



Trabajo Fin de Grado

*Centros de Transformación de Abonado: Diseño y
fabricación de una maqueta interactiva con
impresoras 3D*

Autor

Jorge Navarro Sánchez

Director

Raúl Igual Catalán

Escuela Universitaria Politécnica de Teruel
2018

Centros de transformación de abonado: diseño y fabricación de una maqueta interactiva con impresoras 3D

Resumen

Este trabajo de fin de grado consiste en el diseño y fabricación de una maqueta interactiva de un centro de transformación de abonado. Esta maqueta servirá para facilitar el aprendizaje de las características y funcionamiento de los centros de transformación, así como para ser utilizada en jornadas de divulgación.

Para el desarrollo de esta maqueta se ha utilizado un programa de diseño industrial con el que se han modelado las piezas de las que consta. A partir de esos modelos, se han utilizado impresoras 3D para fabricar la maqueta. Así mismo, la maqueta ha sido dotada de interactividad haciendo uso de una placa Arduino con la que se consigue controlar el sistema mecánico y los componentes electrónicos que hacen que la maqueta sea interactiva. Con todo esto se ha conseguido fabricar una maqueta cien por cien funcional de un Centro de Transformación de abonado basado en uno de la compañía *Schneider Electric*. Hasta donde se tiene conocimiento es la primera maqueta de centro de transformación de abonado que ha sido diseñada y fabricada con impresoras 3D.

Palabras clave: Centro de transformación, maqueta, impresora 3D, diseño 3D y Arduino.

Abstract

This work consists of designing and prototyping an interactive mockup of a transformation center of private domain.

For the development of this mockup, an industrial design program has been used to model its different parts. Then, 3D printers have been used to manufacture the mockup. Additionally, interactivity has been incorporated into the mockup using an Arduino board which controls mechanical systems and electronic components. As a result of this work, a functional mockup of a transformation center has been obtained. This mockup is based on a real transformation center belonging to the *Schneider Electric* Company. To the best of our knowledge, it is the first mockup of a transformation center of this type that has been designed and manufactured using 3D printers.

Keywords: Transformation center, mockup, 3D printers, 3D design and Arduino.



Índice

1. Objetivos del proyecto y motivación	1
2. Estructura del proyecto.....	3
3. Trabajo relacionado	5
4. Descripción general de los elementos utilizados en el proyecto	7
4.1 Centros de Transformación (Igual, 2017).....	7
4.2 Programas de diseño 3D	12
4.3 Impresoras 3D (informaticamoderna, 2018)	13
4.3.1 Métodos de impresión en 3D.....	14
4.3.2 Proceso de impresión de una pieza en 3D	15
4.4 Placa Arduino (Wikipedia, 2018).....	16
5. Descripción específica de los elementos utilizados en el proyecto	17
5.1 Centro de transformación de abonado (Schneider, 2018) (Igual, 2017)	17
5.1.1 Zona de compañía	18
5.1.2 Zona de abonado.....	18
5.1.3 Transformador	20
5.2 Programa de diseño: Inventor (Wikipedia, 2017)	21
5.3 Impresora 3D: Prusa i3(mibqyyo, 2014).....	23
5.4 Arduino Mega 2560 (Panamahitek, 2013) y resto de componentes electrónicos	26
6. Descripción de la maqueta.....	31
7. Desarrollo del proyecto.....	35
7.1 Fase de fabricación.....	35
7.2 Placas Impresas	38
7.3 Programa de Arduino	41
7.4. Elementos mecánicos.....	46
8. Lecciones aprendidas, conclusiones y líneas de trabajo futuro.....	47
8.1. Fallos que han surgido y su resolución.....	47
8.2. Futuras mejoras.....	49
8.3. Conclusiones.....	50
9. Bibliografía	51

