



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales**

**Diseño, desarrollo y prototipado de un  
sistema de ensayo a fatiga para piezas  
impresas en 3D**

**Autor: Santos Martínez, Guillermo**

**Tutor: Mansilla Gallo, Alberto**

Dpto. Ciencia de los Materiales e Ingeniería  
Metalúrgica, Expresión Gráfica en la  
Ingeniería, Ingeniería Cartográfica, Geodesia  
y Fotogrametría, Ingeniería Mecánica e  
Ingeniería de los Procesos de Fabricación

**Valladolid, mayo 2021**





## Resumen y palabras clave

En los últimos años, la tecnología de impresión 3D ha supuesto un gran avance en la fabricación de una amplia gama de productos para diversas aplicaciones y al alcance de todos.

Este proyecto busca construir y poner a punto un banco de ensayos cuyo fin es conocer el comportamiento mecánico tanto estático como dinámico de piezas impresas en 3D. Se quiere programar una gran variedad de ensayos adaptados a las características o especificaciones de cada producto. Para esta tarea se usará el programa LabVIEW al cual tendrá acceso un futuro usuario que quiera realizar experimentos en esta máquina.

Palabras clave: Actuador eléctrico, impresión 3D, célula de carga, PLC, LabVIEW

## Abstract and keywords

In the last years, 3D printing has meant a breakthrough in the manufacture of a wide range of products for a variety of applications and within everyone's reach.

This project aims to build and develop a test bench to determinate the static and dynamic mechanical behaviour of 3D printed pieces. A wide variety of tests adapted to the characteristics or specifications of each product are to be programmed. For this task, LabVIEW program will be used, to which a future user who wants to carry out experiments on this machine will have access.

Keywords: Electric actuator, 3D printing, load cell, PLC, LabVIEW







## Índice de contenidos

<b>Resumen y palabras clave</b> .....	1
<b>Abstract and keywords</b> .....	1
<b>Capítulo 1: Introducción</b> .....	9
1. Antecedentes .....	9
2. Objetivos .....	9
3. Planteamiento del trabajo .....	10
<b>Capítulo 2: Preparación para la construcción del banco de ensayos.</b> .....	11
1. Revisión de los componentes del banco de ensayos .....	11
2. Estudio de la impresión 3D tipo FDM .....	21
<b>Capítulo 3: Actuador y driver de control</b> .....	23
1. Actuador .....	23
2. Driver de control.....	26
<b>Capítulo 4: Medición de fuerzas</b> .....	31
1. Circuito de medición de fuerzas.....	31
2. Célula de carga .....	35
3. Acondicionador de señal .....	36
<b>Capítulo 5: Hardware de control utilizado y circuito eléctrico</b> .....	41
1. Componentes usados en el control .....	41
2. Circuito eléctrico .....	45
<b>Capítulo 6: Programación y realización de los ensayos</b> .....	51
1. Programa de adquisición de datos .....	51
2. Condiciones iniciales y finales .....	54
3. Programas de uso general .....	56
4. Ensayo estático de tracción y de compresión .....	58
5. Ensayo stress relaxation en ciclos .....	62
6. Ensayo de fatiga.....	65
<b>Capítulo 7: Costes</b> .....	71
<b>Capítulo 8: Conclusión</b> .....	73
<b>Bibliografía</b> .....	75
<b>Anexos</b> .....	77
1. Características técnicas de los componentes .....	77
2. Planos de los componentes del banco de ensayos.....	113
3. Planos del circuito eléctrico .....	124
4. Planos de los componentes del PLC.....	130

## Índice de figuras

Fig. 1: Banco de ensayos.....	11
Fig. 2: Actuador Ley63NZC-400 de SMC.....	12
Fig. 3: Célula de carga U10M5kN de HBM.....	13
Fig. 4: Acondicionador de señal ClipX BM40IE de HBM.....	13
Fig. 5: Chapón de la bancada.....	14
Fig. 6: Bancada vista desde alzado .....	14
Fig. 7: Piezas del soporte trasero.....	14
Fig. 8: Soporte trasero ensamblado .....	15
Para mejorar la linealidad de la pieza, se decidió modificar los agujeros de la base por unos avellanados. ....	15
Fig. 9: Charnela hembra estrecha de LASIOM .....	15
Fig. 10: Charnela con rótula de LASIOM.....	15
Fig. 11: Bulón para charnela estrecha de LASIOM.....	16
Fig. 12: Disposición de las charnelas.....	16
Fig. 13: Chapas de unión entre el actuador y las charnelas.....	16
Fig. 14: Unión de la zona trasera del actuador.....	16
Fig. 15: Pieza de acople actuador-célula.....	17
Fig. 16: Tuerca de tetones.....	17
Fig. 17: Cabeza de rótula de LASIOM .....	17
Fig. 18: Unión de la célula de carga .....	18
Fig. 19: Guía RA30 de NSK .....	18
Fig. 20: Patín RA30EM de NSK .....	18
Fig. 21: Anclaje guía.....	19
Fig. 22: Piezas del conjunto sobre patín .....	19
Fig. 23: Conjunto sobre patín ensamblado .....	20
Fig. 24: Útil de contacto ensamblado.....	20
Fig. 25: Base de ensayos.....	21
Fig. 26: Anisotropía en la impresión 3D FDM .....	22
Fig. 27: Transmisión lineal mediante husillo y transmisión lineal mediante correa dentada.....	23
Fig. 28: Husillo de precisión o de bolas.....	24
Fig. 29: Comparación entre un servomotor AC, un servomotor DC y un motor paso a paso .....	25
Fig. 30: Señal del encoder.....	25



Fig. 31: Conexiones del driver .....	26
Fig. 32: Ejemplo de programación mediante el método de tabla de puntos ..	28
Fig. 33: Ejemplo de programación mediante el método de programa.....	29
Fig. 34: Conexiones driver-PLC.....	30
Fig. 35: Esquema de una cadena de medida para medir las deformaciones de una galga extensométrica .....	32
Fig. 36: Puente de Wheatstone con cuatro galgas extensométricas .....	34
Fig. 37: Interior de una célula de carga.....	34
Fig. 38: Diagrama de bloques del ClipX.....	36
Fig. 39: Interfaz principal del servidor web integrado al ClipX.....	37
Fig. 40: Network. ClipX.....	37
Fig. 41: Amplificador. ClipX.....	38
Fig. 42: Configuración de la salida analógica del ClipX.....	39
Fig. 43: Almacenaje de las distintas configuraciones. ClipX.....	39
Fig. 44: Ventana de visualización de las medidas. ClipX .....	40
Fig. 45: Dispositivo cDAQ-9174 .....	41
Fig. 46: Módulo NI-9375 .....	42
Fig. 47: Módulo NI-9411 .....	42
Fig. 48: Módulo NI-9215 .....	43
Fig. 49: Módulo NI-9977 .....	43
Fig. 50: Tarjeta de relés.....	44
Fig. 51: Cuadro eléctrico.....	45
Fig. 52: Conexión a tierra.....	46
Fig. 53: Configuración de las salidas y entradas del circuito de control del driver .....	48
Fig. 54: Programa de "Hola mundo" en LabVIEW .....	51
Fig. 55: Bloque de adquisición de las señales digitales del driver.....	52
Fig. 56: Bloque de adquisición de las señales analógicas .....	53
Fig. 57: Bloque de adquisición de la señal del encoder .....	54
Fig. 59: Condiciones iniciales.....	55
Fig. 60: Condiciones finales .....	55
Fig. 61: Condición de inicio del programa.....	56
Fig. 62: Tab control .....	56
Fig. 63: Programa de vuelta a Home .....	57
Fig. 64: Modo manual.....	58



Fig. 65: Panel frontal con el programa del modo manual.....	58
Fig. 66: Ensayo de tracción parte 1.....	59
Fig. 67: Ensayo de tracción parte 2.....	60
Fig. 68: Panel frontal del ensayo de tracción.....	60
Fig. 69: Utillaje ensayo correa.....	61
Fig. 70: Ensayo de stress relaxation parte 1.....	62
Fig. 71: Ensayo de stress relaxation parte 2.....	63
Fig. 72: Ensayo de stress relaxation parte 3.....	63
Fig. 74: Panel frontal del ensayo a fatiga.....	66
Fig. 75: DAFO.....	66
Fig. 76: Movimientos del tobillo durante la marcha.....	67
Fig. 77: Ángulos del tobillo durante la marcha.....	67
Fig. 78: Utillaje para el ensayo de fatiga del DAFO.....	67
Fig. 79: Disposición del DAFO sobre la base de ensayos.....	68
Fig. 80: Propuesta de distribución del banco de ensayos.....	73



## Índice de gráficas

Gráfica 1: Relación lineal fuerza-voltaje.....	53
Gráfica 2: Representación fuerza-desplazamiento del ensayo de tracción a una correa impresa en 3D .....	61
Gráfica 3: Representación fuerza-tiempo del ensayo de stress relaxation a una correa impresa en 3D .....	65
Gráfica 4: Representación fuerza-desplazamiento de dos ciclos de un ensayo de fatiga comparando un DAFO comercial con uno impreso .....	68
Gráfica 5: Representación fuerza-desplazamiento de dos ciclos de un ensayo de fatiga comparando un DAFO comercial con otro impreso .....	69



## Índice de tablas

Tabla 1: Costes del proyecto .....	71
------------------------------------	----

## Capítulo 1: Introducción

### 1. Antecedentes

Debido a que los alumnos de la escuela de ingenieros industriales realizamos una gran cantidad de proyectos. En éstos, muchos estudiantes necesitan fabricar algunas piezas mediante la tecnología de impresión 3D. Dichos productos tienen distintas prestaciones para distintos sectores como el industrial, el de automoción, el de salud. Debido especialmente a este último, en concreto al campo ortopédico, se requiere ensayar dichos objetos para comprobar si sus propiedades mecánicas son las necesarias para la tarea que han sido diseñados.

Este proyecto se realizó en colaboración con la empresa Orthomedical3D la cual está centrada en el diseño y fabricación mediante impresión 3D de una amplia gama de órtesis.

La tecnología de impresión 3D usada es la FDM (Modelado por deposición fundida) y utiliza termoplásticos como material de impresión. Brevemente consiste en calentar dicho material e ir imprimiendo una pieza por capas. Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta es la posición en la que se va a imprimir. Esta forma de construcción hace que los objetos impresos sean anisótropos. En función de en qué posición se imprima su comportamiento mecánico variará. (Ingenius 2019; Wikipedia 2020)

### 2. Objetivos

El objetivo de este TFG es la construcción, programación y acondicionamiento de un sistema de ensayos flexible en el que se pueda realizar:

- Ensayos dinámicos:
  - Ensayos de fatiga: Consistirán en someter a una pieza a una carga fluctuante durante unos ciclos y frecuencia determinados.
- Ensayos cuasi-estáticos:
  - Ensayos de tracción o compresión: Se aplica una fuerza en un punto concreto de una pieza. Esta fuerza podrá ser tanto de tracción como de compresión. Además de que podrá ir en aumento a medida que trascurra el ensayo a una baja velocidad.
  - Ensayos de relajación de tensiones (stress relaxation): Se realiza la tracción o compresión de un objeto hasta una posición determinada. Sin variar el desplazamiento se realiza el ensayo de relajación hasta un tiempo determinado.
- Ensayos a medida: Ensayos dinámicos o estáticos que intentan simular el comportamiento real en servicio de una pieza pudiéndose variar el desplazamiento, la fuerza, la frecuencia y el tiempo de duración.



### 3. Planteamiento del trabajo

Este TFG será la continuación del TFM realizado por Alejandro Rodríguez Muñoz, “*Diseño y desarrollo de banco de ensayos para piezas impresas en 3D*”. En este TFM se hizo la elección de los componentes necesarios para la construcción del banco de ensayos, se realizó el diseño de forma adecuada para el tipo de piezas a ensayar, se buscó a los proveedores de los componentes y se explicó el mercado CE. Ahora, en este trabajo se tiene pensado realizar los siguientes puntos:

En el primer capítulo se ha realizado una breve introducción y se han comentado los objetivos de este TFG.

En el segundo capítulo se revisarán los componentes ya diseñados del banco, por si hiciera falta alguna modificación antes de realizar su compra y mecanizado de las piezas necesarias. Además, se hará una breve investigación sobre la impresión 3D tipo FDM para entender la estructura de los objetos que se van a tener que someter a estos ensayos.

El tercer capítulo se centrará en aprender cómo funciona el actuador que se va a usar y cómo funciona su controlador. Todo ello servirá para la programación de los ensayos en una fase posterior.

El cuarto capítulo tendrá que ver con la medición de fuerzas. Se va a usar una célula de carga para estas mediciones, así que habrá que entender cómo se realiza la recogida de datos.

En el quinto capítulo se explicará el hardware utilizado para la realización del control y el circuito eléctrico que habrá que realizar.

El sexto capítulo tratará de la programación de todo el sistema de ensayos, los ensayos en sí y su realización. De esta forma se probará y se hará la puesta a punto del banco de ensayos. Cabe mencionar, que estos ensayos efectuados serán de prueba y no serán objeto de estudio posterior.

En el séptimo capítulo se mencionarán los costes que ha supuesto este proyecto.

El octavo capítulo será la conclusión del TFG en la cual se comentarán de nuevo los objetivos y se hablará de posibles líneas futuras de este trabajo.



## Capítulo 2: Preparación para la construcción del banco de ensayos.

### 1. Revisión de los componentes del banco de ensayos

El banco de ensayos que se va a construir fue diseñado teniendo en cuenta tres puntos importantes:

- La finalidad de la máquina: Servirá para hacer simulaciones de los posibles comportamientos reales de los objetos a ensayar y no servirá para la obtención de las propiedades mecánicas de los materiales.
- Las piezas o elementos que van a interactuar con la máquina: Las piezas a ensayar pueden ser de diversos tamaños, por ello la zona de ensayo es amplia (550x470mm).
- Los materiales con los que se va a trabajar: Los materiales serán plásticos puesto que serán piezas impresas en 3D. Algunos de los materiales con los que se trabajará serán PLA, PP, PC, TPU o PETG.

(Muñoz 2020)

La máquina diseñada es la mostrada en la siguiente imagen (Fig. 1):

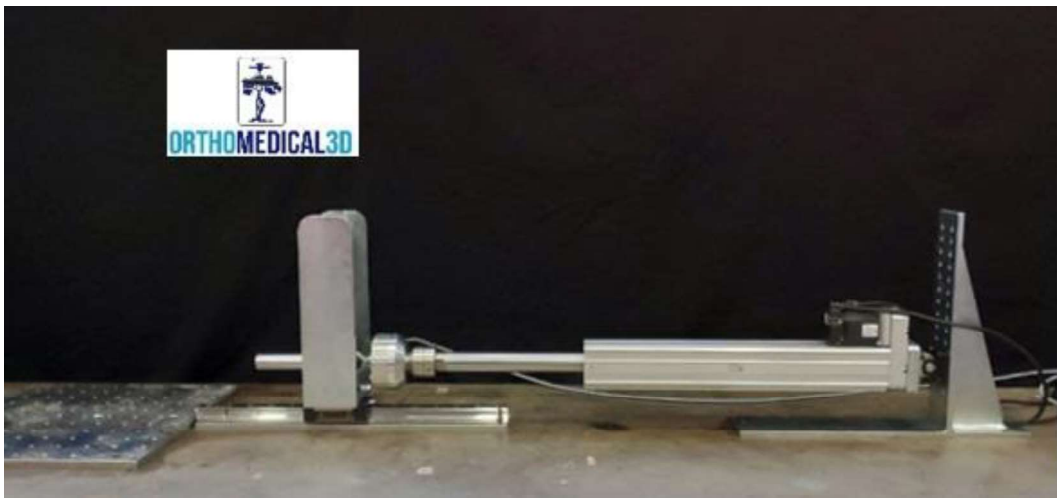


Fig. 1: Banco de ensayos

Las piezas que la componen se podrían dividir en dos categorías. Por un lado, estarían los elementos principales, mientras que, por otro lado, los elementos de sujeción y guiado. Todos los planos de estos elementos se pueden consultar en el anexo 1: “Características técnicas de los componentes” y en el anexo 2: “Planos de los componentes” respectivamente.

- **Elementos principales**

Estos elementos se explicarán con mayor profundidad en capítulos posteriores dedicados a ellos. A continuación, se comentará cómo están situados dentro del banco de ensayos. Las especificaciones de estas piezas se recogerán en el anexo 1 “*Características técnicas de los componentes*”

Actuador:

Se va a utilizar el actuador lineal Ley63NZC-400 de la marca SMC (Fig. 2). Este modelo es eléctrico, posee vástago y cuenta con una carrera de 400mm. Puede soportar cargas laterales de hasta 25N. Esto se debe a que sólo está pensado para trabajar de forma axial. Debido a esto, el banco se ha diseñado con un guiado que pueda soportar cualquier tipo de esfuerzo que no sea axial al actuador. Además, como el actuador está empotrado a dos piezas en sus dos extremos se decidió colocar unas rótulas por si hubiera un mal ajuste que ocasionara una fuerza en una dirección no deseada. (Muñoz 2020; SMC Corporation 2019)



Fig. 2: Actuador Ley63NZC-400 de SMC

Célula de carga

La célula de carga que se usará será el modelo U10M5kN de la empresa HBM (Fig. 3). Puede medir cargas de hasta 5kN y es apta para procesos rápidos. Al igual que sucede con el actuador, es importante evitar que reciba fuerzas transversales. Por este motivo el fabricante recomienda el uso de rótulas en ambos lados de la célula para evitarlas. Debido a esto, en el diseño se ha optado por acoplar la célula al actuador y añadir una rótula en cada extremo de este ensamblaje. (HBM 2020b; Muñoz 2020)

La recogida de los datos de fuerza de este sensor se realizará con un acondicionador de señal de la misma marca, el ClipX BM40IE (Fig. 4) del cual se hablará en capítulos posteriores.



Fig. 3: Célula de carga U10M5kN de HBM



Fig. 4: Acondicionador de señal ClipX BM40IE de HBM

- **Elementos de sujeción y guiado**

Las piezas que componen esta categoría se mencionarán brevemente a no ser que se haya realizado alguna modificación en las piezas. Para obtener más información del diseño estos elementos habría que consultar el TFM realizado por el alumno Alejandro Rodríguez. Las piezas que se diseñaron se tuvieron que volver a dibujar en Autodesk Inventor puesto que estaban diseñadas en CATIA. El orden de explicación que se seguirá irá desde atrás a delante de la máquina, siendo la parte trasera la correspondiente a la zona derecha de la Fig. 1.

Dentro de esta categoría habrá algunas piezas que se necesitarán comprar y otras que se mandarán a mecanizar en acero S235 con un tratamiento térmico posterior de cincado.

#### Bancada:

Es el elemento sobre el que se situará la base de ensayos. Sus dimensiones son de 3000x1700mm. El motivo del uso de la misma se debe a su disponibilidad en el laboratorio donde se va a colocar la máquina, así que se usará para reducir costes. Cuenta con una matriz 7x10 de agujeros roscados, 4 filas son de M8 y 3 de M10. Estas filas se van alternando en dicha matriz. A su vez estos agujeros están separados a una distancia de 250mm. (Muñoz 2020)

En caso de necesitar agujeros nuevos a otra distancia se dispone de un taladro vertical magnético para hacerlos. De hecho, para el diseño final será necesario realizar 3 taladros nuevos para el anclaje de la base de ensayos la cual será comentada más adelante en este mismo capítulo. La bancada se muestra en la siguiente imagen (Fig. 5):

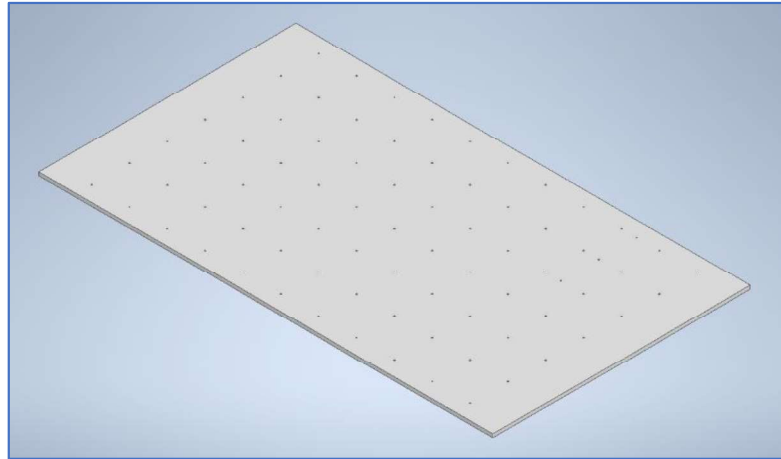


Fig. 5: Chapón de la bancada

Respecto al diseño planteado en el TFM, se han eliminado los refuerzos diseñados y los pies regulables puesto que ya cuenta con ello como se aprecia en la siguiente imagen (Fig. 6):



Fig. 6: Bancada vista desde alzado

#### Conjunto de soporte trasero:

Es una de las piezas que se mandará a mecanizar. Consta de 3 elementos (Fig. 7) los cuales irán soldados.

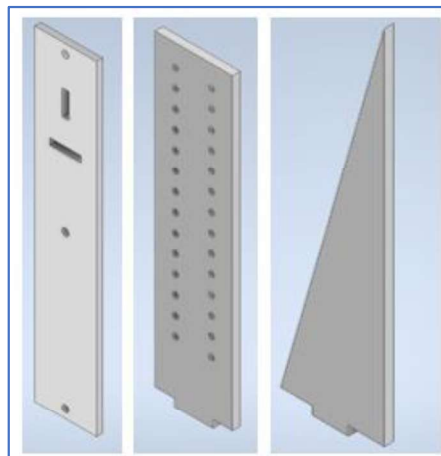


Fig. 7: Piezas del soporte trasero

En orden de izquierda a derecha, el primer elemento es la base del soporte el cual se anclará a la bancada. El segundo sirve para atornillar una de las charnelas que sustentan al actuador. Además, permitirá colocarlo a la altura que se considere oportuna para el ensayo. Esta diferencia de alturas es de 23.25mm y equivale a la mitad de la distancia entre los agujeros de la charnela. El tercero sirve de refuerzo. (Muñoz 2020) La pieza ensamblada se muestra a continuación (*Fig. 8*):



*Fig. 8: Soporte trasero ensamblado*

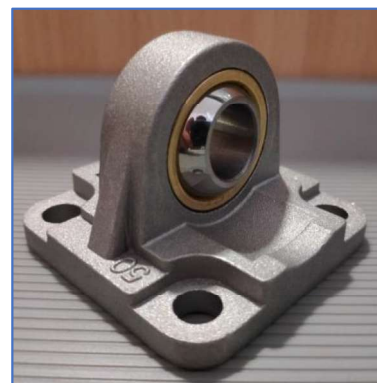
Para mejorar la linealidad de la pieza, se decidió modificar los agujeros de la base por unos avellanados.

#### Elementos de unión de la zona trasera del actuador:

Consta de cinco elementos de unión. Tres son comerciales y los otros dos serán mecanizados. Las piezas comerciales serán una charnela hembra estrecha (*Fig. 9*), una charnela con rótula (*Fig. 10*) y un bulón para charnela estrecha (*Fig. 11*) que unirá ambas. Estos objetos son de la marca LASIOM (*Fig. 12*). (Muñoz 2020)



*Fig. 9: Charnela hembra estrecha de LASIOM*



*Fig. 10: Charnela con rótula de LASIOM*



Fig. 11: Bulón para charnela estrecha de LASIOM

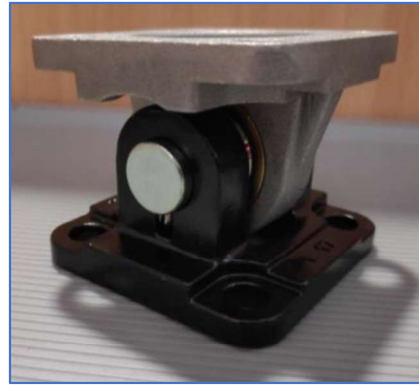


Fig. 12: Disposición de las charnelas

Por otro lado, las piezas mecanizadas son dos chapas de 90x90mm (Fig. 13) las cuales servirán de acople entre el actuador y las charnelas. (Muñoz 2020)



Fig. 13: Chapas de unión entre el actuador y las charnelas

El conjunto de esta unión queda reflejado en la siguiente imagen (Fig. 14):



Fig. 14: Unión de la zona trasera del actuador

#### Acople de la célula al actuador:

Por un error de diseño del banco de ensayos se tuvo que cambiar la pieza previamente diseñada por otras dos nuevas para realizar este acople.



El motivo fue que el diseño anterior se realizó tomando en cuenta que el actuador acababa en una rosca macho de M18. Sin embargo, luego resultó que acababa en rosca hembra de M16. Por lo tanto, se diseñaron dos piezas nuevas que ensamblan perfectamente ambos componentes. Éstas también deberán ser mecanizadas. Sin embargo, en vez de fabricarse en S235 con cincado se decidió construirse en AISI 304 que es un acero inoxidable.

La primera pieza fue diseñada como la pieza de unión (*Fig. 15*). Presenta dos roscas macho de M16 en los extremos para unirse al actuador y a la célula de carga. El cuerpo principal consta de dos partes. Por un lado, se tiene un cilindro de D60mm con cuatro tetones que se usarán para realizar el apriete con la célula. Por otro lado, hay un tronco de cono para reducir la sección de la pieza y que coincida con la zona de contacto de la célula.

La segunda pieza es como la primera parte del cuerpo principal del elemento anterior (*Fig. 16*). Sin embargo, en vez de tener una rosca macho tiene una rosca hembra, es una tuerca, pero de tetones. Se usará para dar el apriete mediante los tetones con el vástago del actuador. Se tuvo que diseñar dicha pieza debido a que el vástago no gira loco.



*Fig. 15: Pieza de acople actuador-célula*



*Fig. 16: Tuerca de tetones*

#### Acople posterior de la célula de carga:

Dicho acople se realizará con tres piezas comerciales. La primera será una cabeza de rótula (*Fig. 17*) con una tuerca para hacer el apriete con la célula. Dicha pieza también es de la marca LASIOM.



*Fig. 17: Cabeza de rótula de LASIOM*

Las otras dos piezas corresponden a la charnela hembra estrecha (*Fig. 9*) y al bulón de unión (*Fig. 11*) vistos anteriormente en los elementos de unión de la zona trasera del actuador. La unión completa de la célula de carga queda de la siguiente manera (*Fig. 18*):



*Fig. 18: Unión de la célula de carga*

Al realizar este ensamblaje habrá que tener un cuidado especial al aplicar el par de apriete tanto en la célula como en el actuador. Además, el fabricante del actuador recomienda realizar las uniones del extremo del vástago con este totalmente recogido para evitar deformaciones en la guía antigiro. De no realizarse de forma adecuada esto podría llevar a una holgura en la guía interna o un aumento en la resistencia al deslizamiento.

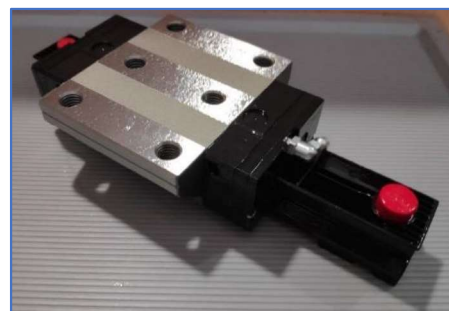
#### Guía lineal y fijación de la guía a la bancada:

La función principal de la guía lineal es absorber las cargas transversales que puedan aparecer durante el ensayo. De esta forma no afectarán al actuador ni a la célula de carga.

La guía elegida es comercial de la marca NSK. Su modelo es la RA30 (*Fig. 19*) y el patín elegido es uno de rodillos, el RA30EM (*Fig. 20*). Es una guía monorraíl que es capaz de soportar esfuerzos en cualquier dirección. La longitud será de 600mm debido a que hay que sumar la carrera del actuador (400) más la longitud del patín (110) más un margen de trabajo. (Muñoz 2020)



*Fig. 19: Guía RA30 de NSK*



*Fig. 20: Patín RA30EM de NSK*



La fijación de la guía a la bancada se hará mediante una pletina mecanizada (Fig. 21). (Muñoz 2020)

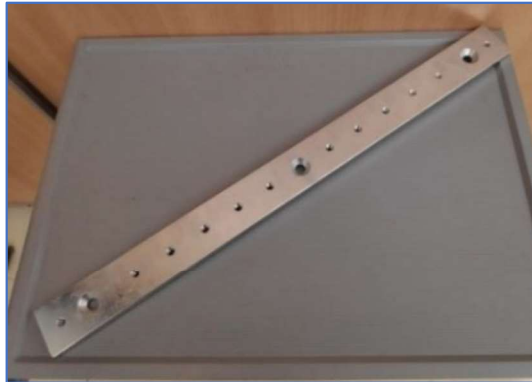


Fig. 21: Anclaje guía

Las especificaciones de la guía y el patín se encuentran en el anexo 1 “Características técnicas de los componentes”

#### Conjunto sobre patín:

Es otra de las piezas que se tendrá que mecanizar. Consta de 4 elementos (Fig. 22) los cuales irán soldados al igual que el soporte trasero.

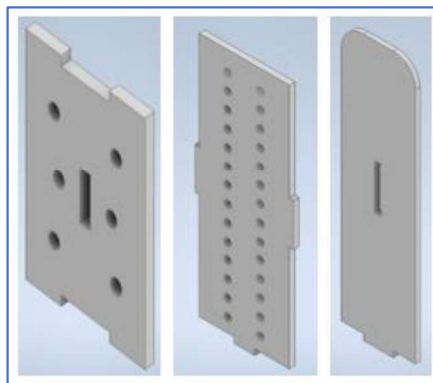


Fig. 22: Piezas del conjunto sobre patín

Siguiendo el orden de izquierda a derecha. La primera pieza será para anclarse al patín de la guía. La segunda servirá para anclar el otro extremo del conjunto actuador-célula de carga con otra charnela. Al igual que en el soporte trasero se puede variar la altura para que el actuador se mantenga nivelado. Además, también se usará para atornillar un contactor que impactará a la pieza a ensayar. La última pieza servirá soporte y serán necesario mecanizar dos de ellas. (Muñoz 2020) El ensamblaje armado se expone en la siguiente figura (Fig. 23):



Fig. 23: Conjunto sobre patín ensamblado

### Útil de contacto:

También será una pieza mecanizada. Consta de 2 elementos que serán soldados. El primero es una placa que se acoplará al conjunto sobre patín y el segundo es un cilindro de 150mm de largo con una rosca de M12 en su extremo. Esta rosca servirá para añadir un contactor en función del ensayo que se realice. (Muñoz 2020). Se muestra el ensamblaje de la pieza en la siguiente imagen (Fig. 24):



Fig. 24: Útil de contacto ensamblado

### Base de ensayos:

Será la última pieza para mecanizar. Las medidas respecto al diseño inicial han variado. Ahora la chapa es de 550x470mm (Fig. 25). Además, se han añadido 3 agujeros para añadir una mejor sujeción entre la bancada y la base de ensayos. Como están colocados a una distancia distinta de 250mm fue necesario hacer agujeros en la bancada.

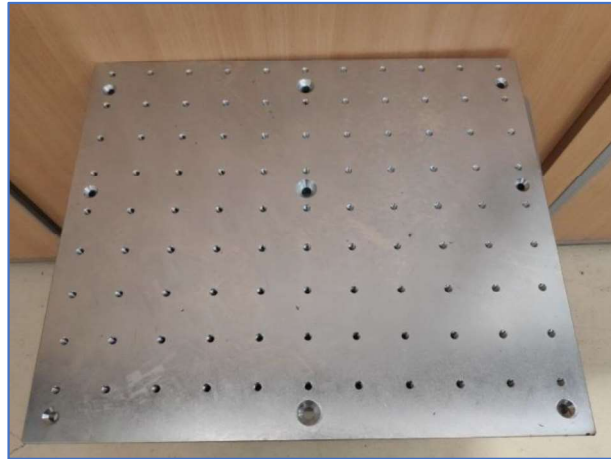


Fig. 25: Base de ensayos

Esta base servirá para colocar la pieza a ensayar. La fijación de estos objetos se podrá hacer a una matriz 11x9 de agujeros de M8 que hay en este chapón. (Muñoz 2020)

## 2. Estudio de la impresión 3D tipo FDM

La impresión 3D es un proceso que consiste en la construcción, mediante fabricación por adición, de un objeto tridimensional superponiendo una capa sobre otra. Existen varias tecnologías como son SLA, DLP, SLS, Material Jetting entre otras. Sin embargo, la que se va a usar para construir las piezas a ensayar será la tecnología FDM cuyas siglas representan Modelado por Deposición Fundida. En ocasiones también se refiere a ella como FFF que significaría Fabricación con Filamento Fundido. A menudo, dentro de la impresión 3D, se suele considerar esta tecnología como el método de impresión más sencillo y barato. (All3DP 2020; Trimaker 2020)

Si nos centramos en los elementos básicos, este tipo de impresora estaría compuesta por el propio filamento, el extrusor y la cama o placa de impresión. El mecanismo es muy simple, el filamento se tiene que calentar a una temperatura determinada, ésta variará dependiendo del material a usar. Una vez fundido se extruye en forma de hilo sobre la cama de impresión. Con estos hilos, la impresora va construyendo mediante fabricación aditiva capa a capa la pieza en 3D sobre la cama de impresión (plano XY). Estas capas serían los distintos planos de corte de la pieza los cuales estarían en 2D con un espesor llamado altura de capa. A medida que avanza la creación del objeto, la impresora irá avanzando en la dirección Z para construir las sucesivas capas. (Trimaker 2020)

A la hora de fabricar una pieza, se pueden modificar algunos parámetros de impresión. Dependiendo de cuáles se ponga la pieza tendrá mejores o peores propiedades mecánicas. Estos parámetros serán ajustados por el diseñador de la pieza en función del uso que vaya a ocupar. Por ejemplo, un parámetro a

modificar sería la densidad de relleno que vaya a tener el objeto. Obviamente, cuanto más relleno más maciza será la pieza y mejor aguantará las fuerzas externas que se le apliquen.

Uno de los factores más importantes a tener en cuenta a la hora de imprimir sería la colocación de la pieza en la cama de impresión como se comentaba en el capítulo 1. No es lo mismo imprimir una pieza de pie que tumbada. Sus características mecánicas serán diferentes puesto que la fabricación con impresoras 3D de tipo FDM es anisotrópica. Esto se debe a que cuando se construye una capa la extrusión es continuada lo que le da una mejor cohesión al material fundido. Sin embargo, al cambiar de capa, la unión se hace mediante pegado producido por la deposición de material fundido sobre la capa ya consolidada. Esto hace que entre capas haya una menor resistencia mecánica (Fig. 26). (Ingenius 2019)

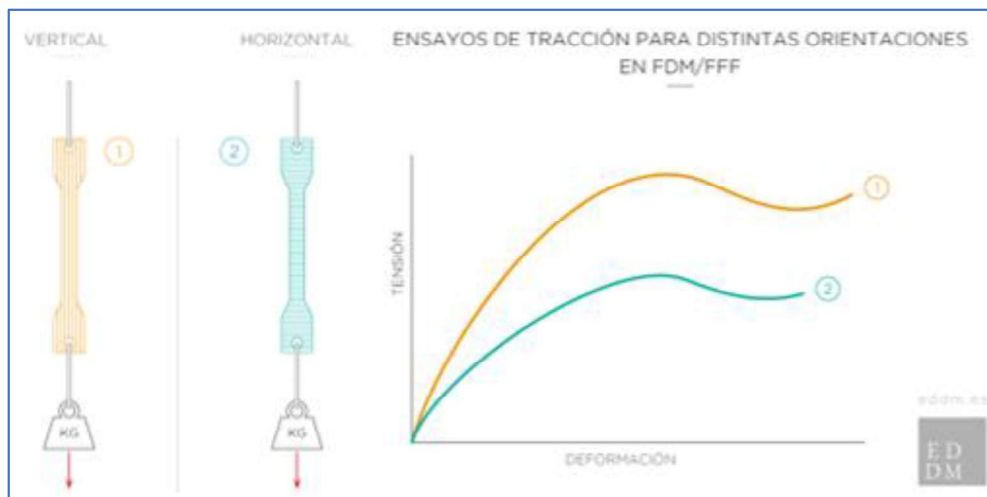


Fig. 26: Anisotropía en la impresión 3D FDM

## Capítulo 3: Actuador y driver de control

### 1. Actuador

En el banco de ensayos, el actuador va a ser uno de los elementos principales y más importantes. Es el encargado de realizar los movimientos y ejercer la fuerza sobre la pieza a ensayar. Para conocer el por qué se eligió el actuador LEY63NZC-400 consultar el TFM en el que se basa este TFG. Las especificaciones del actuador se adjuntan en el anexo 1 “Características técnicas de los componentes”

Los actuadores lineales son dispositivos que producen un movimiento rectilíneo. Algunos solamente tiran, como el caso del cabestrante, mientras que otros solo empujan, como los actuadores con sistema de levas. Sin embargo, el actuador realiza las dos funciones. El movimiento se desarrolla de la siguiente forma. Como este actuador es eléctrico y de corriente alterna, dependiendo si la corriente suministrada es positiva o negativa se moverá en un sentido o en otro. Además, este movimiento lineal se consigue a partir del movimiento rotativo del motor. Hay dos formas para realizar esto. (TiMOTION 2021) La primera es mediante la utilización de un husillo, mientras que la segunda se realiza mediante una correa dentada como se observa en la siguiente imagen (Fig. 27).



Fig. 27: Transmisión lineal mediante husillo y transmisión lineal mediante correa dentada

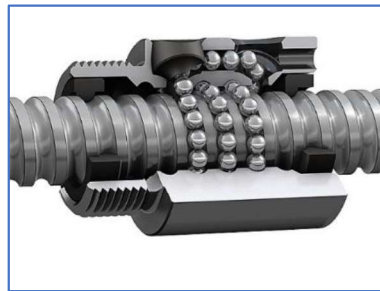
Los primeros se suelen usar para carreras de hasta 500mm mientras que los segundos para mayores de 1000mm. En caso de carreras intermedias habría que analizar la aplicación donde se vaya a usar. (SMC Corporation 2020)

Los actuadores lineales con sistema de transmisión de husillo tienen la ventaja de lograr una mayor precisión, repetitividad de los desplazamientos y poder realizar movimientos verticales. Además, pueden ejercer una mayor fuerza de empuje, un mejor control del par y una mayor capacidad de carga. Por otro lado, los actuadores lineales con sistema de transmisión de cadena tienen la ventaja de poder tener carreras más largas, conseguir una mayor velocidad y producir menos ruido. (SMC Corporation 2020)

Este actuador posee un sistema de transmisión por husillo. Dicho elemento a su vez se puede dividir en dos grandes grupos. Por un lado, el husillo de fricción

o avance, mientras que por otro se encuentra el husillo de precisión o también denotado como husillo de bolas.

- Husillo de fricción o avance: Este tipo de husillo está formado por un tornillo y una tuerca. Al girar uno de estos elementos, se consigue el avance del otro. Es un mecanismo simple, pero tiene la desventaja de presentar una alta fricción entre los elementos que lo componen al estar en contacto directo. Además, en consecuencia a este rozamiento, se necesitaría un motor con una potencia mayor para suplir este efecto.
- Husillo de precisión o de bolas: El mecanismo de funcionamiento de este tipo de husillo es semejante a un rodamiento. Está formado por un tornillo y por una tuerca como el anterior. Sin embargo, observando la siguiente imagen (*Fig. 28*) se aprecia que esta tuerca tiene un circuito interno por donde pueden circular unas bolas. Éstas ruedan en la ranura entre el husillo y la tuerca. De esta forma, se consigue un rozamiento menor entre componentes. Gracias a ello, se logra un mayor control del movimiento a altas frecuencias y una mayor precisión de la posición. Este tipo de husillos suelen estar presentes en las máquinas que exigen precisión como es el actuador que se va a usar.



*Fig. 28: Husillo de precisión o de bolas*

(BIRTLH 2018; Elizabeth 2020)

El motor que este actuador lleva integrado es un servomotor AC el cual es la solución óptima para elevadas cargas y dinámicas altas. Además, permite trabajar con cargas y velocidades mayores respecto a lo que permitiría uno de corriente continua.

Un servomotor es un motor eléctrico al cual se lo puede controlar tanto en posición, velocidad, aceleración o par. Puede trabajar con su máxima carga de trabajo a altas velocidades. Otras soluciones que hay en el mercado no permiten esto, como es el caso de los motores paso a paso. Éstos, a medida que la velocidad va en aumento, la carga de trabajo a la que pueden funcionar disminuye. En el siguiente gráfico se puede observar esta relación de carga de trabajo-velocidad (*Fig. 29*):

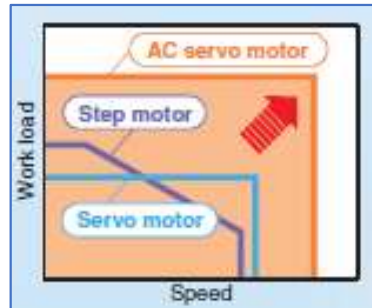


Fig. 29: Comparación entre un servomotor AC, un servomotor DC y un motor paso a paso

Este actuador a su vez también tiene incluido un encoder. Este elemento es un sensor que en respuesta a un movimiento genera señales digitales. Para esta aplicación servirá para determinar la posición del vástago del actuador. En función de la salida generada hay dos tipos de encoder, absoluto e incremental. La señal de salida del primero indica la posición exacta del elemento en movimiento. Mientras que con la señal del segundo sólo se puede medir la velocidad o la trayectoria del objeto.

El tipo de encoder que viene integrado en este actuador es absoluto. La señal que se adquiere está compuesta por tres canales. Se denotan como A, B y Z (Fig. 30). Por un lado, para obtener la dirección del movimiento se utilizan los dos primeros (A y B). Están desfasados  $90^\circ$  y dependiendo de si este desfase es negativo o positivo indicará si el movimiento va en un sentido o en el otro.

Por otro lado, para conocer la posición exacta del vástago son necesarios los 3 canales. El encoder una vez que se produce el movimiento empezará a mandar por los canales A y B una cantidad de pulsos definida por cada vuelta del husillo. Cada vez que el husillo realice una vuelta el encoder mandará un pulso por el canal Z. Por lo tanto, para conocer la posición exacta del vástago se necesitará el número de pulsos mandados por Z y el número de pulsos mandados por los otros dos canales desde que se mandó el pulso por Z. Entonces, la posición exacta será los pulsos de Z por el paso del husillo más el número de pulsos de los otros dos canales por la distancia por pulso.

