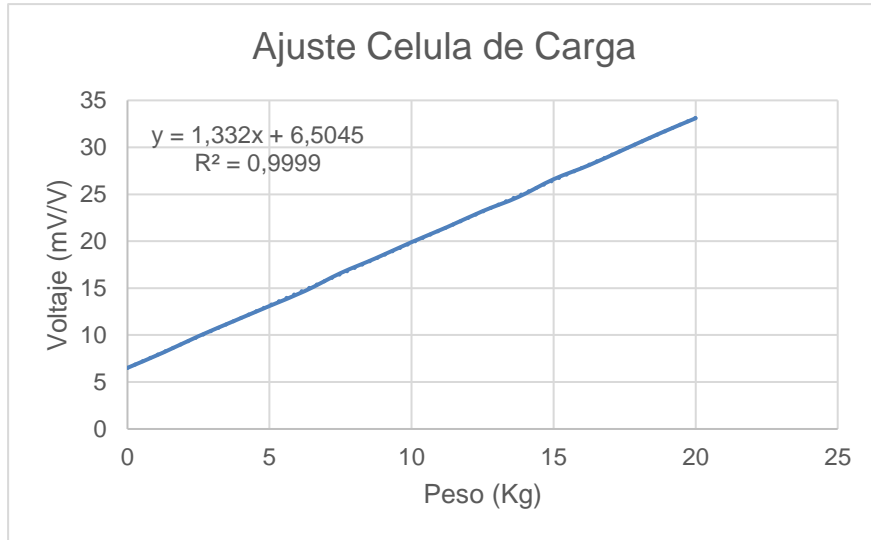


Figura 34: Grafica calibración célula de carga

Fuente: creación propia

Finalmente, se procedió a configurar la salida que es enviada a la tarjeta NI. Esto se hace mediante la interfaz que se encuentra en la figura 36 Esta fue configurada para aportar un voltaje de entre 0 y 10V proporcional a la fuerza sobre la célula de carga tomando como valor máximo 500 N.

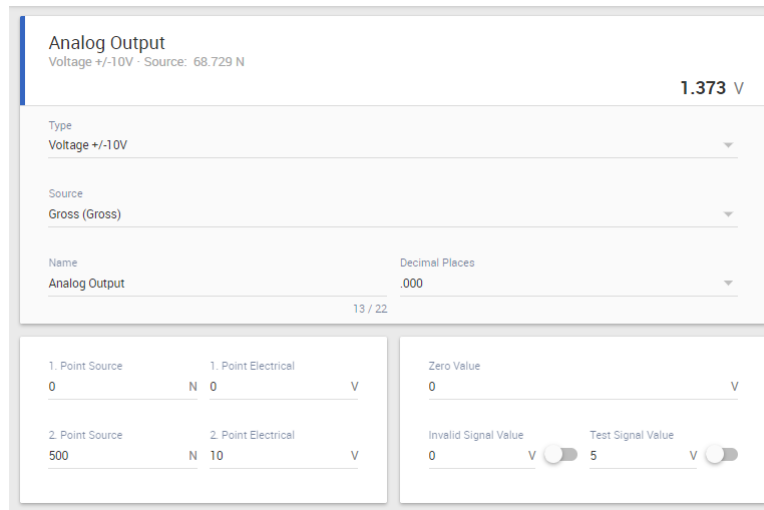


Figura 35: Interfaz configuración salida ClipX

Fuente: creación propia

## 12.Actuador

El actuador empleado es un cilindro LEY32RC-100-S3, que tiene una elongación de hasta 100 mm y es capaz de ejercer una fuerza máxima de 80 kg fuerza. Este elemento será controlado mediante un software de realización propia que se describe posteriormente. Sin embargo, en primer lugar, se empleó el modo de funcionamiento de test para comprobar el correcto funcionamiento del cilindro.



Figura 36: Montaje cilindro modo TEST

Fuente: creación propia

Para emplear este modo se utiliza el montaje que se muestra en la figura 36, en ella se encuentran dos elementos principales. Por un lado, el cilindro que está conectado a la tarjeta controladora, que a su vez está conectada a la fuente de alimentación y al ordenador.

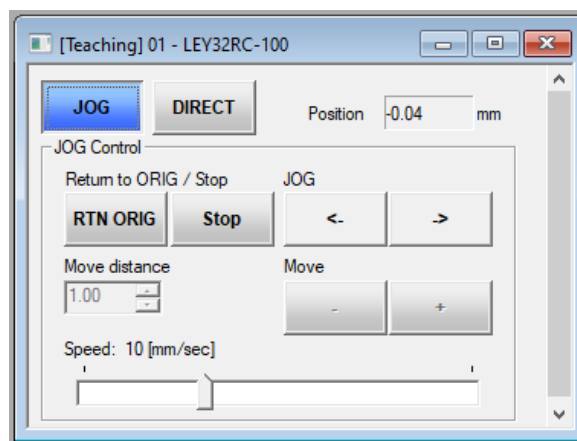


Figura 37: Modo Test cilindro

Fuente: creación propia

El modo test funciona con la sencilla ventana que se encuentra anteriormente, observando los siguientes elementos:

En la parte superior derecha encontramos la posición actual en la que se encuentra el cilindro.

En la parte central derecha encontramos dos botones. RTN ORIG que nos permite volver al origen, lo cual es obligatorio una vez el cilindro está arrancado. Stop para detener el movimiento del cilindro

En la parte inferior se encuentran los elementos para mover el cilindro donde se puede determinar la distancia, la velocidad y la dirección.

Una vez confirmado el correcto funcionamiento del cilindro, se procedió a realizar el montaje para su control de forma electrónica. Para esto se empleó el bornero y la tarjeta NI junto con un circuito intermedio. Este circuito es necesario ya que el bornero trabaja a 24 V, mientras que la tarjeta NI trabaja a 5V. Como se puede observar en la imagen, este circuito, que se replicará por las cinco entradas que emplearemos del bornero, consta de un optoacoplador 4N35 y una resistencia.

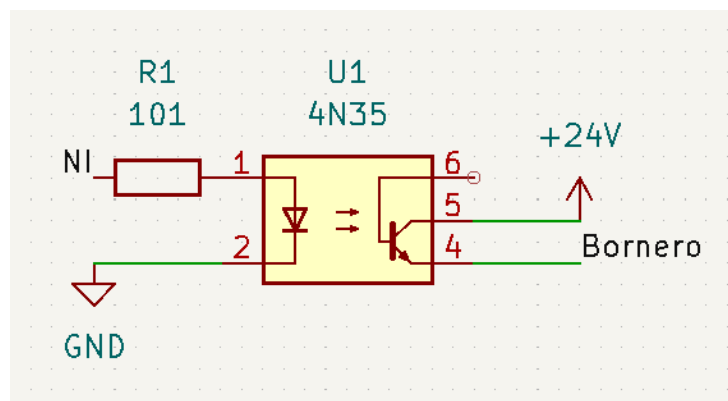


Figura 38: Esquema circuito electrónico

Fuente: creación propia

El bornero consta de diversas entradas y salidas, las cuales permiten realizar distintas funciones para controlar completamente el cilindro mediante el uso de distintas funciones precargadas. Así mismo, existen distintas salidas que aportan información de la situación actual del cilindro y que se indican en las siguientes tablas.

| Nombre       | Codificación | Función  |
|--------------|--------------|--|
| <b>COM +</b> | A1           | Alimentación 24V DC  |
| <b>COM -</b> | A2           | Alimentación 0V DC   |
| <b>IN0</b>   | A3           | Estas entradas sirven para indicar codificado en binario la función precargada en el cilindro que se desea realiza |
| <b>IN1</b>   | A4           |  |
| <b>IN2</b>   | A5           |  |
| <b>IN3</b>   | A6           |  |
| <b>IN4</b>   | A7           |  |
| <b>IN5</b>   | A8           |  |
| <b>SETUP</b> | A9           | Volver a origen  |
| <b>HOLD</b>  | A10          | Detiene el actuador  |
| <b>DRIVE</b> | A11          | Comienza la función indicada por A3-A8   |
| <b>RESET</b> | A12          | Elimina las alarmas  |
| <b>SVON</b>  | A13          | Desbloquea el motor  |

Figura 39: Tabla entradas al bornero

Fuente: creación propia

| Nombre       | Codificación | Función  |
|--------------|--------------|--|
| <b>OUT0</b>  | B1           | Indica cual es la función que se está activando  |
| <b>OUT1</b>  | B2           |  |
| <b>OUT2</b>  | B3           |  |
| <b>OUT3</b>  | B4           |  |
| <b>OUT4</b>  | B5           |  |
| <b>OUT5</b>  | B6           |  |
| <b>BUSY</b>  | B7           | Se activa cuando el cilindro está en movimiento  |
| <b>AREA</b>  | B8           | Se activa el estado del controlador en modo área |
| <b>SETON</b> | B9           | Indica si esta activada SVON                     |

|              |     |   |
|--------------|-----|---|
| <b>INP</b>   | B10 | Indica cuando ha terminado la acción del actuador   |
| <b>SVRE</b>  | B11 | Indica si el par está habilitado                    |
| <b>ESTOP</b> | B12 | Indica si hay una parada de emergencia o un bloqueo |
| <b>ALARM</b> | B13 | Se desactiva cuando hay una alarma activa           |

Figura 40: Tabla salidas del bornero

Fuente: creación propia

De estas entradas y salidas, únicamente se emplearán las siete que se indican a continuación ya que el resto no son necesarias en este proyecto.