Índice de imágenes

ILUSTRACIÓN 1: DIFERENTES MODELOS DE DISEÑOS 3D (THINGIVERSE, 2018).....	5
ILUSTRACIÓN 2: DIFERENTES MODELOS DE DISEÑOS 3D (WWW.THINGIVERSE.COM)	5
ILUSTRACIÓN 3: RED ELÉCTRICA (INDUSTRIA, 2017).....	7
ILUSTRACIÓN 4: CT DE COMPAÑÍA (GOOGLE MAPS, 2018)	7
ILUSTRACIÓN 5: CT AÉREO (WIKIPEDIA, 2018).....	8
ILUSTRACIÓN 6: CT SUBTERRÁNEO (SOLA, 2018)	8
ILUSTRACIÓN 7: ACOMETIDA AÉREA (GOOGLE MAPS,2018)	8
ILUSTRACIÓN 8: ACOMETIDA SUBTERRÁNEA (SOLOSTOCKS, 2018)	8
ILUSTRACIÓN 9: CT SUBTERRÁNEO (IGUAL, 2017).....	9
ILUSTRACIÓN 10: CT PREFABRICADO (IGUAL, 2017).....	9
ILUSTRACIÓN 11: CT CONVENCIONAL (IGUAL, 2017).....	9
ILUSTRACIÓN 12: CT COMPACTO (IGUAL, 2017).....	9
ILUSTRACIÓN 13: CELDA DE CORTE (SCHNEIDER ELECTRIC, 2008)	10
ILUSTRACIÓN 14: CELDAS DE ENTRADA (SCHNEIDER ELECTRIC, 2008).....	10
ILUSTRACIÓN 15: TRANSFORMADOR (SCHNEIDER ELECTRIC, 2008)	10
ILUSTRACIÓN 16: PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN (IGUAL, 2017)	10
ILUSTRACIÓN 17: PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN (IGUAL, 2017)	10
ILUSTRACIÓN 18: PUESTA A TIERRA DE SERVICIO (IGUAL, 2017).....	11
ILUSTRACIÓN 19: LOGOTIPO DE INVENTOR (RENOVACONESMECANICAS, 2018)	12
ILUSTRACIÓN 20: IMPRESORAS 3D (DROIDECOMUNIDAD, 2018)	13
ILUSTRACIÓN 21: MÉTODOS DE IMPRESIÓN EN 3D (INTERIOR, 2016)	14
ILUSTRACIÓN 22: PROCESO DE FABRICACIÓN DE UNA PIEZA EN 3D	15
ILUSTRACIÓN 23: LOGOTIPO ARDUINO (WORLDVECTORLOGO, 2018)	16
ILUSTRACIÓN 24: CT DE ABONADO (SCHNEIDER ELECTRIC, 2008)	17
ILUSTRACIÓN 25: PARTES DE UN CT DE ABONADO (SCHNEIDER ELECTRIC, 2008)	17
ILUSTRACIÓN 26: CELDA DE ENTRADA (SCHNEIDER ELECTRIC, 2008)	18
ILUSTRACIÓN 27: CELDA DE CORTE (SCHNEIDER ELECTRIC, 2008)	18
ILUSTRACIÓN 28: CELDA DE MEDIDA (SCHNEIDER ELECTRIC, 2008).....	19
ILUSTRACIÓN 29: TRANSFORMADOR (SCHNEIDER ELECTRIC 2008)	20
ILUSTRACIÓN 30: COMO DIBUJAR UN CUBO UTILIZANDO INVENTOR	21
ILUSTRACIÓN 31: ENSAMBLAJE DEL "CUADRO DE BAJA TENSIÓN" DE LA MAQUETA.....	22
ILUSTRACIÓN 32: IMPRESORA PRUSA I3 (DIWO, 2018)	24
ILUSTRACIÓN 33: PLACA ARDUINO MEGA 2560 (SLIDEPLAYER.COM)	26
ILUSTRACIÓN 34: PANTALLA LCD 16X2 (ELECTRONICOSCALDAS, 2018)	27
ILUSTRACIÓN 35: BOTÓN CUATRO PATILLAS (LAOTECNOLOGY, 2018)	28
ILUSTRACIÓN 36: LEDS DE DIFERENTES COLORES (WIKTIONARY, 2013)	28
ILUSTRACIÓN 37: RESISTENCIA (NEXTIAFENIX, 2018)	28
ILUSTRACIÓN 38: POTENCIÓMETRO (MICRO-LOG, 2018).....	28
ILUSTRACIÓN 39: SERVOMOTOR (BRICOGEEK, 2018)	29
ILUSTRACIÓN 40: MAQUETA POR DENTRO	31
ILUSTRACIÓN 41: PARTES DE LA CELDA DE CORTE	35
ILUSTRACIÓN 42: CONFIGURACIÓN IMPRESORA 1	37
ILUSTRACIÓN 43:CONFIGURACIÓN IMPRESORA 2	37
ILUSTRACIÓN 44: ESQUEMÁTICO DE CONEXIÓN DE DOS DIODOS (AUTODESK, 2018)	38
ILUSTRACIÓN 45: PLACA DE CONEXIÓN DE DOS DIODOS (AUTODESK, 2018)	38
ILUSTRACIÓN 46: ESQUEMÁTICO DE CONEXIÓN DE TRES DIODOS (AUTODESK, 2018)	39
ILUSTRACIÓN 47: PLACA DE CONEXIÓN DE TRES DIODOS (AUTODESK, 2018)	39



ILUSTRACIÓN 48: ESQUEMÁTICO DE CONEXIÓN DE LA LCD Y DE LOS BOTONES (AUTODESK, 2018)	40
ILUSTRACIÓN 49: PLACA DE CONEXIÓN DE LA LCD Y DE LOS BOTONES (AUTODESK, 2018)	40
ILUSTRACIÓN 50: MODIFICACIÓN DE LOS SERVOMOTORES.....	45
ILUSTRACIÓN 51: POLEAS DE LA MAQUETA.....	46