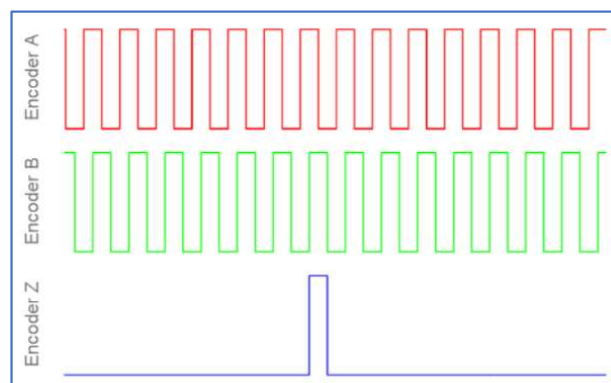


Fig. 30: Señal del encoder



## 2. Driver de control

Los drivers o controladores son dispositivos usados para realizar el control de un equipo. El modelo que se va a usar es el LECSB2-T8 con el cual se va a controlar el servomotor AC y realizar la lectura de los pulsos generados por el encoder absoluto. Además, se le pueden programar 255 posiciones para que a la hora de recibir unas E/S digitales ejecute una operación. A este tipo de driver se les conoce como drivers de tipo posicionador. Dicho control se hará mediante la utilización de un PLC (*Programmable Logic Controller*) o autómatas programables conectados a este driver. En el capítulo 6 “*Programación y realización de los ensayos*” se ampliará este punto. El esquema de conexiones se detalla a continuación (Fig. 31):

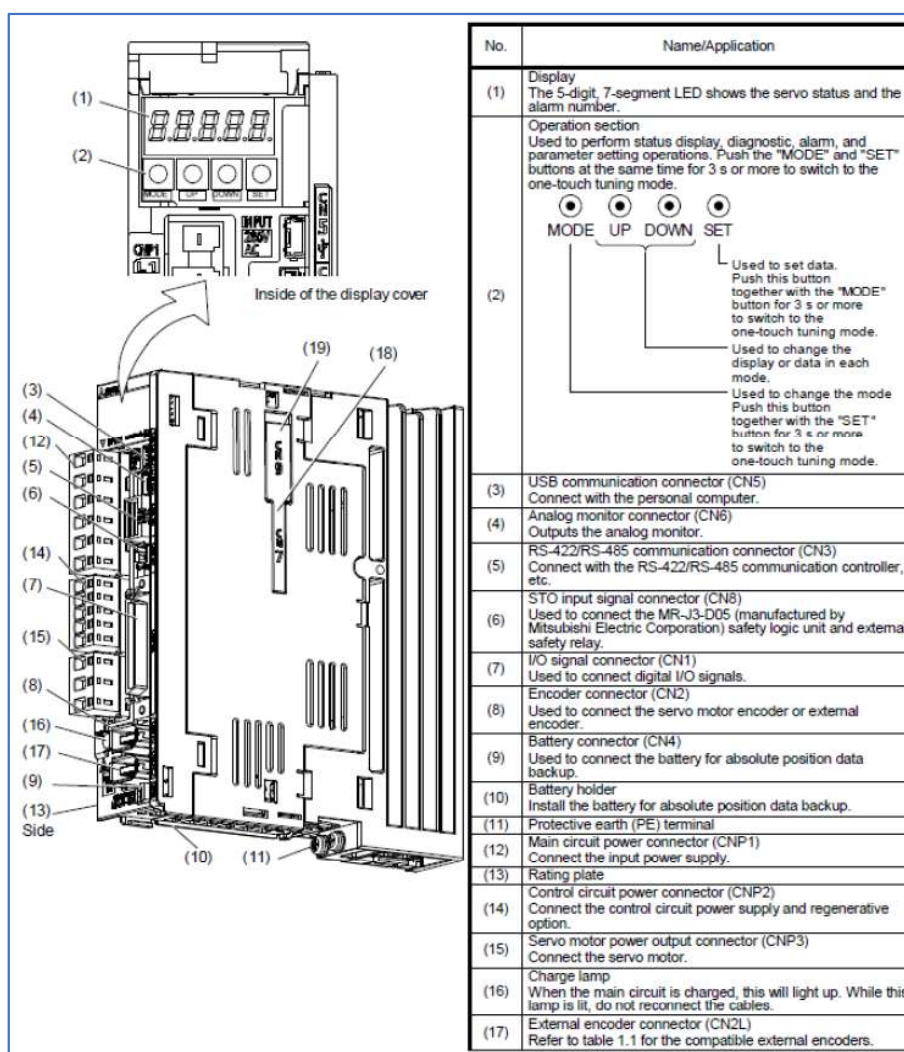


Fig. 31: Conexiones del driver



Observando la imagen se aprecian con qué dispositivos se puede conectar este driver. El controlador alimentará eléctricamente al servomotor AC para poder controlarlo. Asimismo, también tendrá una toma para leer el encoder y otra para obtener y mandar información al PLC. También, dispone de una conexión para conectarse a un PC para establecer unos parámetros de trabajo del controlador, realizar comprobaciones del correcto funcionamiento del conjunto actuador-driver y poder programar las 255 posiciones que permite mediante el software “MR Configurator2”. Este actuador permite 2 tipos de controles y el driver 2 tipos de programación de las 255 posiciones:

En cuanto a los tipos de controles, se puede definir un control en posicionamiento o un control en fuerza. El primero consistiría en definir hasta qué punto quieres desplazar el vástago del actuador, mientras que el segundo definirías hasta cuánta fuerza quieres aplicar. Dependiendo de qué control se elija variará la configuración de las conexiones al PLC y se realizará una programación u otra. Para más información de estos dos tipos de control consultar el TFM elaborado por Alejandro Rodríguez Muñoz: “Diseño y desarrollo de banco de ensayos para piezas impresas en 3D”.

Por otro lado, en lo referente a la programación de las posiciones del driver, se puede definir una programación mediante una tabla de puntos o mediante un programa.

La primera consta de una tabla en la cual se puede definir para una posición la velocidad a la que se quiere ir a ese punto, su aceleración y deceleración, un retardo entre una posición y la siguiente, la máxima fuerza en porcentaje que se quiere aplicar como factor limitante y una función auxiliar.

Existen varias funciones auxiliares. A continuación, se mencionan 4 ejemplos que corresponden a los valores entre 0 y 3. Estas funciones están divididas en dos tipos. Por un lado, están las que se asocian con un valor absoluto de la tabla (0 y 1) y, por otro lado, con uno incremental (2 y 3):

- 0 y 2 - La operación automática actuará de acorde al valor de la tabla seleccionado. En el caso de seleccionar el valor 0 lo hará de forma absoluta, es decir, irá a la posición correspondiente. Mientras que al marcar 2 aumentará ese valor de forma incremental.
- 1 y 3 - La operación automática actuará de acorde al valor de la tabla seleccionado y continuará con el siguiente punto sin realizar una parada. Al igual que la función anterior, al seleccionar 1 realizará la operación de forma absoluta, mientras que al marcar 3 lo hará de forma incremental.

(SMC Corporation 2012b)

Un ejemplo de este tipo de programación nos la aporta el fabricante (Fig. 32):

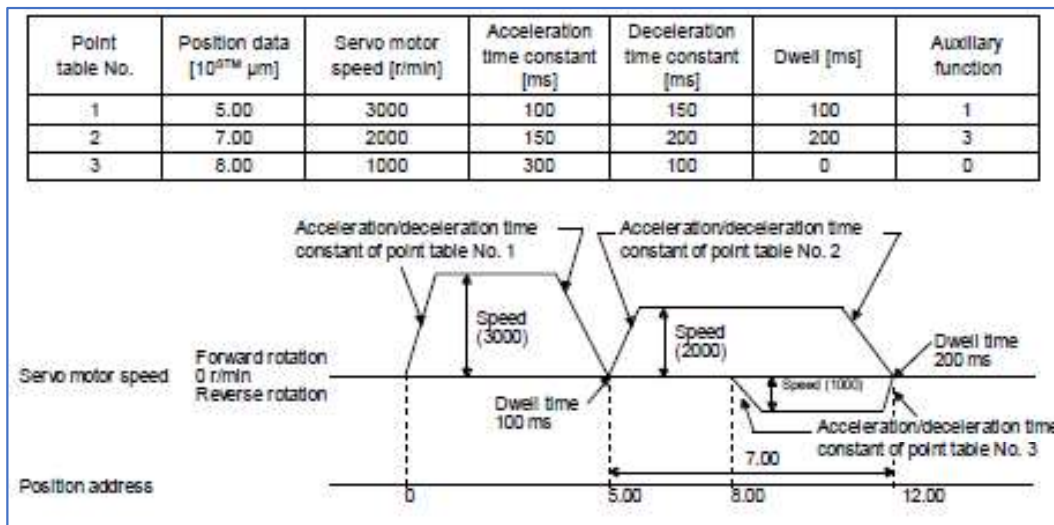


Fig. 32: Ejemplo de programación mediante el método de tabla de puntos

Para este caso, el fabricante ha definido 3 puntos de la tabla. Observando la imagen, lo primero que se debería mirar serían las funciones auxiliares para saber qué tipo de punto se ha programado. En el caso de los puntos de la tabla 1 y 3 son absolutos, es decir, irán directamente a las posiciones del actuador 5 y 8 respectivamente. Mientras que el 2 es incremental, es decir, avanzará 7mm respecto la posición en la que se encuentre.

Además, los puntos de la tabla 1 y 2 dan paso a los 2 siguientes, es decir, al acabar de ejecutar el punto 1 pasa al punto 2 después de esperar 100ms y luego al punto 3 después de esperar 200ms como se aprecia en la columna de *Dwell* (Retardo). Toda esta operación se ejecuta de seguido sin tener que mandar la realización de cada acción. Por último, en la columna de velocidad se aprecian 3 velocidades diferentes además de 3 aceleraciones y deceleraciones para cada punto.

El segundo tipo de programación consiste en un programa por línea de código. Da la opción de definir un pequeño programa reservando para cada línea de código una posición de las 255. El fabricante contribuye con un programa de ejemplo (Fig. 33):

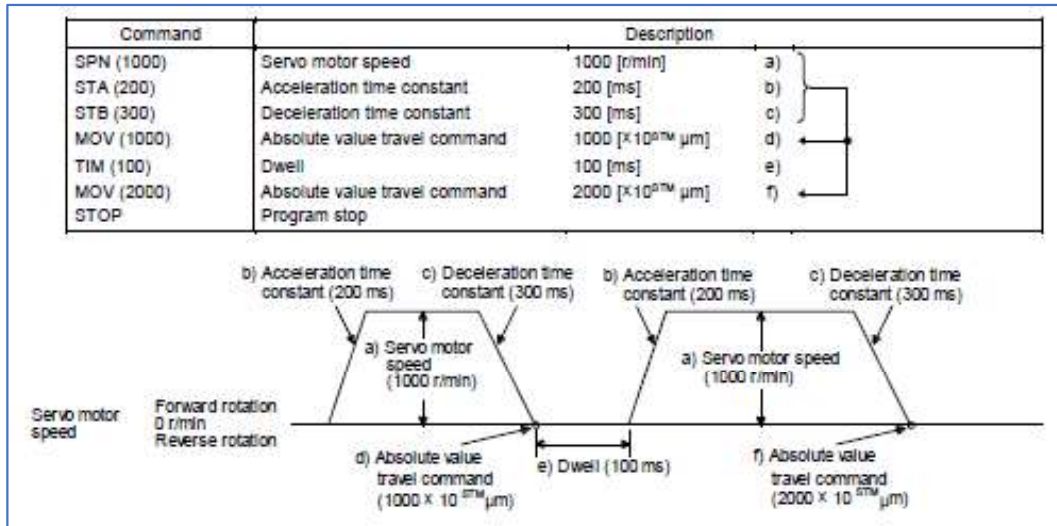


Fig. 33: Ejemplo de programación mediante el método de programa

En este programa primero se define la velocidad, la aceleración y deceleración del servo. Tras ello, se indica al actuador que se mueva a una posición. Para ello, acelera de forma constante hasta la velocidad marcada anteriormente. Luego se mueve a la posición indicada y vuelve a decelerar de forma constante. Después espera un tiempo de retardo y ejecuta la misma operación, pero moviéndose a otra posición.

En función de qué control y qué programación se realice, se deberán realizar unas conexiones u otras del driver con el PLC en la conexión CN1 como se comentaba anteriormente. Para el banco de ensayos se realizará un control de posicionamiento y una programación mediante tabla de puntos. Aunque esto no quiere decir que en un futuro no se pueda modificar y realizar otro tipo de control y/u otra programación. El esquema de conexiones se muestra a continuación (Fig. 34):

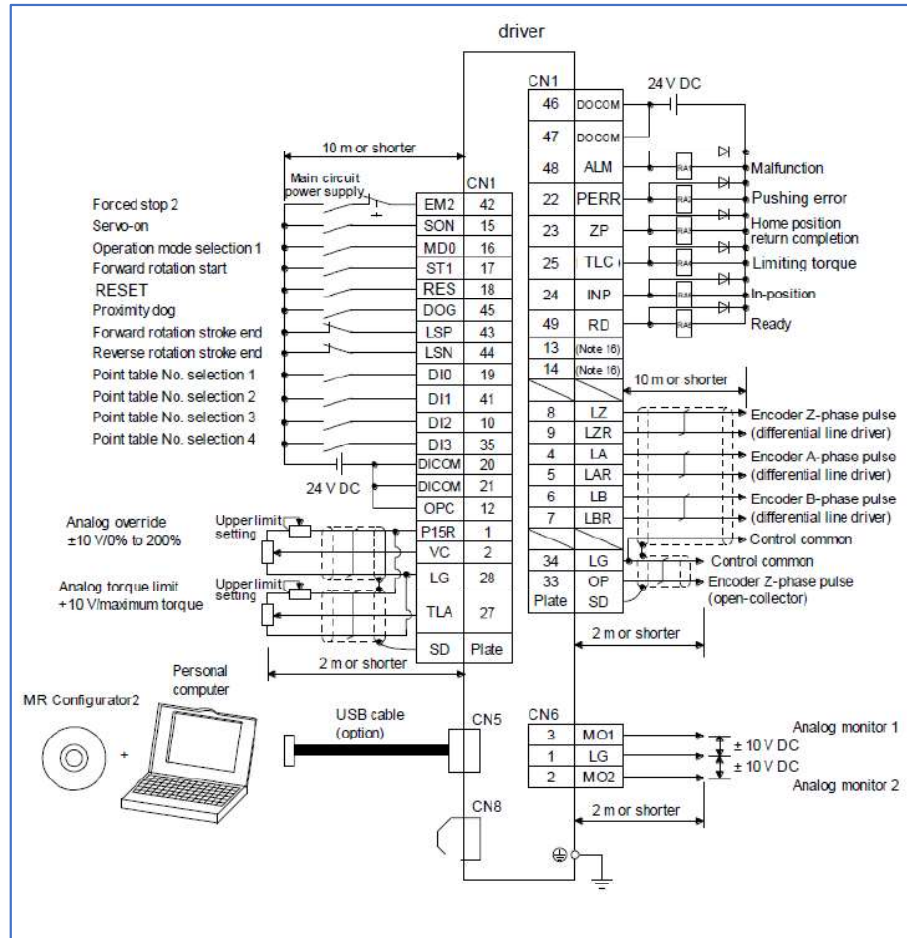


Fig. 34: Conexiones driver-PLC

Observando el esquema (Fig. 34) los pines dispuestos a la izquierda serían los inputs del controlador (los outputs del PLC) y los pines a la derecha los outputs del controlador (los inputs del PLC). Las conexiones de “analog override” y “analog torque limit” no se usarán debido a que son potenciómetros para limitar la velocidad o el par del actuador de forma manual. Estas limitaciones se realizarán directamente en la programación. Este esquema se explicará en más detalle en el capítulo 6 “Programación y realización de los ensayos”.

El esquema eléctrico completo se muestra en el anexo 3 “Planos del circuito eléctrico”.

## Capítulo 4: Medición de fuerzas

A la hora de realizar los ensayos en esta máquina, saber cuánta fuerza se está aplicando al objeto durante todo el tiempo que dure el ensayo va a ser importante. Para esta tarea, como se ha mencionado anteriormente, se va a utilizar una célula de carga.

Las células de carga son la unión de un sensor más un transductor de fuerza. Por un lado, el sensor es el elemento sensible que detecta la variación de la magnitud que se quiere medir. Mientras que, por otro lado, el transductor de fuerza es un dispositivo capaz de convertir una magnitud en otra diferente. En este caso convertirá la magnitud mecánica en magnitud eléctrica, la fuerza ejercida se pasará a voltaje. (Granda Miguel and Mediavilla Bolado 2015)

Sin embargo, la calidad de esta señal de salida del transductor no suele ser adecuada para su utilización como medida debido a que su amplitud es pequeña y presenta ruido. A causa de esto, tras el transductor se suele conectar otro elemento que mejore la señal. Se debería colocar un amplificador de señal encargado de escalar dicha señal a unos valores óptimos y un filtro para eliminar el ruido. (Granda Miguel and Mediavilla Bolado 2015) En el banco de ensayos se implementará un acondicionador de señal el cual realiza la función de amplificador, filtro y alguna otra función que se verá más adelante.

### 1. Circuito de medición de fuerzas

El circuito de medición de fuerza será más sencillo que el del driver. La idea es simple. A partir de la célula de carga se medirá una fuerza la cual se convertirá en una señal eléctrica. Ésta será tratada, transformada de nuevo a magnitud de fuerza y mostrada en pantalla mediante el acondicionador de señal.

Ahora bien, para entender cómo funciona el circuito de medición de fuerza se comenzará explicando los componentes de la célula de carga, es decir, el sensor y el transductor de fuerza, aunque antes hay que entender qué es una galga o banda extensométrica.

El principio de funcionamiento de las galgas extensométricas usadas en la célula se basa en el comportamiento piezorresistivo de metales y semiconductores. Dicho efecto hace que, al deformar la banda debido a la aplicación de una fuerza, el valor eléctrico de resistencia varíe. Si se estirara, su valor resistivo aumentaría y en caso de comprimirlo, disminuiría. (Alzate Rodríguez, Montes Ocampo, and Silva Ortega 2007; Kleckers 2017) Este efecto se aprecia especialmente bien observando la siguiente fórmula de la resistencia eléctrica (Ec. 1):

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \quad (\text{Ec. 1})$$

Siendo  $\rho$  la resistividad del material,  $L$  la longitud y  $A$  el área de la sección. Como se aprecia en la fórmula, al variar  $L$ , cambiará el valor de  $A$  y el valor de la resistencia como se estaba comentando con anterioridad. Entonces el valor final de la resistencia estará en función del cociente de  $L$  entre  $A$ . Ya que al no cambiar de material la resistividad será constante. Por lo tanto, cuando  $L$  aumente,  $A$  disminuirá y en consecuencia  $R$  aumentará. Si  $L$  disminuye,  $A$  aumentará y como resultado  $R$  disminuirá.

Entonces, esta galga actuaría de elemento sensible que detectaría cuándo se está aplicando una fuerza, es decir, actuaría de sensor. Como dicha galga es un elemento pasivo, será necesario alimentarla con una fuente de alimentación externa con el fin de obtener una señal de voltaje. Se realiza este cambio de magnitud debido a que es más fácil medir una señal de voltaje que una resistencia. De esta forma se calcularía el valor de la resistencia de forma indirecta. Como se observa, al alimentar la galga eléctricamente, se está transformando la fuerza ejercida a magnitud eléctrica. Por lo tanto, este conjunto será considerado el transductor de fuerza. En breve se verá que al transductor también lo compone otro circuito complementario a mayores.

Sin embargo, las deformaciones que va a sufrir la galga van a ser muy pequeñas. En consecuencia, las variaciones de resistencia y de la señal también lo serán. A causa de ello, será necesario amplificar esta señal. Por ello, se usarán una serie de dispositivos. A este conjunto se le conocerá como la cadena de medida. Se muestra un ejemplo sencillo en la siguiente figura (Fig. 35):

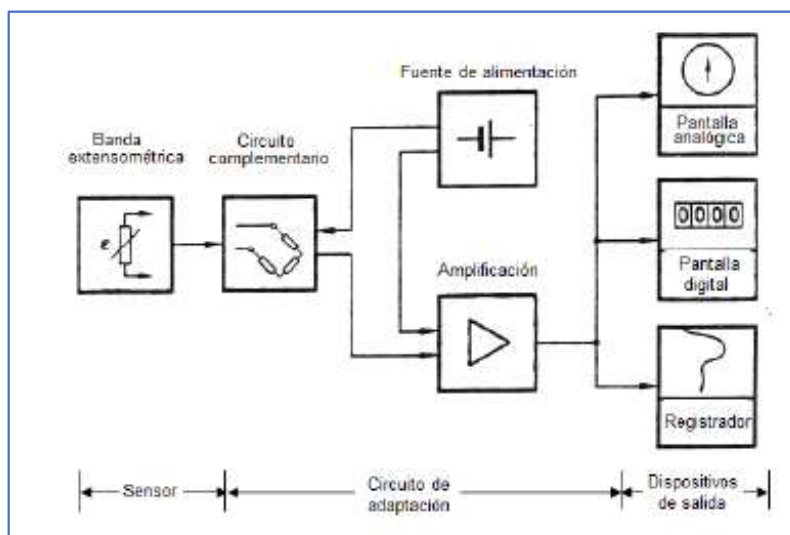


Fig. 35: Esquema de una cadena de medida para medir las deformaciones de una galga extensométrica

Como se aprecia en la imagen (Fig. 35), esta cadena se divide en tres elementos principales. El primero es el sensor que corresponde a la banda extensométrica que se ha estado explicando. Luego se encuentra el circuito de



adaptación encargado de transformar y amplificar la señal a un valor medible. Por último, están los dispositivos de salida que convierten la magnitud eléctrica a valor de fuerza y lo muestran por pantalla. Esta conversión se basa en las relaciones lineales de las magnitudes. La fuerza se relaciona linealmente con la tensión aplicada sobre una superficie. Esta tensión está estrechamente relacionada con la deformación del material, y ésta a su vez, se relaciona linealmente con la variación de resistencia de la galga. (Hoffmann 1989; Kleckers 2017)

Centrándose en el circuito de adaptación, se aprecia que lo compone un puente de Wheatstone, una fuente de alimentación y un amplificador. En las mediciones de carga se debe detectar cambios muy pequeños. Para esta tarea se suele usar el puente de Wheatstone. Este puente será junto a la galga y la fuente lo que forme el transductor de fuerza. La función de este puente es medir la resistencia de la galga y hay dos formas de medición:

- La primera consiste en obtener el valor absoluto de una resistencia comparándola con otra conocida.
- La segunda trata de determinar los cambios relativos de una resistencia.

(Alzate Rodríguez, Montes Ocampo, and Silva Ortega 2007; HBM 2017b; Hoffmann 1989)

Este último método es el usado para medir las deformaciones de la galga extensométrica. El orden de exactitud de esta medida ronda entre  $10^{-4}$  y  $10^{-2} \Omega/\Omega$ . (HBM 2017b)

Aunque en la imagen (*Fig. 35*) aparezca que sólo se añade una galga al circuito y el resto sean resistencias, no es la única configuración del puente. Existen tres configuraciones. La primera sería la mostrada, referida a ella como cuarto de puente. Estaría compuesta por una galga y 3 resistencias. La segunda estaría formada por 2 elementos de cada, llamada medio puente. Mientras que por último, la tercera serían 4 galgas y es conocida como puente completo. El aumento de estos sensores permite compensar efectos no deseados de la medición debidos a la temperatura o deformaciones específicas. (Alzate Rodríguez, Montes Ocampo, and Silva Ortega 2007)

Al ser el puente de Wheatstone un elemento pasivo sucede lo mismo que se ha comentado con la galga. Va a ser necesario suministrarlo con una fuente de energía externa para obtener una señal. (Hoffmann 1989) Debido a esto se debe colocar una fuente externa ( $V_s$ ) como se muestra en la siguiente imagen (*Fig. 36*):

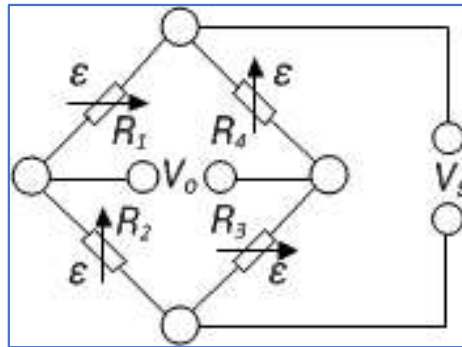


Fig. 36: Puente de Wheatstone con cuatro galgas extensométricas

Para entender cómo se mide con este circuito primero se debe observar que en la imagen (Fig. 36) se pueden ver dos ramas. Por un lado,  $R_1$  y  $R_2$  y por otro,  $R_3$  y  $R_4$ . Si el cociente entre  $R_1$  y  $R_2$  es igual al cociente entre  $R_3$  y  $R_4$  la medida de  $V_0$  será nula. Sin embargo, si se desequilibra esta relación debida a una deformación de las galgas se obtendría un valor no nulo en  $V_0$ . (HBM 2017b)

Sin embargo, este valor de  $V_0$  va a ser de un valor muy pequeño. Por lo tanto, será necesario el uso de un amplificador de señal para escalar esta tensión y que pueda ser leída por los equipos de salida. Como se aprecia en la imagen (Fig. 35), al igual que el puente, será necesario alimentar al amplificador con una fuente de alimentación externa. (Hoffmann 1989)

No obstante, para poder medir la fuerza, las galgas del puente de Wheatstone se deberán adherir a un elemento de resorte, en este caso será la estructura de la célula de carga (Fig. 37). Es importante añadir que este elemento debe ser lo suficientemente resistente para poder aguantar la máxima carga aplicada para la que se ha diseñado. A mayor resistencia, se necesitará una mayor fuerza para deformarlo. (Kleckers 2017)



Fig. 37: Interior de una célula de carga

Si observamos la imagen (Fig. 37) se aprecia que en vez de haber 4 galgas se pueden contar 8. Esto se debe a que la célula de carga cuenta con dos circuitos de puente de Wheatstone, uno para medir las fuerzas a tracción y el otro para medir las de compresión. De esta forma se consigue una mayor precisión en la medida.



## 2. Célula de carga

Como se ha comentado, la célula de carga que se va a usar es la U10M-5kN de HBM. Puede medir cargas de hasta 5kN tanto a tracción como a compresión, además de poder medirlas tanto de forma estática como dinámica con una alta precisión. (HBM 2020b)

Las especificaciones de esta célula de carga se anejan en el anexo 1 “*Características técnicas de los componentes*”

A la hora de montar la célula dentro del banco se debe tener mucho cuidado con su instalación para no tener problemas posteriores en las medidas ni dañar la célula. Es muy importante que las fuerzas a medir sean completamente axiales. En caso de ser oblicuas se va a cometer un error de medida sistemático debido a que sólo se estarán midiendo las fuerzas normales y se omitirán las tangenciales. Según el fabricante una inclinación de 5° podría causar un error del 0.38% (HBM 2013)

Además de evitar las fuerzas oblicuas, hay que tener en cuenta el efecto de las fuerzas laterales, los momentos de flexión y los pares de torsión. En la página del fabricante se explica la influencia que pueden tener estas magnitudes en la célula:

- **Fuerzas laterales:** Estas fuerzas son perpendiculares a la dirección de medición. En la instalación en el banco de ensayos la célula se colocará en posición horizontal. Por tanto, habrá que tenerlas en cuenta debido al peso de las piezas de montaje. Además, una fuerza lateral puede generar un momento de flexión. Esto puede provocar un error sistemático en la medida. Según el fabricante, el error es menor del 1% cuando la fuerza lateral equivale al 10% de la fuerza axial.
- **Momentos de flexión:** Hay que tener mucho cuidado con estos momentos debido a que pueden llegar a ser mayores que la fuerza a medir y llegar a dañar la célula. Como se explicaba, pueden ser inducidos por una fuerza lateral. La célula que se va a usar tiene una característica de alineación de momento de flexión, de esta forma se reduce la influencia que puedan tener sobre la célula y reducen su error al 0.01% al hacer la media de varios puntos individuales. Aun así, es importante tenerlos en cuenta puesto que no se está midiendo este parámetro y puede llegar a dañarla si es excesivo.
- **Pares de torsión:** La célula U10M tiene dos roscas internas para poder acoplarse dentro de un sistema de medidas. Es importante que al instalarlas queden bien fijadas en la posición requerida y con un par de apriete adecuado. En caso de exceder el par máximo permitido podría dañar a la célula. Durante su funcionamiento este par se compensa gracias a la geometría del sensor y al posicionamiento de las galgas.

(HBM 2013)

### 3. Acondicionador de señal

El acondicionador de señal es un dispositivo de adquisición de datos. Su función es amplificar la señal de entrada, filtrarla y transformarla de nuevo en una señal de salida con una magnitud diferente, por ejemplo, pasar la magnitud eléctrica a magnitud mecánica, y/o cambiarla a una escala fácil de leer. (HBM 2017a)

Como se mencionó el acondicionador de señal que se va a usar será el ClipX BM40IE de HBM. Dicho dispositivo se alimenta a 24V y tiene las siguientes entradas y salidas (Fig. 38) (HBM 2020a):

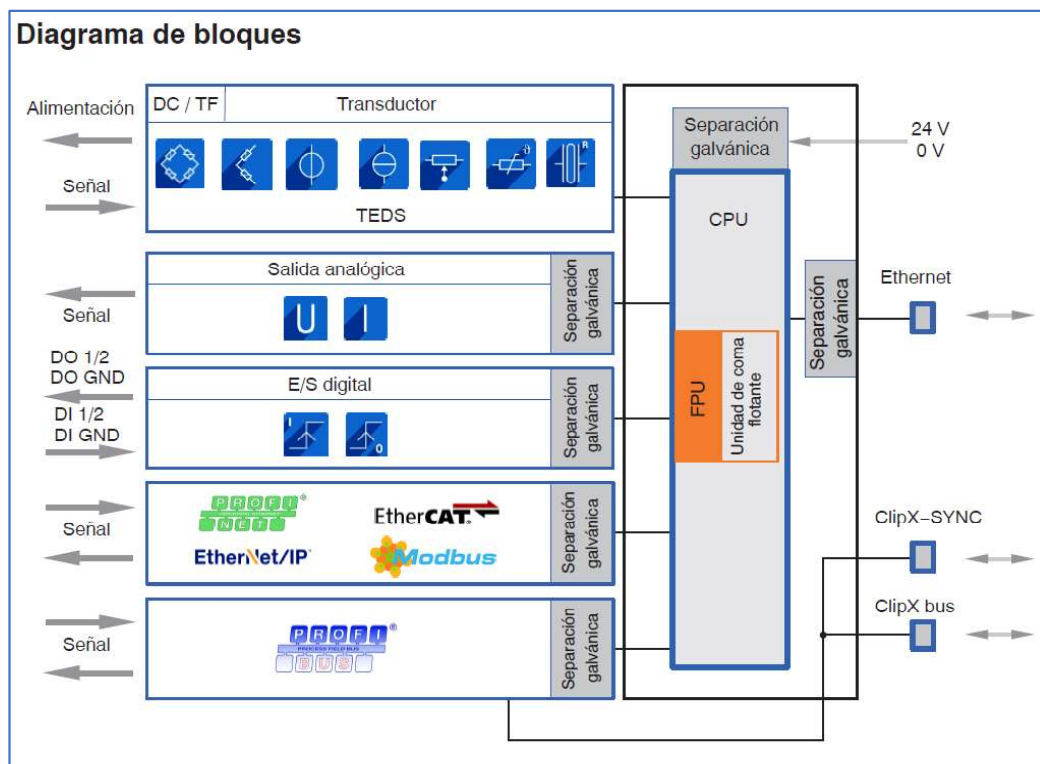


Fig. 38: Diagrama de bloques del ClipX

Este aparato recoge la señal de salida del transductor, en este caso, la señal de salida de la célula de carga. Dicha señal es filtrada y transformada a la magnitud que se desee y, por último, se vuelve a mandar mediante una señal analógica o mediante un protocolo digital a otro dispositivo de recogida de datos.

El tipo de filtrado, la transformación y el método de salida de la señal se puede configurar mediante un cable de ethernet unido en local o a través del router del ClipX a un ordenador. Mediante esta conexión se puede acceder a un servidor web integrado en dicho acondicionador de señal (Fig. 39):

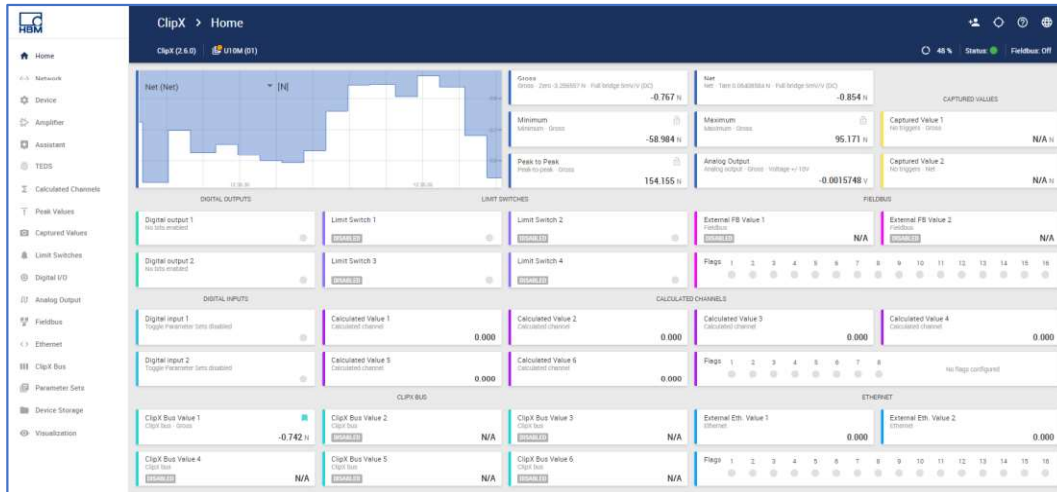


Fig. 39: Interfaz principal del servidor web integrado al ClipX

Observando la columna izquierda (Fig. 39) se pueden apreciar varios apartados de configuración del ClipX. Además, cabe la posibilidad de añadir una serie de perfiles los cuales pueden interactuar en mayor o menor medida con esta configuración. Por un lado, estaría el perfil de administrador protegido mediante una contraseña. Desde aquí se puede acceder a cualquier apartado de configuración y administrar los apartados que pueden ver los demás perfiles. Algunos de estos apartados serán explicados más adelante. Por otro lado, se encuentra el perfil de mantenimiento y el de operador. El primero también dispone de contraseña, mientras que el segundo no la tiene.

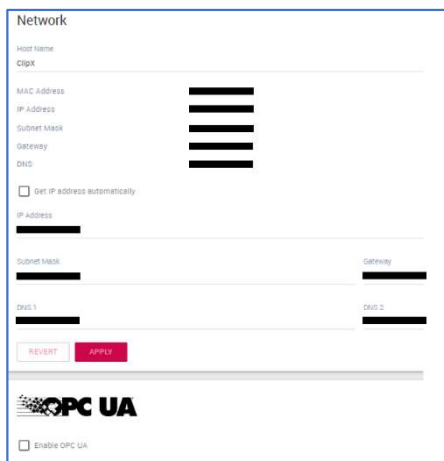


Fig. 40: Network. ClipX

Se ha comentado que el ClipX se puede conectar tanto en local como a través del router. Sin embargo, para el segundo caso antes se debe realizar una conexión en local para configurar la IP del dispositivo en el apartado de Network (Fig. 40). Una vez configurado este paso, cualquier dispositivo que esté conectado a este router podrá acceder como operador al ClipX. Por este motivo, se recomienda que el perfil de operador solamente tenga permitido el acceso a los apartados de visualización.

Además de configurar la IP del dispositivo, también se puede activar uno de los protocolos compatibles con este dispositivo, el OPC UA, el cual se comunica mediante la red ethernet. Se suele usar para la automatización industrial.

El siguiente apartado que se va a comentar es uno de los más importantes de la configuración del ClipX, se trata del amplificador (Fig. 41).

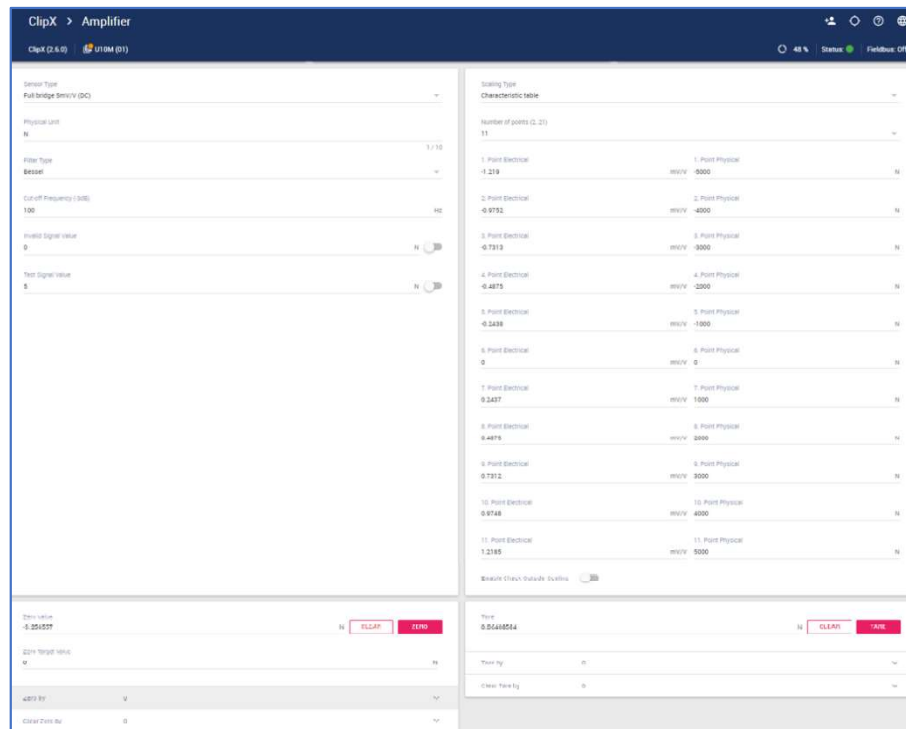


Fig. 41: Amplificador. ClipX

En esta sección se elige el tipo de sensor que se está conectando entre las varias opciones que hay. También, da dos opciones de tipos de filtro de paso bajo. Se puede seleccionar un filtro tipo Bessel o uno tipo Butterworth, además de la frecuencia de corte que se considere adecuada. Por otro lado, se ajusta la forma de transformación de la señal recibida, así como las unidades a las que se va a transformar dicha señal. Por último, se puede configurar la referencia de la medida o cero y tarar la medida en un valor. Aunque dicha tara no se va a realizar desde el ClipX, sino que se programará en LabVIEW.

Como se mencionaba antes, el ClipX tiene varias formas de envío de los datos recogidos y tratados. Por comodidad y compatibilidad con el PLC que se está usando se ha seleccionado la opción de una salida analógica de voltaje para el valor de la fuerza. Debido a esto, en el apartado de salida analógica se tendrá que configurar esta conversión.

Recapitulando, la célula usada está pensada para medir cargas de hasta 5kN tanto a compresión como a tracción. Por otro lado, el sistema de adquisición de entradas analógicas del PLC puede soportar cargas desde 10V hasta -10V. De esta forma, se van a configurar los máximos y mínimos de esta relación de transformación. Cuando se mida 5kN, se mandará una señal de 10V, mientras que cuando se mida -5kN la mandará de -10V. Esta relación también se puede ver en la esquina inferior izquierda de la siguiente imagen (Fig. 42):

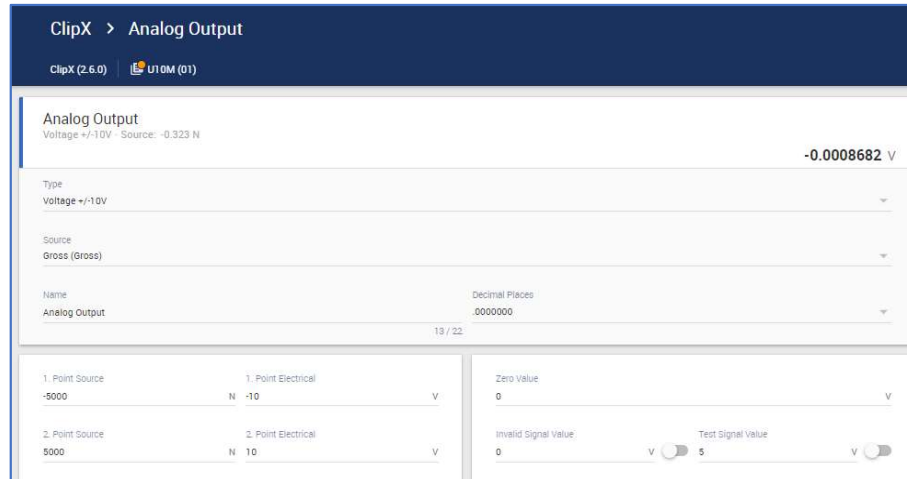


Fig. 42: Configuración de la salida analógica del ClipX

Otra de las secciones que existen en este dispositivo es el almacenaje de distintas configuraciones en función de qué tipo de sensor se esté usando. De esta forma, se podrían tener sensores de distinto ámbito guardados y en función de cual estuviera instalado en el banco de ensayos, cargar una configuración u otra (Fig. 43):

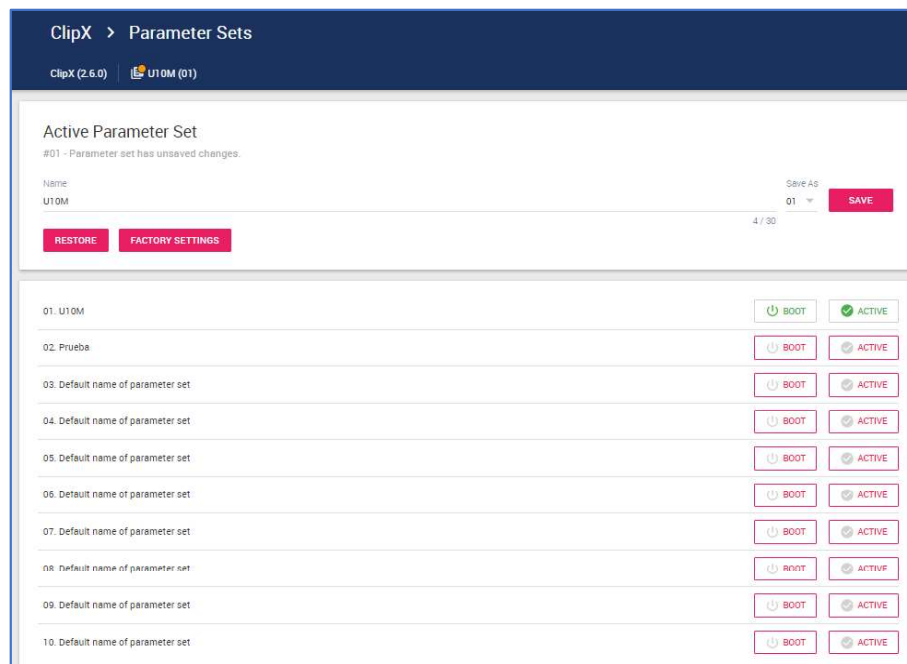


Fig. 43: Almacenaje de las distintas configuraciones. ClipX

El último apartado que se va a comentar en este punto es la sección de visualización. Esta interfaz permite personalizar una ventana con distintas magnitudes que se están midiendo a medida que transcurre el ensayo. De esta forma se puede tener una idea global de las magnitudes medidas y los cálculos que se quisieran realizar (Fig. 44).