- A1 y A2, las cuales son imprescindibles ya que, de no estar conectadas a una corriente de 24V que aporta potencia al bornero, este no funcionaría.
- A3 y A4, que son necesarias para indicar cual función se desea ejecutar. Al emplear únicamente cuatro funciones, no será necesario emplear más entradas para indicar la función.
- A9, es la función que busca el origen del cilindro, que es necesaria cada vez que se inicia el funcionamiento del cilindro.
- A11, es la función que indica el comienzo de la función que se desea ejecutar.
- A13, desbloquea el cilindro, por lo tanto, es necesario que esté activada antes y durante cualquier movimiento del mismo.

Inicialmente se empleó el software DAQExpress para de una forma sencilla comprobar el correcto funcionamiento del circuito controlado mediante el bornero. Para esto, se empleó la configuración que se muestra en la imagen junto con la ventana de status del software del controlador del cilindro. Así, pulsando los botones se puede comprobar si están activando de forma correcta el bornero.

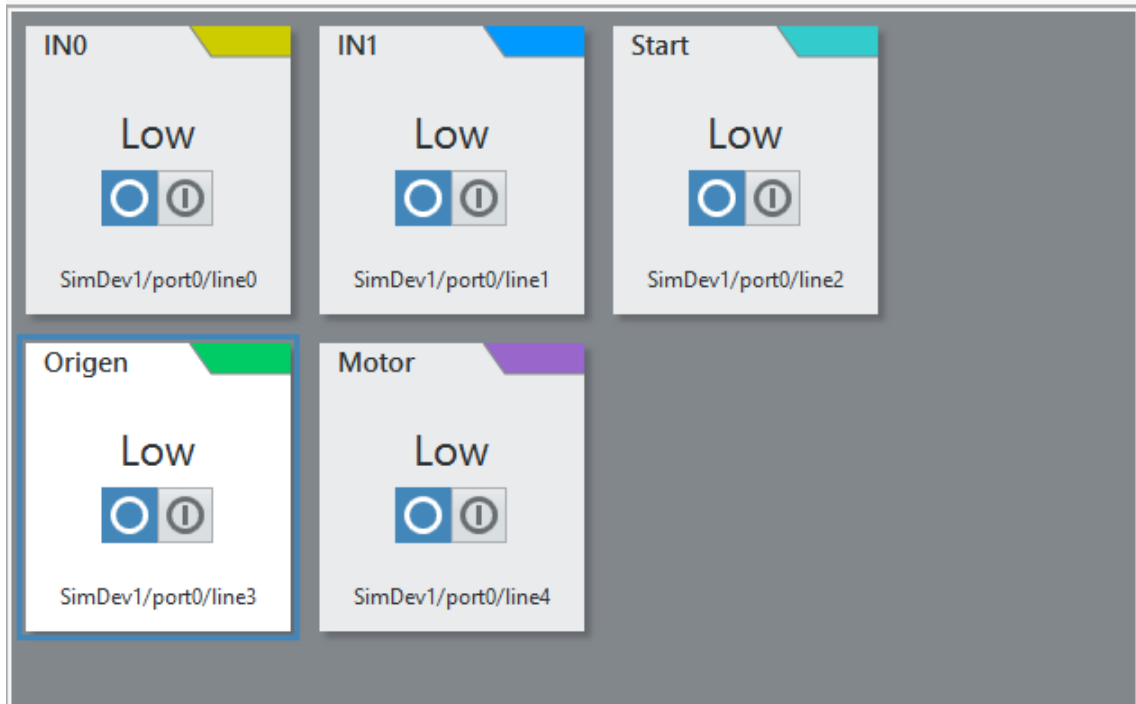


Figura 41: Interfaz DAQExpress

Fuente: creación propia

Finalmente, se configuraron las distintas funciones que se van a emplear ya que el cilindro actúa mediante funciones precargadas. El cilindro puede tener hasta 64 funciones, que son numeradas y para llamarlas, es necesario introducir el número en binario de la función deseada en las entradas A3-A8 del bornero. Únicamente se han configurado 4 funciones, las cuales son las que se muestran en la imagen que permiten desplazar 10 mm, 5 mm, 1 mm y 0.1 mm respectivamente

### 13.LabView

Para recopilar la información procedente de la célula de carga y enviar las señales de control adecuadas al cilindro, se empleará una tarjeta National Instruments USB6002. Este elemento es alimentado mediante una conexión micro USB y cuenta con distintas conexiones tanto analógicas como digitales. Mediante un código en LabView se puede controlar el comportamiento de las distintas salidas, así como recopilar y adecuar la información procedente de los otros elementos.

En cuanto a la recopilación de datos procedentes de la célula de carga, como se había mencionado anteriormente, de la tarjeta ClipX se obtiene una señal de hasta 10 V, la cual es proporcional a la carga que está sometido el sensor. Por lo tanto, para poder observar la fuerza que se ejerce, se emplearon tres elementos. Por un lado, una función que lee la señal que está recibiendo la entrada analógica; en segundo lugar, una función que transforme el valor del voltaje en la fuerza equivalente y, finalmente, un display que muestre la fuerza ejercida.

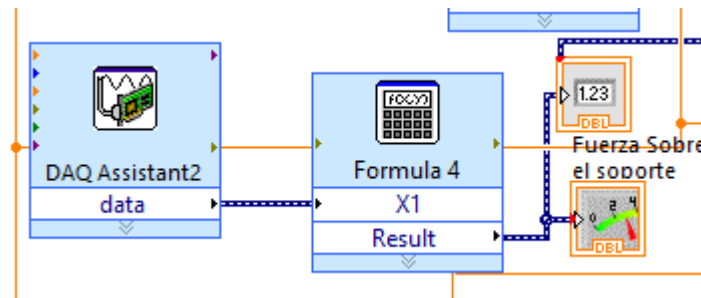


Figura 42: Lectura de datos célula de carga

Fuente: creación propia

En la imagen anterior se pueden observar los elementos que se habían mencionado anteriormente de izquierda a derecha. Sin embargo, se ha observado que la fuerza en vacío no coincide con la fuerza estimada teóricamente. Esto se puede deber a posibles rozamientos que bloquean parcialmente el mecanismo haciendo que la transmisión de fuerzas no sea la deseada. Para solventar esto, se ha añadido en la interfaz un lugar en el que indicar la carga en vacío para que de esta forma ajustar los cálculos a este valor. A partir de esto, encontramos un display que muestra la fuerza ejercida en la barra con la corrección y una estimación del peso sobre el mecanismo.

El funcionamiento del cilindro será más complejo por varios factores. En primer lugar, el voltaje proveniente del bornero y el del funcionamiento de la tarjeta NI son diferentes, por lo tanto, será necesario emplear unos optoacopladores 4N35. Como se puede observar, este circuito consta de dos circuitos separados, por un lado, un circuito que activa un diodo led y, por otro, un circuito en el que encontramos un sensor normalmente abierto que es activado por la luz emitida por el diodo.

En cuanto al software realizado en LabVIEW, constará de dos partes principales. En la parte inicial, encontramos distintas funciones que actúan constantemente en las

que se encuentran distintos elementos junto con distintas funciones para su correcto funcionamiento:

- Un botón que sirve para devolver al cilindro al origen.
- Un indicador del ángulo actual en el que se encuentra el pistón.
- Un dial que recoge el ángulo objetivo.
- Dos indicadores que nos indican la fuerza medida por la célula de carga y la fuerza estimada sobre el soporte.
- Una función que desbloquea el motor.