Índice de tablas

TABLA 1: ESPECIFICACIONES ARDUINO MEGA 2560 (PANAMAHITEK, 2013)	26
TABLA 2: ESPECIFICACIONES PANTALLA LCD 16X2 (ELECTRONICOSCALDAS, 2018)	27

Anexos

PLANOS DE LA MAQUETA.....	1
PLANOS DEL CT REAL (EN EL CD)	
CÓDIGO (EN EL CD)	
DATA SHEET (EN EL CD)	
FOTOGRAFÍAS Y VIDEOS (EN EL CD)	
ARCHIVOS DWG DE LAS PIEZAS (EN EL CD)	

1. Objetivos del proyecto y motivación

Los objetivos de este Trabajo Fin de Grado son los siguientes:

- Diseñar una maqueta de un centro de transformación (CT) de abonado.
- Imprimir la maqueta con impresoras 3D.
- Realizar el montaje de la maqueta del centro de transformación.
- Incluir interactividad en la maqueta a través de montajes electrónicos.

Este proyecto tiene un propósito educativo. Por un lado, pretende ser utilizado para exemplificar la estructura y funcionamiento de un CT a alumnos de ingeniería. El acceso a CT para ver en primera persona de qué están compuestos resulta en ocasiones complejo o inapropiado por los riesgos de seguridad asociados. Por ello, disponer de una maqueta interactiva que replique un CT real permitiría mostrar qué partes forman los CT y qué operaciones se pueden realizar sobre ellos. Por otro lado, la maqueta presentada en este TFG podría utilizarse también en jornadas divulgativas destinadas al público en general, donde se muestren ejemplos de TFG o desarrollos físicos realizados por estudiantes de la Escuela. De este modo, se podría mostrar como a través de un trabajo multidisciplinar que abarca varias áreas de conocimiento (ingeniería eléctrica, diseño, fabricación, electrónica, etc.) es posible realizar prototipos físicos que sirvan para formar sobre el funcionamiento de una instalación eléctrica de alta tensión de gran relevancia para el suministro eléctrico. Esto podría utilizarse para acercar la ingeniería a la sociedad.

2. Estructura del proyecto

Este proyecto presenta una maqueta interactiva de un centro de transformación de abonado impresa en 3D. Para facilitar la comprensión esta memoria explicativa, se ha considerado oportuno proporcionar unas pequeñas definiciones previas de las palabras clave del trabajo: *centro de transformación* e *impresora 3D*.

La primera definición aportada es la de centro de transformación. Según el Boletín Oficial del Estado del Lunes 9 de junio de 2014 (Industria, 2014) un CT es una *“instalación que comprende uno o varios transformadores, aparamenta de alta tensión y de baja tensión, conexiones y elementos auxiliares, para suministrar energía en baja tensión a partir de una red de alta tensión o viceversa”*.

Respecto al segundo concepto clave, impresora 3D, se define como un *“dispositivo electromecánico que tiene la función de recibir información digital procedente de la computadora o por medio de la función integrada de escaneo de objetos, y se encarga de modelar la información en forma de figura volumétrica en uno o varios colores utilizando diversas técnicas y mecanismos electro-mecánicos”* (Interior, 2016).

Una vez definidas las palabras clave, se va a describir la estructura de esta memoria, donde se indicará lo que posteriormente va a ser desarrollado:

- La sección 3 incluye una búsqueda y descripción de trabajos similares existentes en la literatura.
- La sección 4 presenta una descripción general de los centros de transformación, las impresoras 3D y los programas de diseño.
- La sección 5 se centra en presentar el CT elegido (CT de abonado), la impresora específica que se ha usado (PRUSA i3) y el programa de diseño con el que se ha trabajado (INVENTOR).
- Finalmente, las secciones 6, 7 y 8 presentan el proceso de fabricación de la maqueta, así como el prototipo final. También se reflexiona sobre si se han cumplido los objetivos propuestos, y se proponen mejoras futuras.

3. Trabajo relacionado

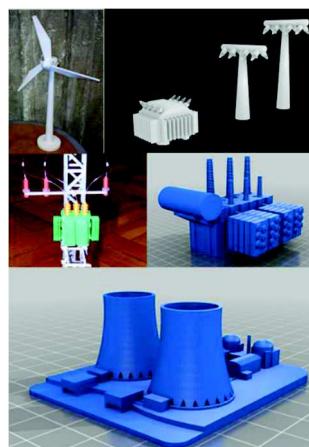
La primera fase de este proyecto consistió en realizar una búsqueda en bibliotecas de diseños para impresoras 3D. El propósito era determinar si ya existía el desarrollo que se pretendía realizar o no. Tras una exhaustiva búsqueda por diferentes bibliotecas de proyectos en 3D, se obtuvieron centrales nucleares, aerogeneradores, transformadores o partes de una subestación eléctrica. Respecto a centros de transformación sólo se localizó un diseño de un CT bajo poste, que es un tipo de CT bastante distinto al desarrollado en este proyecto (ver Sección 4.1). Este diseño de CT bajo poste tenía un nivel de detalle muy bueno, lo que es un indicativo de que este proyecto podría llegar a ser algo innovador en el estudio de los CT, ya que **sería el primero en incluir el diseño de una maqueta de un CT de abonado** (hasta donde tenemos conocimiento).