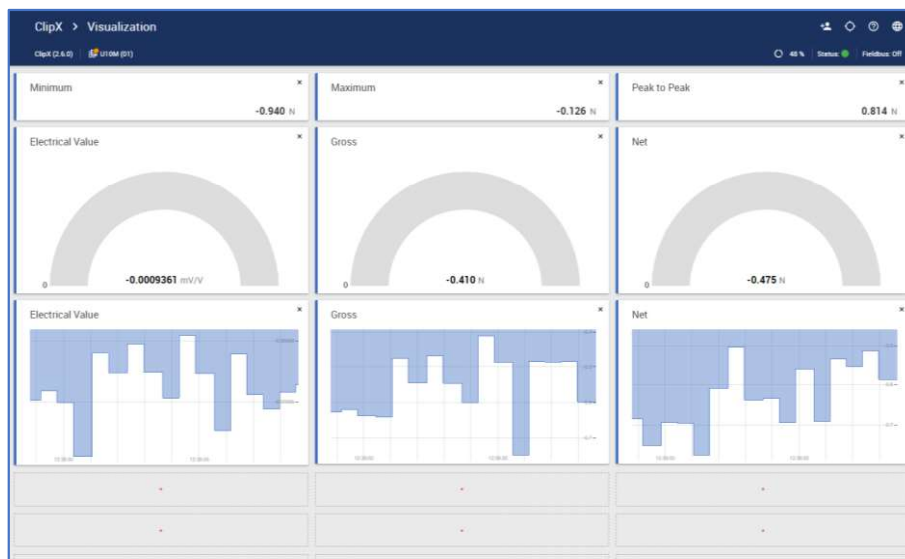


Fig. 44: Ventana de visualización de las medidas. ClipX

Las especificaciones de este acondicionador de señal se adjuntan en el anexo 1 “Características técnicas de los componentes”

## Capítulo 5: Hardware de control utilizado y circuito eléctrico

### 1. Componentes usados en el control

El control se va a realizar mediante el uso de un dispositivo con sistema CompactDAQ o cDAQ de la marca “National Instruments”. Este sistema puede tanto adquirir como enviar datos. Asimismo, se puede personalizar en función de las características que sean necesarias para el proyecto que se esté realizando. Dicha personalización se realiza mediante la instalación de módulos E/S los cuales se pueden intercambiar en el dispositivo. Además, pueden sincronizar las medidas tomadas entre ellos, digitalizar los datos de forma precisa, disminuir el ruido de las medidas y su cableado se realiza de forma sencilla. Una de las ventajas de estos controladores cDAQ es que combinan el procesador, el almacenamiento, la adquisición y el acondicionamiento de las señales en un dispositivo pequeño y robusto. (National Instrument 2020, 2021)

El cDAQ está formado por una serie de dispositivos que componen el conjunto del sistema. Las características y los planos de todos los elementos de los que se va a hablar a continuación se adjuntan en el anexo 1 “Características técnicas de los componentes” y en el anexo 4 “Planos de los componentes del PLC” respectivamente:

- Chasis: Está diseñado para tomar medidas precisas y acondicionadas. Existen muchos tipos de chasis, pueden alojar 1, 4 u 8 módulos. Además, su conexión puede ser mediante USB, Ethernet o WIFI dependiendo del modelo. El cDAQ que se va a usar en el proyecto será el cDAQ-9174. Observando la siguiente figura (Fig. 45), se ven 5 elementos que hay en este chasis. El primero indica 3 leds que tiene incorporado que corresponden a alimentado, listo y activo. El segundo es su conexión a una toma USB. El tercero es su conexión a la fuente de alimentación, en este caso de 12V. El cuarto indica los módulos que puede alojar el chasis, en este caso son 4 módulos. Por último, el quinto elemento es la toma a tierra. Además de estos elementos, el chasis también tiene alojado el controlador, que aporta el sistema cDAQ. (National Instrument 2020, 2021)

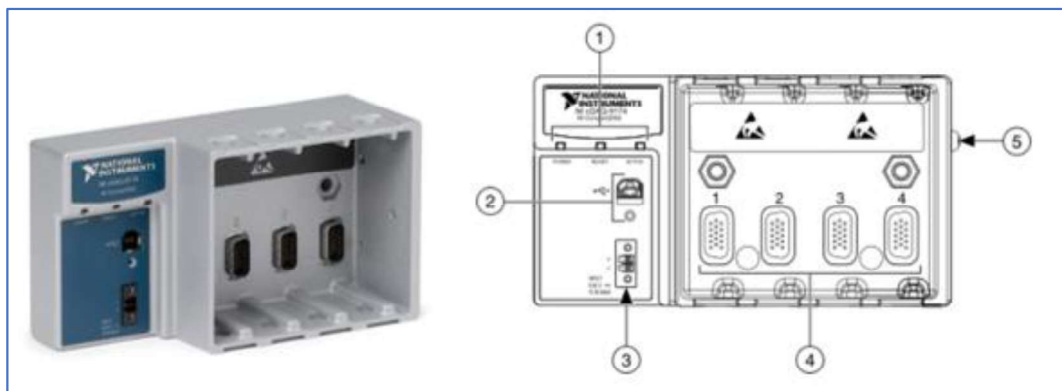


Fig. 45: Dispositivo cDAQ-9174



El chasis irá conectado mediante USB a un ordenador preparado para su utilización en procesos industriales. Es decir, un ordenador con un procesador apto para la realización de operaciones de forma precisa y con un alto rendimiento.

- Módulos: National Instruments ofrece una gran cantidad de módulos E/S los cuales pueden realizar distintas funciones y disponer de múltiples conexiones para una tarea determinada. En el control que se va a realizar se van a necesitar 3 módulos y un módulo vacío a mayores para colocarlo en la ranura sobrante:

- NI-9375 (Fig. 46): Este módulo está compuesto por 16 entradas y 16 salidas digitales. Las líneas de entrada son compatibles con niveles lógicos de 24V, mientras que las líneas de salida con señales de entre 6 y 30V en función de la fuente de alimentación externa que se conecte. Este módulo será el más importante dentro del control del banco de ensayos. Puesto que con esta tarjeta se controlará la mayor parte del driver como se verá más adelante.



Fig. 46: Módulo NI-9375

- NI-9411 (Fig. 47): Este módulo está compuesto por 6 entradas digitales compatibles con señales de  $\pm 5V$  a 24V. Dicha tarjeta será usada únicamente para la lectura del encoder.

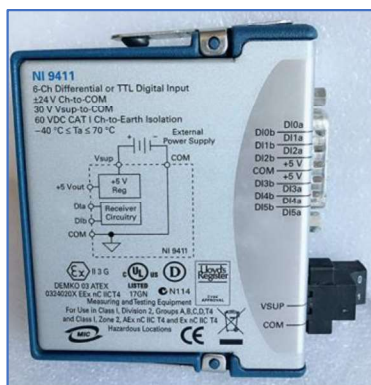


Fig. 47: Módulo NI-9411



○ NI-9215 (Fig. 48): Este módulo está compuesto por 4 entradas analógicas de  $\pm 10V$  con una conversión analógica-digital de 16 bits. Dicha tarjeta será usada en la medición del ClipX, es decir, la medición de la fuerza medida por la célula y se utilizará también para medir la velocidad y el par que está aplicando el servomotor. Estas dos últimas señales se obtienen del driver.



Fig. 48: Módulo NI-9215

○ NI-9977 (Fig. 49): Este módulo es una tarjeta vacía. Sirve para ocupar la ranura vacante. Según explicó el fabricante, era importante rellenar todos los huecos del cDAQ. Esto era debido a que un puerto al aire podía producir interferencias en las medidas porque podían introducirse señales electromagnéticas.



Fig. 49: Módulo NI-9977

- Software: El sistema CompactDAQ puede funcionar con varios tipos de software como DAQExpress™, FlexLogger™ y entornos de programación como LabVIEW. Este último será el software que se va a utilizar en la realización de todo el control del sistema. Este apartado de software se desarrollará junto al programa realizado en el siguiente capítulo: “Programación y realización de los ensayos”

Por último, además del cDAQ también se van a necesitar dos tarjetas de relés (Fig. 50). Las usadas son de la marca Handson Technology. Dichas tarjetas están compuestas por dos zonas. Por un lado, se encuentra el circuito electrónico encargado de controlar los relés. Mientras que, por otro lado, el circuito de potencia encargado de realizar la función de interruptor. Existen dos configuraciones posibles para ellos, pueden ser o interruptores normalmente abiertos o cerrados.

Esta tarjeta tiene 8 módulos con niveles lógicos de 5V. Cada canal necesita una corriente de entre 15 y 20mA. Los relés pueden trabajar bajo un voltaje en alterna de 250V y una intensidad de 10A y un voltaje en continua de 30V y una intensidad también de 10A.

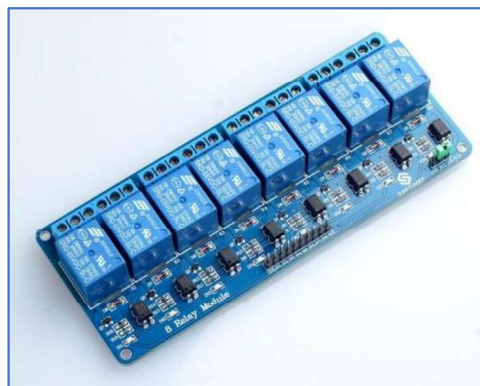
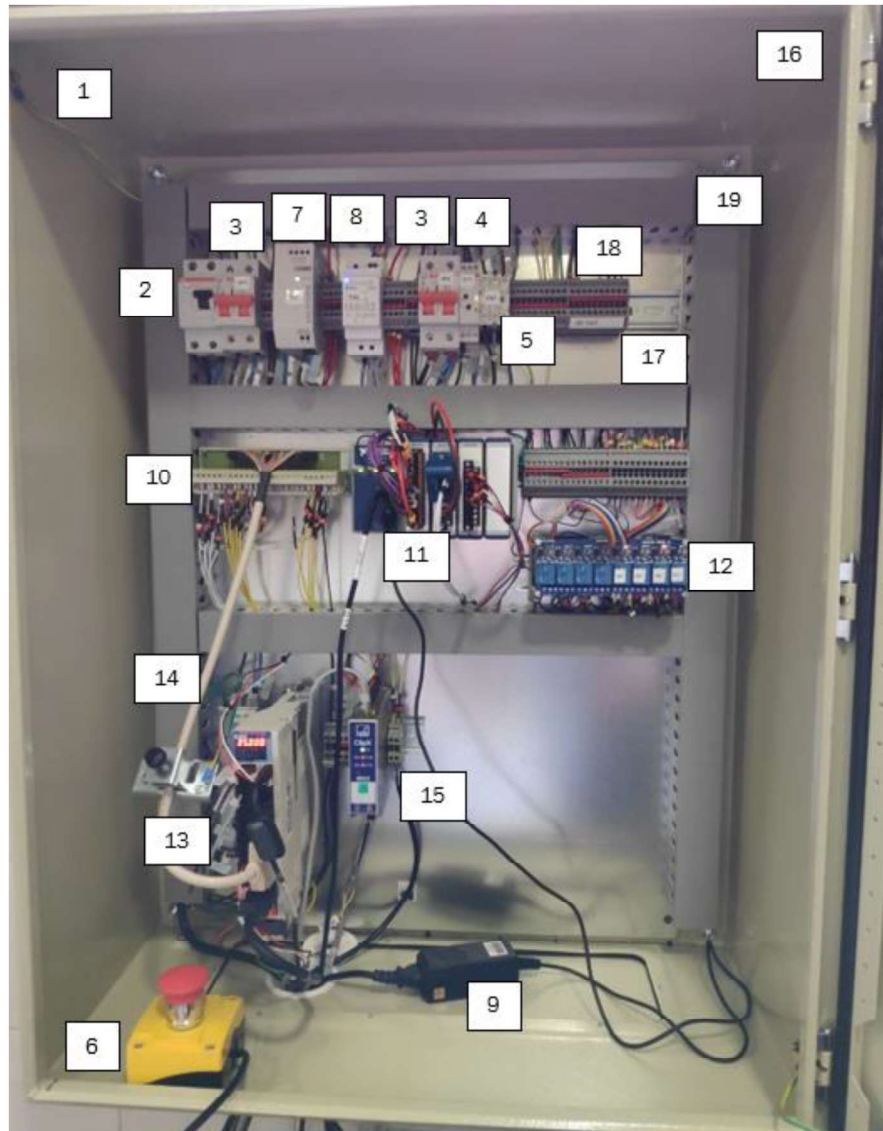


Fig. 50: Tarjeta de relés

## 2. Circuito eléctrico

El cuadro eléctrico construido para este banco de ensayos se muestra numerado en la siguiente imagen (*Fig. 51*). Para obtener una idea más general y poder ver las conexiones de este, ir al anexo 3 “*Planos del circuito eléctrico*”



*Fig. 51: Cuadro eléctrico*

A continuación, se hablará de los componentes de este cuadro eléctrico clasificándolos en distintas categorías (*Fig. 51*):

- Elementos de protección eléctrica:

A la hora de realizar una instalación eléctrica se deben tener en cuenta los defectos que puedan existir, entendiendo como defectos las condiciones diferentes a las diseñadas. Dentro de los cuales, para un sistema trifásico, se encuentran los defectos de tensión (sobretensión o subtensión), de corriente

(sobrecarga o cortocircuito), de frecuencia (sobrefrecuencia o subfrecuencia), fugas de tierra, distorsiones y asimetrías. (Boix i Aragonès 2009)

Debido a estos defectos se deben añadir elementos de protección a estas instalaciones con el fin de prevenir accidentes eléctricos, eliminándolos o limitándolos a valores no peligrosos. (Boix i Aragonès 2009)

1. Toma a tierra: En las instalaciones eléctricas se suele conectar el neutro de los dispositivos eléctricos a tierra para que todo el sistema esté referenciado al mismo punto (Fig. 52). La conexión a tierra consiste en una unión directa entre los elementos de la instalación y un grupo de electrodos enterrados en el suelo. Si por algún motivo una fase entra en contacto con tierra se producirá una fuga. Dicha fuga será detectada por el interruptor diferencial que se comenta a continuación. (Boix i Aragonès 2009)

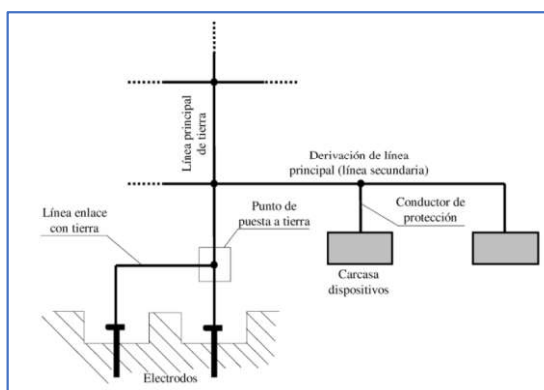


Fig. 52: Conexión a tierra

2. Interruptor diferencial: Son dispositivos de protección ante fugas a tierra en instalaciones de corriente alterna, aunque existen algunos específicos para corriente continua. Su funcionamiento está basado en la primera ley de Kirchoff (la suma de corrientes que entran en un nodo es igual a la corriente de salida, es decir, el sumatorio con signo de todas las corrientes en el nudo tiene que ser nula). Por tanto, al detectar una variación desconectan la línea donde están instalados. Como se comentaba, este elemento detecta la variación en la corriente, así que dependiendo de la sensibilidad del aparato desconectará antes de pasar cierto umbral o más tarde. Esto dependerá de la instalación. (Boix i Aragonès 2009)

3. Interruptores automáticos magnetotérmicos: Son aparatos de protección usados ante los defectos de corriente. Dicha protección está compuesta por dos elementos. Por un lado, dispone de una parte magnética que protege contra cortocircuitos y, por otro lado, otra térmica que protege frente a sobrecargas. Como sucedía con el interruptor diferencial, en este otro tipo de interruptor también se encuentran dispositivos con distinta sensibilidad dependiendo de la aplicación. (Boix i Aragonès 2009)

- Otros elementos de protección

4. Relé temporizador: Este elemento es un interruptor con retardo en el encendido. En el modelo instalado se puede configurar dicho retardo entre 0.05s y 100h. Este dispositivo se colocó para realizar dicho retardo en el encendido del driver debido a una recomendación del fabricante. Se usa para protegerlo ante un pico de tensión en el encendido. (ABB 2007)

5. Contactor: Este dispositivo es un interruptor que se acciona al detectar una señal eléctrica. Existen varios tipos de contactores, pero el que se va a usar es normalmente abierto y cuando detecta corriente eléctrica se cierra. (Boix i Aragonès 2009; Electric 2015)

6. Seta de emergencia: Este elemento es una protección manual para la maquinaria y el operario. Consiste en un interruptor normalmente cerrado más un pulsador. Ante una emergencia, al pulsarlo el interruptor abre el circuito. Para volver a cerrar el circuito se debe realizar un pequeño giro al botón para que vuelva a su estado natural.

- Elementos de suministro eléctrico:

7. Fuente de alimentación de 24V: Esta fuente se usa para suministrar corriente a las señales digitales del driver y a la parte de señales de entrada de la tarjeta NI9375.

8. Fuente de alimentación de 5V: Este dispositivo tiene la función de alimentar a las tarjetas de relés, a la parte de señales de salida de la tarjeta NI9375 y a la tarjeta NI9411.

9. Fuente de alimentación de 12V: Este elemento alimenta eléctricamente al cDAQ.

- Elementos de control:

En esta categoría hay ya varios elementos que ya se han explicado en capítulos previos. Aunque lo que no se ha explicado es la configuración final del driver para el control que se va a realizar. A continuación, se muestra un esquema final de las salidas y entradas que se van a usar en el driver (*Fig. 53*):

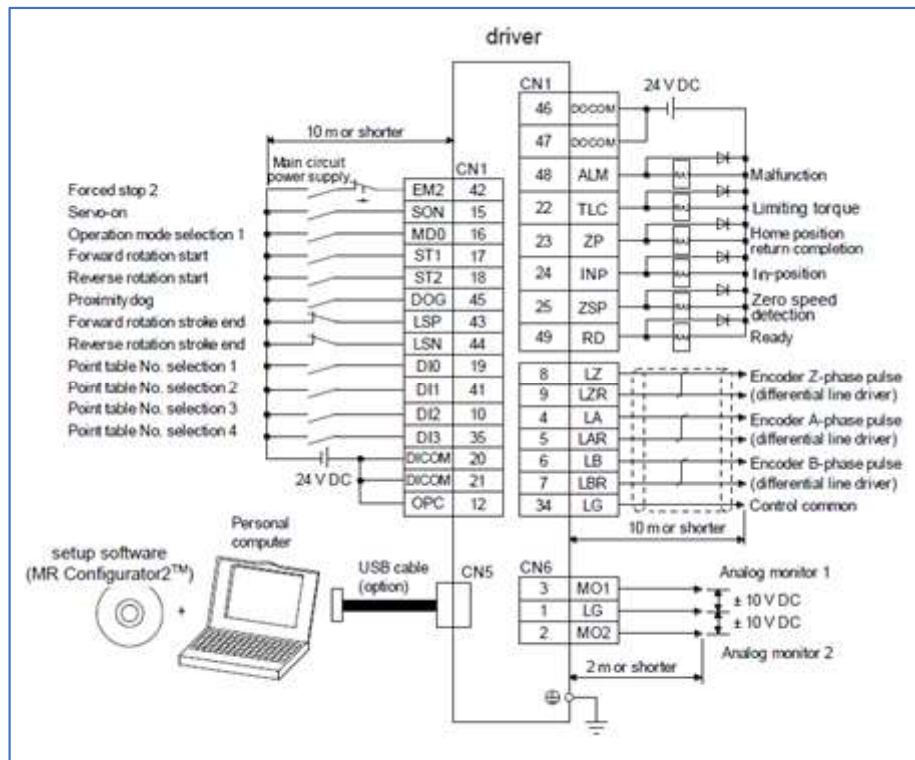


Fig. 53: Configuración de las salidas y entradas del circuito de control del driver

10. **Bornera del conector CN1 del driver:** Dispone de 52 pines los cuales, en función de la configuración de control realizada en el driver, indicarán un tipo de entradas y salidas digitales diferentes. La configuración usada se puede ver en la imagen anterior (Fig. 53). Como se comentó en el punto del controlador, en el lado izquierdo aparecen las entradas al driver mientras que en el lado derecho están las salidas.

Las entradas están controladas mediante la utilización de unos interruptores. Al cerrarse, el driver detectará que le llega una señal de voltaje y por tanto reconocerá que la operación acorde debe realizarse. Por ejemplo, al cerrar el interruptor SON indicará que el controlador debe encender el servomotor.

Hay algunas señales como por ejemplo EM2 que deben estar cerradas desde el comienzo. Esta señal es una parada de emergencia la cual se podría ejecutar de forma manual porque está conectada a la seta de emergencia o vía software. Al detectar que se ha abierto el circuito, el driver desactivaría toda operación que estuviera realizando.

Las salidas por otro lado mandarían una señal o no en caso de que se cumpla una condición. Por ejemplo, el pin ZSP se activará en el momento que la velocidad del actuador sea cero y se desactivará cuando no se cumpla.

11. **cDAQ + tarjetas:** Como se explicaba anteriormente, el control se realizaba mediante tres tarjetas.



Observando el esquema de control (*Fig. 53*), la tarjeta NI 9375 es la encargada de controlar las entradas digitales del conector CN1 expuestas a la izquierda (desde el pin 42 al 35) y el primer bloque de salidas digitales del conector CN1 expuesto a la derecha (desde el pin 48 al 49).

Por otro lado, la tarjeta NI 9411 es la encargada de la lectura del encoder, correspondiente al segundo bloque de salidas de CN1 (pines del 8 al 34).

Por último, la tarjeta NI 9215 se encarga de la lectura de las salidas analógicas. Tanto del conector CN6 del controlador como de la salida analógica del ClipX. En el caso del driver, MO1 se corresponde con la velocidad del servomotor y MO2 con el par ejercido por el actuador. Por otro lado, el ClipX envía la señal de fuerza medida en el ensayo.

12. Tarjetas de relés + resistencias: Las tarjetas de relés son los interruptores del lado izquierdo representados en el esquema (*Fig. 53*). Como se comentaba en el punto anterior, estas tarjetas tienen un nivel lógico de 5V. Para realizar la función de abrir y cerrar el interruptor estos niveles lógicos tienen que estar dentro de un margen de valores. El nivel bajo se define entre 0V y 2.5V, mientras que en el nivel alto entre 2.5V y 5V. Debido a esto, como para el nivel bajo se obtenía un voltaje igual a 3V se necesitó añadir unas resistencias que redujeran este valor al punto óptimo sin que el nivel alto descendiera del rango mencionado.

Estas resistencias comentadas son llamadas resistencias pull-down. Este término se refiere a que son usadas para reducir el voltaje del nivel bajo a un valor próximo a la referencia. Después de varios cálculos y ajustes experimentales se determinó que su valor debía ser de  $5k11\Omega$ .

13. Driver: Como ya se ha comentado anteriormente, es el controlador del actuador.

14. Filtro: Recomendado por el fabricante para la instalación del driver. Este filtro se coloca entre el suministro eléctrico y el controlador. Sirve para eliminar las frecuencias eléctricas no deseadas y lograr una señal con el mínimo ruido posible.

15. ClipX: Como ya se ha comentado anteriormente, es el acondicionador de señal en la cadena de medida de la fuerza.

- Elementos de soporte y organización:

16. Caja de pared de acero: Tiene unas dimensiones de 800x600x300mm. En dicha caja irán todos los componentes del cuadro eléctrico.



17. Carriles DIN: Son barras de metal normalizadas que suelen utilizarse para los montajes de elementos eléctricos.

18. Borneras: Son elementos de conexión entre cables.

19. Canaletas de PVC: Son elementos cuyo fin es de protección y organización para los cables.



## Capítulo 6: Programación y realización de los ensayos

La estructura realizada en este capítulo será la siguiente. Primero se explicará la programación de los bloques de adquisición de datos que son comunes a todos los ensayos, las condiciones iniciales y finales y los bloques de los programas de uso general. Tras esto, se irán tratando los distintos programas para los ensayos realizados en este TFG. Se mostrará primero la programación realizada y seguido los resultados obtenidos de una prueba de dicho ensayo.

Como se mencionó en el capítulo 1, estos ensayos se van a realizar en colaboración con la empresa Orthomedical3D la cual trabaja con órtesis diseñadas e impresas en 3D por ellos.

Antes de comenzar con la explicación, cabe mencionar que LabVIEW es un entorno de desarrollo cuyo lenguaje se basa en la programación visual. Esto quiere decir que los elementos usados serán bloques diseñados de forma gráfica.

Además, existen dos espacios en el programa. Por un lado, se encuentra el “*Front Panel*” que es la interfaz de usuario en donde se irán colocando elementos de visualización. Mientras que, por otro lado, está el “*Block Diagram*”. Aquí se realizará la programación y se harán las conexiones oportunas entre los elementos añadidos al “*Front Panel*”. Con el fin de dar un ejemplo a esta explicación se muestra el famoso programa “Hola mundo” a continuación (Fig. 54):

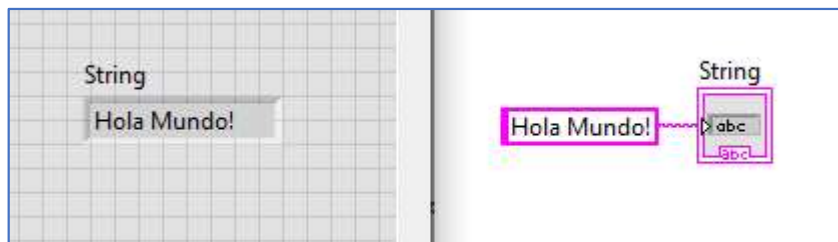


Fig. 54: Programa de "Hola mundo" en LabVIEW

A la izquierda aparecería el Front Panel mientras que a la derecha se encuentra el Block Diagram.

### 1. Programa de adquisición de datos

El primer bloque de programa (Fig. 55) que se explicará se corresponde con la recogida de las señales digitales de salida del driver, es decir, las entradas al PLC. Para esta tarea se usará un bucle while que se irá ejecutando cada 100ms hasta que se pulse el botón de “*Stop*”. Dicho botón indicará la parada de todo el sistema de ensayos.

Dentro de este bucle se añadirá un bloque llamado “*DAQ Assistant*”. Se puede acceder a este elemento de código debido a que se está usando un cDAQ de *National Instrument*. En este bloque se podrá elegir la tarjeta que se va a usar,

en este caso se accederá a la NI9375, explicada anteriormente. Además, también se podrán elegir los pines de los que se quiere leer. En este caso se usarán desde el pin DIO hasta el pin DI5 de la tarjeta, que son los que están conectados para esta programación.

Los datos recogidos se obtienen en un array. Debido a esto, si se quieren visualizar de forma individual se deberán separar en función de su número de pin. Se tendrán 6 entradas digitales representadas por 6 leds dentro del programa. Dichas señales son:

- ALM: Este led deberá estar activo en todo momento, en caso de que se apague indicará que habrá saltado una alarma en el driver y habrá que examinar el problema.
- TLC o limit torque: Indica el límite máximo de fuerza programado.
- ZSP o zero speed detection: Se activará cuando el actuador se encuentra con velocidad nula.
- ZP o home position return completion: Se encenderá si se ha realizado la posición de "Home"
- INP o in position: Indica que el actuador está en la posición a la que se le ha mandado.
- RD o ready: Estará activo mientras se cumplan las condiciones de uso del actuador, como que ALM esté activo o que el servo esté encendido.

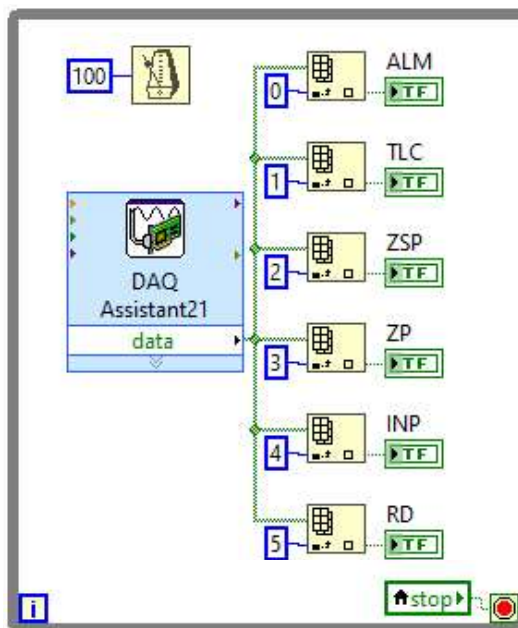


Fig. 55: Bloque de adquisición de las señales digitales del driver

El segundo bloque de programa (Fig. 56) a comentar será el encargado de recoger las señales analógicas, tanto del driver como del acondicionador de señal. Dichas señales se corresponden con la velocidad del servo motor, el par motor y la fuerza medida por la célula. A diferencia del bloque anterior, para esta tarea se usará un time loop. Es similar a un bucle while, pero en este se da una mayor importancia al tiempo de ciclo. Al igual que antes se irá

ejecutando hasta que se pulse el botón de “Stop”. Para este bloque se puede modificar el tiempo de muestreo gracias al cuadro situado a la izquierda del time loop. Se trata de una estructura case. Cuando se acciona el interruptor cambio de muestreo (orden lógico true) se puede acceder a un control de este tiempo. En caso de que no esté accionado (orden lógico false) el valor por defecto serían 10ms.

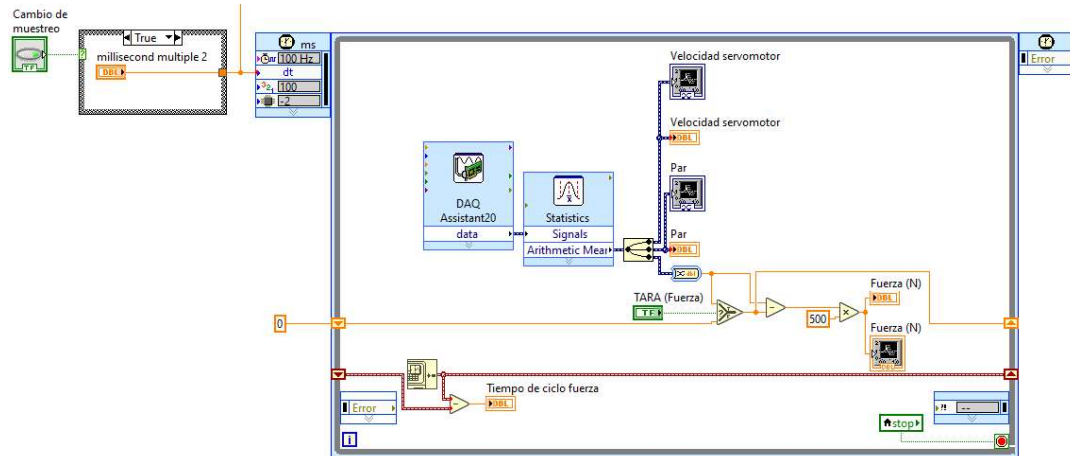
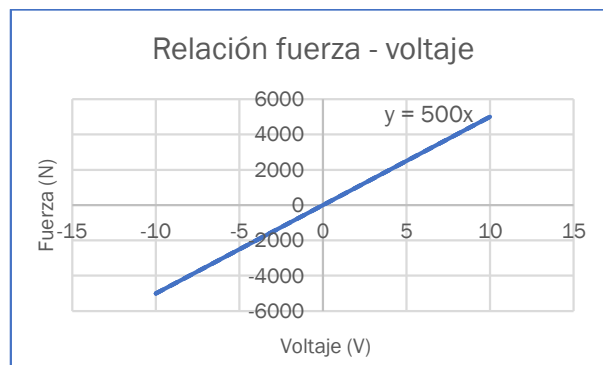


Fig. 56: Bloque de adquisición de las señales analógicas

Dentro de este bloque se encuentra un “DAQ Assistant” que en este caso, accederá a la tarjeta NI9215. Tras este elemento se encuentra una función de estadística la cual está pensada para realizar una media aritmética de cada señal con el fin de minimizar el ruido que pueda haber. Después, se separa cada señal con el fin de graficarlas.

Todas estas mediciones se realizan en voltios. Debido a esto, habrá que hacer una transformación a sus magnitudes reales. Para no sobrecargar el ciclo con operaciones solo se realizó la transformación a la fuerza.

La fuerza y el voltaje están linealmente relacionados. La relación que se asoció en el apartado del ClipX cuando se hablaba de la salida analógica es la siguiente (Gráfica 1):



Gráfica 1: Relación lineal fuerza-voltaje

Como se observa, para esta conversión solo haría falta multiplicar la señal de voltaje por 500 para pasarla a fuerza. Por último, se programó una tara a la

fuerza. En caso de activarse el botón de tara restaría su valor actual por él mismo y almacenaría dicho valor en una variable. Al desactivar el botón, seguiría restando el valor actual menos el último valor guardado.

El tercer bloque de programa (Fig. 57) a comentar será el encargado de recoger las señales del encoder, el cual mide el desplazamiento. Este bloque es similar al de adquisición de señales analógicas, pero más simple. Usa un time loop como el anterior y también está conectado al cuadro de cambio de muestreo. Dentro del bucle solo estaría el “DAQ Assistant” el cual lee la tarjeta NI9411. Y éste está conectado a una gráfica y un indicador para ver sus valores en la interfaz de usuario como anteriormente se hacía.

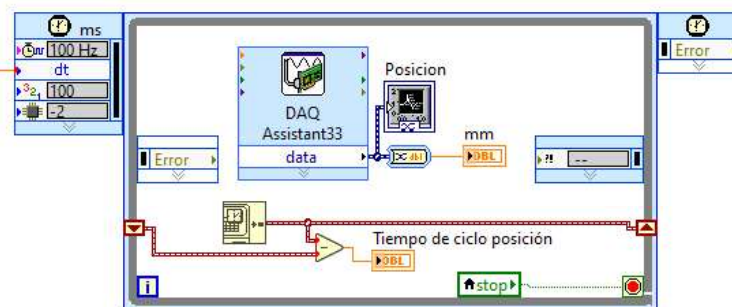


Fig. 57: Bloque de adquisición de la señal del encoder

Por último, se encuentra el bloque de guardado de datos (Fig. 58). Dicho cuadro recoge los datos de fuerza y desplazamiento en el momento que se activa el interruptor asociado (Guardar datos) y con el mismo tiempo de muestreo que los dos bucles anteriores. El archivo obtenido se encuentra en formato TDMS el cual puede ser abierto por varios programas de tratamiento de datos.

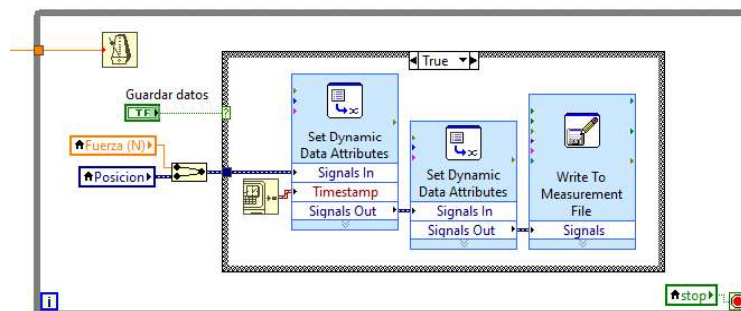


Fig. 58: Bloque de guardado de datos

## 2. Condiciones iniciales y finales

A partir de este punto se comenzará a explicar el bloque principal del programa. Dicho bloque se trata de uno secuencial con tres secciones. Esto quiere decir que primero se ejecutará la primera sección, luego la segunda y por último la tercera.

La primera y la tercera parte de la secuencia se trata de las condiciones iniciales (Fig. 59) y finales (Fig. 60) del código respectivamente, mientras que la segunda es donde se encuentra toda la programación de los ensayos.

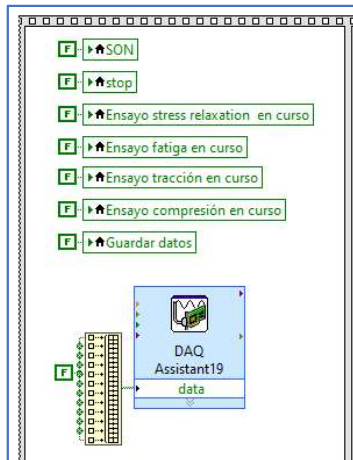


Fig. 59: Condiciones iniciales

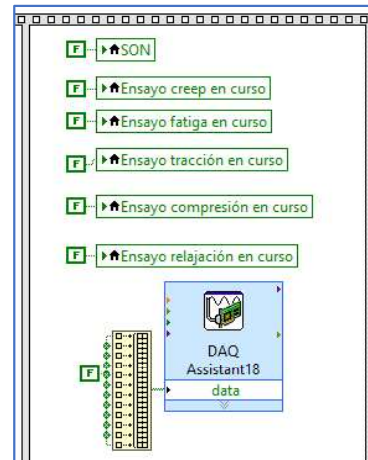


Fig. 60: Condiciones finales

Comenzando con las condiciones iniciales del programa se tienen las siguientes:

- Botón de stop: Debido a que este botón es un pulsador que se queda mantenido al usarse, nada más comenzar el programa deberá de colocarse en la posición inicial de no pulsado.
- Interruptor de SON o servo-on: Este interruptor lo que hace es encender el servo. Entonces, se programa para que nada más ejecutar el programa el servo se encuentre apagado.
- Leds de ensayo: Lo normal es que estos leds se encuentren apagados puesto que se encienden al ejecutar un ensayo y se apagan al final de este. Sin embargo, en caso de que por algún problema se haya tenido que parar a mitad de ensayo, se programa para que se encuentren apagados al inicio del mismo.
- Guardado de datos: Como no en todo momento interesa guardar datos porque igual no se está realizando un ensayo, se ha colocado una condición para esta acción. Por ello, nada más arrancar se define como false para no guardar datos innecesarios.
- Señales de salida digital: Estas corresponden a las señales que controlan los interruptores que se veían en la explicación del cuadro eléctrico y se mostraban en la Fig. 53. De esta forma, todos los interruptores comenzarán con la posición inicial mostrada en dicha imagen salvo el pin 42 (EM2) que comenzará en circuito cerrado para que dichas señales se encuentren alimentadas. En caso de fallo, se podrá abrir dicho interruptor mediante software o pulsando la seta de emergencia.

Las condiciones finales del programa, observando la Fig. 60, se puede observar que son exactamente las mismas condiciones salvo que ni el botón stop ni el de guardar datos vuelven a su posición inicial.

### 3. Programas de uso general

Explicadas las condiciones iniciales y finales se comenzará con la segunda sección de la secuencia, que es el bloque en donde están programados todos los ensayos. Dicho bloque está compuesto por un bucle while que estará activo hasta el momento que se active el botón de stop. Una vez activo pasará la secuencia a las condiciones finales y tras ellas se apagará el programa.

Dentro de este bucle while a su vez se encuentra una estructura case con dos opciones, true o false. En la opción false el programa no hará nada, pero en el true se accederá al programa en cuestión. Ahora bien, la condición que ha de cumplirse será poner el servomotor en on mediante un interruptor (Fig. 61):

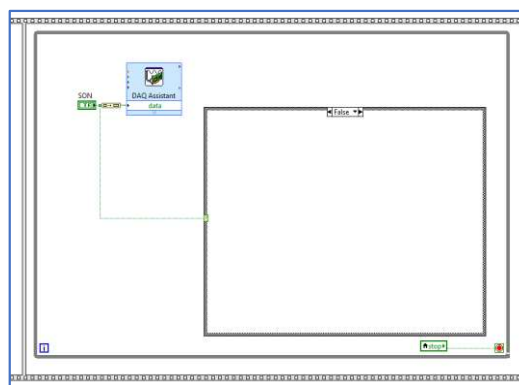


Fig. 61: Condición de inicio del programa

Cumplida esta condición se accederá a un “Tab control”. Este elemento del código da la opción de tener un cuadro clasificador, es decir, de tener varias pestañas con distintos programas al conectarlo a una estructura case. Dicho cuadro servirá para tener los distintos ensayos clasificados (Fig. 62).

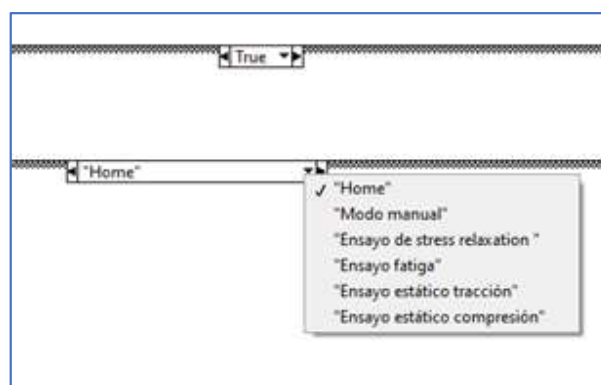


Fig. 62: Tab control

Como se aprecia en la imagen (Fig. 62) hay varios programas. Se comenzará explicando los dos primeros, los cuales son de uso general. Por un lado, estaría el programa de vuelta a home, es decir, vuelta a la posición 0. Mientras que por otro se encuentra el programa del modo manual del actuador. En dicho modo



se podrá mover hacia adelante y hacia atrás a este a una velocidad constante y no variable desde el PLC.

- Programa “Home”:

Al acceder a este programa se ven dos elementos. Por un lado, un “DAQ Assistant” que activa el pin MDO (modo automático) mientras que por otro lado, hay otro case. Esta vez la condición para que el programa se ejecute la dará el hecho de que el actuador esté parado (ZSP activo). Una vez cumplida se podrá acceder al botón “Home” el cual ejecutará un bloque de secuencia al activarlo.

Primero, pondrá a cero todos los bits que marcan la posición (0000, Pos. 0), mirando la Fig. 53 serían las entradas al controlador de la DI0 a la DI3. Tras esto se activaría la secuencia de ejecución de posición. Esta secuencia consiste en mantener activo el pin ST1 durante más de 10ms, para este caso se usó 100ms. Tras pasar dicho tiempo se desactiva. Por si hubiera estado activo anteriormente, se desactiva con anterioridad también. Por último, se desactiva el botón de Home.

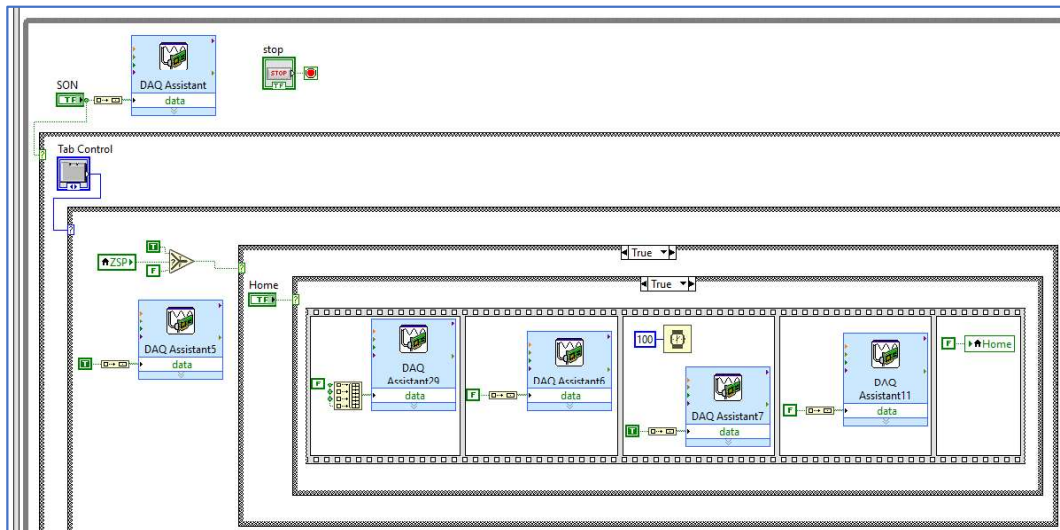


Fig. 63: Programa de vuelta a Home

- Programa del modo manual:

Este programa es el más sencillo de todos. Solo lo componen 3 acciones. La primera es que el pin MDO debe estar desactivado para habilitar el modo manual. Tras esto, se colocarán dos interruptores que marcarán la marcha hacia delante y hacia atrás, ST1 y ST2 respectivamente. En caso de activar o desactivar los dos, el actuador no se moverá.