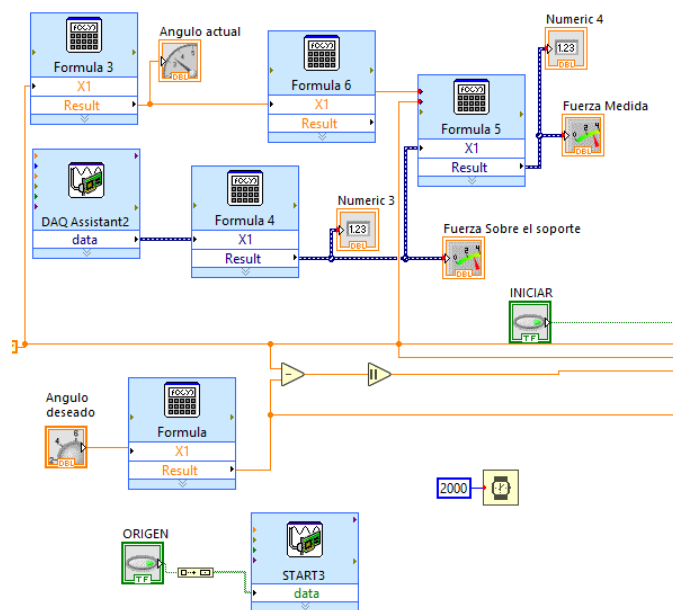


Figura 43: Parte funcionamiento continuo LabView

Fuente: creación propia

Por otra parte, se diseñó un ciclo que se ejecuta al activar el botón de inicio y cuya función es ir enviando las órdenes al cilindro para que se vaya desplazando. En primer lugar, se encuentra un ciclo que permite determinar el desplazamiento que se va a realizar, mientras que el segundo ciclo consta de tres partes. Una primera en la cual se determina cual será la orden que se debe mandar al cilindro, una segunda etapa que ordena que comience esta función, y una última etapa que desactiva la función de inicio.

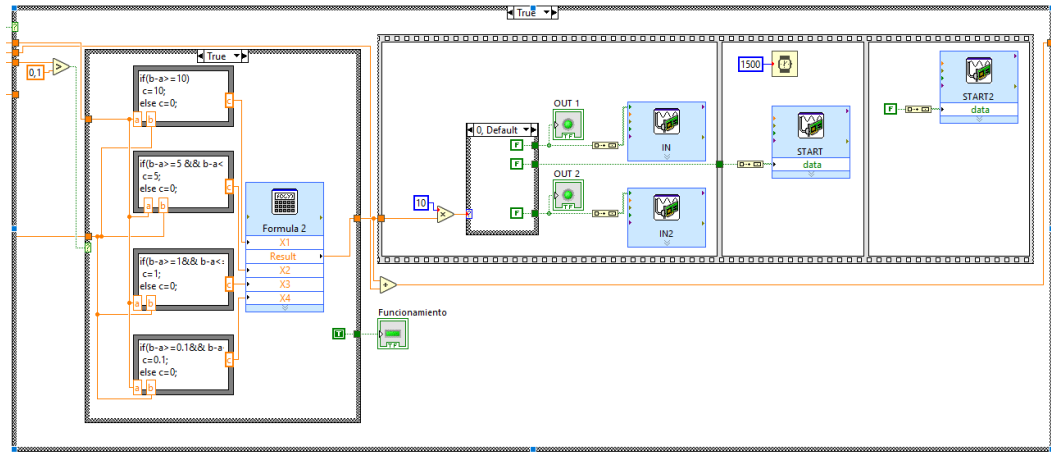


Figura 44: Ciclo LabVIEW

Fuente: creación propia

Finalmente, se creó la interfaz que se muestra en la figura 46, cuyos elementos se pasa a describir a continuación. Por un lado, tenemos dos indicadores en la parte inferior derecha que nos muestran la fuerza medida por la célula de carga, la fuerza con la corrección y la carga estimada sobre el mecanismo. En la parte superior derecha tenemos tres botones que nos permiten iniciar el movimiento, volver al origen y pausar el programa. A la izquierda de los botones encontramos tres indicadores que nos indican cual es la función que se está ejecutando en el cilindro y si el mismo está en movimiento. Finalmente, a la izquierda encontramos dos indicadores, uno que nos muestra el ángulo actual y otro que nos permite seleccionar el ángulo objetivo. En el anexo 3 se encuentra una guía sobre el funcionamiento del programa.

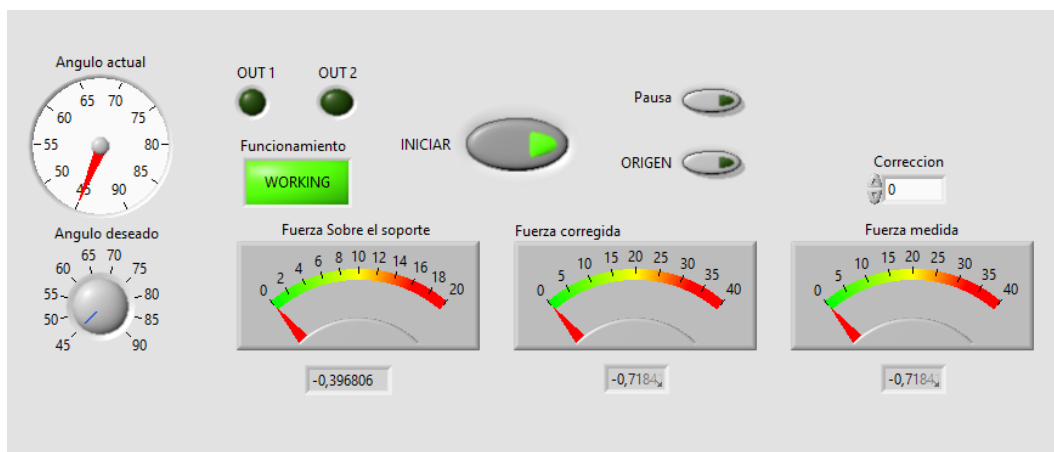


Figura 45: Interfaz LabVIEW

Fuente: creación propia

## 14.Montaje

Finalmente se procedió a conectar todos los elementos electrónicos empleados en una caja comercial que contiene un carril DIN que es compatible con la mayoría de elementos. Así mismo, se emplearon distintos elementos de sujeción para los que no tenían conexión para el carril DIN.

Tras conectar todo y comprobar el funcionamiento, se observó cómo la célula de carga, cuando el cilindro está en funcionamiento, da valores bastante erráticos. Se barajó la posibilidad de que estas variaciones fueran ocasionados por una deficiencia de la fuente de alimentación que no era capaz de aportar un voltaje constante a todos los elementos, pero tras conectar la célula de carga a una fuente independiente, se observó que el comportamiento era similar.

Así mismo, se procedió a analizar el comportamiento del mecanismo en cinco estados para distintas posiciones. De esta forma, analizar la relación entre la fuerza medida y el peso sobre el mecanismo para comprobar si los cálculos teóricos se corresponden con los reales.

| Angulo       | PESO |     |      |     |
|--------------|------|-----|------|-----|
|              | 2,5  | 5   | 7,5  | 10  |
| <b>43,56</b> | 3,8  | 8,5 | 12,5 | 19  |
| <b>45</b>    | 3,5  | 9,5 | 14,4 | 18  |
| <b>50</b>    | 3,6  | 7,5 | 10,5 | 15  |
| <b>55</b>    | 3,2  | 7,2 | 9,4  | 13  |
| <b>60</b>    | 3    | 7,5 | 8,6  | 12  |
| <b>65</b>    | 2    | 4,4 | 6,7  | 9,5 |
| <b>70</b>    | 2,2  | 4   | 6,6  | 8,2 |
| <b>75</b>    | 1,5  | 3   | 4    | 6   |
| <b>80</b>    | 1    | 2,2 | 4    | 5   |

Figura 46: Valores de fuerza medidos para distintos ángulos y cargas

Fuente: creación propia

| Angulo       | Medido | Teorico | Error |
|--------------|--------|---------|-------|
| <b>43,56</b> | 1,68   | 1,81    | 7,02  |
| <b>45</b>    | 1,85   | 1,73    | 6,97  |
| <b>50</b>    | 1,47   | 1,48    | 0,48  |
| <b>55</b>    | 1,29   | 1,26    | 2,75  |

|           |      |      |       |
|-----------|------|------|-------|
| <b>60</b> | 1,20 | 1,05 | 13,76 |
| <b>65</b> | 0,89 | 0,87 | 2,11  |
| <b>70</b> | 0,85 | 0,69 | 23,04 |
| <b>75</b> | 0,60 | 0,52 | 15,76 |
| <b>80</b> | 0,47 | 0,35 | 35,24 |

Figura 47:Error en distintos ángulos

Fuente: creación propia



Figura 48: Grafica Error Angulo

Fuente: creación propia

Como se puede observar, en ángulos pequeños el comportamiento es bastante aproximado, sin embargo, mientras aumenta el ángulo el error se dispara. Esto posiblemente sea debido a que para los ángulos mas grandes los valores de fuerza medidos son mas reducidos y esto puede ocasionar una mayor imprecisión en la medida.