A continuación, se enumeran algunos ejemplos de los diseños que se han localizado como resultado de la búsqueda realizada:

- **Subestación eléctrica (algunas partes):** Cómo se puede observar en la Ilustración 1, este diseño consta de dos postes de alta tensión y un transformador, por lo que no está completo.
- **Central nuclear:** En esta maqueta se puede ver con mucho nivel de detalle todas las partes de una central nuclear.
- **Aerogenerador:** Esta maqueta incluye un molino eólico a escala y totalmente funcional, ya que su cabezal tiene la forma para que se le pueda acoplar un pequeño motor, que haría que giraran las aspas.
- **Transformador:** En este modelo se pueden observar las diferentes partes de las que consta un transformador.
- **CT bajo poste:** Esta maqueta es la que más tiene que ver con la que vamos a desarrollar nosotros, y se ve con un minucioso nivel de detalle cada una de las partes de las que consta un CT bajo poste.

Por tanto, el único diseño de CT que se localizó fue el CT bajo poste, no habiendo ninguna maqueta de CT de otro tipo. Por este motivo, en este proyecto se planteó realizar una maqueta de otro tipo distinto no realizada hasta el momento: un CT de abonado, superficial, con acometida subterránea, de paso y prefabricado (ver Sección 4.1 para detalles).

Ilustración 1: Diferentes modelos de diseños 3D (Thingiverse, 2018)



4. Descripción general de los elementos utilizados en el proyecto

4.1 Centros de Transformación (Igual, 2017)

Un centro de transformación (CT) es una instalación eléctrica formada por uno o varios transformadores, aparamenta, diferentes circuitos y la obra civil que alberga todo lo anterior. Su misión es la de bajar la tensión de la red de media tensión (MT, 20Kv u otros valores) a baja tensión (BT, 400v u otros valores).

Ilustración 3: Red eléctrica (Industria, 2017)



Los centros de transformación se pueden clasificar a partir de diferentes parámetros:

- *Según la propiedad:* Los CT pueden ser de la compañía (pertenecientes a la empresa distribuidora y por lo tanto no hay una medición del consumo de energía) o pueden ser del cliente o **abonado** (pertenecientes a un cliente particular y por lo tanto hay una medición del consumo de energía).

Ilustración 4: CT de compañía (Google Maps, 2018)



- *Según su emplazamiento:* Los posibles tipos de emplazamiento de los CT son el aéreo, de superficie, enterrado y bajo poste. Los CT aéreos se localizan sobre los postes de media tensión, siendo utilizados sobre todo para zonas rurales o por clientes alejados de los núcleos urbanos que demandan poca potencia. Los CT de superficie son los más comunes en zonas urbanas y consisten en pequeños edificios prefabricados de hormigón. Por su parte, los CT enterrados son también

muy utilizados en los núcleos urbanos y se encuentran bajo la vía pública o en sótanos. Por último, los CT bajo poste tienen la protección de la media tensión y la aparamenta situadas en el poste y el resto de los componentes del CT dentro de un pequeño edificio situado bajo el mismo.

Ilustración 5: CT aéreo (Wikipedia, 2018)



Ilustración 6: CT subterráneo
(Sola, 2018)



- *Según su acometida:* Según el medio por el cual llega la media tensión al CT, se distinguen CT de acometida aérea, subterránea o mixta (una parte aérea y otra subterránea).

Ilustración 7: Acometida aérea
(Google Maps, 2018)



Ilustración 8: Acometida subterránea (solostocks, 2018)



- *Según la forma de conexión del CT con la red de media tensión:* Existen muchas formas de conectar un centro de transformación: *independiente, en punta, de paso, en anillo y en doble derivación*. Un CT se denomina *independiente* si es el único centro de transformación en la línea de alta tensión derivada de una subestación transformadora o de una estación transformadora de distribución. Por su parte, diremos que un CT está *en punta* si es el último centro de transformación que está conectado en una red radial que alimenta a diferentes centros. Un CT *de paso* está colocado en la parte intermedia de una red radial, teniendo en este caso una línea de media tensión a la entrada y otra de media tensión a la salida. Por su parte, un CT *en anillo* permite que no haya un corte de suministro en la línea si ocurre una avería en la misma. Esto se debe a que tiene una línea de media tensión a la entrada y otra a la salida, pudiendo recibir alimentación por ambas dado el caso. Por último, un CT en doble derivación es difícil de encontrar, ya que está conectado a diferentes subestaciones.
- *Según su la forma de construcción:* Un CT puede estar fabricado de forma convencional (mediante procesos de albañilería, habiéndose construido desde cero en el lugar de su emplazamiento y constando de tabiques de separación).