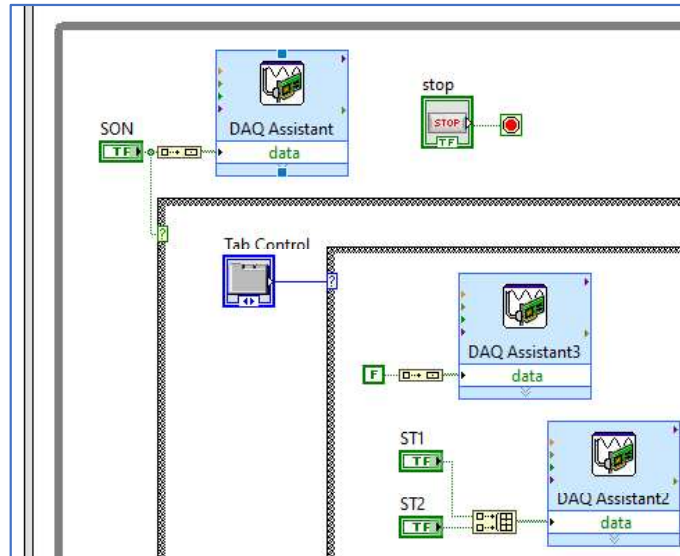


Fig. 64: Modo manual

Los elementos que se han ido comentando en este punto en el panel frontal aparecerían de la siguiente forma:

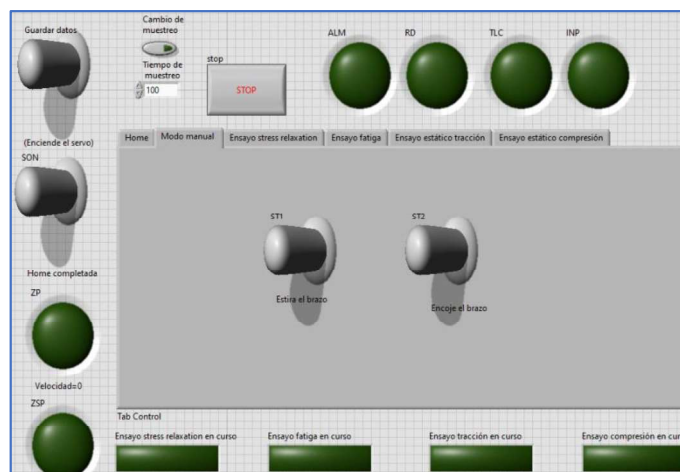


Fig. 65: Panel frontal con el programa del modo manual

#### 4. Ensayo estático de tracción y de compresión

A partir de este punto se comenzará con la programación de los ensayos que se van a realizar en este proyecto. Se va a comenzar con un ensayo de tracción. Este tipo de ensayo consiste en someter a una probeta a un esfuerzo axial de tracción. Dicha fuerza irá en aumento a bajas velocidades, por ello se considera un ensayo cuasi estacionario. Como ya se explicó, primero se comentará la programación y seguidamente una pequeña prueba del ensayo realizado. Al tratarse de una prueba, los resultados obtenidos no serán objeto de un estudio posterior.

Al igual que pasaba con el programa de home y el modo manual, habrá que ir a la pestaña correspondiente a este ensayo en la estructura case del “*Tab control*” (Fig. 66 y Fig. 67). Accediendo a esta sección del código se puede ver un “*DAQ Assistant*” que activa el modo automático (el pin MDO) y otro case con unas condiciones de funcionamiento. Para acceder a éste, se deberá cumplir que el led ZP esté activo (el cual indica que se ha realizado el Home, punto de referencia) y haber pulsado el botón de ensayo tracción. En caso de no cumplir las condiciones, aparecerá un aviso por pantalla de que se debe realizar el home.

Tras esto, se accede a una secuencia programada. La primera sección serían las condiciones iniciales del ensayo. Hay algunas condiciones que se repiten respecto a la primera sección del código. Esto se debe al hecho de que es posible detener un ensayo a la mitad y empezar otro sin la necesidad de volver a ejecutar el programa.

Por un lado, se desactiva el botón de comienzo de ensayo, el interruptor de start, que se verá más adelante, y el interruptor de guardar datos. Por otro lado, se activa el led de ensayo en curso.

Realizadas las condiciones iniciales, el programa ejecuta una posición de aproximación a la zona de ensayo. Dicho punto de la tabla se ejecuta de la misma forma que se veía en el Home. Una vez que el actuador realiza el desplazamiento aparece por pantalla que ya se puede montar el utillaje y en caso necesario cambiar el tiempo de muestreo de recogida de datos.

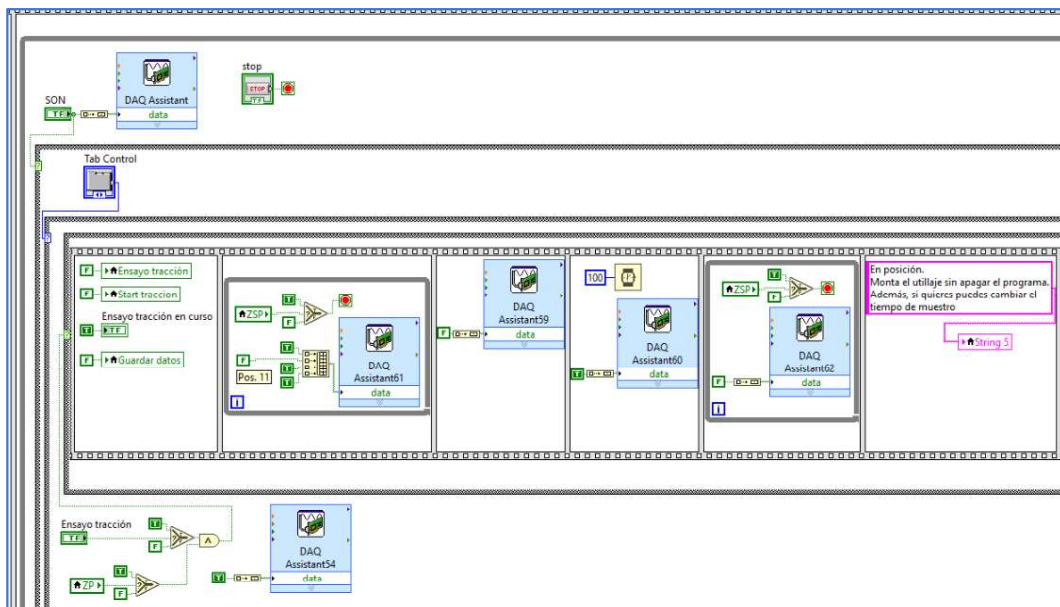


Fig. 66: Ensayo de tracción parte 1

Colocado el utillaje, cuando se accione la palanca de start, se activará el guardado de datos y se ejecutará una posición que vendrá marcada por la distancia a la que se quiera estirar el elemento a traccionar. Cuando se detecte que el actuador está parado, se desactivará el interruptor start, el guardado de

datos y el led que marcaba ensayo en curso. Además, por pantalla aparecerá el mensaje de ensayo terminado.

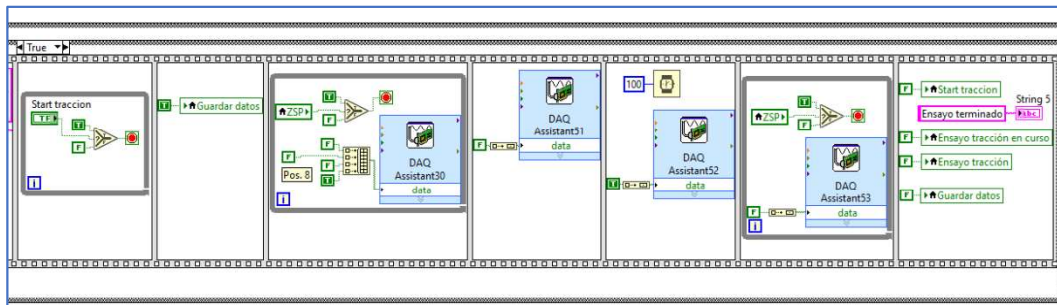


Fig. 67: Ensayo de tracción parte 2

Este programa visto desde el panel frontal se vería del siguiente modo (Fig. 68):

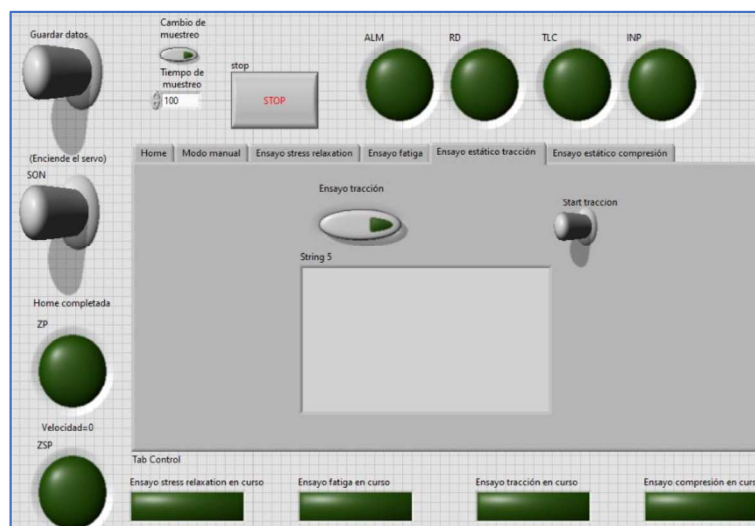


Fig. 68: Panel frontal del ensayo de tracción

La finalidad de la preparación de este ensayo es estudiar a posteriori el comportamiento de unas correas y sus enganches al aplicar una fuerza de tracción. Todos estos elementos estarán impresos en 3D por la empresa Orthomedical3D.

Dicho ensayo se quiso probar con el fin de poner a punto la máquina y ver si la programación era la adecuada. Debido a esto, se tuvo que diseñar un utillaje para el ensayo (Fig. 69). Para ello, se utilizaron perfiles de aluminio de la marca fasten de 40x40 para construir una escuadra. La ventaja que poseen este tipo de perfiles es que tienen una guía gracias a la cual se puede colocar los elementos a ensayar a la altura que se considere oportuna, en este caso, se busca lograr la perpendicularidad.

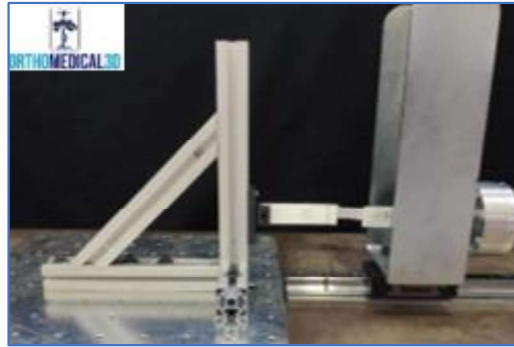
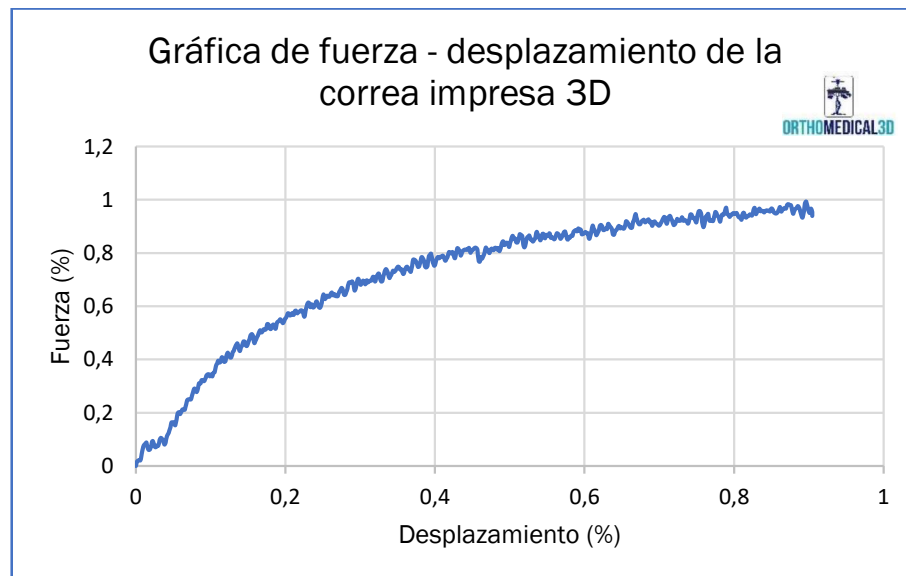


Fig. 69: Utillaje ensayo correa

Una vez montado el utillaje se realizó el ensayo primero en vacío y luego en carga. Se tuvo que realizar de este modo debido a que la célula de carga se encuentra antes que el patín de la guía. Debido a esto, la célula está recogiendo además de los valores del ensayo, los valores de la fuerza de rozamiento. Por ello, primero ha de realizarse el ensayo en vacío para posteriormente poder restar dicho valor a la fuerza obtenida durante el ensayo.

Después de este tratamiento de datos, se obtuvo la siguiente gráfica (Gráfica 2). Debido a un acuerdo de confidencialidad con la empresa, los resultados de dicho ensayo se mostrarán en porcentaje.



Gráfica 2: Representación fuerza-desplazamiento del ensayo de tracción a una correa impresa en 3D

El programa del ensayo de compresión no se explicará puesto que sigue la misma estructura, pero cambiando unas posiciones por otras. Debido a su similitud con la metodología del de tracción, este ensayo no se ha realizado, sino que solamente se ha programado y se ha puesto a punto.

## 5. Ensayo stress relaxation en ciclos

El siguiente ensayo que se programó fue el stress relaxation test. Este ensayo consiste en estudiar cómo se comporta una probeta al someterla a un determinado esfuerzo axial de tracción manteniéndola fija en una posición y un tiempo determinados. A mayores, este ensayo se programó para que se pudieran realizar ciclos constantes de tracción y relajación de la probeta. De forma que se pueden especificar tanto el número de ciclos que se quieren realizar, como los tiempos que se quiere tener a la probeta estirada y relajada. Este ensayo podría considerarse como uno estático en ciclo. Entendidos estos conceptos se comienza la explicación del segundo programa de ensayos.

La primera parte de este ensayo es similar al de tracción (Fig. 70). Se elige una nueva pestaña del “Tab Control”, se activa el modo automático en dicha pestaña (pin MD0), así como que han de cumplirse ciertas condiciones para el inicio del ensayo como que el led ZP esté activo y el número de ciclos sea distinto de 0. Sino se cumplen aparecería un aviso por pantalla.

Tras ello, al apretar el botón de ensayo, se activarían las condiciones iniciales y se ejecutaría la posición que aproxima el actuador a la zona de ensayo para montar el utillaje.

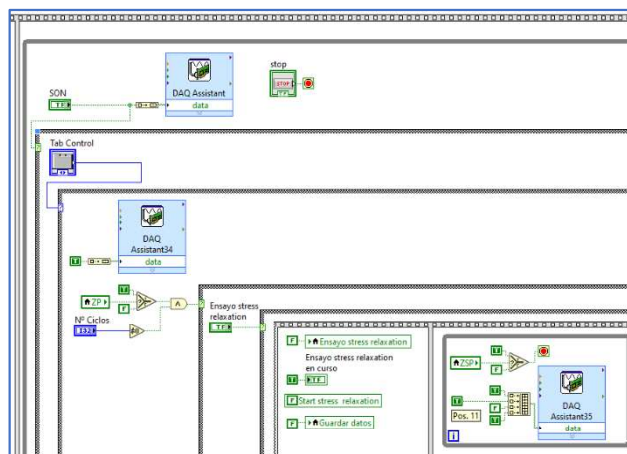


Fig. 70: Ensayo de stress relaxation parte 1

Una vez montado el utillaje se accionaría el interruptor start del ensayo que activaría el guardado de datos y entraría dentro de un bucle for (Fig. 71).



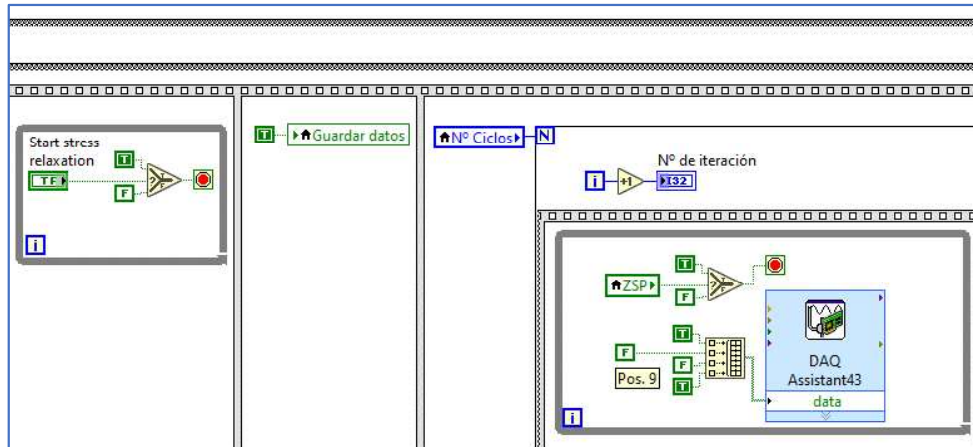


Fig. 71: Ensayo de stress relaxation parte 2

Dentro de dicho bucle se va a ir alternando entre dos posiciones. La posición de probeta estirada y la de probeta relajada. A mayores, como el elemento que se va a ensayar será el mismo que en el ensayo de tracción se simulará el movimiento de cierre colocando una posición a mayores antes de la posición de probeta traccionada. Dicha posición estirará un poco más la probeta antes de llevarla a la posición de ensayo. La ejecución de las posiciones es igual que en ensayos anteriores, así que no se mostrará en imagen.

Además, en dicho bucle se irá mostrando el número de iteración actual para que el usuario tenga una idea de por dónde llega el ensayo.

Ahora bien, en la interfaz de usuario se van a pedir unos valores de tiempo para tracción y para relajación. Estos valores servirán para implementar un cronómetro que medirá los ciclos de tiempo de cada fase (Fig. 72). Primero se inicializarán los valores del cronómetro y tras ello comenzará a contar el tiempo. Cuando se cumpla la condición del tiempo marcado saltará a la siguiente posición. Este cronómetro usado también se podrá ver desde la interfaz para que el éste pueda hacerse una idea de por como va el ensayo.

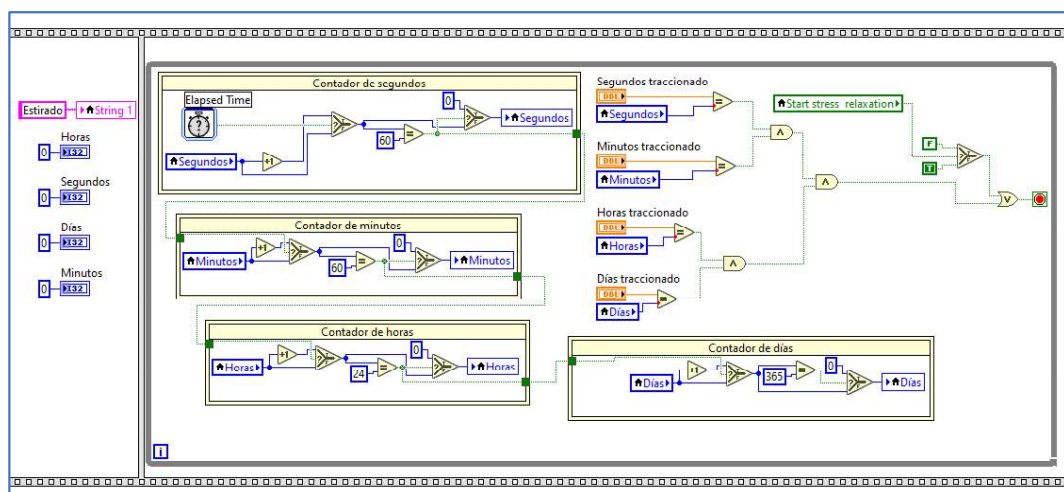


Fig. 72: Ensayo de stress relaxation parte 3

Al igual que hay dos tipos de tiempo, dentro del código también hay 2 cronómetros, sin embargo, como son similares solo se muestra uno. Dichos cronómetros irán detrás de la ejecución de las posiciones respectivas.

Las condiciones finales son iguales, pero adaptadas a este ensayo.

El panel frontal quedaría de la siguiente manera (Fig. 73):

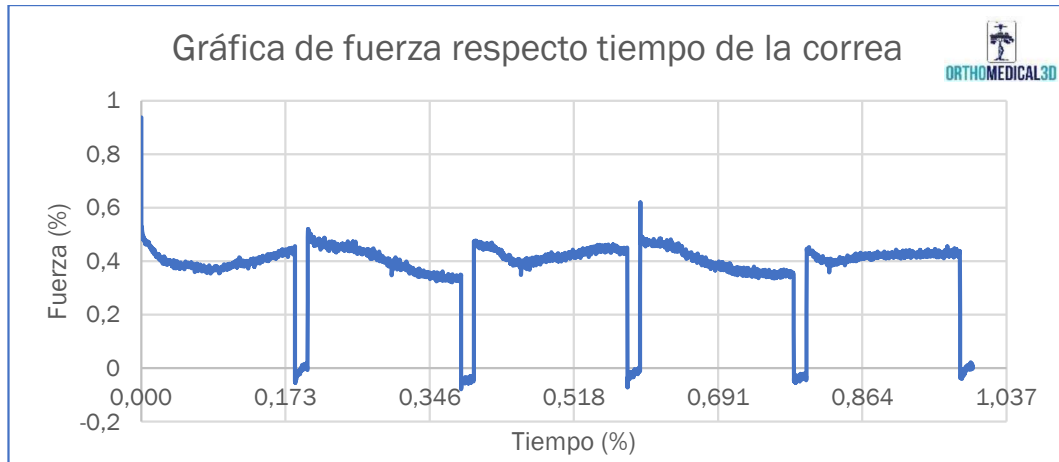


Fig. 73: Panel frontal del ensayo de stress relaxation

La finalidad de la preparación de este ensayo es estudiar a posteriori el comportamiento de las correas y sus enganches que se vieron en el ensayo anterior. Sin embargo, esta vez se quiere ver cómo se comportan al realizar su función a lo largo de un periodo de tiempo. Al ser los mismos elementos, el montaje del ensayo será el mismo (Fig. 69).

Como ocurría anteriormente, debido a la colocación de la célula se tuvieron que hacer unos ensayos cortos antes de la realización del ensayo con el fin de medir las fuerzas de rozamiento. Los resultados obtenidos del ensayo tras el tratamiento posterior se muestran en la siguiente gráfica (Gráfica 3). Aunque debido al acuerdo de confidencialidad se volverán a mostrar en porcentaje.





Gráfica 3: Representación fuerza-tiempo del ensayo de stress relaxation a una correa impresa en 3D

## 6. Ensayo de fatiga

El último ensayo que se verá en este TFG será el ensayo a fatiga cuya realización era el principal objetivo de este banco de ensayos. Este tipo de ensayo consiste en observar el comportamiento de las piezas de ensayo ante cargas fluctuantes a una determinada frecuencia.

La programación de este ensayo comenzaría de la misma forma que el anterior. Las condiciones de inicio de ensayo serían las mismas y las condiciones iniciales también, pero adaptadas a este ensayo. Se mandaría la instrucción al controlador de mover al actuador a una posición próxima al ensayo y se mantendría en dicho lugar hasta que se accionara el interruptor de start para comenzar el ensayo y el guardado de datos.

Hasta este momento, el programa es el mismo. La segunda parte del ensayo también es similar. Hay un bucle for que va ordenando ir entre una posición y otra al detectar que la velocidad es nula, pero con la diferencia de que ahora no existe un cronómetro entre medias.

Cabe mencionar que este ensayo parte de una posición inicial de referencia de la cual el actuador se desplaza a una posición positiva y a otra negativa respecto de esta. Por este motivo, al acabar el bucle for, se manda la instrucción de volver a esa primera posición con el fin de volver a relajar la pieza ensayada.

Por último, el programa termina con las condiciones finales que se han comentado en anteriores ensayos.

El panel frontal de dicho ensayo quedaría de la siguiente manera (Fig. 74):

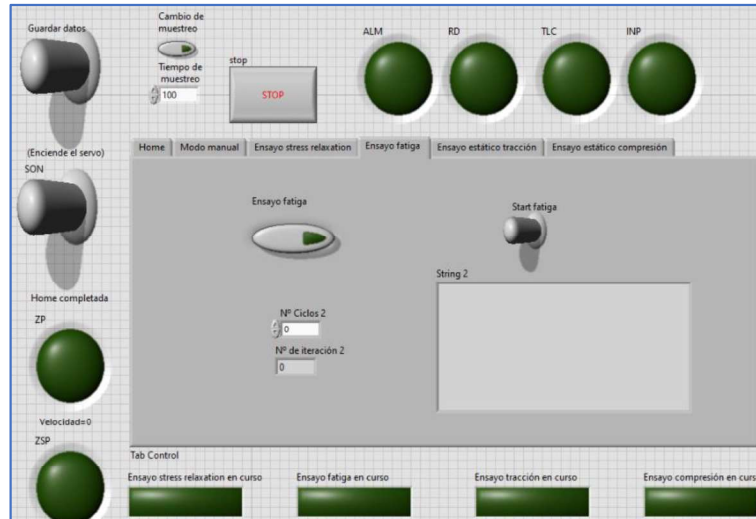


Fig. 74: Panel frontal del ensayo a fatiga

La finalidad de preparación de este ensayo es realizar un estudio a posteriori comparando el comportamiento de un DAFO comercial (Fig. 75) frente a uno diseñado y fabricado por la empresa Orthomedical3D. Se quiere lograr plasmar unos resultados cercanos al comercial a partir de realizar diversos ensayos y pruebas con los impresos en 3D modificando su geometría. En dicha labor, participé con la empresa presentado varios diseños de estos prototipos para su posterior fabricación y ensayo.



Fig. 75: DAFO

La palabra DAFO viene de las siglas en inglés “*Dynamic Ankle Foot Orthosis*”, que en español sería órtesis dinámica tobillo-pie. Dicho elemento se utiliza con el fin de tratar problemas en el sistema locomotor de esta zona particular.

El ensayo que se quiere realizar se centra en reproducir el movimiento de una persona caminando. A la hora de realizar esta acción, el tobillo realiza dos movimientos: uno denotado como dorsiflexión y otro como plantar flexión (Fig. 76). A su vez, los ángulos máximos que se van sucediendo son  $10^\circ$  y  $20^\circ$  respectivamente (Fig. 77) (Bowker and Michael 1992).

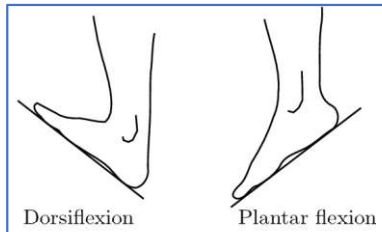


Fig. 76: Movimientos del tobillo durante la marcha

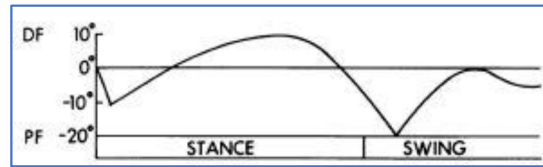


Fig. 77: Ángulos del tobillo durante la marcha

Se realizó una comprobación de dicho ensayo con el fin de poner a punto la máquina y ver si la programación era la adecuada. Por este motivo, se tuvo que diseñar un utillaje para dicho ensayo (Fig. 78) y recolocar al actuador en una posición superior a la que se encontraba en ensayos anteriores.

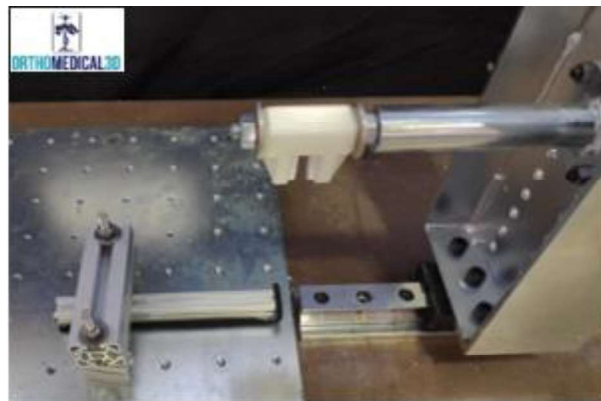


Fig. 78: Utillaje para el ensayo de fatiga del DAFO

Este utillaje está formado por dos perfiles de aluminio de fasten. Uno de 40x40 y otro de 20x20 para construir un pisador. La idea es pisar la planta del DAFO superior con el perfil pequeño y este a su vez pisarlo en su extremo para eliminar su movimiento con el otro perfil. Como se aprecia en la imagen, se colocó una espuma al perfil de 20 con el fin de no dañar la planta del DAFO.

Por otro lado, en el útil de contacto se acopló una pinza para sujetar el DAFO por la zona superior. Dicha pinza será la encargada de inducir el movimiento al DAFO. Además, las caras de contacto de la pinza se realizaron con un material de baja fricción para ayudar al deslizamiento de la pieza ensayada.

La disposición del DAFO sobre la base de ensayos será la siguiente (Fig. 79):

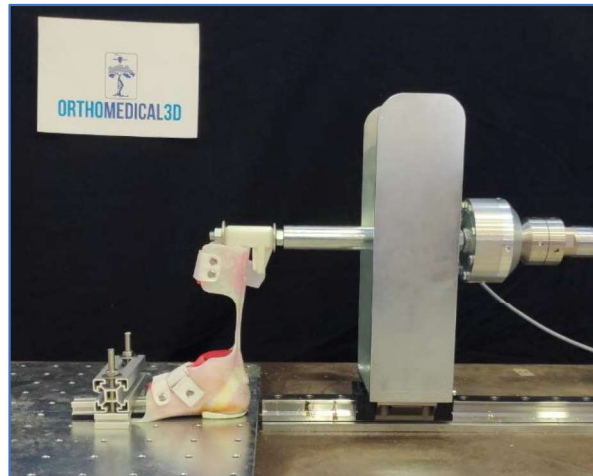
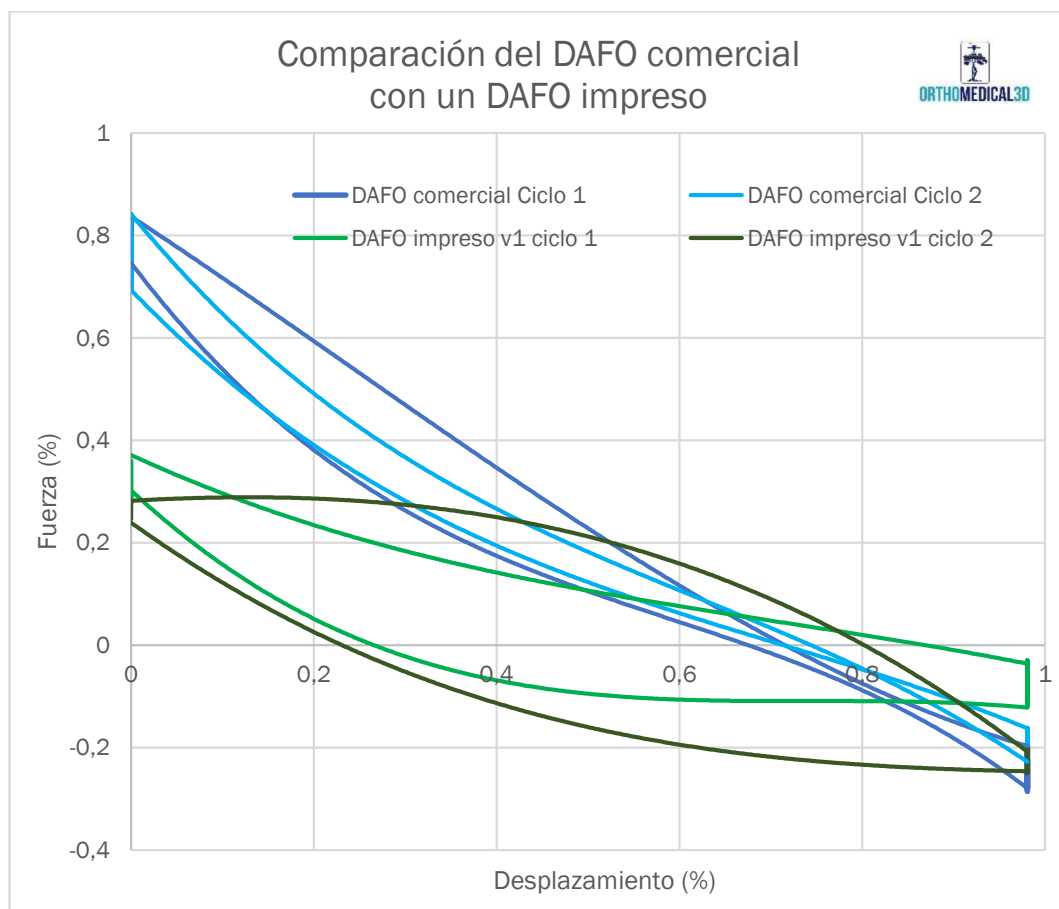
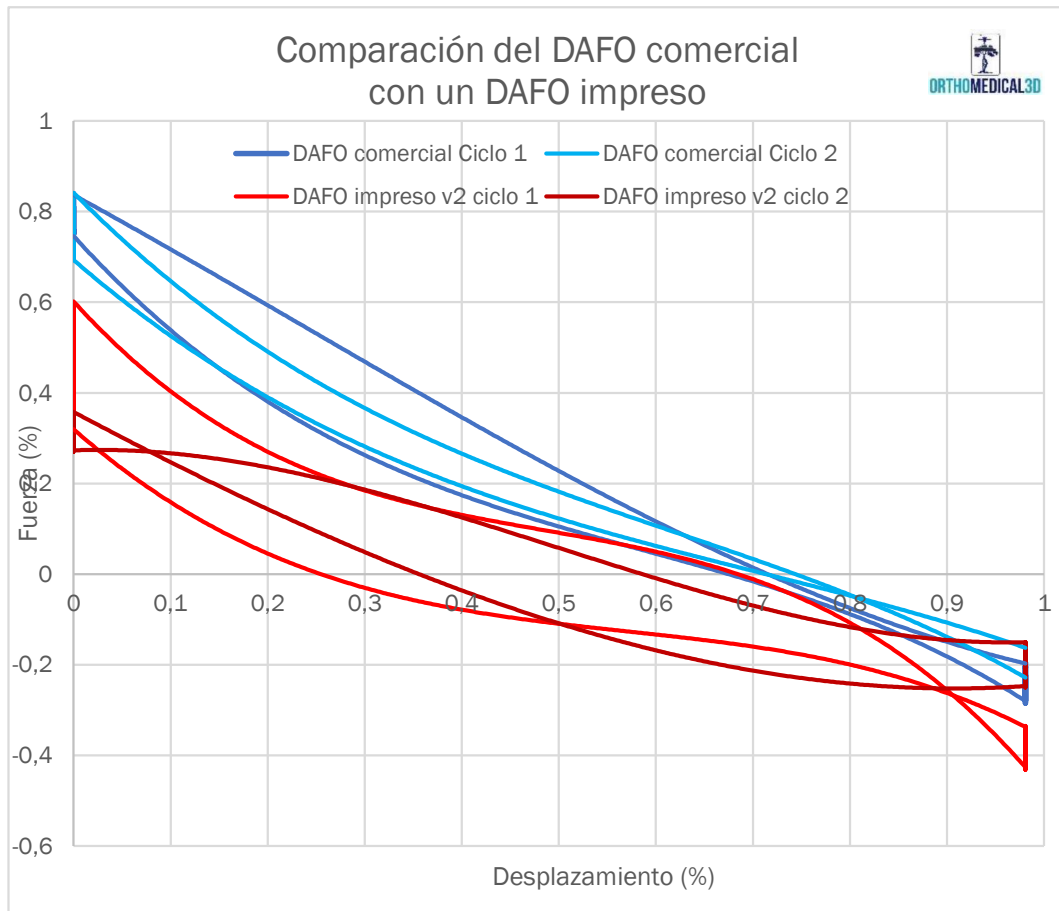


Fig. 79: Disposición del DAFO sobre la base de ensayos

Al igual que se hizo en los ensayos anteriores, se realizó un ensayo en vacío con el fin de medir las fuerzas de rozamiento. Se realizaron tres ensayos de prueba del DAFO comercial y dos DAFOs impresos. Los resultados obtenidos del ensayo tras un tratamiento posterior se muestran en las siguientes gráficas (Gráfica 4 y Gráfica 5). Aunque como antes, debido al acuerdo de confidencialidad se volverán a mostrar los datos en porcentaje.



Gráfica 4: Representación fuerza-desplazamiento de dos ciclos de un ensayo de fatiga comparando un DAFO comercial con uno impreso



Gráfica 5: Representación fuerza-desplazamiento de dos ciclos de un ensayo de fatiga comparando un DAFO comercial con otro impreso

Para concluir con los ensayos, hay que comentar que fueron programados para estas piezas en concreto. En caso de querer realizar ensayos similares, pero con elementos distintos, habrá que programar nuevas posiciones junto a sus valores asociados (velocidad, aceleraciones...) en el driver.



## Capítulo 7: Costes

La realización de este proyecto a supuesto una serie de costes que estarán recogidos de forma ordenada en las siguientes tablas (*Tabla 1*):

Tabla 1: Costes del proyecto

COSTES				
Denominación	Fabricante	Unidades	€/u.	Total
Actuador eléctrico Ley63NZC-400	SMC	1	2.275€	2.275€
Driver actuador LECSB2-T8	SMC	1	945€	945€
Célula de carga U10M-5kN	HBM	1	1.600€	1.600€
Acondicionador de señal ClipX BM40IE	HBM	1	677€	677€
Guía lineal RA30 con patín RA30EM	NSK	1	362€	362€
Charnela hembra estrecha	Lasiom	2	31,75€	63,5€
Charnela hembra con rótula	Lasiom	1	63,75€	63,75€
Bulón charnela estrecha	Lasiom	2	3,4€	6,8€
Cabeza de rótula macho	Lasiom	1	65€	65€
Piezas mecanizadas	Caldinva y comeinsa			1.500€
Ordenador industrial	Belsati sistemas	1	800€	800€
PLC (cDAQ 9375, NI 9375, NI 9411, NI 9215, NI 9977)	NI	1	1.250€	1.250€
Relay Module	Handson Technology	2	11€	22€
Caja de pared de acero (800x600x300)	RS PRO	1	168,61€	168,61€
Diferencial de 2 polos	LS Industrial Systems	1	12€	12€
Magnetotérmico de 10A y 6A	LS Industrial Systems	2	5€	10€
Fuente de alimentación 24V	Phoenix Contact	1	105€	105€
Fuente de alimentación 5V	NIMO	1	22,3€	22,3€
Contactador	Schneider Electric	1	21,62€	21,62€
Relé temporizador	ABB	1	43,16€	43,16€
Seta de emergencia	Schneider Electric	1	40€	40€
Carril DIN	RS PRO	4	5,31€	21,24€
Borneras	Phoenix Contact	90	0,839€	75,51€
Punteras	RS PRO	100	0,074€	7,4€
Canaletas de PVC	RS PRO	4	6,19€	24,76€
Cables y tornillería				25€
<b>TOTAL</b>			<b>10.206,65€</b>	





## Capítulo 8: Conclusión

Revisando los objetivos marcados en el capítulo 1 se observa que han sido cumplidos punto a punto.

Primero, se realizó una revisión a cada pieza del banco de ensayos y se hicieron las modificaciones pertinentes del diseño mecánico. Tras ello, se pidieron presupuestos a los fabricantes y se realizaron las compras de material. Para concluir con este objetivo, se montó el conjunto del banco de ensayos.

Segundo, se procedió con la elección de un PLC y su conexión con el controlador del actuador, acabando con la realización de la instalación eléctrica.

Tercero, se programaron ensayos estáticos, dinámicos y a medida para este banco de ensayos. Todos ellos programados usando la herramienta de LabVIEW.

Por último, la puesta a punto de la máquina se hizo mediante la realización de tres pruebas de ensayos programados a medida, uno estático de tracción, otro estático de relajación de tensiones cíclico y se acabó con uno dinámico de fatiga.

Como líneas futuras a este trabajo, se debería rediseñar alguna zona del banco de ensayos. Por ejemplo, habría que poder recolocar la célula de carga cuando se realizan ensayos con fuerzas de baja intensidad, como lo eran los ensayos de este TFG. Esto se debe a que actualmente ésta mide las fuerzas de rozamiento al estar situada antes del patín. Una propuesta que doy sería la siguiente distribución (Fig. 80):

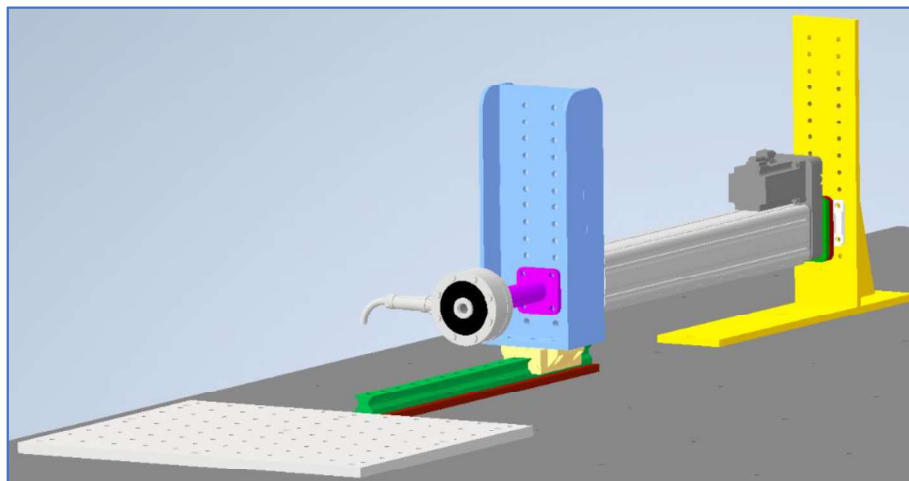


Fig. 80: Propuesta de distribución del banco de ensayos

Esta disposición se podría realizar con las piezas actuales, pero modificando el útil de contacto aumentando su rosca interna de M12 a M16. Otra opción sería volver a diseñar una pieza similar y mecanizarla. Con esta distribución, las



fuerzas de rozamiento ya no serían medidas por la célula de carga. Sin embargo, ahora habría que pensar en cómo protegerla ante fuerzas oblicuas o transversales que pudieran dañar a la célula. Aunque el rozamiento se elimina, quedaría tener en cuenta las fuerzas de inercia las cuales podrían llegar a ser despreciables mediante la utilización de utillajes ligeros. Por ejemplo, de aluminio.

Otra línea futura sería la mejora del intercambio y tratamiento de datos y la mejora de la programación. Por ejemplo, el acondicionador de señal recoge otras señales que se podrían almacenar cambiando la salida analógica por alguno de los protocolos que tiene incorporado, como el OPC UA. De esta forma, por ejemplo, también se podrían recoger los datos de los picos máximos y mínimos de la señal de fuerza.

Por otro lado, en lo relativo al tratamiento de datos, ahora mismo se está utilizando el programa de Microsoft Office Excel. Sin embargo, para programas como el de fatiga el cual se alarga en el tiempo y tiene una frecuencia de muestreo grande, Excel no cumple los requisitos. Una opción que se propone es la realización de un programa en Python para este tratamiento.

Por último, en lo referente a la programación, hay señales (como la de la velocidad y el par motor) y alarmas que aún no se han programado. Por otro lado, sería necesario añadir un bloque que actuara como limitante de fuerza en función del ensayo que se vaya a realizar.



## Bibliografía

ABB. 2007. *Electronic Timer CT-ERD.22*.

All3DP. 2020. "Los 11 Tipos de Impresoras." <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/> (March 3, 2021).

Alzate Rodríguez, Edwin Jhovany, Jose William Montes Ocampo, and Carlos Armando Silva Ortega. 2007. "Medidores de Deformación Por Resistencia: Galgas Extensiométricas." *Scientia Et Technica* (34): 7-12. <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=84934002%5Cnhttp://www.redalyc.org/redalyc/pdf/849/84934002.pdf>.

BIRTLH. 2018. "4.8.1.- Husillos de Fricción y Husillos de Bolas. | DPM01.- Transmisión Del Movimiento En Las Máquinas." [http://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/DFM/DPM/DPM01/es\\_DFM\\_DPM01-Contenidos/website\\_481\\_husillos\\_de\\_friccin\\_y\\_husillos\\_de\\_bolas.html](http://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/DFM/DPM/DPM01/es_DFM_DPM01-Contenidos/website_481_husillos_de_friccin_y_husillos_de_bolas.html) (June 13, 2021).