## 15. Conclusiones

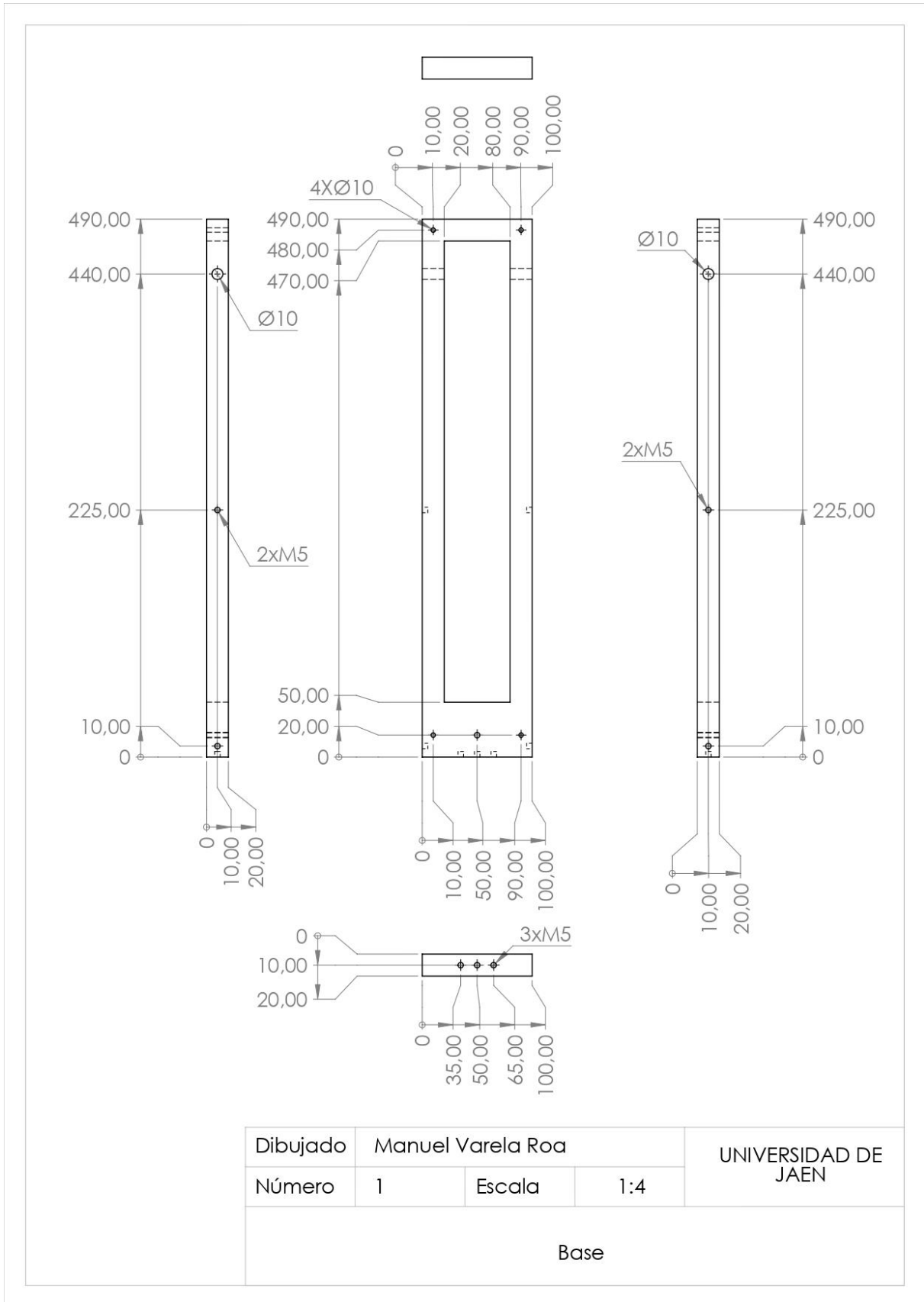
Tras analizar el comportamiento del mecanismo, se puede observar como este corrobora en gran medida los cálculos de estática de máquinas realizados, permitiendo comprobar dos hipótesis principalmente.

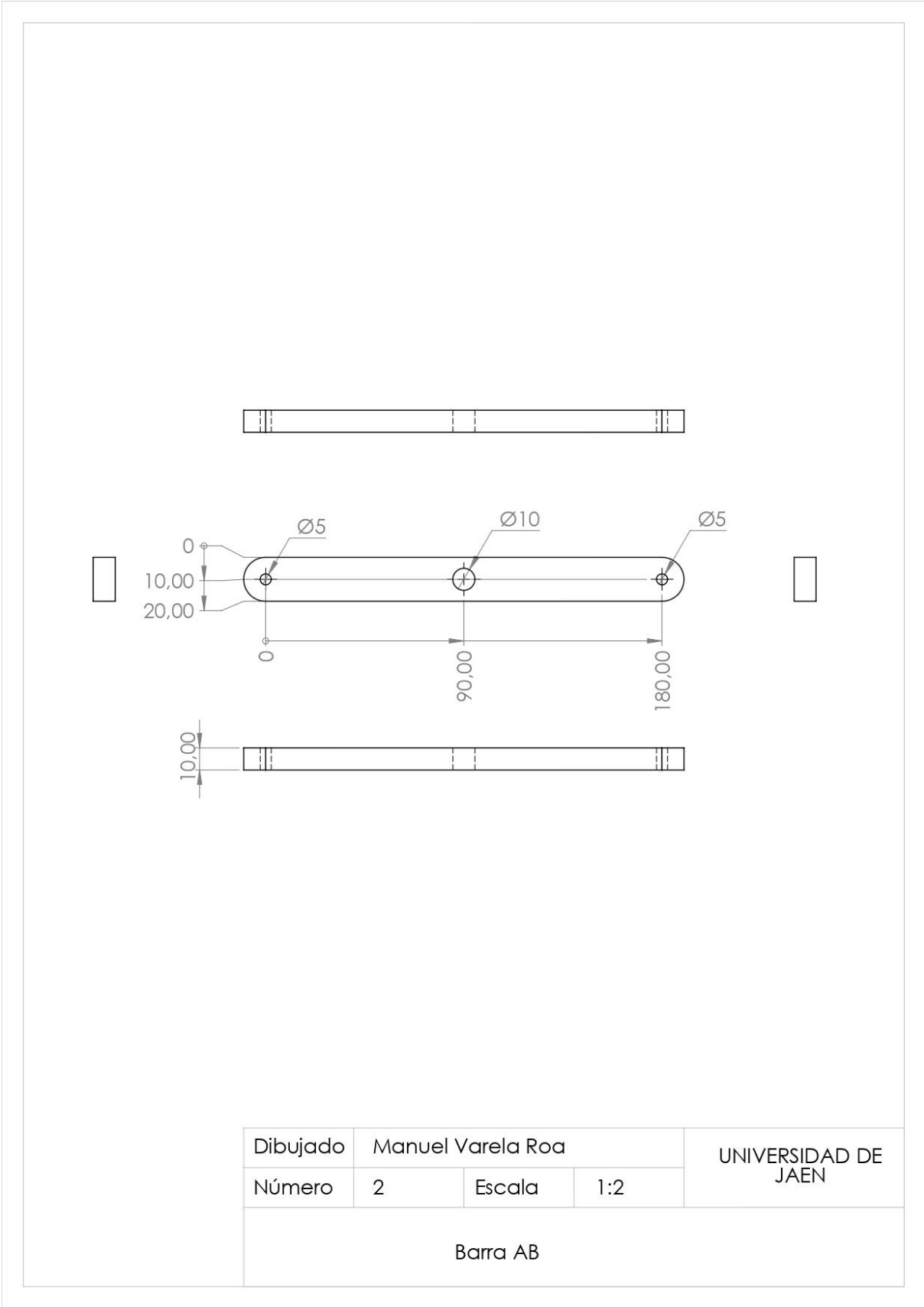
- La fuerza que debe ejercer el cilindro para sostener el peso se corresponde en gran medida con los cálculos teóricos
- La hipótesis de que la posición de la carga sobre la plataforma superior no afecta a la fuerza ejercida se corrobora completamente.