También podría ser prefabricado (se hace en una fábrica y se lleva desde ésta hasta su emplazamiento, pudiendo ser tanto superficial como subterráneo) o compacto (es también prefabricado, pero tiene dimensiones reducidas, alojándose la aparamenta en una sola celda).

Ilustración 10: CT prefabricado (Igual, 2017)

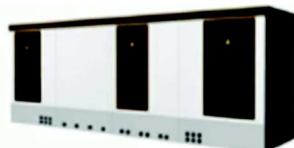


Ilustración 9: CT subterráneo (Igual, 2017)

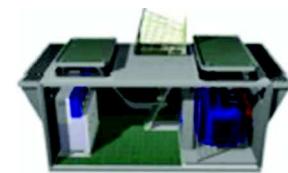
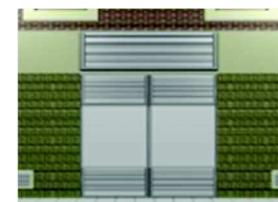


Ilustración 12: CT compacto (Igual, 2017)



Ilustración 11: CT convencional (Igual, 2017)



Los CT están formados por varias partes:

- *Derivación:* Línea de entrada del centro de transformación.
- *Celdas de media tensión:* Encargadas de la protección y el mando de la parte de media tensión. Existen diferentes tipos:
 1. Celda de entrada, línea, alimentación: Es por la que entra la línea de media tensión. Se caracteriza por usar un interruptor-seccionador, un seccionador de puesta tierra (puede ir junto al anterior), pilotos indicadores de si hay tensión y autoválvulas si la acometida es aérea (son protecciones contra sobre tensiones que se colocan en la entrada del centro de transformación).
 2. Celda de salida, línea: Encargada de derivar la línea de media tensión hacia otro centro de transformación.
 3. Celda de seccionamiento o corte: Sirve para dejar fuera de servicio el transformador.
 4. Celda de protección: En ella se colocan los dispositivos de protección del transformador, que habitualmente son interruptores automáticos o ruptofusibles (combinación de fusible con interruptor-seccionador).
 5. Celda de remonte: Sólo sirve para cambiar el nivel de los cables (si entra por abajo hacer que la salida sea por la parte de arriba de la celda y viceversa).
 6. Celda de medida: Como su nombre indica, es la celda en la que la compañía distribuidora hace las medidas del consumo eléctrico. Para

ello tiene unos transformadores de tensión y de corriente comunicados con los contadores, que están colocados en la parte exterior de la celda.

- *Transformador:* Es el encargado de transformar la media tensión a baja tensión.
- *Celdas de baja tensión:* Encargadas del mando y la protección de la parte de baja tensión. Están formadas por aparamenta de protección frente a cortocircuitos y sobrecargas, entre otros.

Ilustración 14: Celdas de entrada
 (Schneider Electric, 2008)



Ilustración 13: Celda de corte
 (Schneider Electric, 2008)



Ilustración 15: Transformador
 (Schneider Electric, 2008)



Otro de los elementos destacables en un CT es la *puesta a tierra*. Es uno de los aspectos más importantes en este tipo de instalaciones, ya que todo CT consta de dos puestas a tierra diferentes e independientes entre sí:

- *Puesta a tierra de protección:* A esta puesta a tierra se conectan todas las partes metálicas de la instalación que no tienen tensión, pero que, por avería o accidente, sí que podrían llegar a tener (blindajes de los cables, chasis y bastidores de los aparatos de maniobra, carcasa de los transformadores, etc.).

Ilustración 17: Puesta a tierra de protección
 (Igual, 2017)

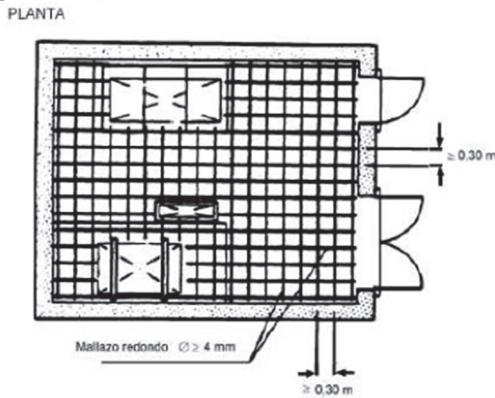
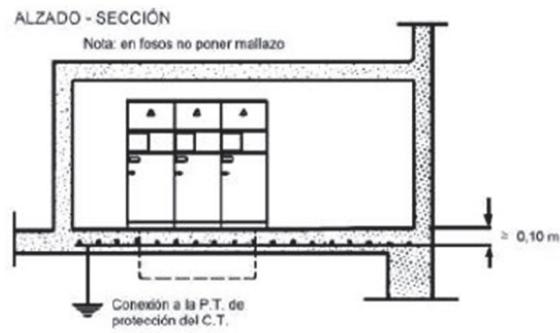


Ilustración 16: Puesta a tierra de protección (Igual, 2017)



- *Puesta a tierra de servicio:* A ella se conectan elementos que forman parte de los circuitos de media y baja tensión (neutro del transformador, elementos de derivación a tierra de los seccionadores de puesta a tierra, etc.).