Boix i Aragonès, Oriol. 2009. *Tecnología eléctrica*. ed. Oriol Boix i Aragonès. Barcelona: Cano Pina, Ediciones Ceysa. book.

Bowker, HK, and JW Michael. 1992. *Atlas of Limb Prosthetics: Surgical, Prosthetic, and Rehabilitation Principles*. <http://www.oandplibrary.org/alp/chap13-01.asp>.

Electric, Schneider. 2015. *TeSys SK Mini Contactor*.

Elizabeth. 2020. "What's the Difference between a Ball Screw and a Lead Screw? | Drivelines." *DriveLines*. <https://drivelines.co.uk/2020/02/04/ball-lead-screw/> (June 13, 2021).

Granda Miguel, Mercedes., and Elena. Mediavilla Bolado. 2015. *Instrumentación Electrónica : Transductores y Acondicionadores de Señal*. Santander: Editorial de la Universidad de Cantabria.

HBM. 2013. "Instalación de Transductores de Fuerza." <https://www.hbm.com/es/3917/instalacion-de-transductores-de-fuerza/#addsearch=u10m> (July 10, 2020).

HBM. 2017a. "¿Qué Es Un Acondicionador de Señal?" <https://www.hbm.com/es/7339/que-es-un-acondicionador-de-senal-funciones/> (January 11, 2021).

HBM. 2017b. "El Puente de Wheatstone. Galgas Extensométricas." <https://www.hbm.com/es/7163/el-puente-de-wheatstone-galgas-extensometricas/> (July 10, 2020).

HBM. 2020a. *Amplificador de Medida Industrial*. [www.hbm.com](http://www.hbm.com).

HBM. 2020b. *Mounting Instruction. U10M / U10S*. [www.hbm.com](http://www.hbm.com).

HBM. 2020c. *Operating Manual. ClipX*. [www.hbm.com](http://www.hbm.com).

Hoffmann, Karl. 1989. *An Introduction to Measurements Using Strain Gages*. Darmstadt: Hottinger Baldwin Messtechnik.



- Ingenius. 2019. "DESIGN FOR ADDITIVE MANUFACTURING: ANISOTROPÍA | Blog Ingenius." <https://eddm.es/blog-ingenius/design-for-additive-manufacturing-anisotropia-en-impresion-3d/> (March 3, 2021).
- Kleckers, Thomas (HBM). 2017. "¿Cómo Funciona Un Transductor de Fuerza?" <https://www.hbm.com/es/6697/como-funciona-un-transductor-fuerza-en-realidad/> (July 10, 2020).
- Lasiom. 2018. *Catálogo Neumatica*.
- Muñoz, Alejandro Rodríguez. 2020. EII, UVA "Diseño y Desarrollo de Banco de Ensayos Para Piezas Impresas En 3D." [http://uvadoc.uva.es/handle/10324/41386?locale-attribute=pt\\_BR](http://uvadoc.uva.es/handle/10324/41386?locale-attribute=pt_BR).
- National Instrument. 2016. "Engineer Ambitiously - NI." <https://www.ni.com/es-es.html> (June 15, 2021).
- National Instrument. 2020. "Tecnología CompactDAQ." <https://www.ni.com/es-es/support/documentation/supplemental/09/compactdaq-technology-multiple-timing-engines-signal-streaming.html> (March 18, 2021).
- National Instrument. 2021. "Sistemas CompactDAQ." <https://www.ni.com/es-es/shop/compactdaq.html> (March 18, 2021).
- NSK. 2017. *NSK Linear Guides. Roller Guide RA Series*. [https://www.bearing.co.il/NSK\\_Linear\\_Guides-Roller\\_Guide\\_RA\\_Series-e3328d.pdf](https://www.bearing.co.il/NSK_Linear_Guides-Roller_Guide_RA_Series-e3328d.pdf).
- SMC Corporation. 2012a. *AC Servo Motor Driver*.
- SMC Corporation. 2012b. "AC Servo Motor Driver (Pulse Input Type/Positioning Type)." : 945.
- SMC Corporation. 2016. *Electric Actuator*. [papers3://publication/uuid/1F86C67A-5737-4818-B7DA-D92F9C99E0FB](https://publication/uuid/1F86C67A-5737-4818-B7DA-D92F9C99E0FB).
- SMC Corporation. 2019. *Operation Manual. Electric Actuator/Rod Type*.
- SMC Corporation. 2020. "Taller Práctico. Actuadores Eléctricos. Notas Técnicas." : 12.
- TiMOTION. 2021. "¿Qué Es Un Actuador Lineal Eléctrico y Cómo Elegirlo?" [https://www.timotion.com/es/news/news\\_content/news-and-articles/general/part-1-what-is-an-electric-linear-actuator-and-how-to-choose-it%3F?upcls=1481189409&guid=1496375365](https://www.timotion.com/es/news/news_content/news-and-articles/general/part-1-what-is-an-electric-linear-actuator-and-how-to-choose-it%3F?upcls=1481189409&guid=1496375365) (December 8, 2020).
- Trimaker. 2020. "Guía de Impresión 3D: ¿Qué Es FDM?" <https://trimaker.com/guia-impresion-3d-2-que-es-fdm-2/> (March 3, 2021).
- Wikipedia. 2020. "Modelado Por Deposición Fundida." [https://es.wikipedia.org/wiki/Modelado\\_por\\_deposición\\_fundida](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelado_por_deposición_fundida) (March 3, 2021).

## Anexos

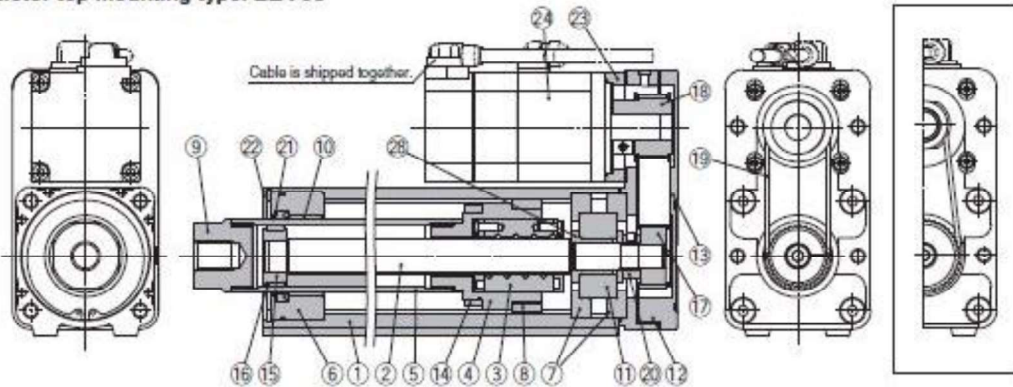
### 1. Características técnicas de los componentes

#### Actuador SMC Ley63NZN-400 (SMC Corporation 2016)

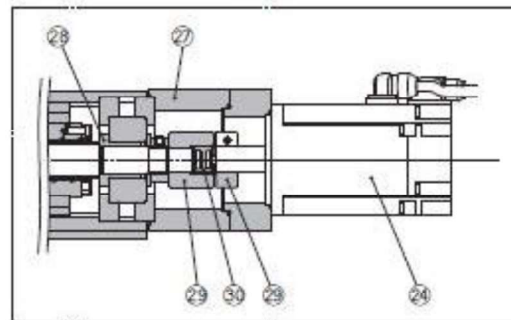
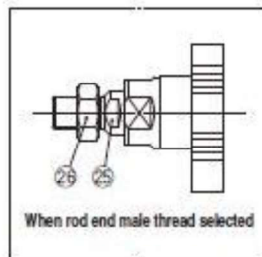
- Construcción

#### Construction

##### Motor top mounting type: LEY63



##### In-line motor type: LEY63D



#### Component Parts

No.	Description	Material	Note
1	Body	Aluminium alloy	Anodised
2	Ball screw shaft	Alloy steel	
3	Ball screw nut	Resin/Alloy steel	
4	Piston	Aluminium alloy	
5	Piston rod	Stainless steel	Hard chrome plating
6	Rod cover	Aluminium alloy	
7	Bearing holder	Aluminium alloy	
8	Rotation stopper	Resin	
9	Socket	Free cutting carbon steel	Nickel plating
10	Bushing	Lead bronze cast	
11	Bearing	—	
12	Return box	Aluminium alloy	Coating
13	Return plate	Aluminium alloy	Coating
14	Magnet	—	
15	Wear ring holder	Stainless steel	

No.	Description	Material	Note
16	Wear ring	Resin	
17	Screw shaft pulley	Aluminium alloy	
18	Motor pulley	Aluminium alloy	
19	Belt	—	
20	Lock nut	Alloy steel	Black dyed
21	Seal	NBR	
22	Retaining ring	Steel for spring	
23	Motor adapter	Aluminium alloy	Coating
24	Motor	—	
25	Socket (Male thread)	Free cutting carbon steel	Nickel plating
26	Nut	Alloy steel	Trivalent chromated
27	Motor block	Aluminium alloy	Coating
28	Spacer A	Stainless steel	
29	Hub	Aluminium alloy	
30	Spider	Urethane	

#### Replacement Parts (Top/Parallel only)/Belt

No.	Size	Lead	Order no.
19	63	A/B/C	LE-D-2-5
		L	LE-D-2-6

#### Replacement Parts/Grease Pack

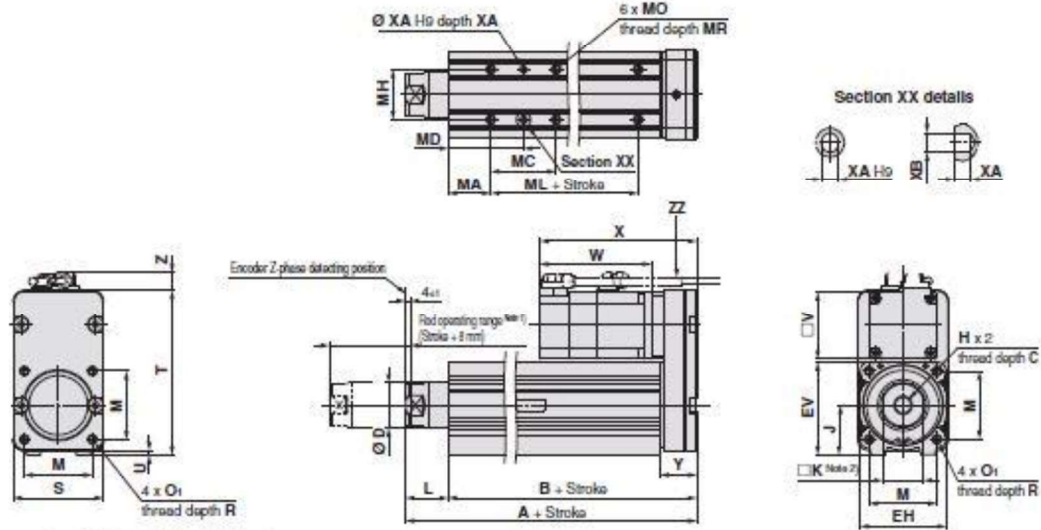
Applied portion	Order no.
Piston rod	GR-S-010 (10 g)
	GR-S-020 (20 g)

\* Apply grease on the piston rod periodically. Grease should be applied at 1 million cycles or 200 km, whichever comes first.



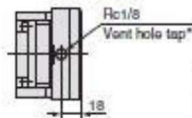
- Dimensiones

**Dimensions: Motor Top/Parallel**



Note 1) Range within which the rod can move.  
 Make sure a workpiece mounted on the rod does not interfere with the workpieces and facilities around the rod.  
 Note 2) The direction of rod end width across flats (□K) differs depending on the products.

**IP65 equivalent (Dust-tight/Water-jet-proof): LEY63□□□-□P (View ZZ)**



• When using the dust-tight/water-jet-proof (IP65 equivalent), correctly mount the fitting and tubing to the vent hole tap, and then place the end of the tubing in an area not exposed to dust or water. The fitting and tubing should be provided separately by the customer.  
 Select [Applicable tubing O.D.: Ø 4 or more, Connection thread: Rc1/8].

Size	Stroke range [mm]	[mm]														
		A	B	C	D	EH	EV	H	J	K	L	M	O <sub>1</sub>	R	S	Y
63	Up to 200	192.6	155.2	21	40	76	82	M16 x 2	44	36	37.4	60	M8 x 1.25	16	80	32.2
	205 to 500	227.6	190.2													
	505 to 800	262.6	225.2													

Size	Stroke range [mm]	T	U	V	Incremental encoder						Absolute encoder							
					Without lock			With lock			Without lock			With lock				
					W	X	Z	W	X	Z	W	X	Z	W	X	Z		
63	Up to 200	146	4	60	110.2	150.2	15.6 (16.6)*	138.8	178.8	15.6 (16.6)*	98.5	138.5	15.6 (16.6)*	138	178	15.6 (16.6)*		
	205 to 500																	
	505 to 800																	

\* The values in ( ) are the dimensions when L is selected for screw lead.

**Body Bottom Tapped**

Size	Stroke range [mm]	[mm]									
		MA	MC	MD	MH	ML	MO	MR	XA	XB	
63	50 to 74	38	24	50	44	M8 x 1.25	10	6	7		
	75 to 124		45	60.5							
	125 to 200		58	67							
	201 to 500		96	81						100	
	501 to 800									135	



- Especificaciones técnicas

## Características técnicas

Modelo			LEY63DS <sup>1</sup>			
Características técnicas del actuador	Carrera [mm] <sup>Nota 1)</sup>	100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800				
	Carga de trabajo [kg]	Horizontal <sup>Nota 2)</sup>	40	70	90	
		Vertical	19	38	72	
	Fuerza de empuje [N] / Valor de ajuste <sup>Nota 3)</sup> ; 15 a 50% <sup>Nota 4)</sup>	156 a 521		304 a 1012	573 a 1910	
	Velocidad máx. [mm/s] <sup>Nota 5)</sup>	Rango de carrera	Hasta 500	1000	500	250
			505 a 600	800	400	200
			605 a 700	600	300	150
			705 a 800	500	250	125
	Velocidad de empuje [mm/s] <sup>Nota 6)</sup>	30 o menos				
	Aceleración/deceleración máx. [mm/s <sup>2</sup> ]	5000				
Repetitividad de posicionamiento [mm]	±0.02					
Paso de tornillo [mm] (Incluyendo una relación de poleas)	20	10	5			
Resistencia a impactos/vibraciones [m/s <sup>2</sup> ] <sup>Nota 7)</sup>	50/20					
Modelo de actuación	Husillo a bolas + Correa [1:1] / Husillo a bolas					
Modelo de guía	Casquillo deslizante (vástago de émbolo)					
Rango de temperatura de trabajo [°C]	5 a 40					
Rango de humedad de trabajo [% HR]	90 o inferior (sin condensación)					
Condiciones requeridas para la "Opción de regeneración" [kg] <sup>Nota 8)</sup>	Horizontal	No necesaria	No necesaria	No necesaria		
	Vertical	2 o más	5 o más	12 o más		
Potencia del motor/Tamaño	400 W / 360					
Modelo de motor	Servomotor AC (200 VAC)					
Encoder	Modelo de motor S4: Encoder incremental de 17 bits (Resolución: 131072 p/rev) Modelo de motor S8: Encoder absoluto de 18 bits (Resolución: 262144 p/rev)					
Consumo de energía [W] <sup>Nota 9)</sup>	Horizontal	210				
	Vertical	230				
Consumo de energía en reposo durante el funcionamiento [W] <sup>Nota 10)</sup>	Horizontal	2				
	Vertical	18				
Consumo de energía máx. instantánea [W] <sup>Nota 11)</sup>	1275					
Modelo <sup>Nota 12)</sup>	Bloqueo no magnetizante					
Fuerza de retención [N]	313	607	1146			
Consumo de energía [W] a 20°C <sup>Nota 13)</sup>	7.9					
Tensión nominal [V]	24 VDC <sup>0</sup> / <sub>-10%</sub>					

- Nota 1) Consulte con SMC para carreras no estándares, ya que son ejecuciones especiales se fabrican bajo demanda.
- Nota 2) El valor máximo de la carga de trabajo horizontal. Se requiere una guía externa para soportar la carga. La carga de trabajo real varía en función del estado de la guía externa. Confírmelo con el dispositivo real.
- Nota 3) Valores de ajuste para el accionador.
- Nota 4) Rango de ajuste de la fuerza (valores de ajuste del accionador) para operación de empuje en el modo de control de par, etc. La fuerza de empuje y el factor de trabajo dependen del valor de ajuste. Fíjelo tras consultar la "Gráfica de conversión de fuerza" de la página 88.
- Nota 5) La velocidad admisible varía en función de la carrera.
- Nota 6) Velocidad de colisión admisible para operación de empuje en el modo de control de par, etc.
- Nota 7) Resistencia a impactos: Supera la prueba de impacto tanto en dirección paralela como perpendicular al tornillo guía. (La prueba se llevó a cabo con el actuador en el estado inicial).
- Resistencia a vibraciones: Supera la prueba en un rango de frecuencias entre 45 y 2000 Hz. La prueba se realizó tanto en dirección paralela como perpendicular al tornillo guía. (La prueba se llevó a cabo con el actuador en el estado inicial).
- Nota 8) Las condiciones de carga de trabajo que requiere la "Opción de regeneración" cuando se usa a la velocidad máxima (Factor de trabajo: 100%).
- Nota 9) El consumo de energía (incluyendo el accionador) corresponde al momento en el que el actuador está funcionando.
- Nota 10) El consumo de energía en reposo durante el funcionamiento (incluyendo el accionador) corresponde al momento en el que el actuador está detenido en la posición de ajuste.
- Nota 11) El consumo de energía máximo instantáneo (incluyendo el accionador) corresponde al momento en el que el actuador está funcionando.
- Nota 12) Sólo cuando se selecciona la opción de motor "Con bloqueo".
- Nota 13) Para un actuador con bloqueo, añada el consumo de energía para el bloqueo.

## Peso

### Peso del producto

Serie		LEY63DS <sup>1</sup>							[kg]
Carrera [mm]		100	200	300	400	500	600	700	800
Modelo de motor	Encoder incremental	5.6	6.7	8.4	9.6	10.7	12.4	13.5	14.7
	Encoder absoluto	5.7	6.8	8.5	9.7	10.8	12.5	13.6	14.8

### Peso adicional

Tamaño		[kg]
Bloqueo	Encoder incremental	0.4
	Encoder absoluto	0.6
Rosca macho en extremo del vástago	Rosca macho	0.12
	Tuerca	0.04
Brida delantera (incluye perno de montaje)		0.51

- Selección del actuador

**Actuador eléctrico con vástago** **Servomotor AC**

**Serie LEY/LEY-X5** Tamaño 25, 32 Características a prueba de polvo/grito (P6)

## Selección del modelo

**Procedimiento de selección**

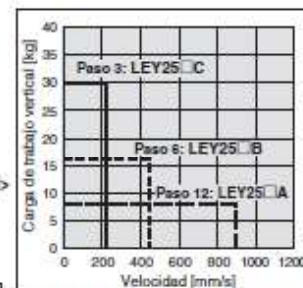
**Procedimiento de selección del control de posicionamiento**



**Ejemplo de selección**

**Condiciones de funcionamiento**

- Masa de la pieza de trabajo: 16 [kg]
- Velocidad: 300 [mm/s]
- Aceleración/Deceleración: 5000 [mm/s<sup>2</sup>]
- Carrera: 300 [mm]
- Condiciones de montaje de la pieza: Traslado vertical ascendente y descendente



**Paso 1** Confirmación de la carga de trabajo-velocidad <Gráfica de velocidad-carga de trabajo vertical>  
 Seleccione el modelo a partir de la masa de la pieza de trabajo y de la velocidad conforme a la <Gráfica de velocidad-carga de trabajo vertical>.  
 Ejemplo de selección) El modelo LEY25B se selecciona temporalmente basándose en la gráfica mostrada a la derecha.

• Cuando se utiliza para el traslado horizontal, es necesario montar un guía en el exterior del actuador. Para seleccionar el modelo final, consulte las páginas 92, 99 y 104 para la carga de trabajo horizontal en las características técnicas y la página 118 para las precauciones.

<Gráfica de velocidad-carga de trabajo vertical> (LEY25□)

Puede ser necesaria la opción de regeneración. Consulte las páginas 96, 97 y 98 para las "Condiciones requeridas para la opción de regeneración".

**Paso 2** Confirmación del tiempo del ciclo

Calcule el tiempo del ciclo utilizando el siguiente método de cálculo.

**Tiempo de ciclo:**  
 T puede hallarse a partir de la siguiente ecuación.

$$T = T1 + T2 + T3 + T4 \text{ [s]}$$

- T1:  
 Tiempo de aceleración y T3: El tiempo de deceleración puede obtenerse de la siguiente ecuación.

$$T1 = V/a1 \text{ [s]} \quad T3 = V/a2 \text{ [s]}$$

- T2:  
 El tiempo a velocidad constante puede hallarse a partir de la siguiente ecuación.

$$T2 = \frac{L - 0.5 \cdot V \cdot (T1 + T3)}{V} \text{ [s]}$$

- T4:  
 El tiempo de fijación varía en función de condiciones como el tipo de motor, la carga y la posición de entrada de los datos de paso. Por ello, calcule el tiempo de fijación con referencia al siguiente valor.

$$T4 = 0.05 \text{ [s]}$$

Ejemplo de cálculo)

T1 a T4 se pueden calcular de la siguiente manera:

$$T1 = V/a1 = 300/5000 = 0.06 \text{ [s]}, \quad T3 = V/a2 = 300/5000 = 0.06 \text{ [s]}$$

$$T2 = \frac{L - 0.5 \cdot V \cdot (T1 + T3)}{V} = \frac{300 - 0.5 \cdot 300 \cdot (0.06 + 0.06)}{300} = 0.94 \text{ [s]}$$

$$T4 = 0.05 \text{ [s]}$$

Así, el tiempo del ciclo se puede obtener como sigue:

$$T = T1 + T2 + T3 + T4 = 0.06 + 0.94 + 0.06 + 0.05 = 1.11 \text{ [s]}$$

L : Carrera [mm] --- (Condiciones de funcionamiento)  
 V : Velocidad [mm/s] --- (Condiciones de funcionamiento)  
 a1 : Aceleración [mm/s<sup>2</sup>] --- (Condiciones de funcionamiento)  
 a2 : Deceleración [mm/s<sup>2</sup>] --- (Condiciones de funcionamiento)

T1: Tiempo de aceleración [s]  
 Tiempo hasta que se alcanza la velocidad de ajuste

T2: Tiempo a velocidad constante [s]  
 Tiempo en el que el actuador está funcionando a velocidad constante.

T3: Tiempo de deceleración [s]  
 Tiempo desde el inicio del funcionamiento a velocidad constante hasta la parada

T4: Tiempo de fijación [s]  
 Tiempo hasta que se alcanza la posición

Basándose en el resultado del cálculo anterior, se seleccionará el modelo LEY25□B-300.

## Selección del modelo Serie LEY/LEY-X5

Tamaño 25, 32

Características a prueba de polígrafo (IP65)

### Procedimiento de selección

#### Procedimiento de selección del control de empuje

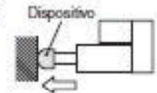
**Paso 1** Confirme la fuerza de empuje.

**Paso 2** Confirme la carga lateral en el extremo del vástago.

### Ejemplo de selección

Condiciones de funcionamiento

- Tipo de montaje: Horizontal (empuje)
- Velocidad: 100 [mm/s]
- Peso del dispositivo de montaje: 0.5 [kg]
- Carrera: 300 [mm]
- Fuerza de empuje: 200 [N]



**Paso 1** Confirmación de la fuerza de empuje <Gráfica de conversión de fuerza>

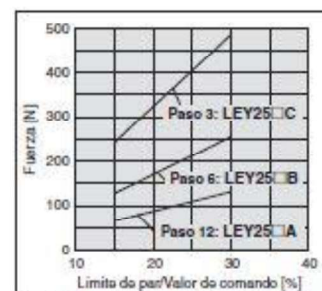
Seleccione el modelo a partir del valor de ajuste de la fuerza de empuje y a partir de la fuerza de empuje conforme a la <Gráfica de conversión de fuerza>.

Ejemplo de selección)

Basándose en la gráfica mostrada a la derecha,

- Valor de ajuste de la fuerza de empuje: 24 [%]
- Fuerza de empuje: 200 [N]

Por lo tanto, se selecciona temporalmente el modelo LEY25B.



<Gráfica de conversión de fuerza> (LEY25)

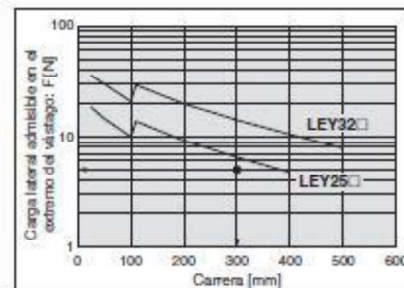
**Paso 2** Confirmación de la carga lateral en el extremo del vástago <Gráfica de carga lateral admisible en el extremo del vástago>

Confirme la carga lateral admisible en el extremo del vástago del actuador LEY16□, que ha sido seleccionada temporalmente conforme a la <Gráfica de carga lateral admisible en el extremo del vástago>.

Ejemplo de selección)

Basándose en la gráfica mostrada a la derecha,

- Peso del dispositivo de montaje: 0.2 [kg] = 2 [N]
- Dado que la carrera del producto es de 200 [mm], la carga lateral se encuentra en el rango admisible.



<Gráfica de carga lateral admisible en el extremo del vástago>

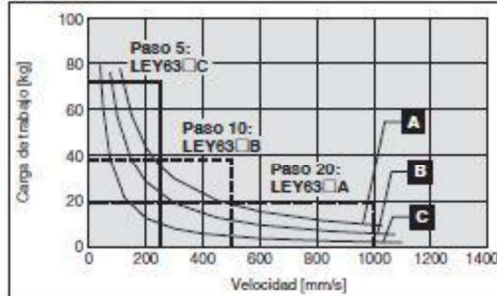
Basándose en el resultado del cálculo anterior, se seleccionará el modelo LEY25B-300.



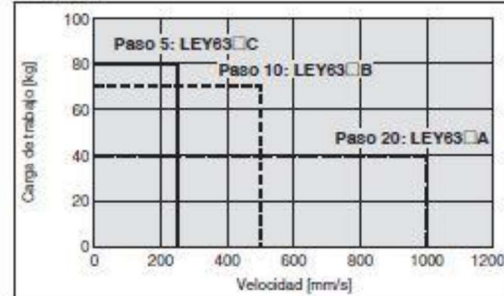
- Gráficas

**Gráfica de velocidad-carga de trabajo / Condiciones requeridas para "Opción de regeneración"**

**Traslado vertical LEY63□**



**Traslado horizontal LEY63□**



**Condiciones requeridas para "Opción de regeneración"**

\* La opción de regeneración es necesaria cuando se usa un producto situado por encima de la línea "Regeneración" de la gráfica. (Pídalo por separado)

**Modelos de "Opción de regeneración"**

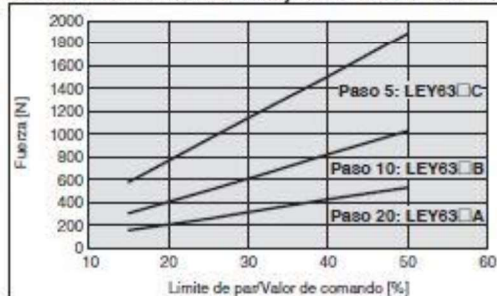
Condiciones de lanzamiento	Condiciones de regeneración	Traslado vertical	Traslado horizontal
<b>A</b>	Factor de trabajo de 50% o más	LEC-MR-RB-032	No necesaria
<b>B</b>	Factor de trabajo de 100%		
<b>C</b>		LEC-MR-RB-12	

**Velocidad de carrera admisible**

Modelo	Servomotor AC	Paso		Carrera [mm]							
		Símbolo	[mm]	100	200	300	400	500	600	700	800
LEY63□	400 W□80	<b>A</b>	20			1000			800	600	500
		<b>B</b>	10			500			400	300	250
		<b>C</b>	5			250			200	150	125
		(Velocidad de giro del motor)				(3000 rpm)			(2400 rpm)	(1800 rpm)	(1500 rpm)

**Gráfica de conversión de fuerza**

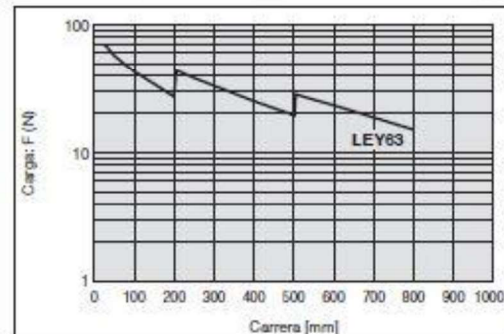
**LEY63□ (Posición de montaje del motor: En línea)**



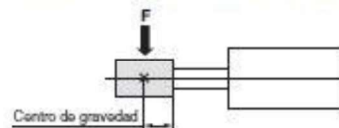
Limite de par/Valor de comando [%]	Factor de trabajo [%]	Tiempo de empuje continuo [minutos]
25 o menos	100	—
30	100 (80)	— (1.5)
40	50 (30)	1.5 (0.5)
50	30 (20)	0.5 (0.16)

- \*1 Los valores entre ( ) corresponden al accionador colocado muy próximo.
- \*2 Modelo de motor: Cuando se limite el par con un encoder incremental, el parámetro nº PC12 y el valor del comando de par interno debe fijarse en 50% como máximo.
- \*3 Modelo de motor: Cuando se limite el par con un encoder absoluto, el parámetro nº PC13 y el valor del comando de salida máxima de par analógico debe fijarse en 50% como máximo.

**Gráfica de carga lateral admisible en el extremo del vástago**



[Carrera] = [Carrera del producto] + [Distancia desde el extremo del vástago hasta el centro de gravedad de la pieza de trabajo]

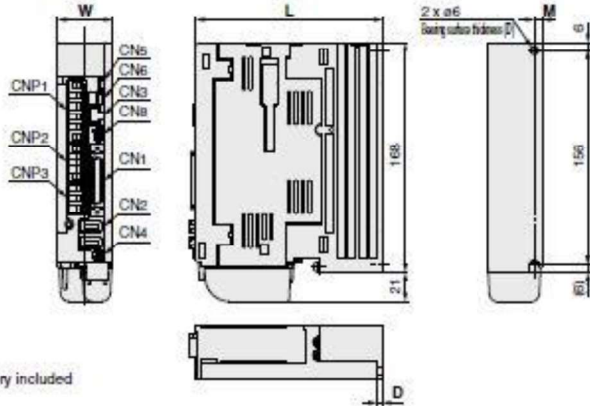


## Driver SMC LECSB2-T8 (SMC Corporation 2012a)

- Dimensiones

### Dimensions

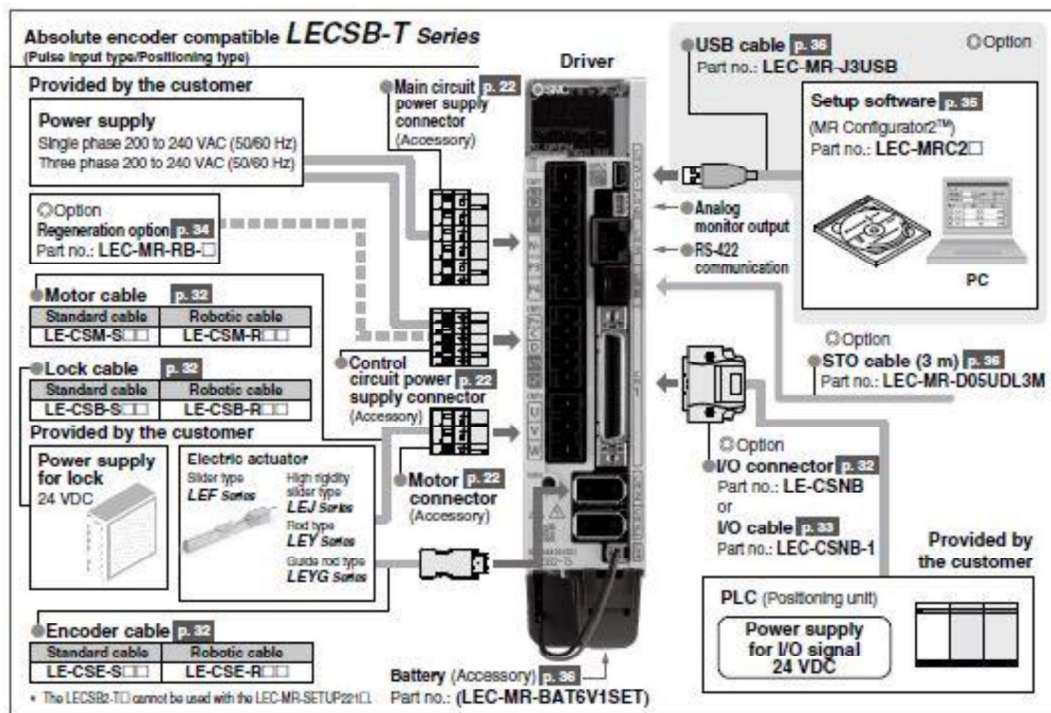
#### LECSB2-T□



Connector name	Description
CN1	I/O signal connector
CN2	Encoder connector
CN3	RS-422 communication connector
CN4	Battery connector
CN5	USB communication connector
CN6	Analog monitor connector
CN8	STO input signal connector
CNP1	Main circuit power supply connector
CNP2	Control circuit power supply connector
CNP3	Servo motor power connector

Model	W	L	D	M
LECSB2-T5	40	135	4	6
LECSB2-T7		170	5	
LECSB2-T8				

- Conexiones



- Especificaciones

### Specifications

#### LECSB-T Series

Model		LECSB2-T5	LECSB2-T7	LECSB2-T8
Compatible motor capacity [W]		100	200	400
Compatible encoder		Absolute 22-bit encoder (Resolution: 4,194,304 p/rev)		
Main power supply	Power voltage [V]	Three phase 200 to 240 VAC (50/60 Hz), Single phase 200 to 240 VAC (50/60 Hz)		
	Allowable voltage fluctuation [V]	Three phase 170 to 264 VAC (50/60 Hz), Single phase 170 to 264 VAC (50/60 Hz)		
	Rated current [A]	0.9	1.5	2.6
Control power supply	Control power supply voltage [V]	Single phase 200 to 240 VAC (50/60 Hz)		
	Allowable voltage fluctuation [V]	Single phase 170 to 264 VAC		
	Rated current [A]	0.2		
Parallel input		10 inputs		
Parallel output		6 outputs		
Max. input pulse frequency [pps]		4 M (for differential receiver), 200 k (for open collector)		
Function	In-position range setting [pulse]	0 to ±65535 (Command pulse unit)		
	Error excessive	±3 rotations		
	Torque limit	Parameter setting or external analog input setting (0 to 10 VDC)		
	Communication	USB communication, RS422 communication*1		
	Point table	Up to 255 points		
	Pushing operation	Point table no. input method, Up to 127 points		
Operating temperature range [°C]		0 to 55 (No freezing)		
Operating humidity range [%RH]		90 or less (No condensation)		
Storage temperature range [°C]		-20 to 65 (No freezing)		
Storage humidity range [%RH]		90 or less (No condensation)		
Insulation resistance [MΩ]		Between the housing and SG: 10 (500 VDC)		
Weight [g]		800		1000

\*1. USB communication and RS422 communication cannot be performed at the same time.

## AC Servo Motor Driver

### LECS□-T Series

Power supply voltage	200 to 240 VAC (LECS□-T Series: 200 to 230 VAC)
Motor capacity	100/200/400 W

#### LECSB-T Series (Pulse Input type/Positioning type)

Absolute Type



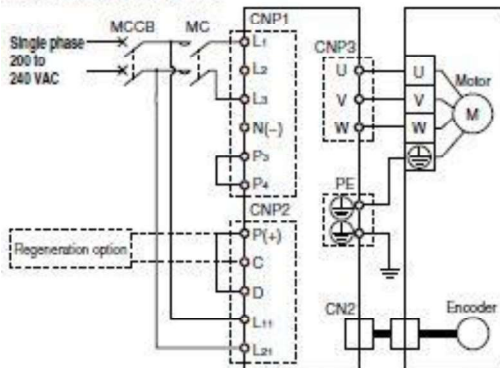
- Positioning by up to 255 point tables
- Input type: Pulse input (Sink (NPN) type interface/Source (PNP) type interface)
- Control encoder: Absolute 22-bit encoder (Resolution: 4,194,304 p/rev)
- STO (Safe Torque Off) safety function available
- Parallel input: 10 inputs  
output: 6 outputs



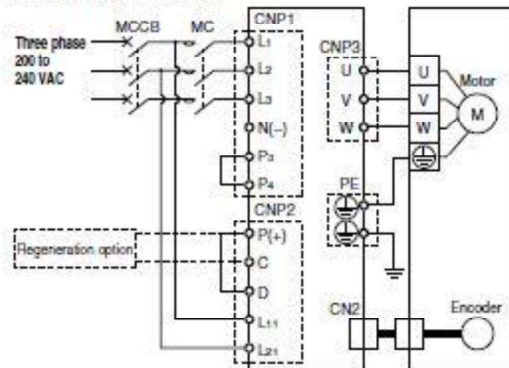
- Circuito de potencia

### Power Supply Wiring Example: LECSS2-T□, LECSS2-T□

For single phase 200 VAC



For three phase 200 VAC



- For single phase 200 to 240 VAC, power supply should be connected to L1 and L3 terminals, with nothing connected to L2. Please note that the wiring locations differ from the LECSS□.

#### Main Circuit Power Supply Connector: CNP1 \* Accessory

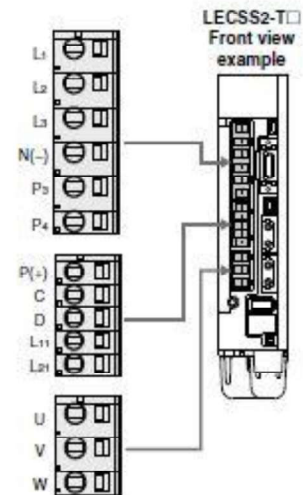
Terminal name	Function	Details
L1	Main circuit power supply	Connect the main circuit power supply. LECSS2-T/LECSS2-T: Single phase 200 to 240 VAC, 50/60 Hz Connection terminal: L1, L3 Three phase 200 to 240 VAC, 50/60 Hz Connection terminal: L1, L2, L3
L2		
L3		
N(-)		Do not connect.
P3		Connect between P3 and P4. (Connected at time of shipping)
P4		

#### Control Circuit Power Supply Connector: CNP2 \* Accessory

Terminal name	Function	Details
P(+)	Regeneration option	Connect between P(+), C and D. (Connected at time of shipping) • If regeneration option is required for "Model Selection," connect to this terminal.
C		
D		
L11	Control circuit power supply	Connect the control circuit power supply. LECSS2-T/LECSS2-T: Single phase 200 to 240 VAC, 50/60 Hz Connection terminal: L11, L21
L21		

#### Motor Connector: CNP3 \* Accessory

Terminal name	Function	Details
U	Servo motor power (U)	Connect to motor cable (U, V, W).
V	Servo motor power (V)	
W	Servo motor power (W)	





- Elección del controlador

Compatible actuators  
**LEF LEJ LEY**

# AC Servo Motor Driver

## Incremental Type

*LECSA Series* (Pulse Input Type/Positioning Type)

## Absolute Type

*LECSB* (Pulse Input Type)/*LECSA* (CC-Link Direct Input Type)/*LECSS* (SSCNET II Type)  
*LECSB-T* (Pulse Input Type/Positioning Type)/*LECSA-T* (CC-Link Direct Input Type)  
*LECSS-T* (SSCNET II/H Type) **Series**

• LECSA-T only

### How to Order

For LECSA/LECSB/LECSA/LECSS

**LECSA 1 - S1**

**Driver type**

<b>A</b>	Pulse Input type/Positioning type (For Incremental encoder)
<b>B</b>	Pulse input type (For absolute encoder)
<b>C</b>	CC-Link direct input type (For absolute encoder)
<b>S</b>	SSCNET II type (For absolute encoder)

**Power supply voltage**

<b>1</b>	100 to 120 VAC, 50/60 Hz
<b>2</b>	200 to 230 VAC, 50/60 Hz

**Compatible motor type**

Symbol	Type	Capacity	Encoder
<b>S1</b>	AC servo motor (S2* <sup>1</sup> )	100 W	Incremental
<b>S3</b>	AC servo motor (S3* <sup>1</sup> )	200 W	
<b>S4</b>	AC servo motor (S4* <sup>1</sup> * <sup>2</sup> )	400 W	
<b>S5</b>	AC servo motor (S6* <sup>1</sup> )	100 W	Absolute
<b>S7</b>	AC servo motor (S7* <sup>1</sup> )	200 W	
<b>S8</b>	AC servo motor (S8* <sup>1</sup> * <sup>2</sup> )	400 W	

\*1 The symbol shows the motor type (actuator).  
\*2 Only available for power supply voltage "200 to 230 VAC"

- If an I/O connector is required, order the part number "LE-CSN□" separately.
- If an I/O cable is required, order the part number "LE-CSN□-1" separately.

(Since the electric actuator will not operate without emergency stop (EM/G) wiring for the LECSB, an I/O connector or an I/O cable is required.)

For LECSB-T/LECSA-T/LECSS-T

**LECSB 2 - T5**

**Driver type**

<b>B</b>	Pulse input type/Positioning type (For absolute encoder)
<b>C</b>	CC-Link direct input type (For absolute encoder)
<b>S</b>	SSCNET II/H type (For absolute encoder)

**Power supply voltage**

<b>2</b>	200 to 240 VAC, 50/60 Hz (For LECSB2-T/LECSS2-T)
	200 to 230 VAC, 50/60 Hz (For LECSA2-T)

**Compatible motor type**

Symbol	Type	Capacity	Encoder
<b>T5</b>	AC servo motor (T6* <sup>1</sup> )	100 W	Absolute
<b>T7</b>	AC servo motor (T7* <sup>1</sup> )	200 W	
<b>T8</b>	AC servo motor (T8* <sup>1</sup> )	400 W	

\*1 The symbol shows the motor type (actuator).