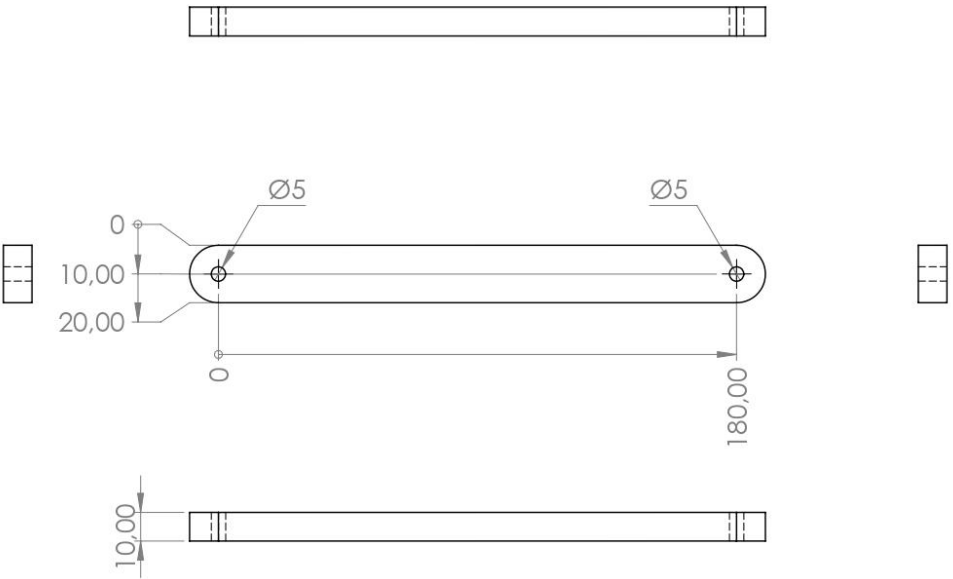
Sin embargo, también se observan distintos fallos y posibles mejoras futuras. Entre los cuales se pueden destacar dos principalmente:

- Las mediciones de la célula de carga tienen demasiada variabilidad. Esto puede deberse a la sensibilidad de la célula de carga o al funcionamiento del propio cilindro. Por lo tanto, sería necesario analizar estos elementos y barajar su sustitución por otros que nos permitan medir la fuerza con mayor exactitud.
- En segundo lugar, tras observar cómo los ángulos intermedios son aquellos que nos aportan valores más interesantes, se debería haber enfocado el diseño en poder trabajar más en estos valores que en poder llegar a los ángulos más grandes.

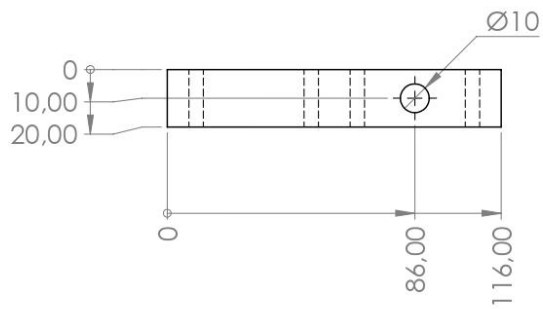
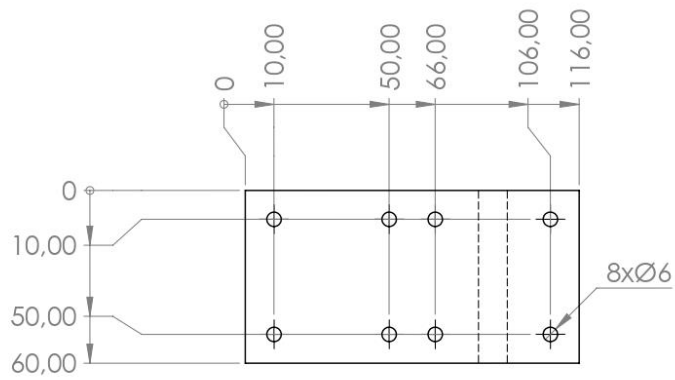
**ANEXO 1: Planos**