Ilustración 18: Puesta a tierra de servicio (Igual, 2017)



4.2 Programas de diseño 3D

Los diferentes componentes de un CT se han modelado utilizando software de diseño.

Este tipo de programas permiten el desarrollo de piezas/ilustraciones en tres dimensiones, ya que están destinados al ámbito industrial, la animación, la arquitectura, etc.

Ilustración 19: Logotipo de inventor (Renovaconesmecanicas, 2018)



Los programas de diseño permiten modelar piezas/ilustraciones con el mayor realismo posible. En el caso industrial, que es el que nos compete, esas piezas han de fabricarse, y este tipo de programas permiten una visualización y simulación previa muy realista.

Una de las principales características de este tipo de programas, es que primero hay que modelar la imagen en dos dimensiones, para posteriormente pasarla a tres dimensiones mediante una herramienta de *extrusión* (permite dar cuerpo a la figura). También permiten la unión de diferentes piezas para crear una estructura mayor. Por ejemplo, el diseño de una máquina no se realiza de una vez, sino que se diseña cada una de las piezas que componen la máquina por separado y posteriormente se ensamblan para dar lugar a la máquina final. Esto permite ver si hay fallos en las dimensiones de las piezas, en los movimientos que tienen que ejecutar, etc.

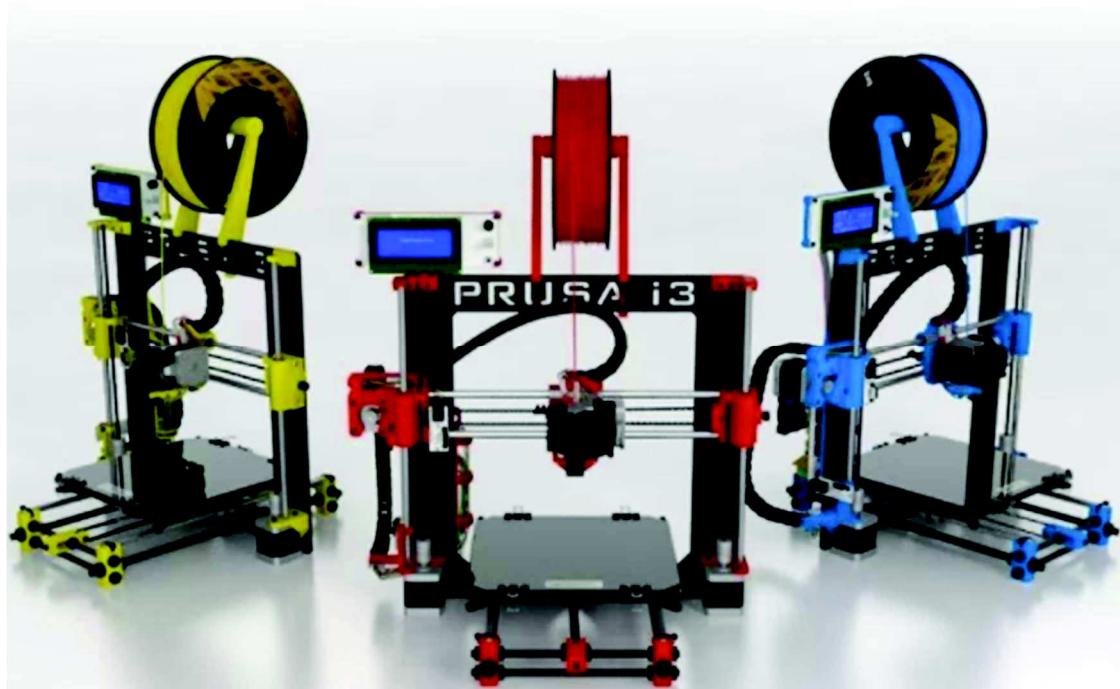
Para el desarrollo de este trabajo, se ha optado por usar Autodesk Inventor, que es uno de los programas de modelado en 3D con mejores prestaciones y cuyo modo de uso resulta familiar. También se podrían haber usado otros como SolidWorks o CATIA, ya que los tres son de características similares.

4.3 Impresoras 3D (informaticamoderna, 2018)

Las piezas del CT diseñadas han de fabricarse utilizando impresoras 3D.

Una impresora 3D es una máquina que, partiendo de un diseño digital, mediante la manipulación automática de diferentes materiales y colocándolos a capas, permite obtener una pieza en tres dimensiones.

Ilustración 20: Impresoras 3D (droidecomunidad, 2018)



Los tipos de impresoras 3D que hay actualmente en el mercado son dos:

- Impresoras de compactación: Se basan en una masa de polvo que se va compactando por estratos.
- Impresoras de adición: La tecnología que usan es la inyección de un material polímero que se solidifica en capas.