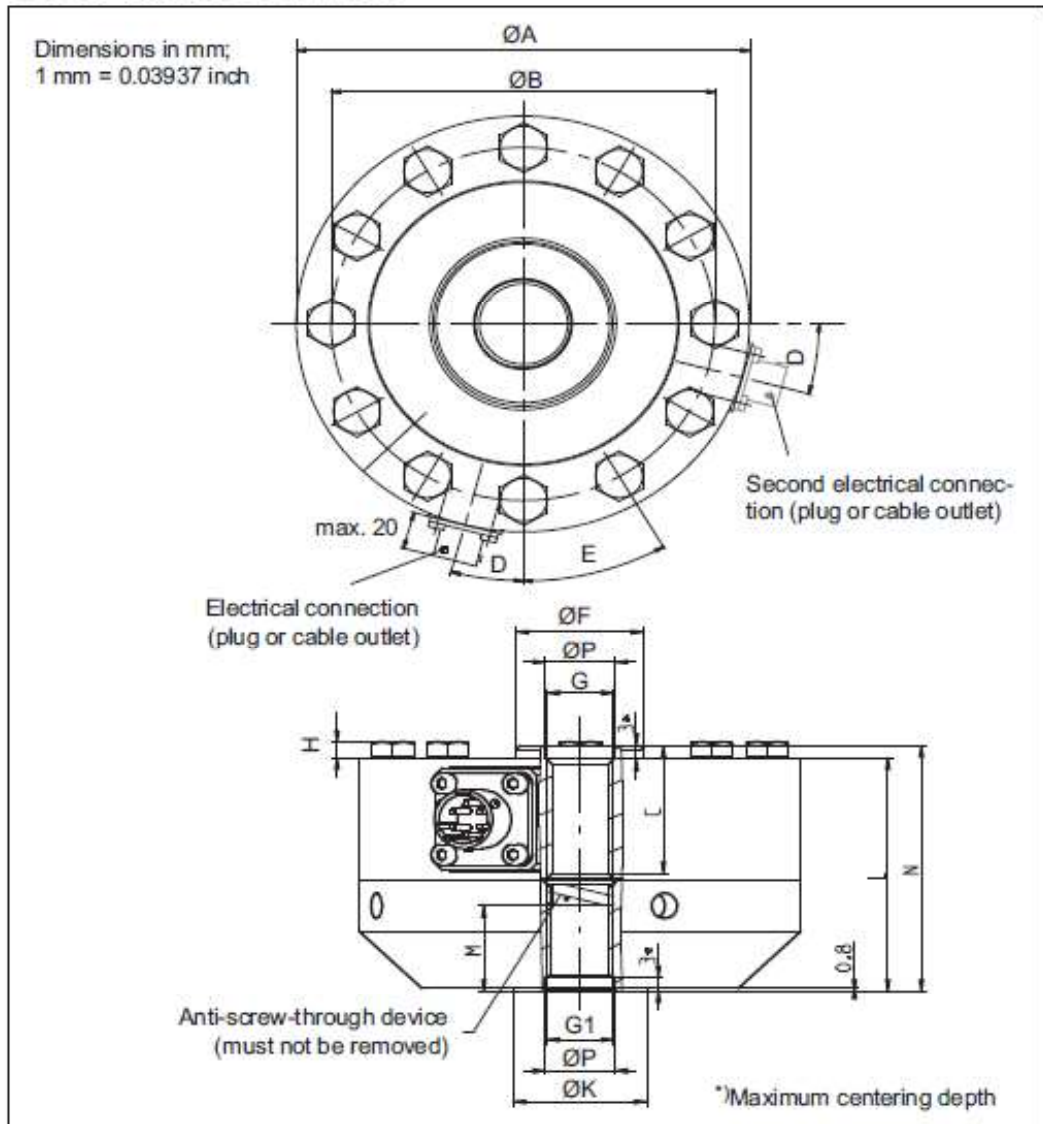
- If an I/O connector is required, order the part number "LE-CSN□" separately.
- If an I/O cable is required, order the part number "LE-CSN□-1" separately.

(Since the electric actuator will not operate without forced stop (EM2) wiring when using the LECSB-T in any mode other than positioning mode, an I/O connector or an I/O cable is required.)

## Célula de carga HBM U10M-5kN (HBM 2020b)

- Dimensiones

### U10M with foot adapter



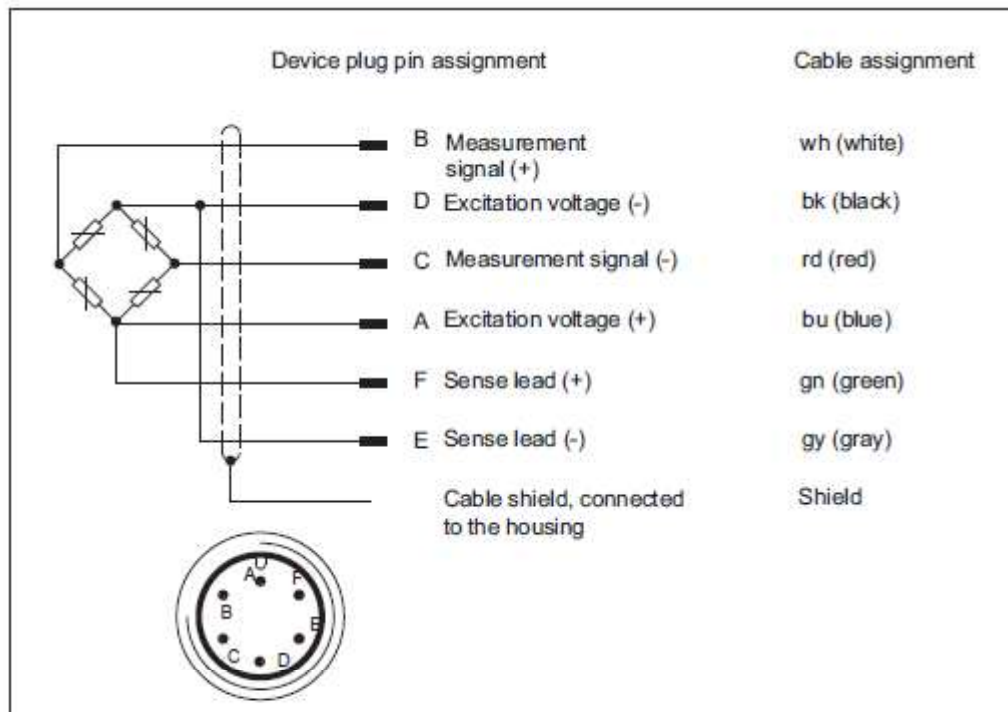
Nominal (rated) force	Dims. in	ØA	ØB	C	D	E	ØF	G	H	M
1.25 kN - 5 kN	mm	104.8	88.9	33.3	22.5°	45°	30.4	M16x2-4H	4	22
	inch	4.13	3.5	1.3						
Nominal (rated) force:	Dims. in	G1		ØK	L	N	ØP <sub>H8</sub>			
1.25 kN - 25 kN	mm	M16x2-4H 22.1 mm deep		31.8	60.3	63.5	16.5			
	inch							1.25	2.37	2.5

- Especificaciones

Nominal (rated) force	$F_{nom}$	kN	1.25	2.5	5	12.5	25
<b>Accuracy</b>							
Accuracy class			0.02			0.03	
Relative reproducibility and repeatability errors without rotation	$b_{rg}$	%	0.02				
Hysteresis at 0.4 $F_{nom}$ , rel. to the full scale value	$v_{0.4}$	%	0.02			0.03	
Non-linearity	$d_{lin}$	%	0.02			0.025	
rel. zero point return	$v_{w0}$	%	0.008				
Relative creep	$d_{\alpha, F+E}$	%	0.02				
Effect of the bending moment at 10% $F_{nom}$ * 10mm	$d_{Mb}$	%	0.01				
Effect of lateral forces (lateral force = 10% of $F_{nom}$ )	$d_Q$	%	0.01				
Temperature coefficient of the rated output	$TC_S$	% / 10 K	0.015				
Temperature effect on zero signal	$TC_0$	% / 10 K	0.015				
<b>Rated electrical outputs</b>							
Rated output (nominal)	$C_{nom}$	mV/V	1			2	
Relative zero signal error	$d_{S,0}$	%	1				
Rated output error (with "adjusted rated output" option)	$d_C$	%	0.1				
Rated output range (without "adjusted rated output" option)	C	mV/V	1 ... 1.5			2 ... 2.5	
Rated output error, tension/compression	$d_{zD}$	%	0.2				
Input resistance	$R_i$	$\Omega$	>345				
Output resistance (without "adjusted rated output" option)	$R_o$	$\Omega$	280 ... 360				
Output resistance (with "adjusted rated output" option)	$R_o$	$\Omega$	365				
Output resistance tolerance in the "adjusted rated output" option	$d_{Ra}$	%	$\pm 0.5 \Omega$				
Insulation resistance	$R_{is}$	G $\Omega$	>2				
Operating range of the excitation voltage	$B_{U,G}$	V	0.5 ... 12				
Reference excitation voltage	$U_{ref}$	V	5				
Connection	6-wire circuit						

<b>Nominal (rated) force</b>	$F_{nom}$	kN	1.25	2.5	5	12.5	25
<b>Temperature</b>							
<b>Reference temperature</b>	$T_{ref}$	°C	23				
		°F	73.4				
<b>Nominal (rated) temperature range</b>	$B_{T,nom}$	°C	-10 ... +45				
		°F	14 ... 113				
<b>Operating temperature range</b>	$B_{T,G}$	°C	-30 ... +85				
		°F	-22 ... +185				
<b>Storage temperature range</b>	$B_{T,S}$	°C	-30 ... +85				
		°F	-22 ... +185				
<b>Characteristic mechanical quantities</b>							
<b>Maximum operating force</b>	$F_G$		240				
<b>Force limit</b>	$F_L$	% of $F_{nom}$	240				
<b>Breaking force</b>	$F_B$		>400				
<b>Torque limit</b>	$M_{G,max}$	N*m	30	60	125	315	635
<b>Bending moment limit</b>	$M_{b,max}$		30	60	125	315	635
<b>Static lateral force limit</b>	$F_Q$	% of $F_{nom}$	100				
<b>Nominal (rated) displacement</b>	$s_{nom}$	mm	0.02			0.03	
<b>Fundamental frequency</b>	$f_G$	kHz	4.5	5.9	9.3	6.6	9.2
<b>Relative permissible oscillatory stress</b>	$f_{rb}$	% of $F_{nom}$	200				
<b>Stiffness</b>	F/S	$10^5$ N/mm	0.625	1.25	2.5	4.17	8.33

- Conexiones





- Calibración

# Prüfprotokoll

test record / protocole d'essai



Typ: type / type	U10M/5kN	Auftrag: order no / commission	802184562
Justiermessbereich [kN] Adjusted range / étendue de mesure	5.00	Prüfer: examiner / contrôleur	EI Moutouk
IdentNr: serial no / N°-ident	024226S	Datum: test date / date d'essai	2020-05-12

## Prüfergebnisse:

test results / résultats d'essai

Eingangsgröße des Messbereichs [kN] input quantity / échelle d'essai	Ausgangsgröße [mV/V] output quantity / résultats	
	Zug tension / traction	Druck compression / compression
0	0.0000	0.0000
1	0.2437	-0.2438
2	0.4875	-0.4875
3	0.7312	-0.7313
4	0.9748	-0.9752
5	1.2185	-1.2190
2	0.4875	-0.4875
0	0.0000	0.0000

## Aus den Prüfergebnissen berechnete messtechnische Kenngrößen:

Metrological characteristic quantities computed from the test results  
Grandeurs caractéristiques de mesure calculées à partir des résultats d'essai

Kennwert C [mV/V] sensitivity / sensibilité	1.2185	-1.2190
Lineartätsabweichung [%vC] linearity deviation / linéarité (Abweichung von der bestpassenden Geraden durch das Nullsignal) (deviation from bestfit through zero / écart par rapport à la meilleure droite passant par le zéro)	-0.004	0.005
Relative Umkehrspanne 0,4 F <sub>nom</sub> relative hysteresis / hystérésis relatif		
in % vom Istwert in % of reading / en % de lecture	-0.001	-0.001
in % vom Kennwert C in % of sensitivity / en % de sensibilité	0.000	0.000

Alle aus den Messergebnissen ermittelten Kenngrößen entsprechen den Spezifikationen gemäß Datenblatt.

All characteristic quantities determined from the measurement results correspond to the specifications per data sheet.  
Toutes les grandeurs caractéristiques déterminées à partir des résultats de mesure correspondent aux spécifications selon les caractéristiques techniques.

## Allgemeine Zusatzinformationen:

general information / informations complémentaires

Alle weiteren messtechnischen Eigenschaften des Aufnehmers sind durch Typprüfungen und laufende Produktaudits des Qualitätswesens abgesichert.  
All other metrological characteristics of the transducer are verified by type testing and regular product audits of the quality department.  
Toutes les autres caractéristiques techniques du capteur sont garanties par le Service Qualité, au moyen d'essais et d'audits effectués sur le produit.

Das Prüfprotokoll wurde unter Berücksichtigung der Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025 mit Messmitteln, die im Sinne der DIN EN ISO 9001 und DIN EN ISO 10012 auf Nationale Normale rückführbar sind, erstellt.  
The test was performed respecting the requirements of ISO/IEC 17025 using calibration equipment traceable to National Standards according to ISO 9001 and ISO 10012.  
Le rapport d'essai a été élaboré en tenant compte des exigences de la norme ISO/IEC 17025 avec des moyens de mesure traçables à des étalons nationaux selon les normes ISO 9001 et ISO 10012.

Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Im Tiefen See 45, 64293 Darmstadt, Germany | www.hbm.com  
Registered as GmbH (German limited liability corporation) in the commercial register at the local court of Darmstadt, HRB 1147  
Company domiciled in Darmstadt | CEO: Thomas Lippok, Jens Wegand | Chairman of the board: Joe Vorh

Zertifiziert nach ISO 9001 und ISO 14001 / ISO 9001 and ISO 14001 certified / Certification selon ISO 9001 et ISO 14001

Nr. 236

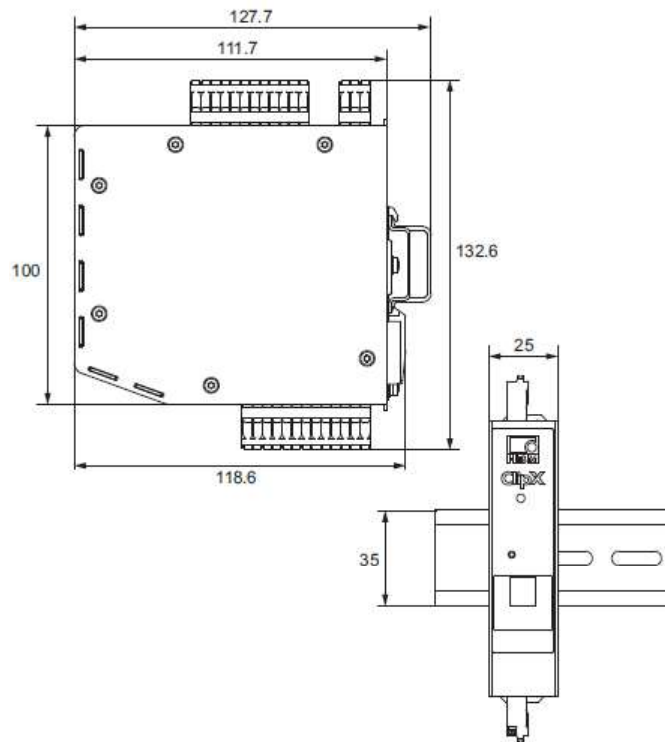
HBM Business document

VE 3/SC-T/12 18

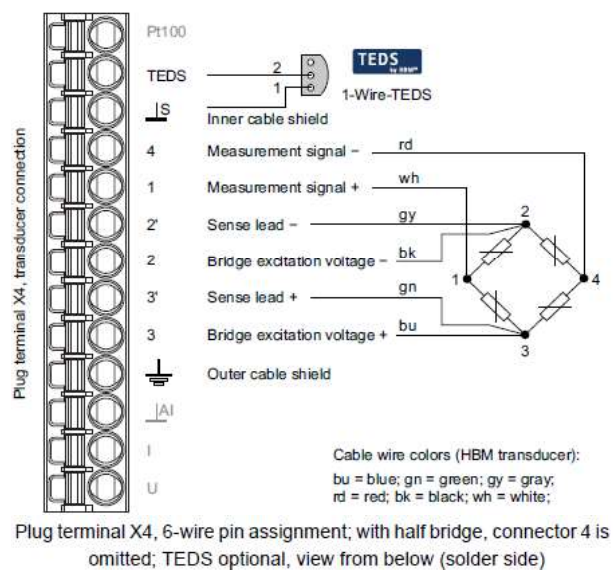
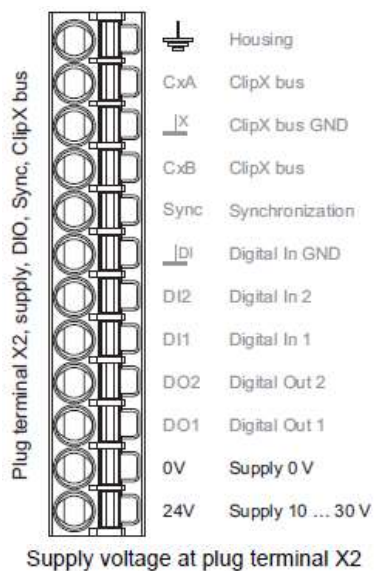
Seite / Page 1 (1)

## ClipXBM40IE HBM (HBM 2020c)

- Dimensiones



- Conexiones



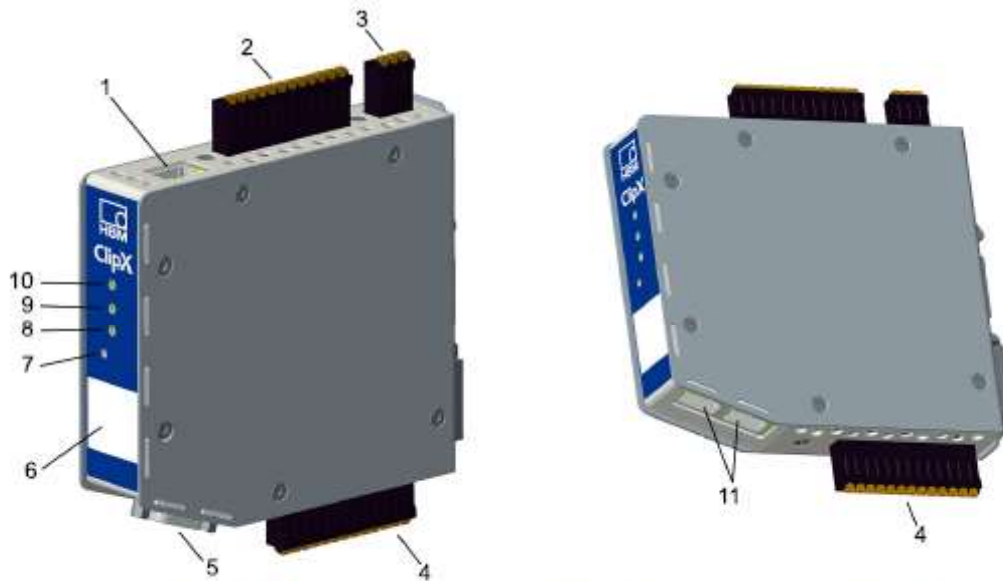


Fig. 8: Locations of the connections and LEDs; the connector designations X1 to X7 are imprinted on the housing; for meanings see table.

No.	Description
1	X1: Ethernet port
2	X2: Power supply, Digital I/O, ClipX bus
3	X3: Analog output
4	X4: Transducer connection, TEDS
5	X5: Fieldbus, here PROFIBUS (only BM40PB)
6	HBM calibration label and free labeling space
7	Reset button, see "User Management" on page 82, "Resetting Ethernet network settings (DHCP), enabling fixed IP address" on page 80
8	Fieldbus LED 1, only BM40IE; EtherCAT, Modbus-TCP: ERR, PROFINET: BF, EtherNet/IP™: NS
9	Fieldbus LED 2, only BM40IE and BM40PB; EtherCAT, Modbus-TCP: RUN, PROFINET: SF, EtherNet/IP™: MS; PROFIBUS: BUS
10	System LED
11	X6, X7: 2 x RJ45; P1/IN (X7) and P2/OUT (X6) for EtherNet/IP™, PROFINET, EtherCAT or Modbus-TCP (only BM40IE)



- Características

 <b>BM40</b>	 <b>BM40PB</b>	 <b>BM40IE</b>
Sin bus de campo.	Esclavo Profibus (DPV1)	Dispositivo Profinet (transf. de datos 4 kHz), esclavo EtherCAT® (transf. de datos 4 kHz), esclavo Ethernet/IP™ (transf. de datos 1 kHz)
<b>Interfaz Ethernet para PC:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interfaz Ethernet (TCP/IP) de parametrización (Interfaz web ClipX) y aplicaciones de PC, con velocidad de transferencia hasta 1 kHz por cada ClipX</li> <li>• Puede integrarse con numerosos programas de software: LabVIEW, Visual Studio .NET, etc., bajo Windows y Linux.</li> <li>• Interfaz Ethernet con OPC-UA</li> </ul>		
<b>Entrada de sensores:</b> Una entrada de medida conmutable con tecnología TEDS®, certificado de calibración interno, frecuencia de muestreo 19,2 kHz, conversión analógica-digital y filtrado de 24 bits, ancho de banda de medición de hasta 3,5 kHz, suministro a los sensores opcional de CC o frecuencia portadora, escalado de 2 puntos, polinómico o basado en tablas.		
 Galgas extensométricas de puente completo (0,01)  Galgas extensométricas de medio puente (0,1)  Piezoresistivos de puente completo (0,01)  Suministro de CC a sensores (5 V)  Suministro de sensores de frecuencia portadora (5 V, 1200 Hz)	 Transductores potenciométricos (0,1)  Pt100 (0,5 °C)  Señal de tensión (0,05)  Entrada de corriente (0,05) <i>La clase de precisión se indica entre paréntesis</i>	
<b>Análisis de señales (parametrización libre):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 valores pico: mín., máx., pico-pico, función muestrear + mantener (tiempo de adquisición (52 µs), 2 valores muestrear/mantener)</li> <li>• 4 valores límite ajustables, 2 entradas digitales, 2 salidas digitales (tiempo de respuesta 1 ms)</li> <li>• 1 salida analógica (mA/V), conmutable (ancho de banda 2 kHz, precisión del 0,05%)</li> </ul>		
<b>Canales de cálculo internos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pueden utilizar señales medidas o de análisis, valores de bus de campo y Ethernet</li> <li>• Álgebra (+, -, *, /), bloques lógicos (AND, OR, ...), temporizador, contador, media aritmética, valores pico, matriz de 6x6, ventana de tolerancia, medidas de ancho de impulsos, controlador PID, generadores de señal</li> <li>• Escalado: Matriz de compensación para transductores multicomponente (de 2x2 a 6x6), conversión de coordenadas (polares/cartesianas)</li> </ul>		
<b>Bus ClipX:</b> Bus de valores medidos para la transmisión de señales y estado de la señal entre unidades ClipX, hasta un máximo de 6 unidades acopladas, con velocidad de transferencia de 1 kHz.		
<b>Bloques de parámetros: (formulaciones)/memoria de la unidad/diagnóstico</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 bloques de parámetros internos para almacenamiento de todos los ajustes de la unidad, 3 niveles de usuarios (operario, servicio y administrador)</li> <li>• Diagnóstico y señalización de errores internos; un monitor de estado monitoriza todas las señales y funciones de la unidad</li> <li>• Información directa de diagnóstico mediante ledes</li> </ul>		

## PLC National Instrument (National Instrument 2016)

- Especificaciones CompactDAQ 9174

### SPECIFICATIONS

# NI cDAQ™ -9174

## NI CompactDAQ Four-Slot USB Chassis

These specifications are for the National Instruments CompactDAQ 9174 chassis only. These specifications are typical at 25 °C unless otherwise noted. For the C Series I/O module specifications, refer to the documentation for the C Series I/O module you are using.

### Analog Input

---

Input FIFO size.....	127 samples per slot
Maximum sample rate <sup>1</sup> .....	Determined by the C Series I/O module or modules
Timing accuracy <sup>2</sup> .....	50 ppm of sample rate
Timing resolution <sup>3</sup> .....	12.5 ns
Number of channels supported.....	Determined by the C Series I/O module or modules

### Analog Output

---

Number of channels supported	
Hardware-timed task	
Onboard regeneration.....	16
Non-regeneration.....	Determined by the C Series I/O module or modules

Non-hardware-timed task.....	Determined by the C Series I/O module or modules
Maximum update rate	
Onboard regeneration.....	1.6 MS/s (multi-channel, aggregate)
Non-regeneration.....	Determined by the C Series I/O module or modules
Timing accuracy.....	50 ppm of sample rate
Timing resolution.....	12.5 ns
Output FIFO size	
Onboard regeneration.....	8,191 samples shared among channels used
Non-regeneration.....	127 samples per slot
AO waveform modes.....	Non-periodic waveform, periodic waveform regeneration mode from onboard memory, periodic waveform regeneration from host buffer including dynamic update

## Digital Waveform Characteristics

---

Waveform acquisition (DI) FIFO.....	127 samples per slot
Waveform generation (DO) FIFO.....	2,047 samples
Digital input sample clock frequency	
Streaming to application.....	System-dependent memory
Finite.....	0 to 10 MHz
Digital output sample clock frequency	
Streaming from application.....	System-dependent memory
Regeneration from FIFO.....	0 to 10 MHz
Finite.....	0 to 10 MHz
Timing accuracy.....	50 ppm

## General-Purpose Counters/Timers

---

Number of counters/timers.....	4
Resolution.....	32 bits
Counter measurements.....	Edge counting, pulse, semi-period, period, two-edge separation, pulse width
Position measurements.....	X1, X2, X4 quadrature encoding with Channel Z reloading; two-pulse encoding
Output applications.....	Pulse, pulse train with dynamic updates, frequency division, equivalent time sampling
Internal base clocks.....	80 MHz, 20 MHz, 100 kHz
External base clock frequency.....	0 to 20 MHz
Base clock accuracy.....	50 ppm
Output frequency.....	0 to 20 MHz
Inputs.....	Gate, Source, HW_Arm, Aux, A, B, Z, Up_Down
Routing options for inputs.....	Any module PFI, analog trigger, many internal signals
FIFO.....	Dedicated 127-sample FIFO

## Frequency Generator

---

Number of channels.....	1
Base clocks.....	20 MHz, 10 MHz, 100 kHz
Divisors.....	1 to 16 (integers)
Base clock accuracy.....	50 ppm
Output.....	Any module PFI terminal



## Module PFI Characteristics

---

Functionality.....	Static digital input, static digital output, timing input, and timing output
Timing output sources <sup>4</sup> .....	Many analog input, analog output, counter, digital input, and digital output timing signals
Timing input frequency.....	0 to 20 MHz
Timing output frequency.....	0 to 20 MHz

## Digital Triggers

---

Source.....	Any module PFI terminal
Polarity.....	Software-selectable for most signals
Analog input function.....	Start Trigger, Reference Trigger, Pause Trigger, Sample Clock, Sample Clock Timebase
Analog output function.....	Start Trigger, Pause Trigger, Sample Clock, Sample Clock Timebase
Counter/timer function.....	Gate, Source, HW_Arm, Aux, A, B, Z, Up_Down

## Module I/O States

---

At power-on.....	Module-dependent. Refer to the documentation for each C Series I/O module.
------------------	--



**Note** The chassis may revert the input/output of the modules to their power-on state when the USB cable is removed.

## Power Requirements

---



**Caution** You must use a National Electric Code (NEC) Class 2 power source with the NI cDAQ-9174 chassis.



**Note** Some C Series I/O modules have additional power requirements. For more information about C Series I/O module power requirements, refer to the documentation for each C Series I/O module.



**Note** Sleep mode for C Series I/O modules is not supported in the NI cDAQ-9174.

Input voltage range.....	9 to 30 V
Maximum required input power <sup>5</sup> .....	15 W
Power input connector.....	2 positions 3.5 mm pitch pluggable screw terminal with screw locks similar to Sauro CTMH020F8-0N001
Power input mating connector.....	Sauro CTF020V8, Phoenix Contact 1714977, or equivalent
Power consumption from USB,.....	500 $\mu$ A maximum 4.10 to 5.25 V

## Bus Interface

---

USB specification.....	USB 2.0 Hi-Speed
High-performance data streams.....	7
Data stream types available.....	Analog input, analog output, digital input, digital output, counter/timer input, counter/timer output, NI-XNET <sup>6</sup>



**Note** If you are connecting the NI cDAQ-9174 chassis to a USB hub, the hub must be externally powered.

- Especificaciones tarjeta NI-9375

## DATASHEET

# NI 9375

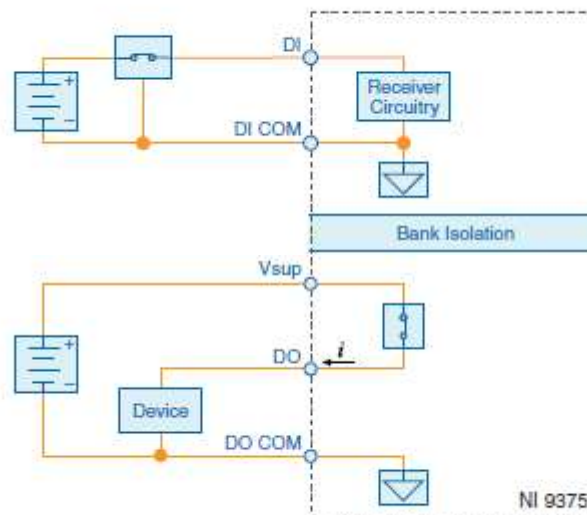
16 DI/16 DO, 30 VDC, 7  $\mu$ s Sinking DI, 500  $\mu$ s Sourcing DO



- DSUB or spring-terminal connectivity
- 60 VDC, DI-bank-to-DO-bank isolation
- 60 VDC, CAT I, channel-to-earth isolation

The NI 9375 is a combination digital input, digital output module for CompactDAQ and CompactRIO systems. The digital input lines are compatible with 24 V logic levels and the digital output lines are compatible with 6 V to 30 V signals, based on the external power supply. The NI 9375 offers 1,000 Vrms withstand isolation from channel to earth ground. It works with industrial logic levels and signals for direct connection to a wide array of industrial switches, transducers, and other devices.

## NI 9375 Circuitry



- The bank of 16 digital input channels and the bank of 16 digital output channels on the NI 9375 are isolated from each other and isolated from earth ground.
- The NI 9375 internally limits current signals connected to DI.
- The NI 9375 has sinking inputs. Sinking inputs provide a path to COM when the sourcing device connected to the NI 9375 drives current or applies voltage to DI.
- The NI 9375 has sourcing outputs. Sourcing outputs drive current from  $V_{sup}$  to DO when the channel is on.



## Allowable Current Per Module

The NI 9375 has a per module continuous output current specification. Use the following equation to determine whether the total module current of your loads for channels that are turned on are within the specification.

Figure 1. Total Module Current Equation

$$(I_{D00})^2 + (I_{D01})^2 + \dots + (I_{D015})^2 = \text{Total Module Current}$$

For example, an NI 9375 with spring terminal with two channels at 250 mA, six channels at 125 mA, and eight channels at 62 mA has the following per module continuous output current.

Figure 2. Total Module Current Example

$$\left\{ [(250 \text{ mA})^2 * 2] + [(125 \text{ mA})^2 * 6] + [(62 \text{ mA})^2 * 8] \right\} = 0.25 \text{ A}^2$$

## NI 9375 Specifications

The following specifications are typical for the range -40 °C to 70 °C unless otherwise noted. All voltages are relative to COM unless otherwise noted.



**Caution** Do not operate the NI 9375 in a manner not specified in this document. Product misuse can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the product if the product is damaged in any way. If the product is damaged, return it to NI for repair.

## Input/Output Characteristics

Number of channels	32 channels: 16 digital input and 16 digital output
--------------------	---

### Digital Input

Input type	Sinking
Input voltage range	0 VDC to 30 VDC
Digital logic levels	
OFF state	
Input voltage	≤5 V
Input current	≤150 μA

<b>ON state</b>	
Input voltage	$\geq 10$ V
Input current	$\geq 330$ $\mu$ A
<b>Hysteresis</b>	
Input voltage	1.7 V minimum
Input current	50 $\mu$ A minimum
Input impedance	30 k $\Omega$ $\pm$ 5%
Setup time <sup>1</sup>	1 $\mu$ s maximum
Update/transfer time <sup>2</sup>	7 $\mu$ s maximum
<b>Digital Output</b>	
Output type	Sourcing
Power-on output state	Channels off
External power supply voltage range ( $V_{sup}$ )	6 VDC to 30 VDC
<b>Continuous output current (<math>I_O</math>)</b>	
NI 9375 with spring terminal	
All channels on	125 mA maximum (per channel)
One channel on	500 mA maximum
Per module	0.25 A <sup>2</sup>
NI 9375 with DSUB	
All channels on	100 mA maximum (per channel)
One channel on	400 mA maximum
Per module	0.16 A <sup>2</sup> maximum
Output impedance ( $R_O$ )	0.3 $\Omega$ maximum
Output voltage ( $V_O$ )	$V_{sup} - (I_O R_O)$
Reversed-voltage protection	None
Current limiting	None
$V_{sup}$ current consumption	18 mA

Update/transfer time <sup>3</sup>	7 $\mu$ s maximum
Propagation delay <sup>4</sup>	500 $\mu$ s maximum

### Related Information

[Allowable Current Per Module](#) on page 5

## Power Requirements

Power consumption from chassis	
Active mode	450 mW maximum
Sleep mode	25 $\mu$ W maximum
Thermal dissipation (at 70 °C)	
Active mode	1.5 W maximum
Sleep mode	0.6 W maximum

## Safety Voltages

Connect only voltages that are within the following limits:

Channel-to-COM or Vsup-to-COM	30 VDC maximum
Isolation	
DI bank-to-DO bank	60 VDC maximum
Channel-to-Channel	No isolation between channels
Channel-to-earth ground	
Continuous	60 VDC, Measurement Category I
Withstand	1,000 Vrms, verified by a 5 s dielectric withstand test

- Especificaciones tarjeta NI-9411

## DATASHEET

# NI 9411 Datasheet

6 DI,  $\pm 5$  V to 24 V, Differential/Single-Ended, 500 ns



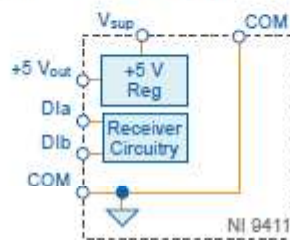
- DSUB connectivity
- CompactDAQ counter compatibility
- 60 VDC, CAT I, channel-to-earth isolation

The NI 9411 works with industrial logic levels and signals for direct connection to a wide array of industrial switches, transducers, and devices. The NI 9411 is a correlated digital module, so it can perform correlated measurements, triggering, and synchronization when installed in a CompactDAQ chassis.

## Input Circuitry

The NI 9411 channels share a common ground isolated from other modules in the system.

Figure 1. NI 9411 Input Circuitry



## NI 9411 Specifications

The following specifications are typical for the range  $-40$  °C to  $70$  °C unless otherwise noted. All voltages are relative to COM unless otherwise noted.



**Caution** Do not operate the NI 9411 in a manner not specified in this document. Product misuse can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the product if the product is damaged in any way. If the product is damaged, return it to NI for repair.

## Input Characteristics

Number of channels	6 digital input channels
Input type	Differential or single-ended



### Digital logic levels

Differential (DIa and DIb)	
Input high range	300 mV to 24 V
Input low range	-300 mV to -24 V
Common-mode voltage	-7 V to 12 V
Single-ended	
Input high range	2 V to 24 V
Input low range	0 V to 0.8 V
Input current	
At 5 V	±1 mA per channel
At 24 V	±4 mA per channel
Input impedance	8.4 kΩ
I/O protection	
Input voltage (channel-to-COM)	30 V maximum
Input current	±4 mA, internally limited
Input delay time	500 ns maximum
MTBF	800,319 hours at 25 °C; Bellcore Issue 2, Method 1, Case 3, Limited Part Stress Method

## Power Requirements

Power consumption from chassis	
Active mode	340 mW maximum
Sleep mode	1.1 mW maximum
Thermal dissipation (at 70 °C)	
Active mode	1.4 W maximum
Sleep mode	1.1 W maximum

## External Power Supply

Input voltage range ( $V_{sup}$ )	5 VDC to 30 VDC maximum
5 V regulated output	
Voltage tolerance	5 V ± 3%, $V_{sup} \geq 6$ V
Current	200 mA
Short-circuit protection	400 mA



**Note** The NI 9411 does not provide overvoltage protection for the external power supply.

## Safety Voltages

Connect only voltages that are within the following limits.

Channel-to-COM or $V_{sup}$ -to-COM	30 V maximum, Measurement Category I
Isolation	
Channel-to-channel	None

### Channel-to-earth ground

Continuous	30 Vrms, 42.4 Vpk, 60 VDC
Withstand	400 Vrms, verified by a 5 s dielectric withstand test

- Especificaciones tarjeta NI-9215

### DATASHEET

# NI 9215 Datasheet

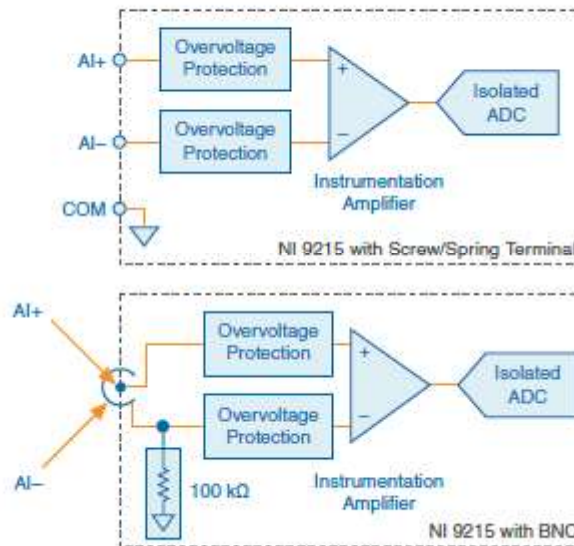
4 AI,  $\pm 10$  V, 16 Bit, 100 kS/s/ch Simultaneous



- BNC, screw-terminal, or spring-terminal connectivity
- 250 Vrms, CAT II, channel-to-earth isolation (screw terminal); 60 VDC, CAT I, channel-to-earth isolation (BNC)

The NI 9215 is an analog input module for use with NI CompactDAQ and CompactRIO systems. The NI 9215 includes four simultaneously sampled analog input channels and successive approximation register (SAR) 16-bit analog-to-digital converters (ADCs). The NI 9215 contains NIST-traceable calibration, a channel-to-earth ground double isolation barrier for safety and noise immunity, and high common-mode voltage range.

## NI 9215 Input Circuitry



- Input signals on each channel are buffered, conditioned, and then sampled by an ADC.
- Each AI channel provides an independent track-and-hold amplifier, enabling you to sample all channels simultaneously.

## NI 9215 Specifications

The following specifications are typical for the range  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  unless otherwise noted.



**Caution** Do not operate the NI 9215 in a manner not specified in this document. Product misuse can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the product if the product is damaged in any way. If the product is damaged, return it to NI for repair.

## Input Characteristics

Number of channels	4 analog input channels
ADC resolution	16 bits
Type of ADC	Successive approximation register (SAR)
Input range	$\pm 10.0\text{ V}$



**Input Voltage Ranges**

<b>Measurement Voltage, AI+ to AI-</b>	
Minimum <sup>1</sup> (V)	±10.2
Typical (V)	±10.4
Maximum (V)	±10.6
<b>Maximum Voltage (Signal + Common Mode)</b>	
NI 9215 with screw terminal	Each channel must remain within ±10.2 V of common.
NI 9215 with spring terminal	Each channel must remain within ±10.2 V of common.
NI 9215 with BNC	All inputs must remain within 10.2 V of the average AI- inputs.
Overvoltage protection	±30 V
<b>Conversion time</b>	
Channel 0 only	4.4 μs
Channels 0 and 1	6 μs
Channels 0, 1, and 2	8 μs
Channels 0, 1, 2, and 3	10 μs

**Table 1. Accuracy**

<b>Measurement Conditions</b>		<b>Percent of Reading (Gain Error)</b>	<b>Percent of Range<sup>2</sup> (Offset Error)</b>
Calibrated	Maximum (-40 °C to 70 °C)	0.2%	0.082%
	Typical (23 °C ±5 °C)	0.02%	0.014%
Uncalibrated <sup>3</sup>	Maximum (-40 °C to 70 °C)	1.05%	0.82%
	Typical (23 °C ±5 °C)	0.6%	0.38%

**Stability**

Gain drift	10 ppm/°C
Offset drift	60 μV/°C

CMRR ( $f_{in} = 60$ Hz)	73 dB min
Input bandwidth (-3 dB)	420 kHz minimum
Input impedance	
Resistance	
NI 9215 with screw terminal (AI-to-COM)	1 G $\Omega$
NI 9215 with spring terminal (AI-to-COM)	1 G $\Omega$
NI 9215 with BNC (Between any two AI- terminals)	200 k $\Omega$
Input bias current	10 nA
Input noise	
RMS	1.2 LSB <sub>rms</sub>
Peak-to-peak	7 LSB
Crosstalk	-80 dB
Settling time (to 2 LSBs)	
NI 9215 with screw terminal	
10 V step	10 $\mu$ s
20 V step	15 $\mu$ s
NI 9215 with spring terminal	
10 V step	10 $\mu$ s
20 V step	15 $\mu$ s
NI 9215 with BNC	
10 V step	25 $\mu$ s
20 V step	35 $\mu$ s
No missing codes	15 bits guaranteed
DNL	-1.9 to 2 LSB
INL	$\pm$ 6 LSB maximum
MTBF	1,167,174 hours at 25 °C; Bellcore Issue 6, Method 1, Case 3, Limited Part Stress Method

## Power Requirements

Power consumption from chassis (full-scale input, 100 kS/s)	
Active mode	560 mW maximum
Sleep mode	25 $\mu$ W maximum
Thermal dissipation (at 70 °C)	
Active mode	560 mW maximum
Sleep mode	25 $\mu$ W maximum

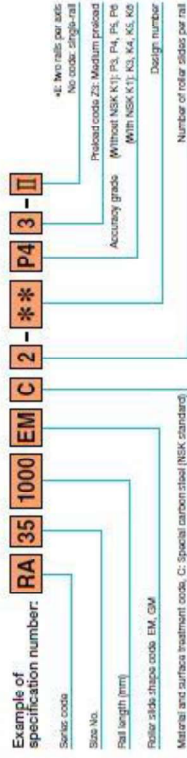
## Guía NSK RA30 y patín RA30EM (NSK 2017)

### Dimension table

Flange type (for both tapped and bolt mounting holes)

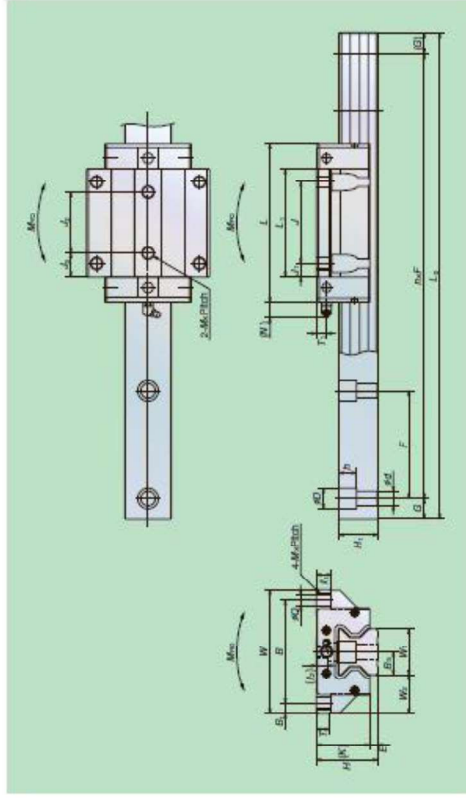
RA-EM (High load type)

RA-GM (Super-high load type)



\*Flange code that the appropriate design number will be inserted into the reference number and the tag and code (-II) will be omitted.