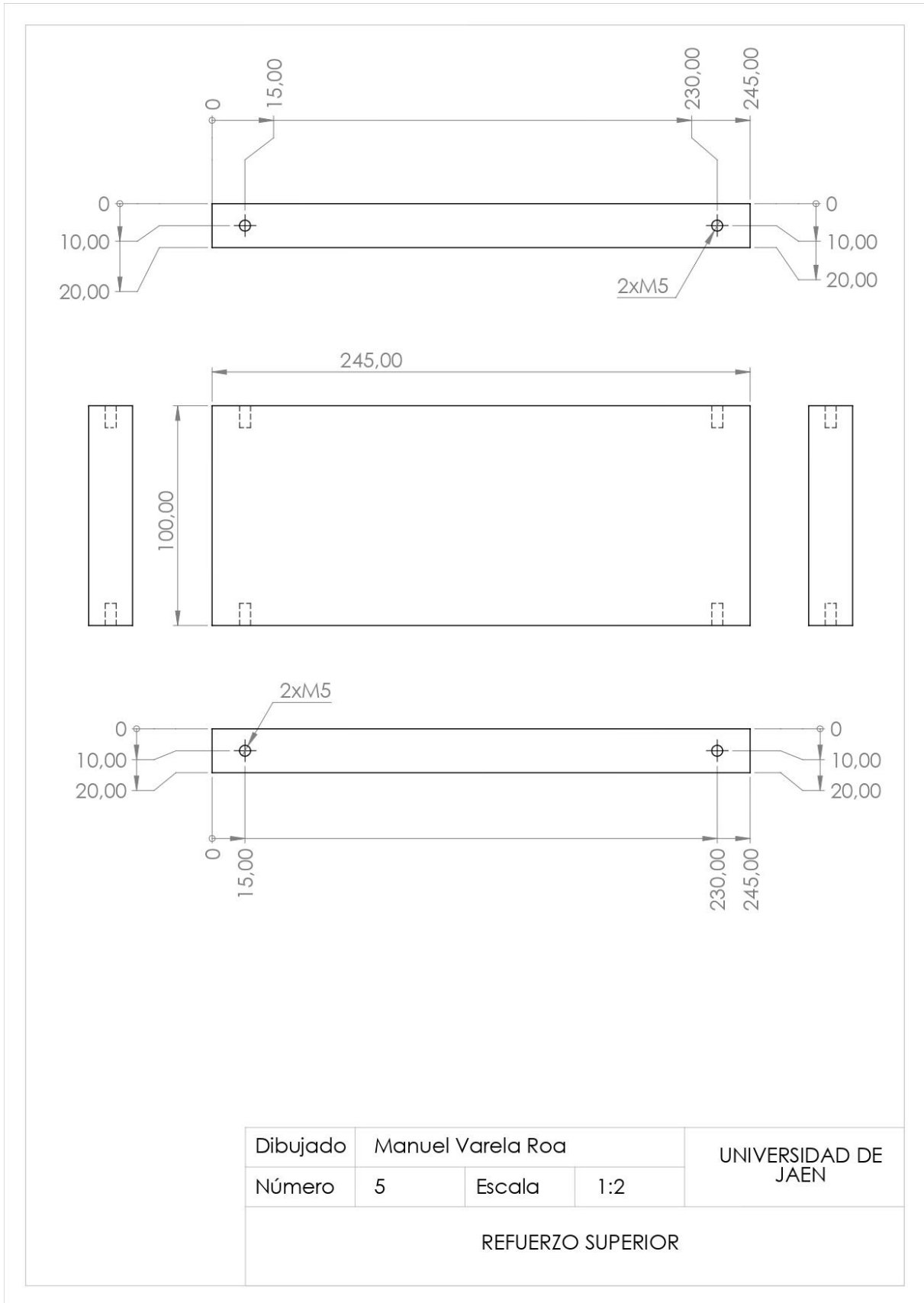


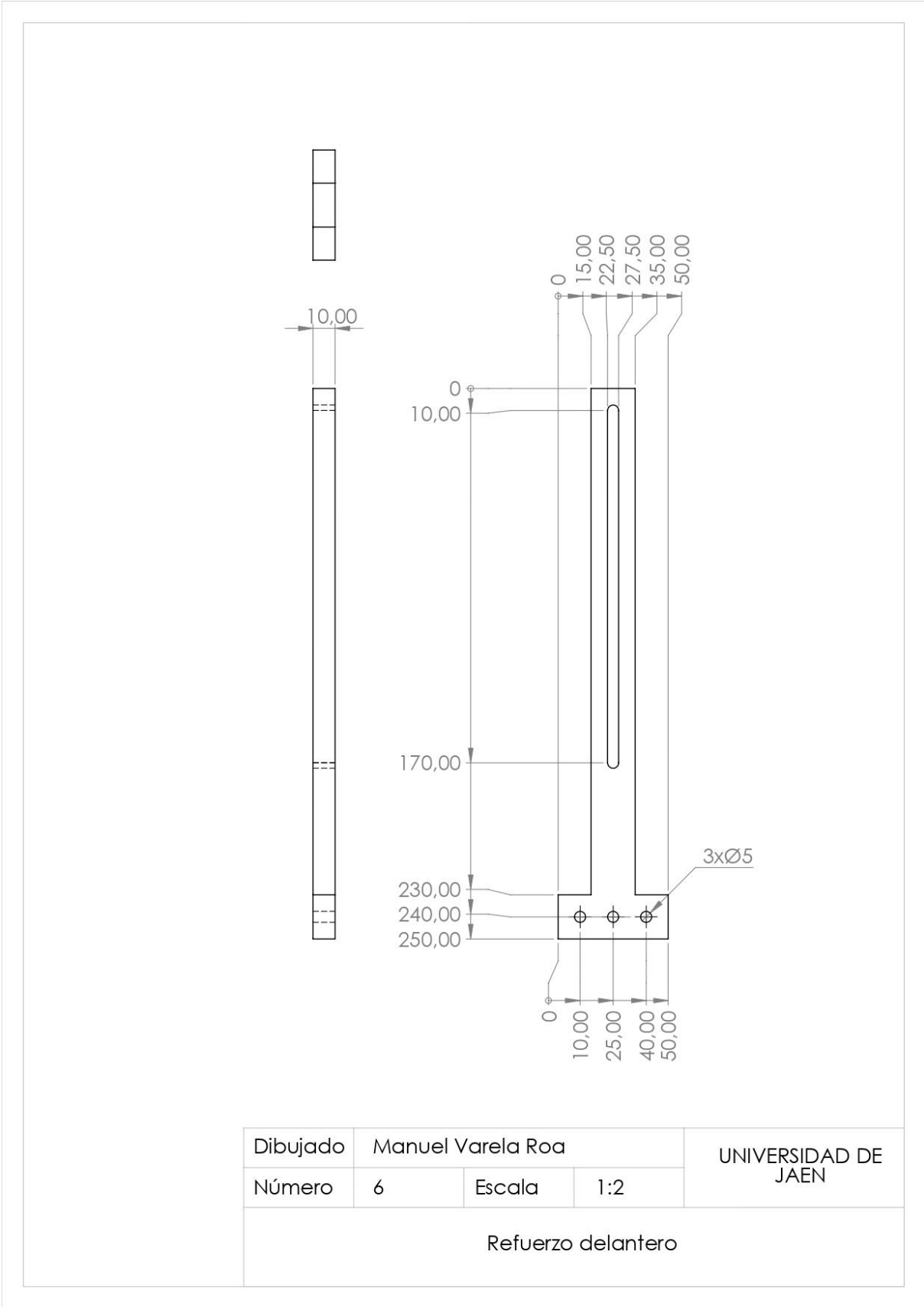


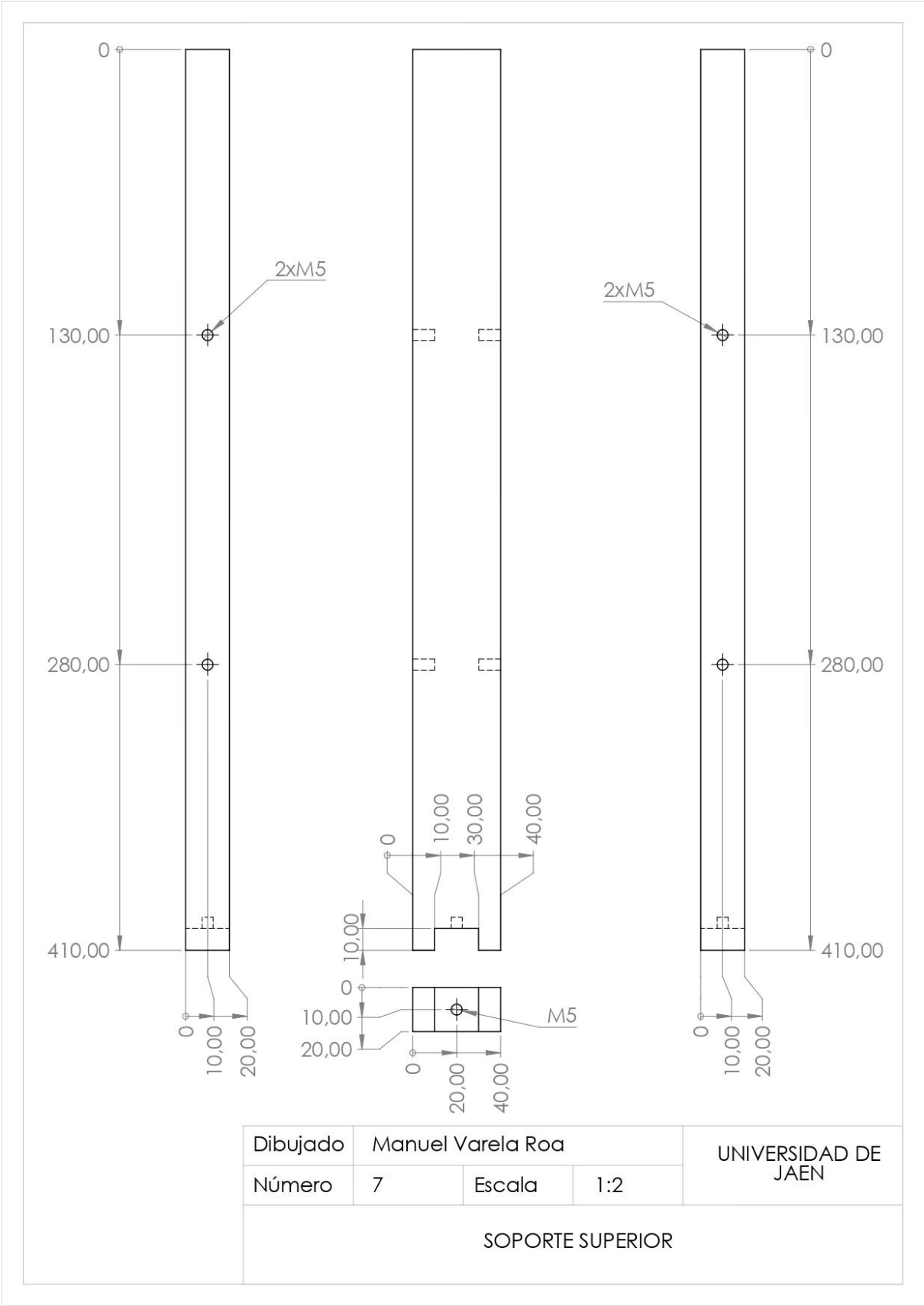
|          |                   |        |     |                     |
|----------|-------------------|--------|-----|---------------------|
| Dibujado | Manuel Varela Roa |        |     | UNIVERSIDAD DE JAÉN |
| Número   | 3                 | Escala | 1:2 |                     |
| Barra CD |                   |        |     |                     |