Dependiendo de la forma de compactación que se use se pueden diferenciar:

- Impresoras de tinta: Estas impresoras usan una tinta aglomerante que compacta el polvo, con lo que es posible imprimir piezas en diferentes colores.
- Impresoras de láser: La tecnología que usan estas impresoras es más compleja, ya que primero inciden con un haz de luz al polvo para que se polimerice, y después esa masa polimerizada se sumerge en un líquido para que se solidifique.

4.3.1 Métodos de impresión en 3D

En la actualidad hay diversos tipos de impresión 3D, que son los siguientes (Ilustración 20):

Ilustración 21: Métodos de impresión en 3D (Interior, 2016)

Extrusión	<i>Modelado por deposición fundida (FDM)</i>	<i>Termoplásticos, metales eutécticos y materiales comestibles</i>
Hilado	<i>Fabricación por haz de electrones (EBF3)</i>	<i>Casi cualquier aleación de metal</i>
Granulado	<i>Sinterizado de metal por láser (DMLS)</i>	<i>Casi cualquier aleación de metal</i>
	<i>Fusión por haz de electrones (EBM)</i>	<i>Aleaciones de titanio</i>
	<i>Sinterizado selectivo por calor (SHS)</i>	<i>Polvo termoplástico</i>
	<i>Sinterizado selectivo por láser (SLS)</i>	<i>Termoplásticos, polvos metálicos y polvos cerámicos</i>
	<i>Proyección aglutinante (DSPC)</i>	<i>Yeso</i>
Laminado	<i>Laminado de capas (LOM)</i>	<i>Papel, papel de aluminio y capa de plástico</i>
Fotoquímicos	<i>Estereolitografía (SLA)</i>	<i>Fotopolímeros y resinas fotosensibles</i>
	<i>Fotopolimerización por luz ultravioleta (SGC)</i>	<i>Fotopolímeros y resinas fotosensibles</i>

De todos estos métodos, los más comunes son los siguientes:

- **Modelo por deposición fundida:** Este sistema está basado en ir haciendo capas de un polímero fundido hasta dar forma a una pieza. El material de aporte se encuentra en estado sólido y almacenado en rollos. Al pasar por el extrusor de la boquilla genera unos finos hilos que se van solidificando en capas.
- **Sinterizado selectivo por láser:** En este tipo de impresoras lo que se hace es aplicar sucesivas capas de material en polvo que, al incidir sobre ellas un láser, se van fusionando y solidificando. El polvo sobrante se puede reciclar para futuras impresiones y durante la impresión sirve de material de soporte.
- **Estereolitografía:** en este tipo de impresiones se usa un cubo con resina sensible a la luz ultravioleta. Al incidir luz ultravioleta sobre esta resina, se solidifica. Para la impresión de la pieza, la base sobre la que se ubica la pieza va descendiendo para que con el rayo se puedan hacer las diferentes capas que la forman.

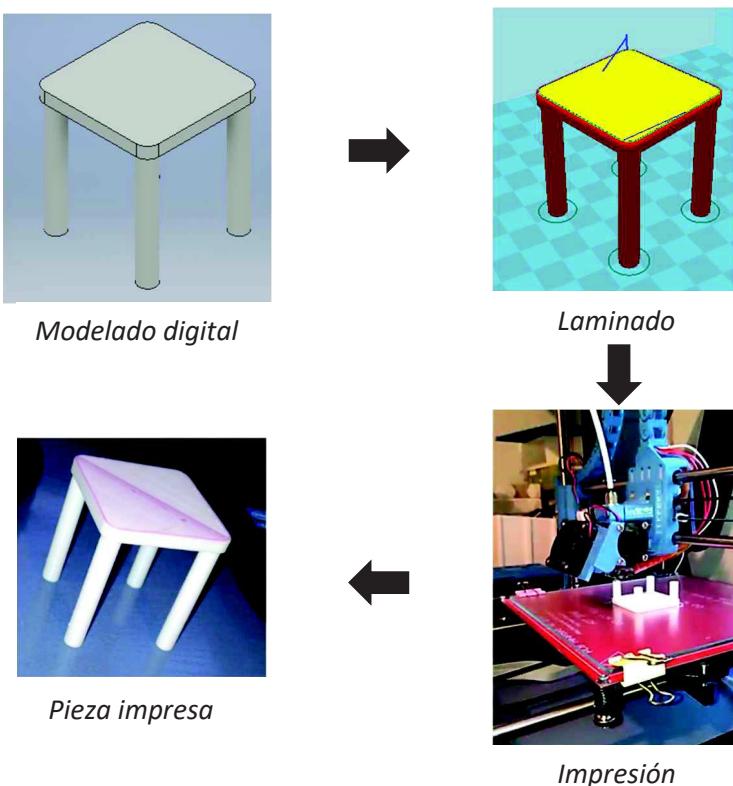
4.3.2 Proceso de impresión de una pieza en 3D