### Roller Guide RA Series



Model No.	Assembly			Roller slide										Rail					Basic load rating					Weight												
	Height H	E	W <sub>2</sub>	Width W	Length L	B	J	J <sub>1</sub>	J <sub>2</sub>	Tapped hole, Flange bolt M×Pitch & & (F, G)	Qx & (F, G)	E <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>	J <sub>1</sub>	J <sub>2</sub>	K	T	Grease nipple Mounting hole	T <sub>1</sub>	M	Roller width W <sub>1</sub>	Rail width W <sub>2</sub>	Rail height H <sub>1</sub>	Bar pitch F	Bolt hole d <sub>1</sub> ×D <sub>1</sub> ×h	B <sub>2</sub>	G (recommended)	Maximum Load F <sub>max</sub>	Dynamic C (N)	Static C <sub>0</sub> (N)	Dynamic M <sub>10</sub>	Static M <sub>10</sub>	Dynamic M <sub>20</sub>	Static M <sub>20</sub>	Rail (kg/m)	Bearing (kg)
RA15EM	24	4	16	47	70	38	30	26	M5×0.8×8.5 (6.5)	4.4×8.5 (6.5)	4.5	44.8	7.4	9.4	20	8	φ3	4	3	3	15	16.3	60*	4.5×7.5×5.3	7.5	20	2 000	10 300	27 600	260	210	270	210	270	0.21	0.21
RA15GM	30	5	21.5	63	96.3	53	40	35	M6×1×9.5 (8)	5.3×9.5 (8)	5	67.5	9.75	11.25	25	10	φ3	4	3	3	20	20.8	60*	6×9.5×8.5	10	20	3 000	19 300	52 600	665	625	695	625	695	0.46	0.46
RA20EM	36	5	23.5	70	115.3	57	45	40	M6×1.25×10 (11)	6.8×10 (11)	6.5	86.5	10.25	12.75	31	11	M6×0.75	6	11	23	24	24	30	7×11×9	11.5	20	3 000	29 300	72 700	970	760	1 240	1 240	1 240	0.80	0.80
RA20GM	42	6.5	31	90	156.4	72	62	44	M10×1.5×12 (12.5)	8.6×12 (12.5)	9	74	11	15	36.5	11	M6×0.75	7	11	28	28	40	9×14×12	14	20	3 500	38 900	93 500	1 670	1 140	1 140	1 140	1 140	1.3	1.3	
RA25EM	48	6.5	33	100	173.8	82	62	52	M10×1.5×13 (7)	8.6×13 (7)	9	83.2	10.6	15.6	41.5	12	M6×0.75	8	11	34	31	40	9×14×12	17	20	3 500	53 300	129 000	2 810	1 800	1 800	1 800	1 800	1.7	1.7	
RA25GM	60	8	37.5	120	190	100	80	60	M12×1.75×15 (10.5)	10.5×15 (10.5)	10	105.4	12.7	22.7	52	13	R <sub>c</sub> 1/8	10	14	46	38	52.5	14×20×17	22.5	22.5	3 500	92 800	229 000	6 180	4 080	4 080	4 080	4 080	3.2	3.2	
RA30EM	70	9	43.5	140	234	116	96	70	M14×2×18 (13)	12.5×18 (13)	12	128	15.5	29	61	15	R <sub>c</sub> 1/8	11	14	53	43.5	60	16×23×20	26.5	30	3 500	129 000	330 000	10 200	7 050	7 050	7 050	7 050	5.4	5.4	
RA30GM	90	13	53.5	170	302.5	142	110	82	M16×2×24 (18.5)	14.8×24 (18.5)	14	155.4	22.7	36.7	77	22	R <sub>c</sub> 1/8	19	14	63	55	75	18×26×22	31.5	35	3 500	210 000	504 000	19 200	12 700	12 700	12 700	12 700	12.2	12.2	
RA35GM												229.5	59.75	73.75														288 000	756 000	28 700	28 600	28 600	28 600	16.5	16.5	

\* Either 60 mm or 30 mm of bolt pitch F is applicable for RA15 and RA20.  
 60 mm bolt pitch will be provided if not specified.

● The basic load rating complies with ISO standards (ISO14726-1, ISO14726-2).  
 If the above basic dynamic load rating (100 km rating) is converted into 50 km rating, use the following formula:  
 $C_{50km} = 1.23 \times C_{100km}$

● If the rail length exceeds the above limitation, you may be able to cope with the problem by rails for butting connections. Contact NSK for more information.

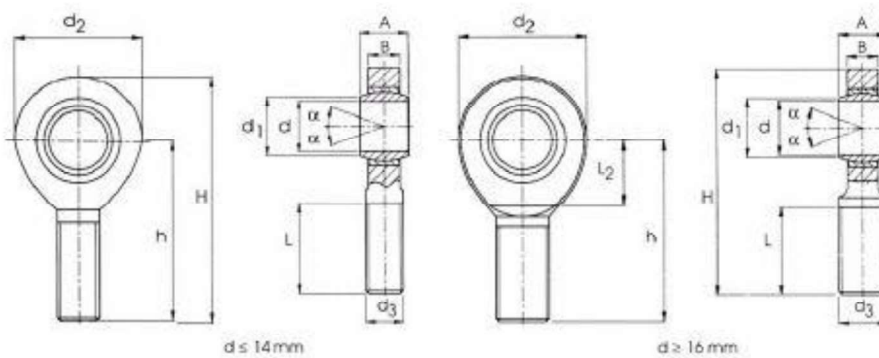
Componentes marca LASIOM usados (Lasiom 2018)



**Cabezas de Rótula**

Serie SAJK (macho)

Fabricadas según norma DIN 648-K – ISO 6126  
 Acoplamiento: ACERO / PTFE  
 Autolubrificante, sin mantenimiento



**EQUIVALENCIA: INA:GAKFR...PW SKF:SAKB...F**

Ref.	d	d <sub>1</sub> min.	A max.	B	d <sub>2</sub> max.	d <sub>1</sub>	h	H max.	L min.	L <sub>2</sub>	C Dyn. KN	Co Stat. KN	α° ≈
SAJK06C	6	9	9	7,5	20	M6x1	36	46	21	-	1,6	5,3	9
SAJK08C	8	10,4	12	9,5	24	M8x1,25	42	54	25	-	3,1	9,2	12
SAJK010C	10	12,9	14	11,5	30	M10x1,5	48	62	28	-	4	12	10
SAJK012C	12	15,4	16	12,5	34	M12x1,75	54	71	32	-	5,6	17	12
SAJK14C	14	16,9	19	14,5	38	M14x2	60	78	36	18	7,2	22	14
<b>SAJK16C</b>	<b>16</b>	<b>19,4</b>	<b>21</b>	<b>15,5</b>	<b>42</b>	<b>M16x2</b>	<b>66</b>	<b>87</b>	<b>37</b>	<b>23</b>	<b>9,3</b>	<b>30</b>	<b>14</b>
SAJK20C	20	24,4	25	18,5	50	M20x2,5	78	103	45	26	13	40	14
SAJK20.1C	20	24,4	25	18,5	50	M20x2,5	78	103	45	26	13	40	14

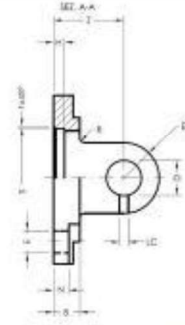
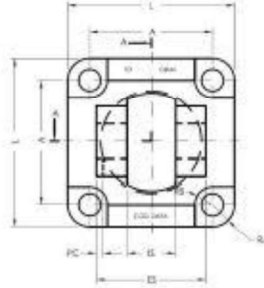
Para rosca izquierda referencia SA(L)JK...C





## Charnela Hembra Estrecha

ISO 15552  
Material: Acero

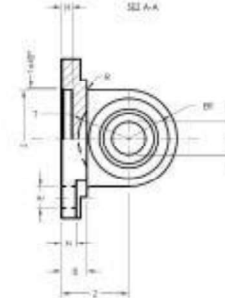
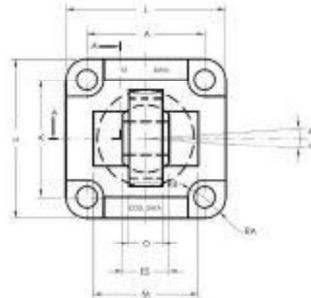


Código	Ø Cil	L	ES	IS	A	Z	H	B	N	S	D	E	RB	PC	LC	ER	RA	R	PESO (KG)
DFS02-032	32	45	34	14	32,5	22	5	9	5,5	30	10	6,6	5,5	3	3,3	10	6,25	2	0,115
DFS02-040	40	52	40	16	38	25	5	9	5,5	35	12	6,6	5,5	4	4,3	12	8,5	2	0,193
DFS02-050	50	65	45	21	46,5	27	5	11	6,5	40	16	9	7,5	4	4,3	15	9,25	3	0,302
DFS02-063	63	75	51	21	56,5	32	5	11	6,5	45	16	9	7,5	4	4,3	15	9,25	3	0,455
DFS02-080	80	95	65	25	72	36	5	14	10	45	20	11	9	4	4,3	20	11,5	4	1,020
DFS02-100	100	115	75	25	89	41	5	14	10	55	20	11	9	4	6,3	20	13	4	1,560
DFS02-125	125	140	97	37	110	50	7	20	10	60	30	14	10	6	6,3	30	15	5	3,200



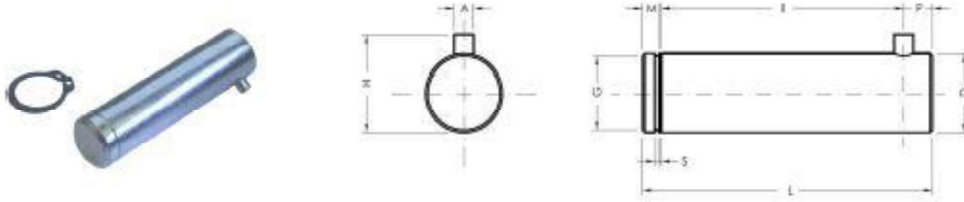
## Charnela Macho con Rótula

ISO 15552  
Material: Acero



Código	Ø Cil	A	O	Z	D	ER	S	B	E	L	RB	N	H	M	T	RA	R	ES	PESO (KG)
DFS03-032	32	32,5	10,5	22	10	15	30	8	6,6	45	5,5	5,5	5			6,25	2	14	0,126
DFS03-040	40	38	12	25	12	18	35	8	6,6	55	5,5	5,5	5			8,5	2	16	0,207
DFS03-050	50	46,5	15	27	16	20	40	10	9	65	7,5	6,5	5	51	19	9,25	3	21	0,332
DFS03-063	63	56,5	15	32	16	23	45	10	9	75	7,5	6,5	5			9,25	3	21	0,485
DFS03-080	80	72	18	36	20	27	45	13	11	95	9	10	9	70	24	11,5	4	25	1,005
DFS03-100	100	89	18	41	20	30	55	13	11	115	9	10	9			13	4	25	1,468
DFS03-125	125	110	25	50	30	40	60	16	14	140	10	10	9	102	35	15	5	37	3,040

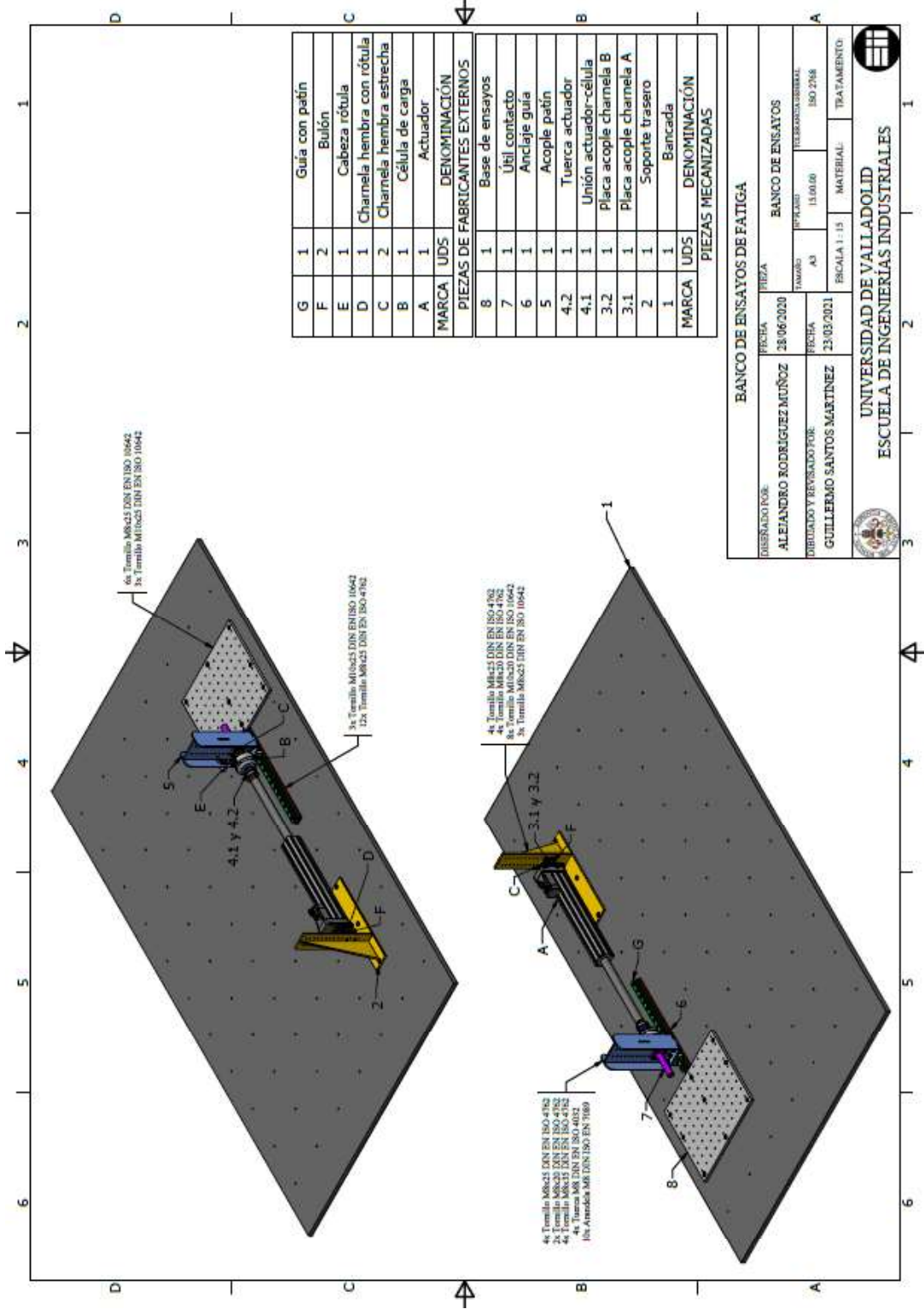
<b>Bulón para Charnela Estrecha</b>	<b>ISO 15552</b> <i>Material: Acero</i>
-------------------------------------	--

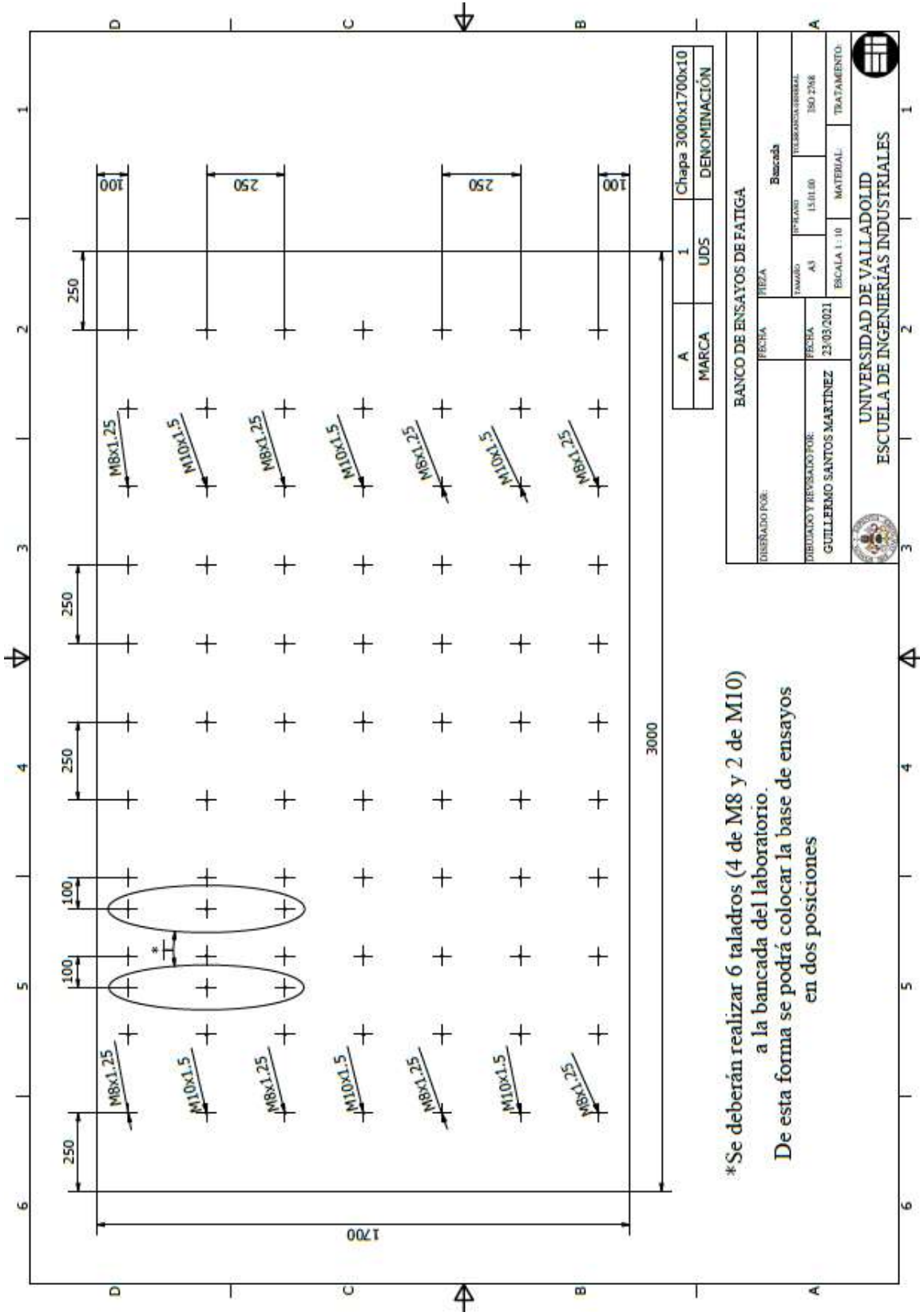


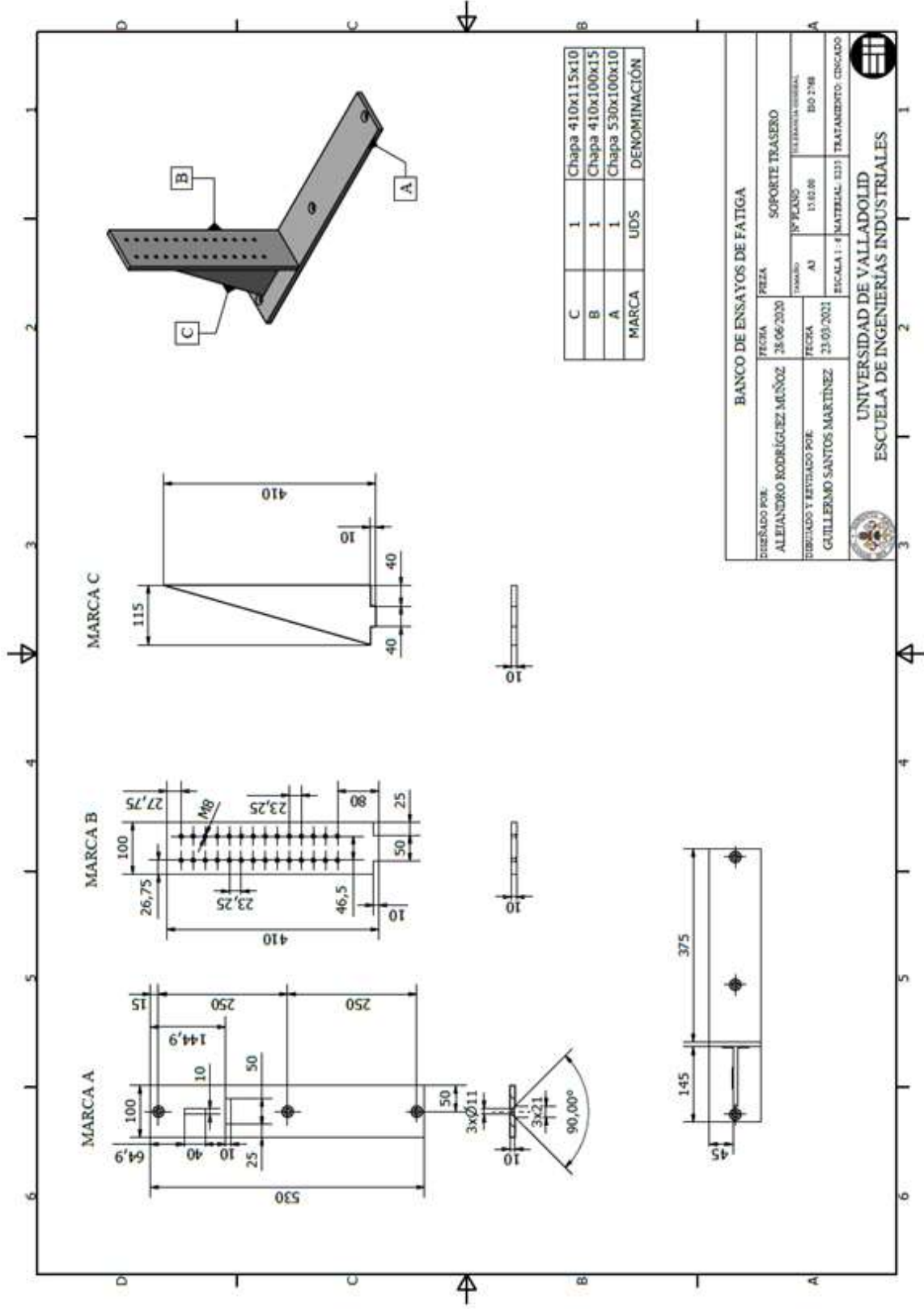
Código	∅ Cil	A	H	D	G	S	L	I	M	P	PESO (KG)
DFS04-032	32	3	14	10	9,6	1,1	41	32,5	4	4,5	0,025
DFS04-040	40	4	16	12	11,5	1,1	48	38	4	6	0,042
DFS04-050	50	4	20	16	15,2	1,1	54	43	5	6	0,085
DFS04-063	63	4	20	16	15,2	1,1	60	49	5	6	0,095
DFS04-080	80	4	24	20	19	1,3	75	63	6	6	0,185
DFS04-100	100	4	24	20	19	1,3	85	73	6	6	0,210
DFS04-125	125	6	36	30	28,6	1,6	110	94	7	9	0,600

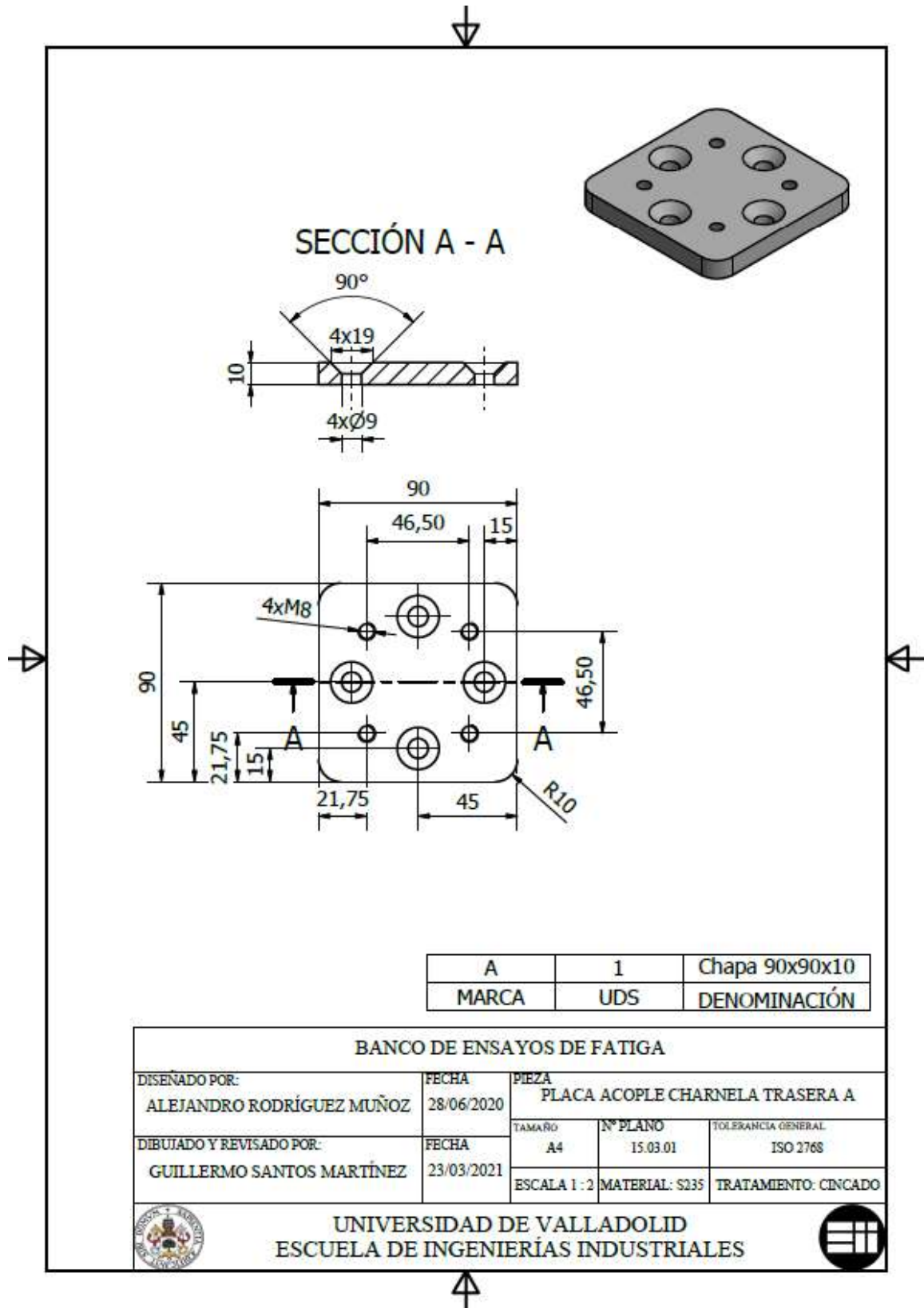


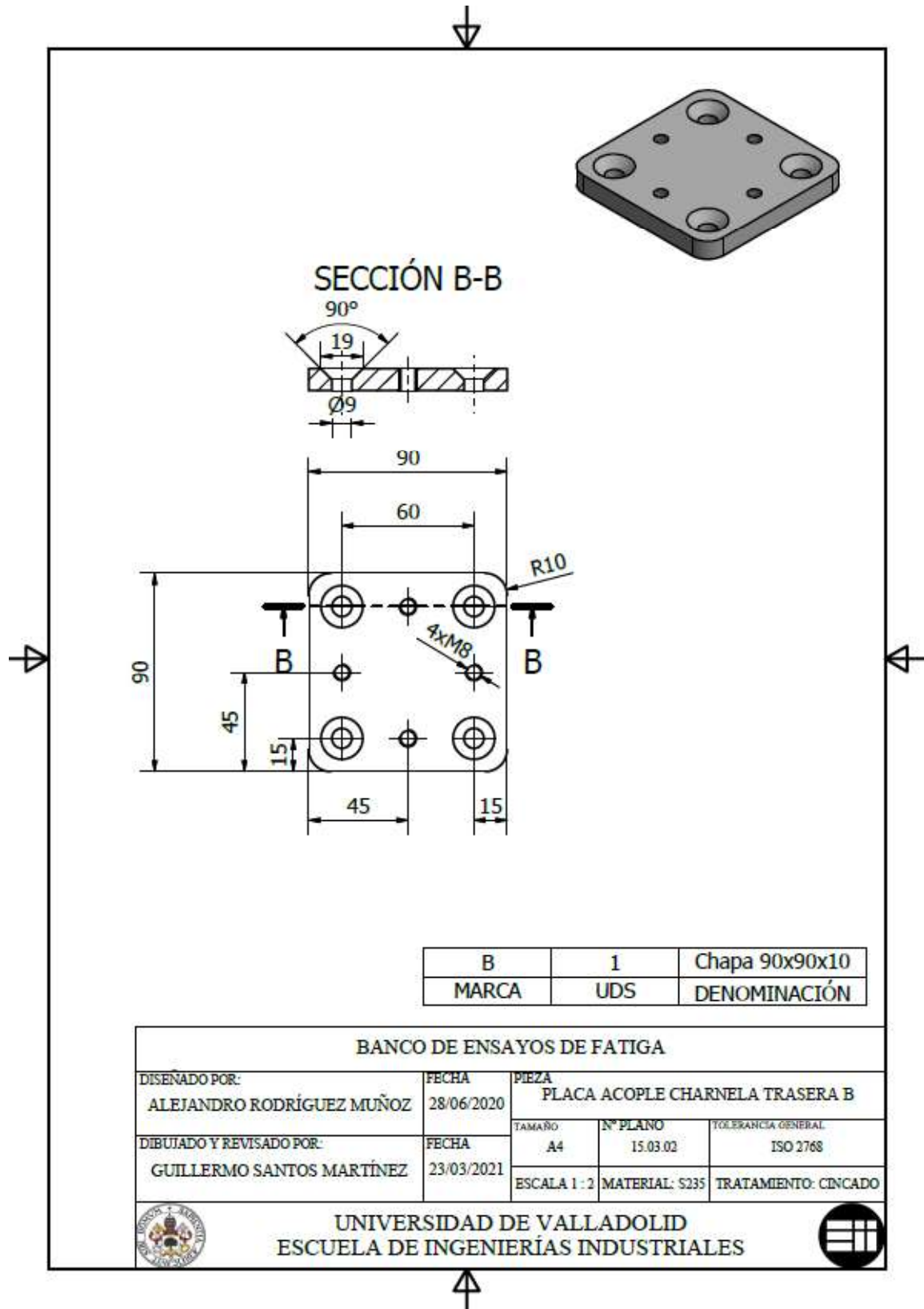
## 2. Planos de los componentes del banco de ensayos



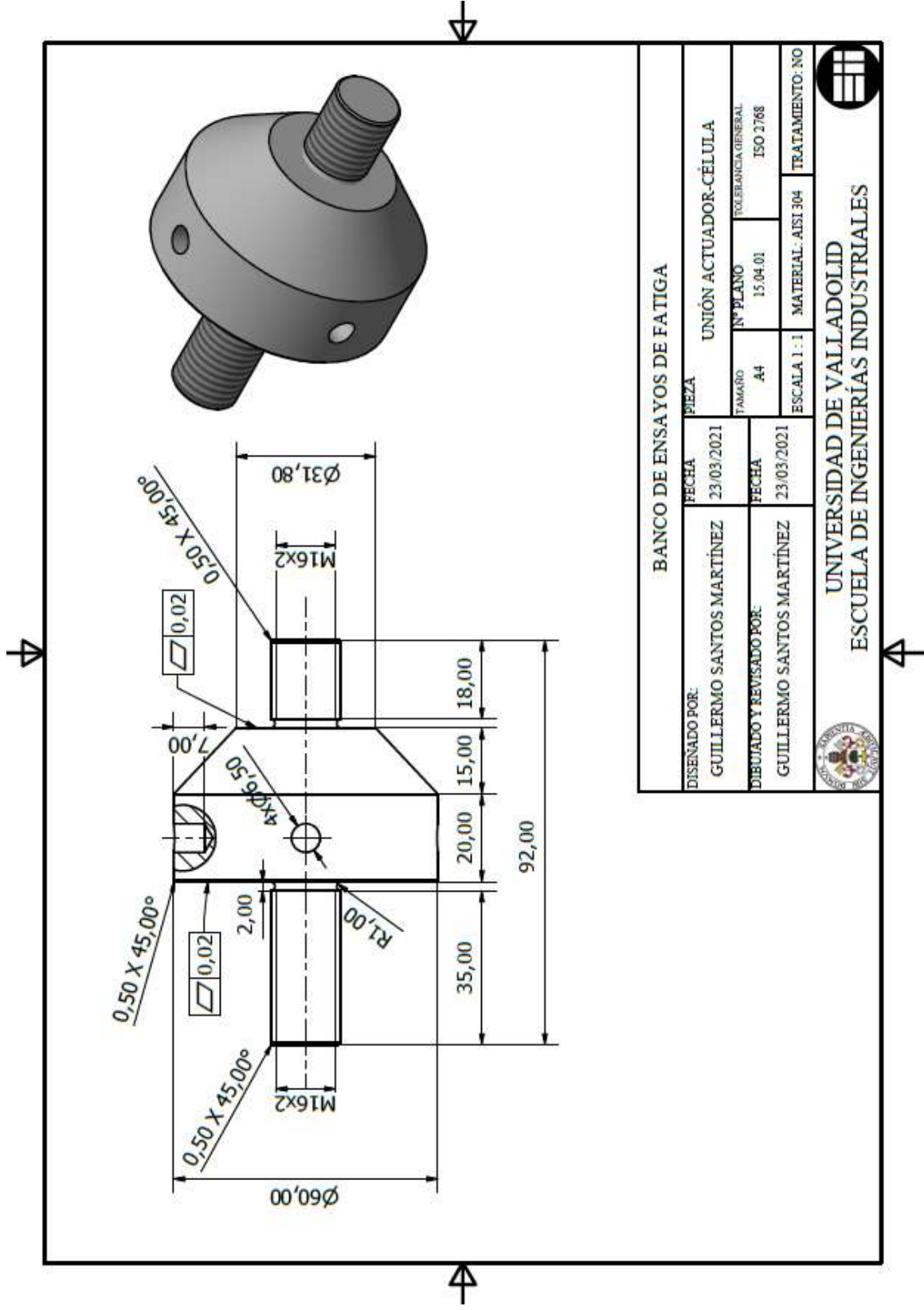


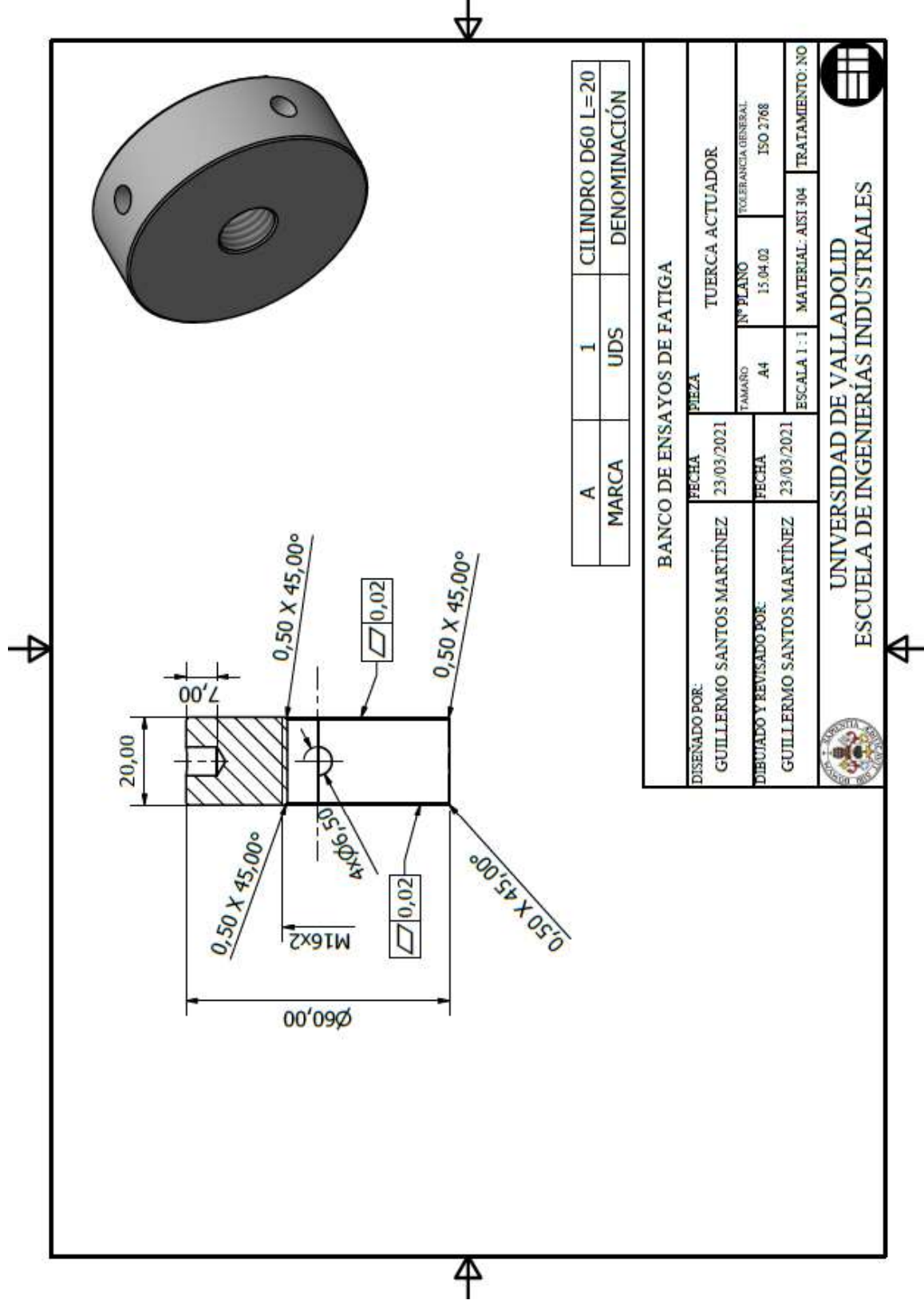


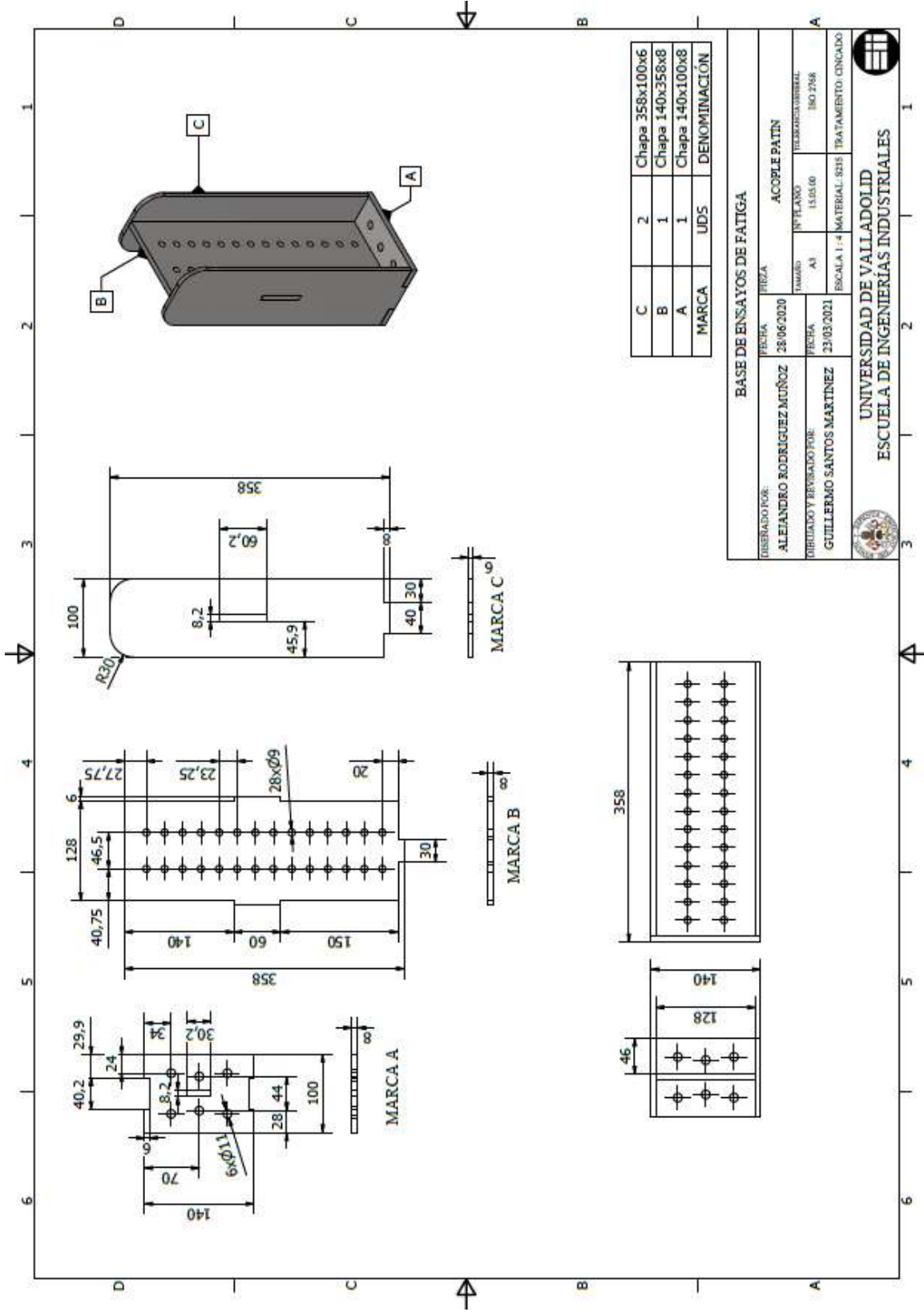


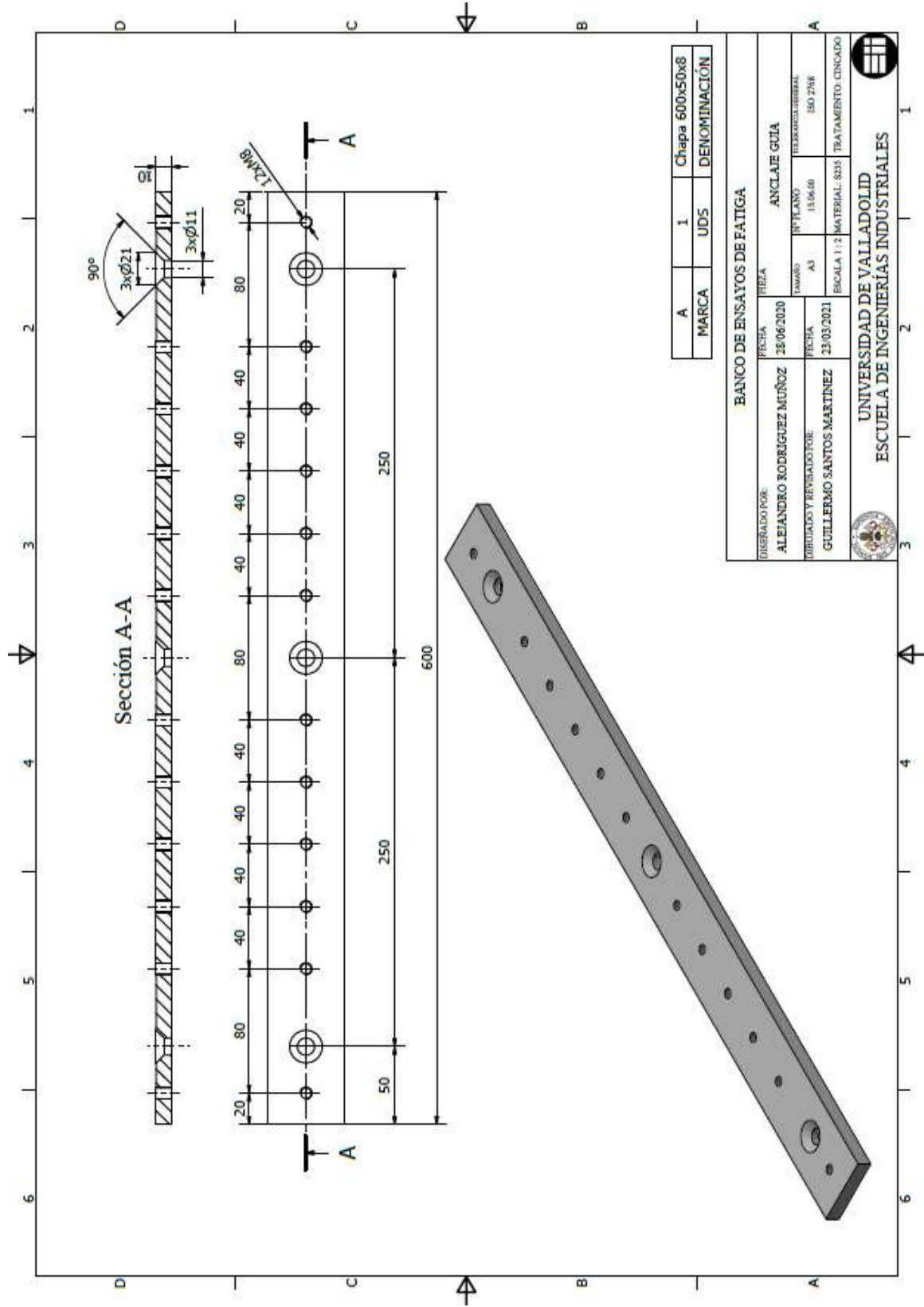












MARCA B

MARCA A

MARCA B

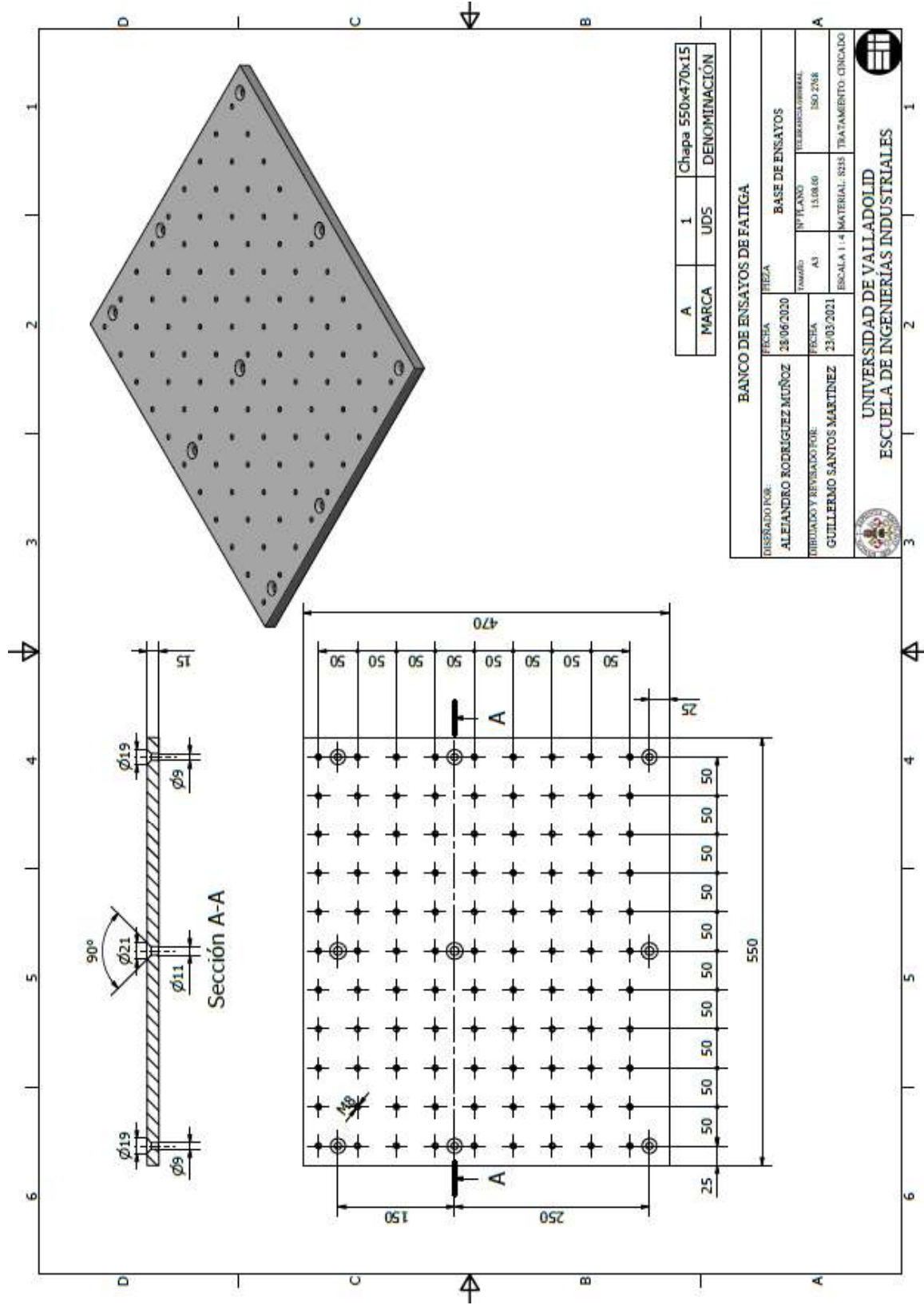
B	1	Cilindro D30 L=150mm	
A	1	Chapa 65x65x10	
MARCA	UDS	DENOMINACIÓN	