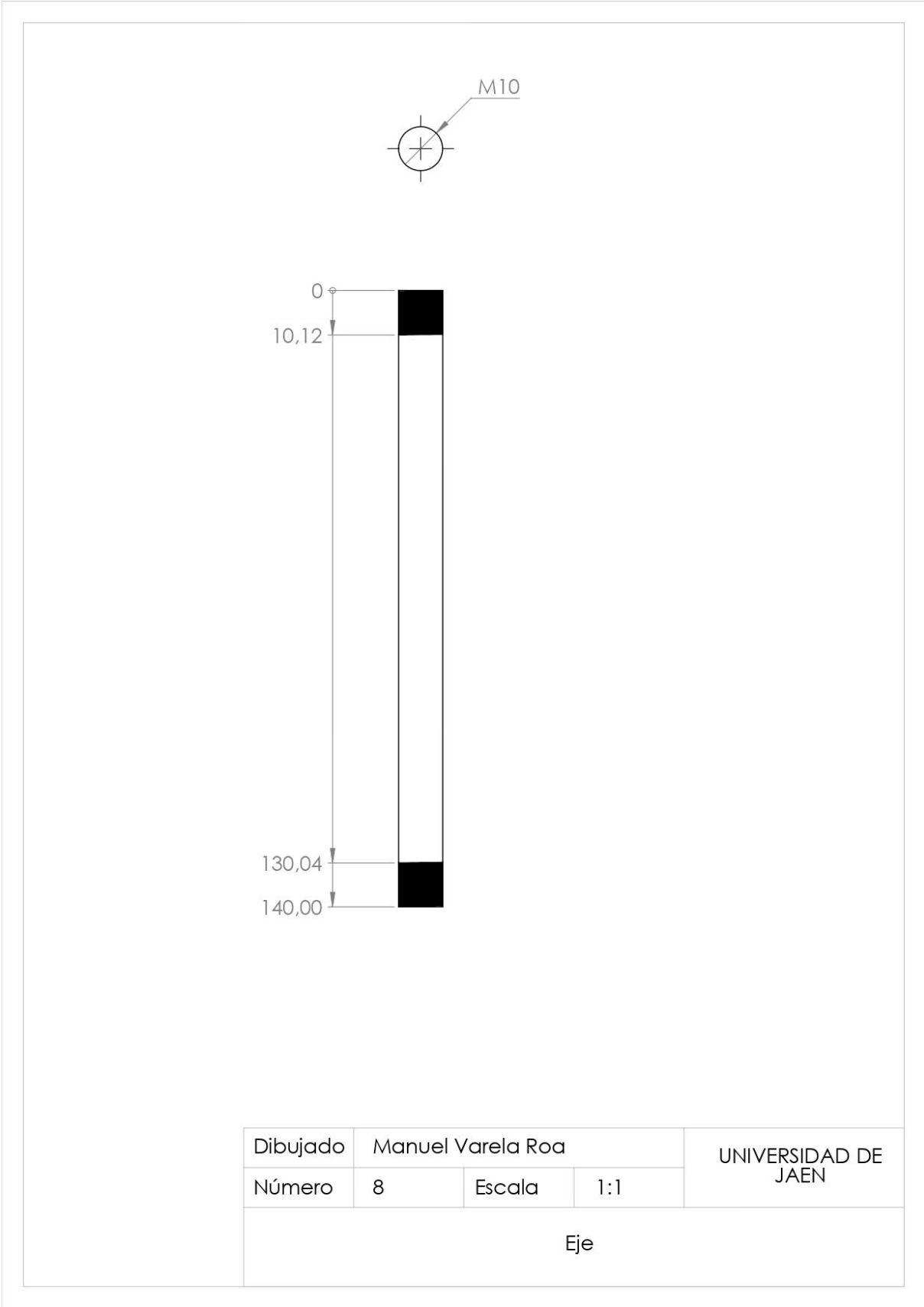


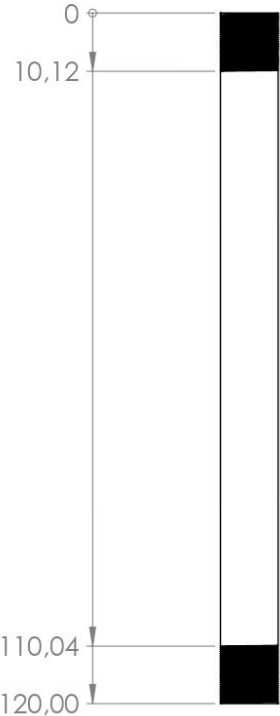
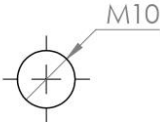
|               |                   |        |     |                        |
|---------------|-------------------|--------|-----|------------------------|
| Dibujado      | Manuel Varela Roa |        |     | UNIVERSIDAD DE<br>JAÉN |
| Número        | 4                 | Escala | 1:2 |                        |
| BASE CILINDRO |                   |        |     |                        |











|              |                   |        |     |                     |
|--------------|-------------------|--------|-----|---------------------|
| Dibujado     | Manuel Varela Roa |        |     | UNIVERSIDAD DE JAÉN |
| Número       | 9                 | Escala | 1:1 |                     |
| Eje Cilindro |                   |        |     |                     |

## ANEXO 2: CERTIFICADO CELULA DE CARGA



C/ EL TORNO, 8 POL. IND. "SANTA ANA"  
RIVAS-VACIAMADRID 28529 (MADRID)  
TEL: + 34 91 300 14 35 FAX: + 34 91300 16 45  
CIF. : B-80872823

Ref.: I.N°: IC090714-245

### Informe de calibración/Calibration report

Tipo de célula / Type of load cell.....: CTC  
Capacidad / Capacity .....: 1500 kilos  
Nº. de serie / Serial Nº.....: 9P209 M5  
Fecha de fabricación / Date of fabrication.....: 21-01-09  
Cliente / Customer .....: UNIVERSIDAD DE JAEN

#### Características técnicas / Technical Characteristic :

Resistencia de aislamiento / (V.test = 100V)  
Insulation resistance .....: >4000 M $\Omega$   
Cable / Cable.....: 5 m  
Protección / Protection .....: IP 67

**Equipo utilizado:** Máquina universal de ensayos ME-405/25 controlada por ordenador.  
Célula patrón tipo U2A de HBM

#### Condiciones de ensayo / Test conditions:

Tensión de excitación / Tension of excitation .....: 5V

#### Resultados del test/ Test results:

Sensibilidad / Sensibility.....: 2.003mV/V  
Valor de cero /Zero balance.....: 0.005 mV/V  
Impedancia de entrada/ input impedance.....: 350  $\Omega$   
Impedancia de salida/output impedance.....: 350  $\Omega$

#### Conexión / Connection:

| <u>Función / Function</u>   | <u>Cable / Cable</u> |
|-----------------------------|----------------------|
| Excitación / Excitation (+) | Rojo / Red           |
| Excitación / Excitation (-) | Negro / Black        |
| Señal / Signal (+)          | Verde / Green        |
| Señal / Signal (-)          | Blanco / White       |

#### Observación / Remarks:

.....

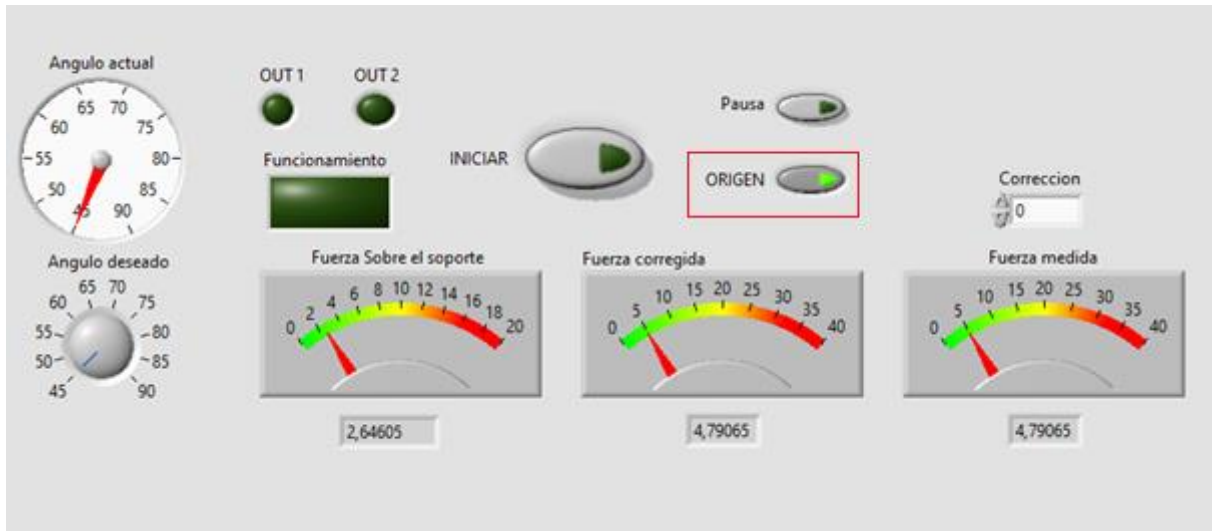
Ensayo realizado por:

Departamento de Producción

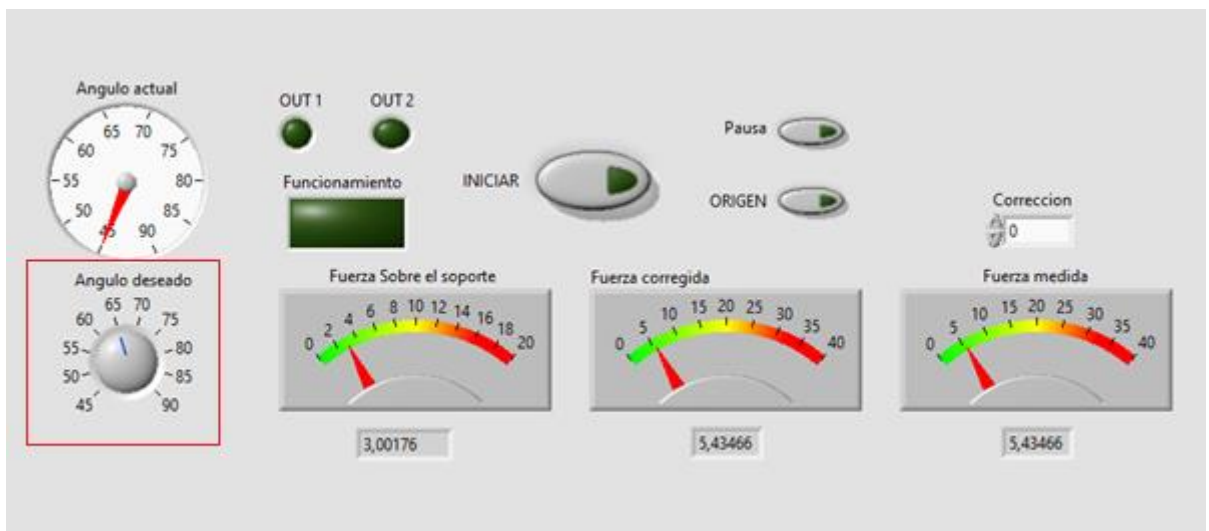
Fecha / Date : 14 de Julio de 2009

### ANEXO 3: GUIA DE FUNCIONAMIENTO

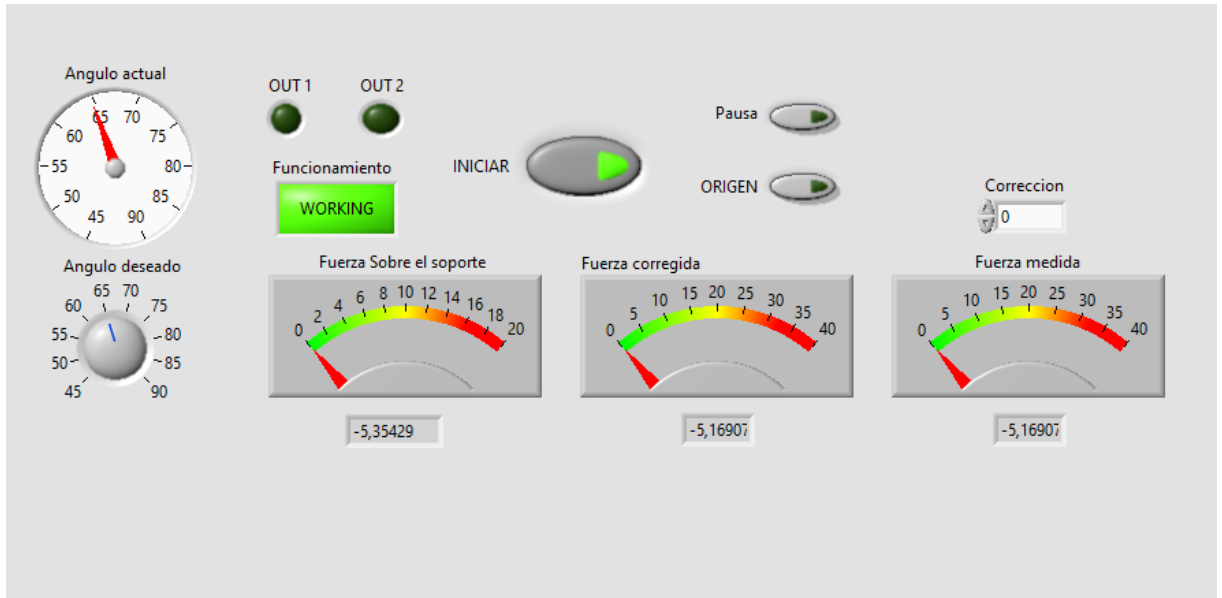
El primer paso al conectar el cilindro siempre debe ser devolver el cilindro al origen. Esto es obligatorio antes de llevar el cilindro a la posición deseada ya que en el caso contrario generaría una alarma en el controlador y sería necesario reiniciar.



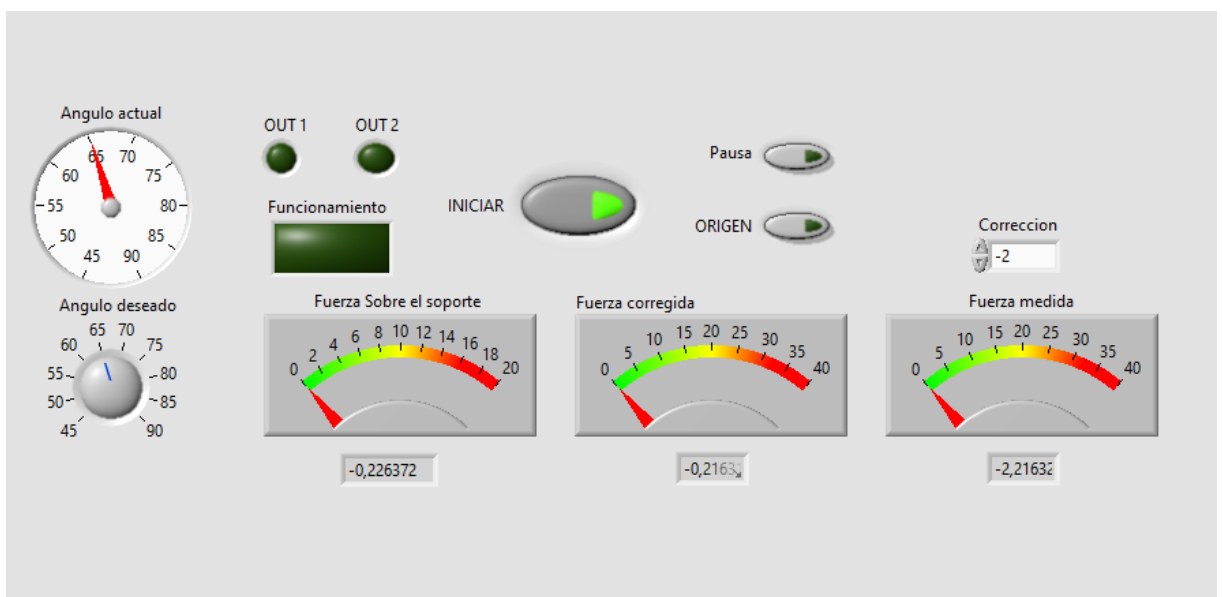
Tras terminar el movimiento del origen se desactivará manualmente el botón y se indicará en la parte inferior derecha el ángulo deseado.



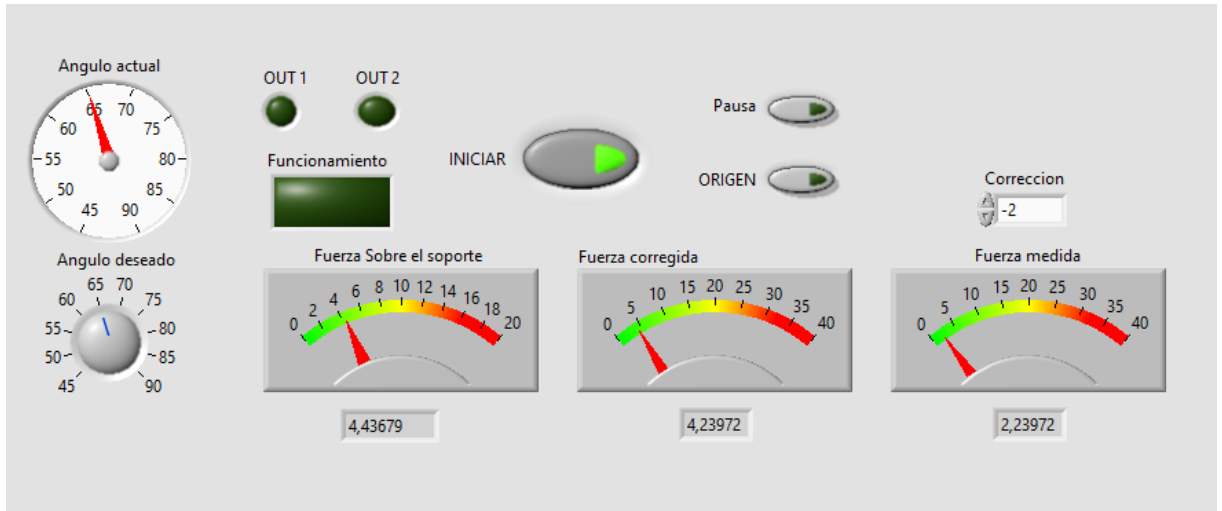
Tras esto, se pulsará el botón “INICIAR” tras lo cual se activará el led de funcionamiento y se observada en el display del ángulo actual como se va desplazando el mecanismo.



Cuando el led de funcionamiento se desactiva, habrá que escribir en corrección el valore que se observa en la fuerza medida.



Tras esto, se podrá cargar el mecanismo (en este caso con 5kg) y se mostrarán los distintos valores de la fuerza. Tras esto, será necesario reiniciar el programa y volver a comenzar devolviendo el cilindro al origen.



## **Bibliografía**

Beer, F. y. (2007). *Mecánica Vectorial para Ingenieros*. Mc Graw Hill.

Campos, L. F. (2022). Desarrollo de un banco de ensayos hidráulico biaxial para el análisis de tensiones en probetas planas mediante técnicas experimentales.

*Carlo Gavazzi*. (2022). Obtenido de <https://gavazziautomation.com/>

*Dinacell*. (2022). Obtenido de <https://www.dinacell.com>: <https://www.dinacell.com>

*Dinacell*. (2022). Obtenido de <https://www.dinacell.com>

*HBM*. (2022). Obtenido de <https://www.hbm.com/es/>

*National Instruments*. (2022). Obtenido de <https://www.ni.com/es-es.html>

*RS Components*. (2022). Obtenido de <https://es.rs-online.com>

*SMC España*. (2020). Obtenido de <https://www.smc.eu/es-es>

*SMC Internacional* . (2022). Obtenido de <https://www.smc-pneumatics.com>

---