**BANCO DE ENSAYOS DE FATIGA**

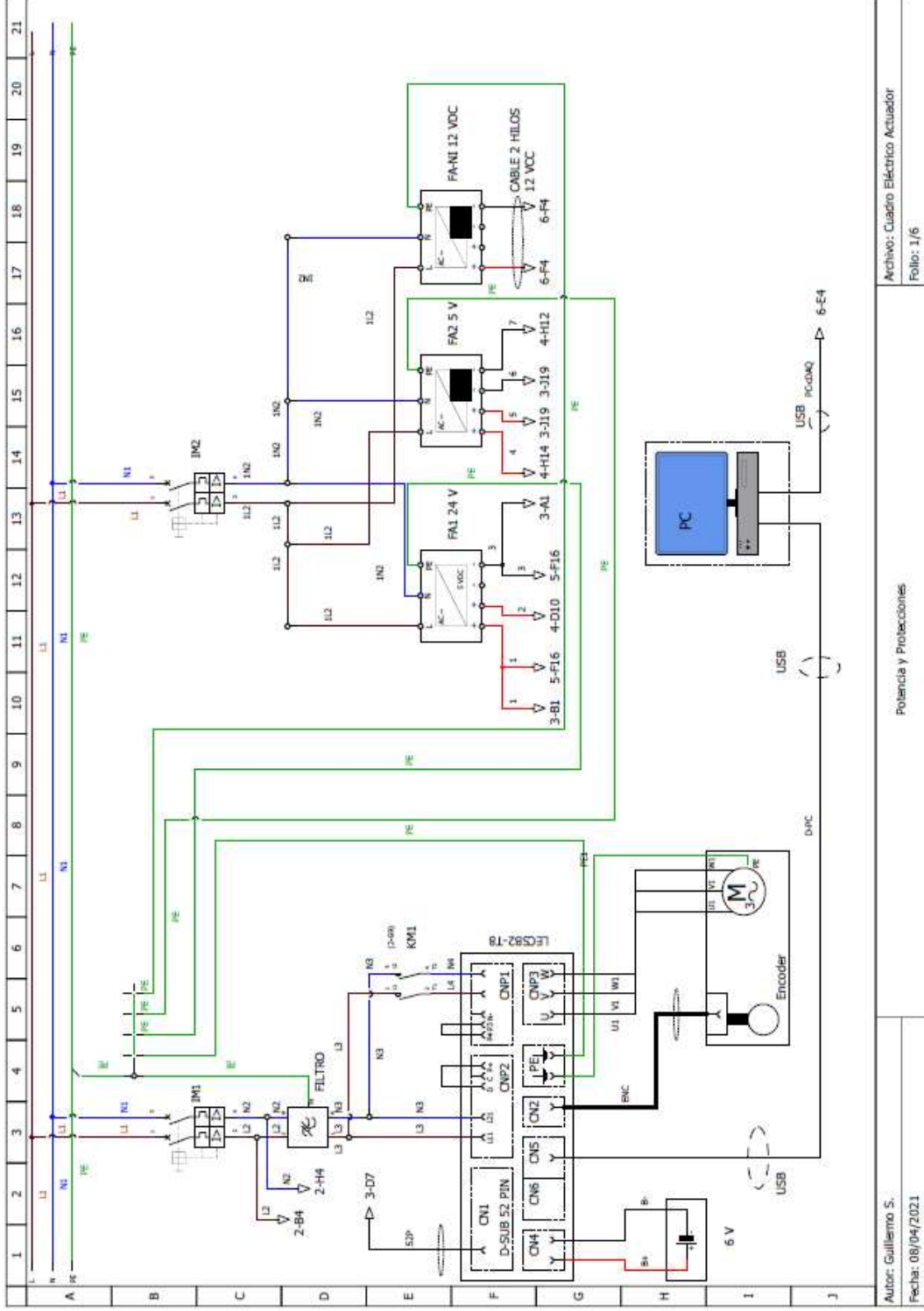
DISEÑADO POR: ALEJANDRO RODRÍGUEZ MUÑOZ	FECHA 28/06/2020	PIEZA ÚTIL CONTACTO	
DIBUJADO Y REVISADO POR: GUILLERMO SANTOS MARTÍNEZ	FECHA 23/03/2021	Nº PLANO A4	TOLENCIA GENERAL ISO 2768
		ESCALA 1 : 2	MATERIAL: S235 TRATAMIENTO: CINCADO

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**  
**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**





### 3. Planos del circuito eléctrico



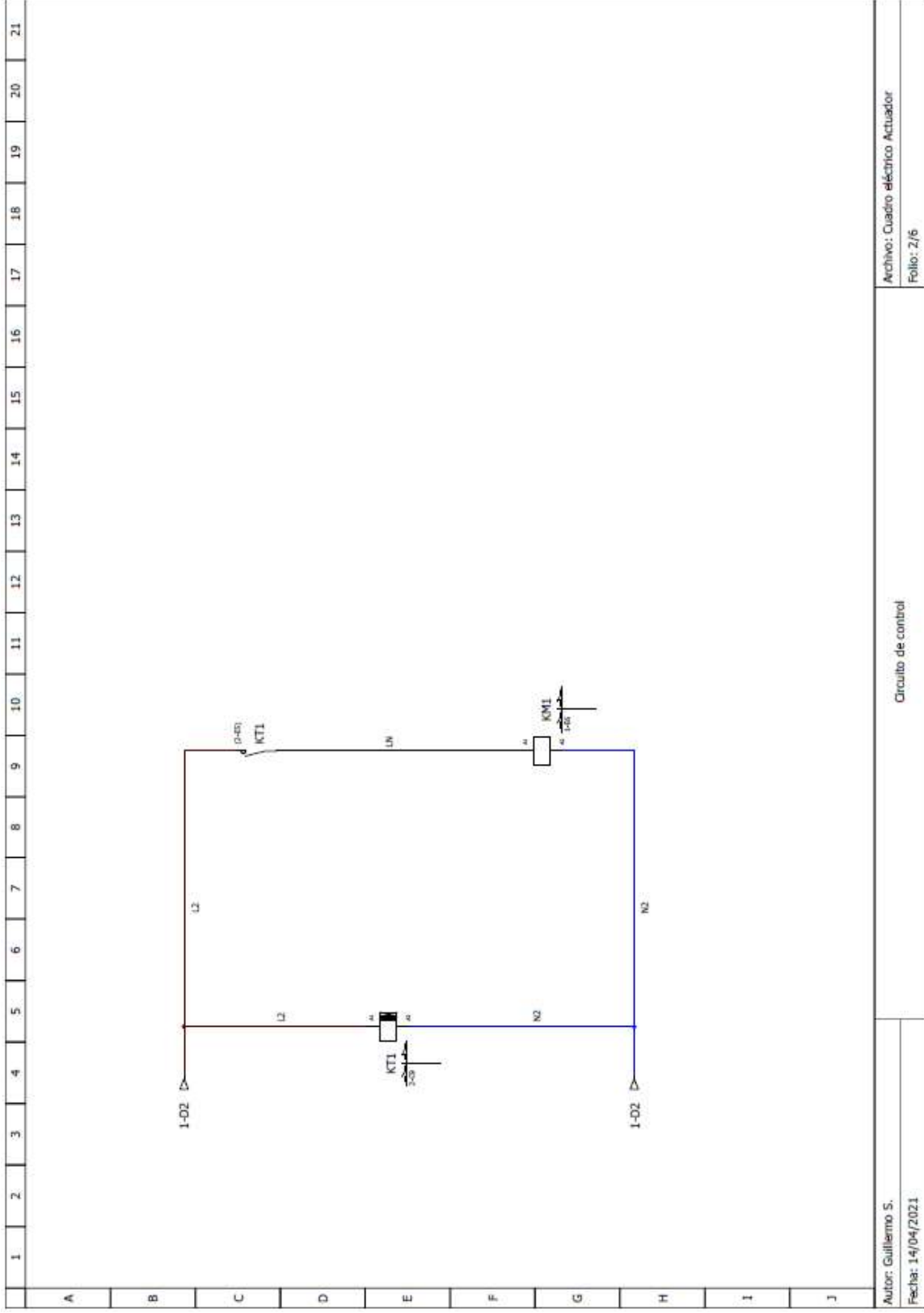
Autor: Guillermo S.

Fecha: 08/04/2021

Polaridad y Protecciones

Archivo: Cuadro Eléctrico Actuador

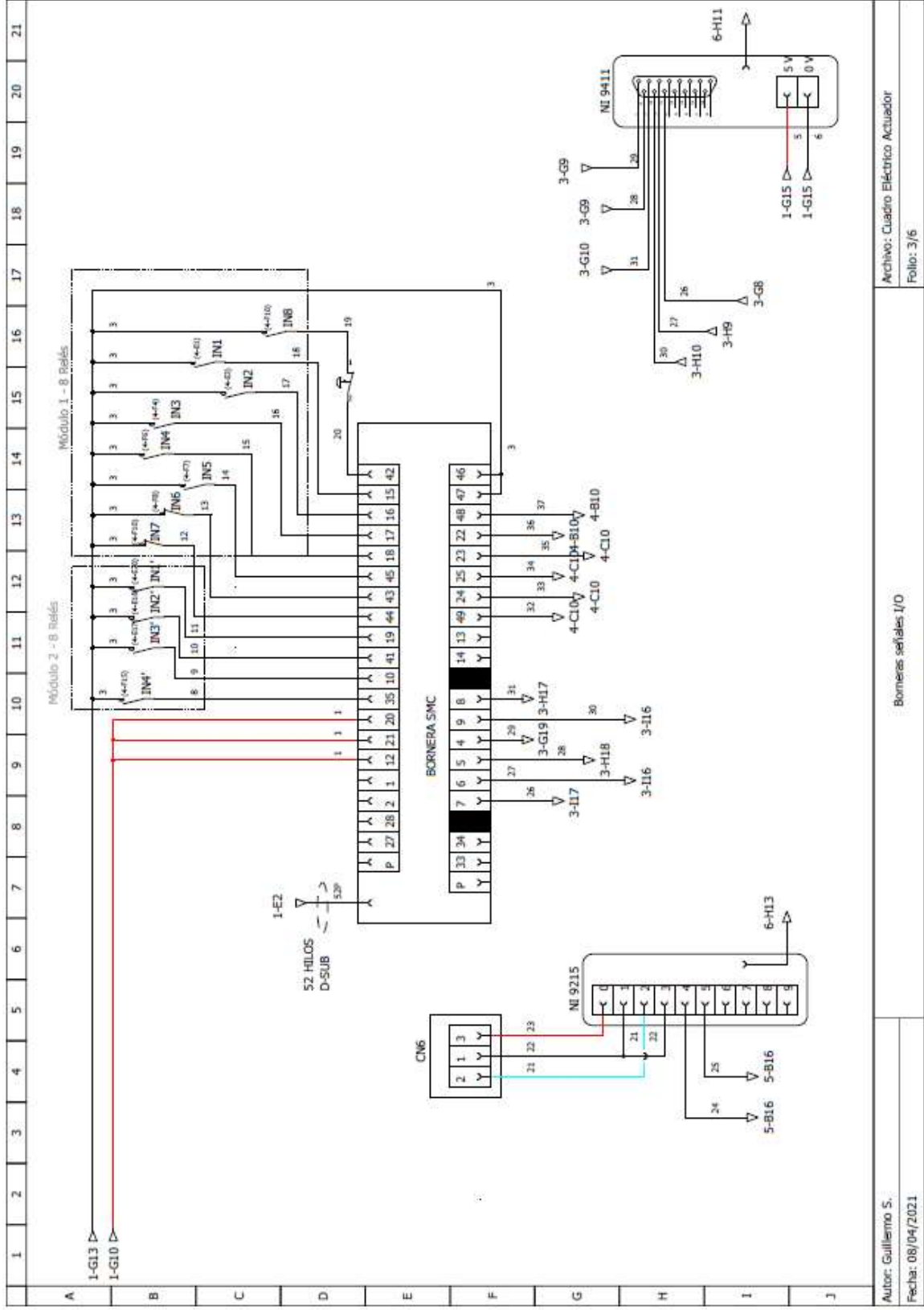
Folio: 1/6



Autor: Guillermo S.  
Fecha: 14/04/2021

Circuito de control

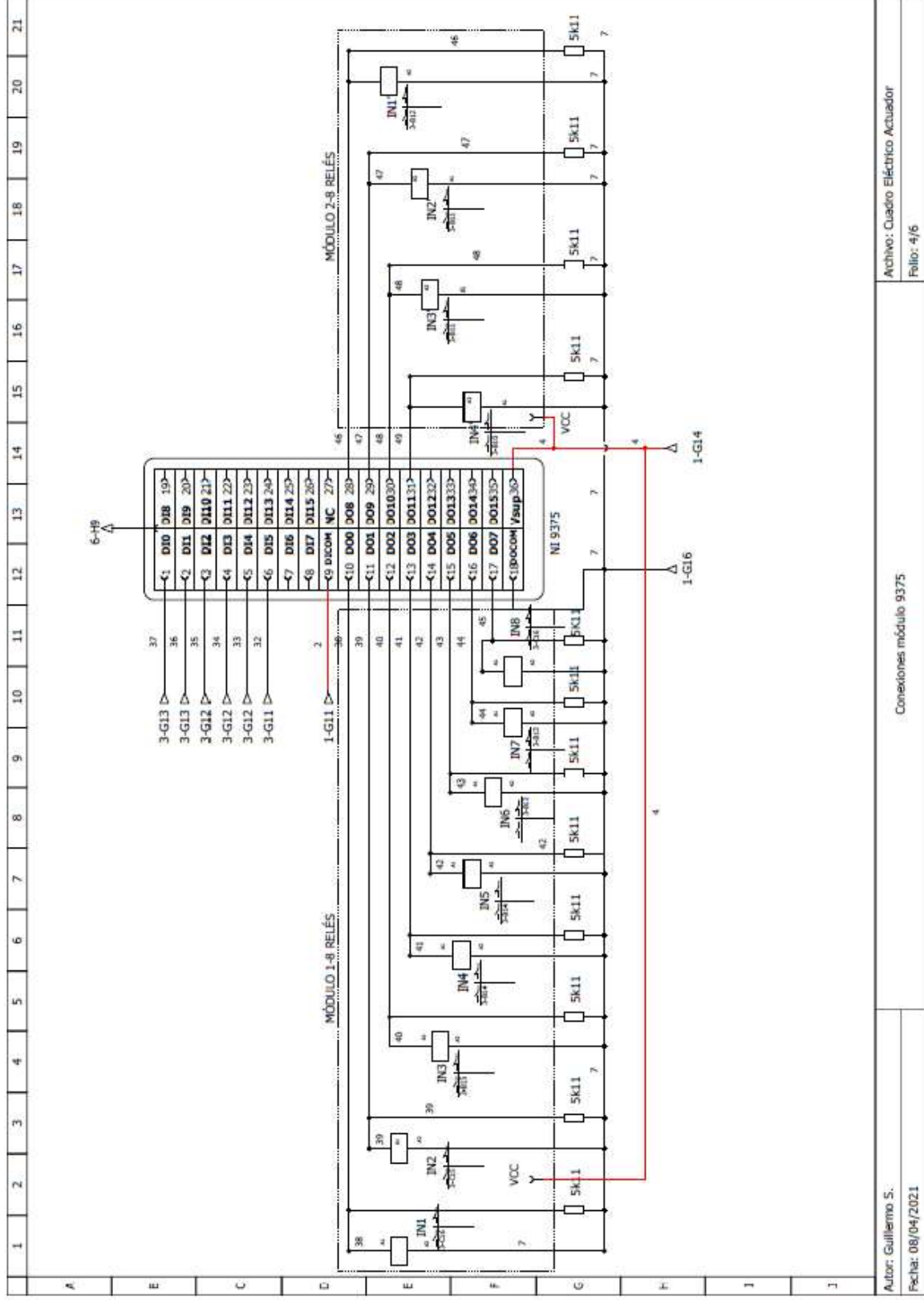
Archivo: Cuadro eléctrico Actuador  
Folio: 2/6



Autor: Guillermo S.  
Fecha: 08/04/2021

Bornes señales I/O

Archivo: Cuadro Eléctrico Actuator  
Folio: 3/6

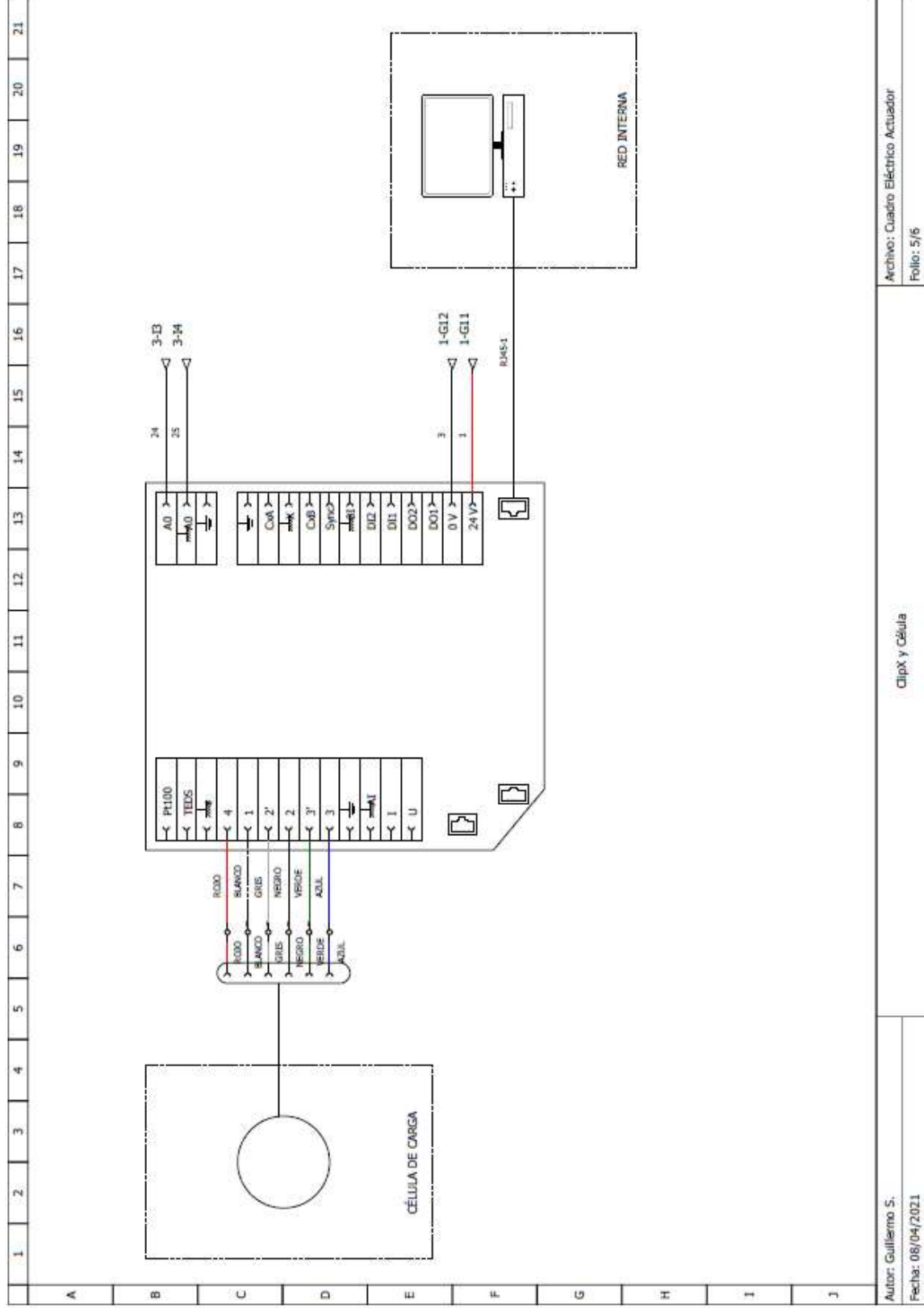


Autor: Guillermo S.  
Fecha: 08/04/2021

Conexiones módulo 9375

Archivo: Cuadro Eléctrico Actuador  
Folio: 4/6

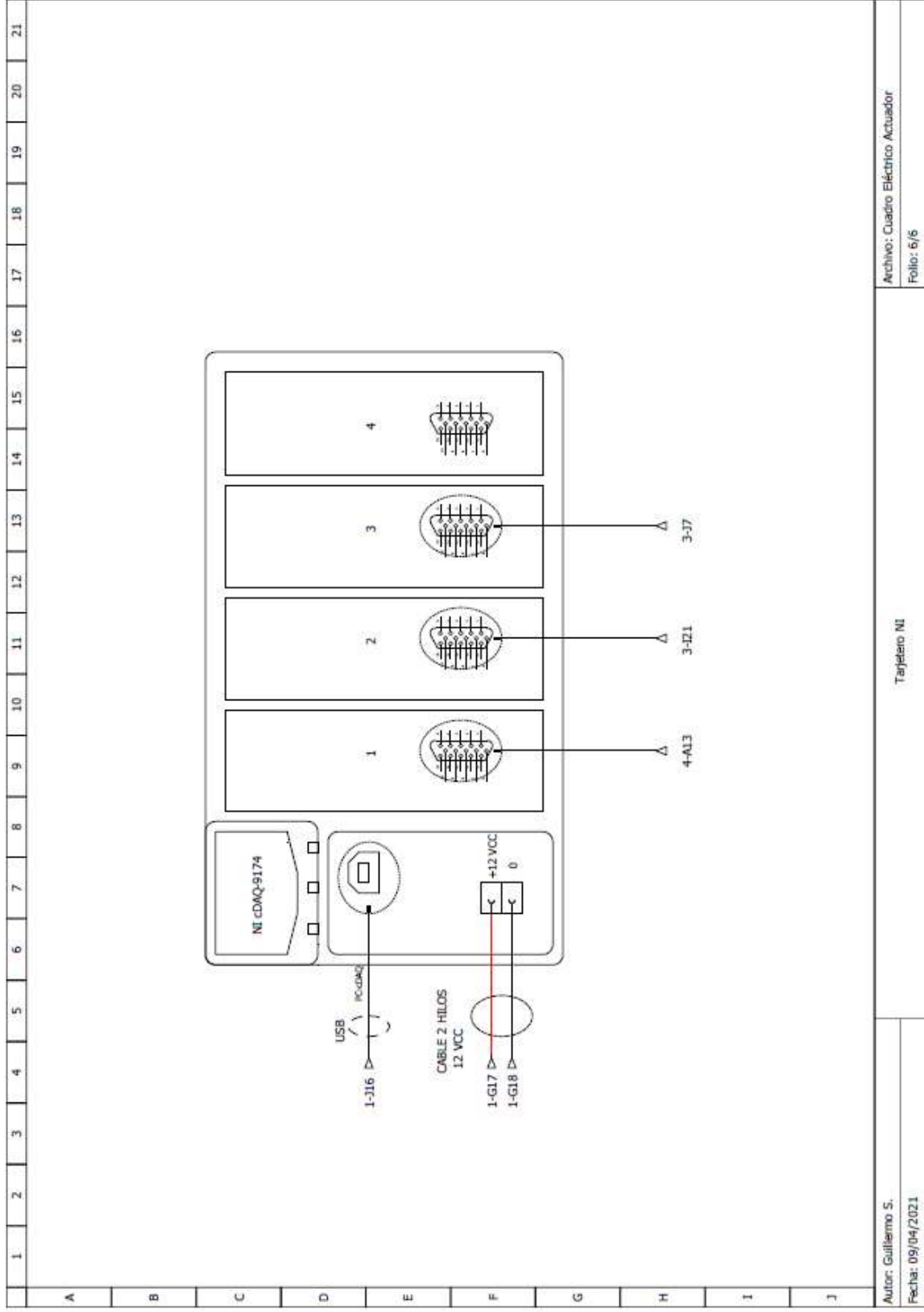




Autor: Guillermo S.  
Fecha: 06/04/2021

ClipX y Célula

Archivo: Cuadro Eléctrico Actuador  
Folio: 5/6

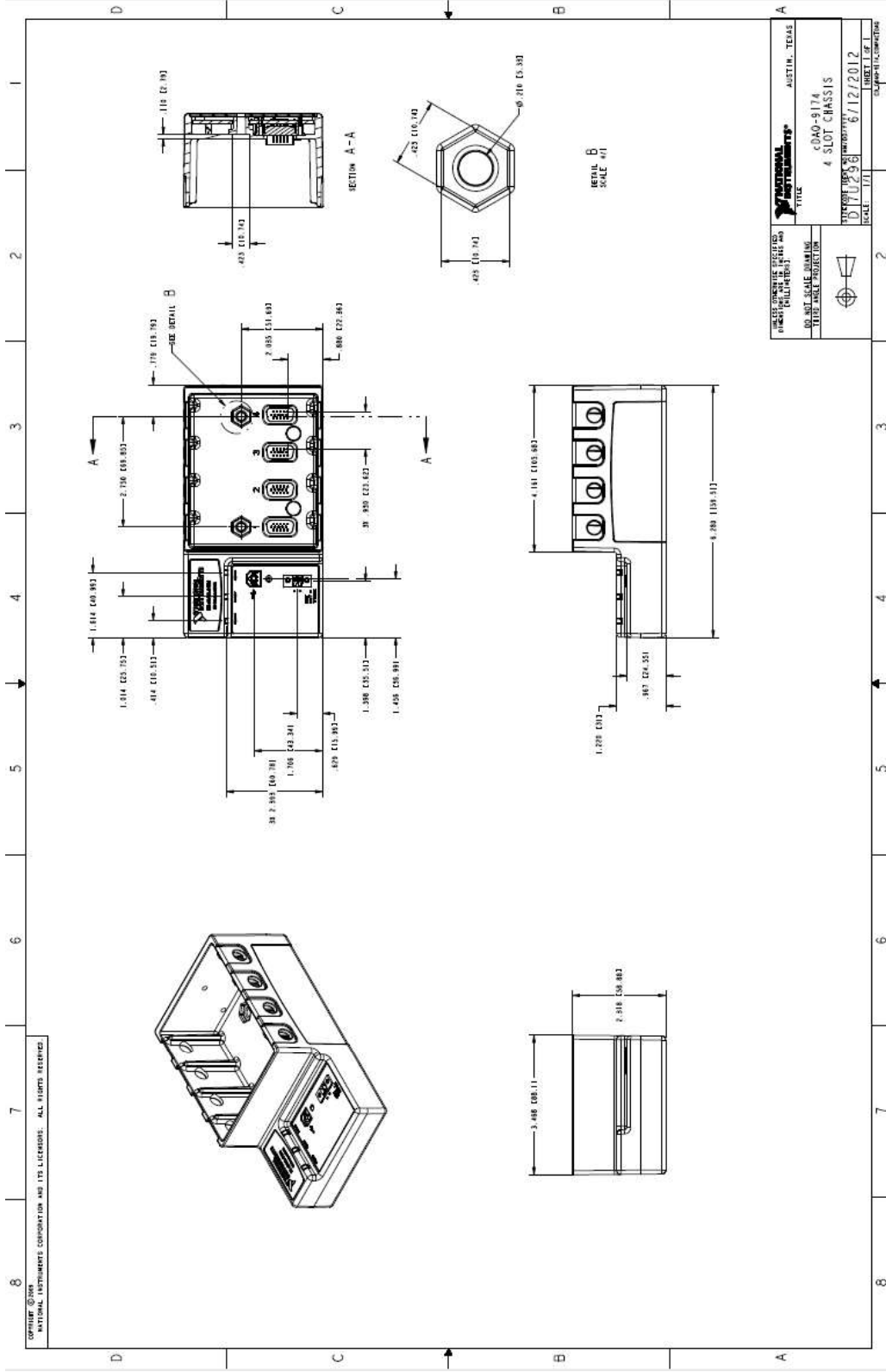


Autor: Guillermo S.  
 Fecha: 09/04/2021

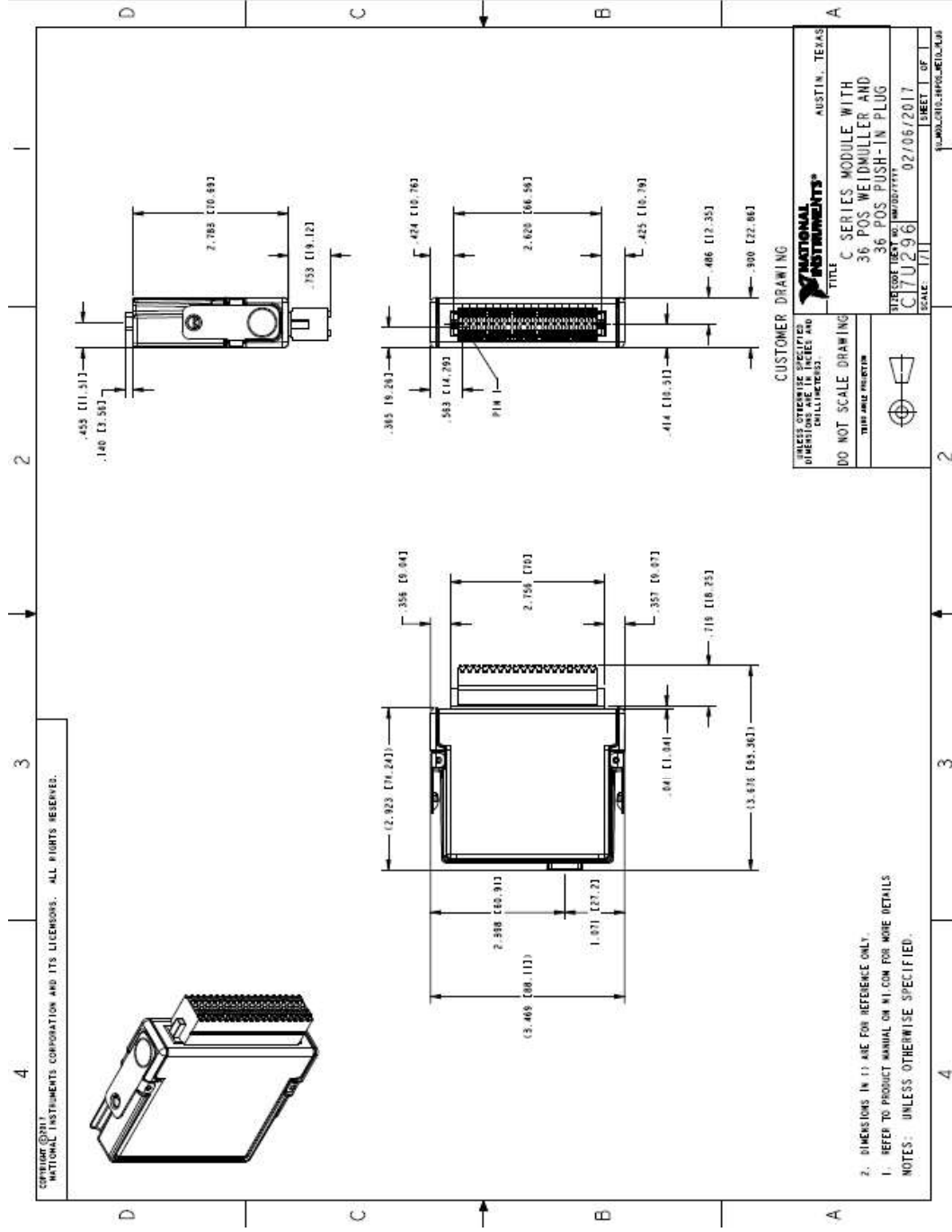
Tarjetero NI

#### 4. Planos de los componentes del PLC

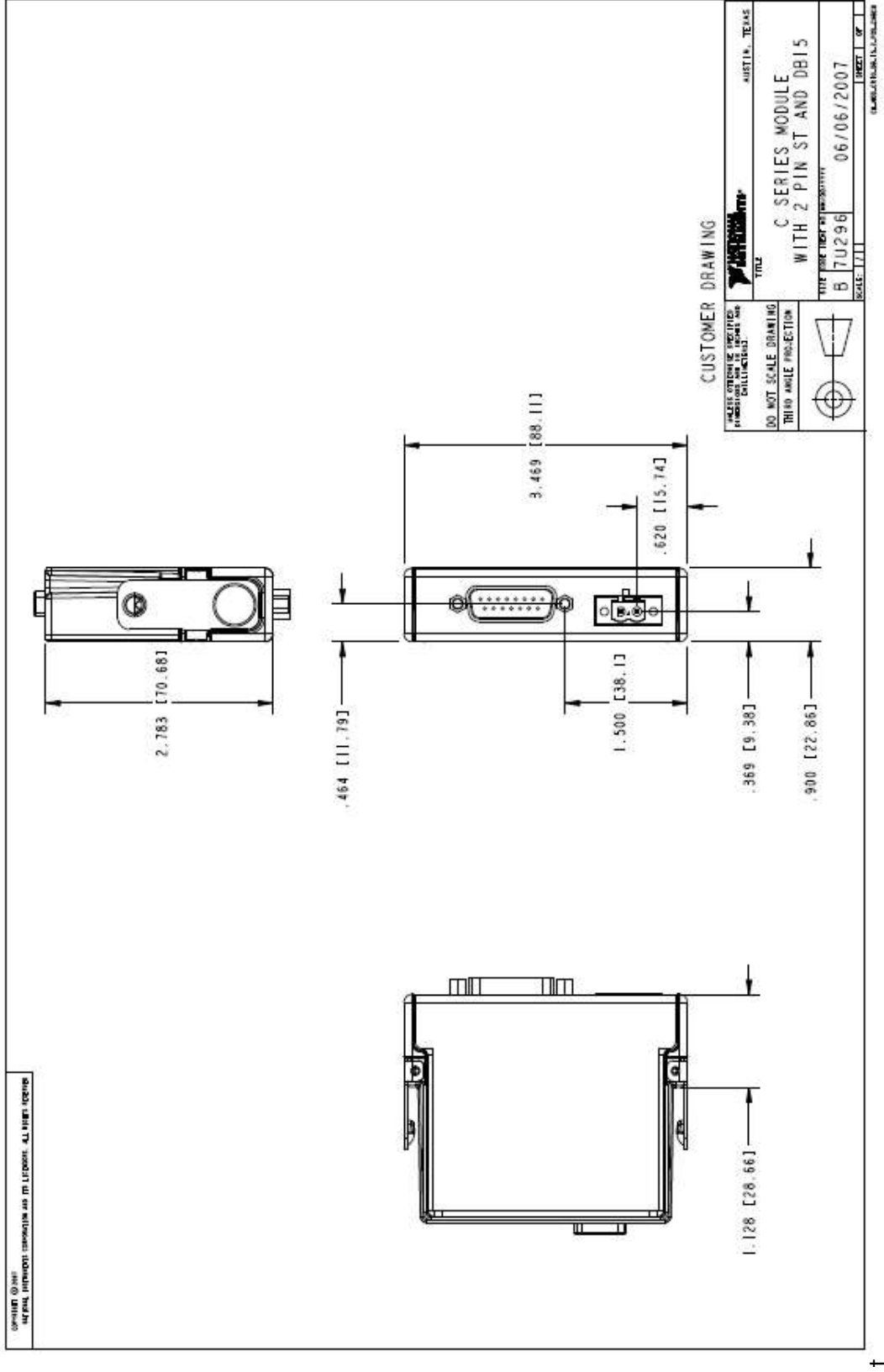
- CompactDAQ 9174 (National Instrument 2016)



- Tarjeta NI 9375 (National Instrument 2016)

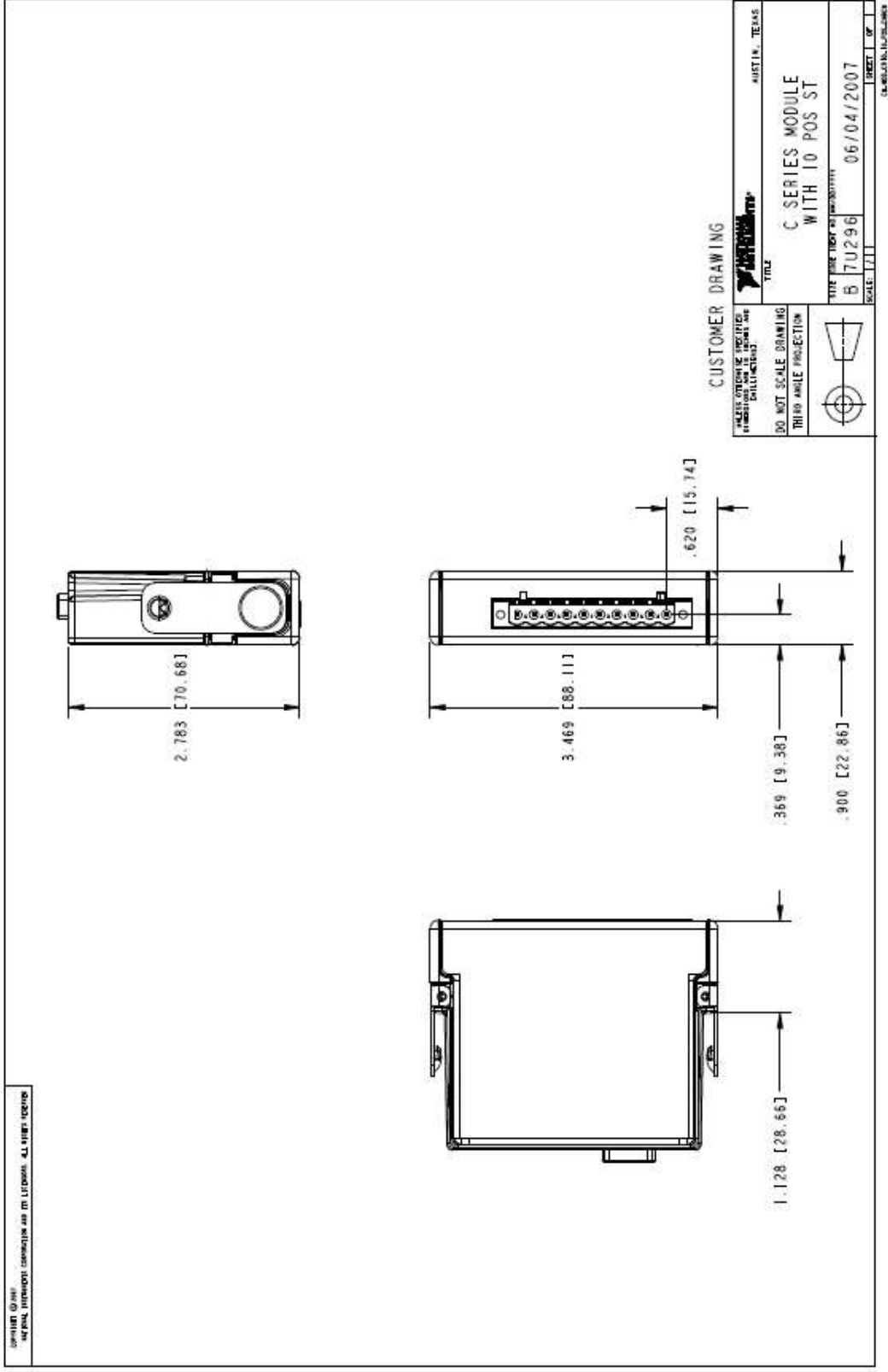


- Tarjeta NI 9411 (National Instrument 2016)





- Tarjeta NI 9215 (National Instrument 2016)



- Tarjeta NI 9977 (National Instrument 2016)