El proceso para pasar de una pieza diseñada en el ordenador a una pieza impresa es el siguiente:

1. Modelado digital: Esta parte consiste en el desarrollo de una pieza o figura mediante un programa de CAD (Diseño Asistido por Ordenador).
2. Exportación: Generar un archivo .STL (archivo que contiene la información geométrica necesaria para el desarrollo de un modelo digital) de la pieza que se ha desarrollado.
3. Rebanado: Convierte el modelo digital en un listado de comandos que entiende y ejecuta la impresora 3D. Por lo general, son llamados g-code.
4. Conexión: Introducción del listado de instrucciones a la impresora mediante una conexión USB a un ordenador o con una tarjeta de memoria que contenga los archivos.
5. Impresión: Preparar la impresora y esperar hasta que acabe de hacer la pieza.
6. Acabado: Quitar la pieza, limpiar la base de impresión y si la pieza tiene partes adicionales de apoyo a la impresión, quitárselas.

Para obtener unos buenos resultado en la impresión de una pieza, hay que tener más cosas en cuenta, como la calidad de la impresora, una buena configuración y calibración de la misma, el tipo de material de aporte que se usa y su calidad o incluso el tipo de material que cubre la cama en la cual se imprime.

Ilustración 22: Proceso de fabricación de una pieza en 3D



4.4 Placa Arduino (Wikipedia, 2018)

Ilustración 23: Logotipo Arduino (Worldvectorlogo, 2018)



comunicación para transferir el programa y que puede utilizarse también para alimentar a la placa. Por otro lado, la programación de esta placa se hace mediante un entorno de desarrollo que compila el código al modelo de placa específico que se use.

Por otro lado, el software de programación de la placa consiste en un entorno de desarrollo basado en *processing* y un lenguaje de programación basado en *Wiring*, así como el cargador de arranque que es ejecutado en la placa. El microcontrolador de la placa se puede programar mediante un ordenador.

Este tipo de placas se pueden encontrar de dos maneras diferentes: ensambladas o desmontadas. Esto se debe a que los esquemas de diseño del hardware son libres, permitiendo que cualquiera pueda fabricar su propia placa Arduino.

Algunas de las aplicaciones de esta placa son el desarrollo de objetos interactivos autónomos o su uso como de tarjeta de adquisición de datos.

La maqueta impresa se ha dotado de interactividad a través del uso de componentes electrónicos controlados desde una placa Arduino. Arduino es una placa de hardware libre, compuesta por un microcontrolador (Atmel AVR), elementos pasivos (resistencias, condensadores, etc.) y otros componentes (diodos, transistores, etc.), puertos digitales y analógicos tanto de entrada como de salida. También contiene un puerto USB desde donde se establece la

comunicación para transferir el programa y que puede utilizarse también para alimentar a la

placa. Por otro lado, la programación de esta placa se hace mediante un entorno de desarrollo

que compila el código al modelo de placa específico que se use.

Por otro lado, el software de programación de la placa consiste en un entorno de desarrollo basado en *processing* y un lenguaje de programación basado en *Wiring*, así como el cargador de arranque que es ejecutado en la placa. El microcontrolador de la placa se puede programar mediante un ordenador.

Este tipo de placas se pueden encontrar de dos maneras diferentes: ensambladas o desmontadas. Esto se debe a que los esquemas de diseño del hardware son libres, permitiendo que cualquiera pueda fabricar su propia placa Arduino.

Algunas de las aplicaciones de esta placa son el desarrollo de objetos interactivos autónomos o su uso como de tarjeta de adquisición de datos.

5. Descripción específica de los elementos utilizados en el proyecto

En esta sección se van a describir los elementos específicos que se han utilizado en este proyecto que son: CT de abonado, software específico de diseño, impresora 3D Prusa I3 y la placa Arduino Mega junto con componentes electrónicos.

5.1 Centro de transformación de abonado (Schneider, 2018) (Igual, 2017)

En este apartado se describe el CT que se ha utilizado para el desarrollo de la maqueta.

Ilustración 24: CT de abonado (Schneider Electric, 2008)



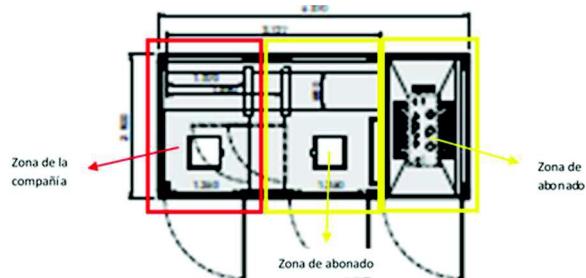
El CT que elegimos para hacer la maqueta es un CT de abonado, con acometida subterránea y de localización superficial. Un aspecto que decantó la balanza en la elección de este tipo de CT es la clara separación de las partes que pertenecen a la compañía y al cliente.

En concreto, el CT real del que se ha diseñado y fabricado una maqueta pertenece a la compañía *Schneider Electric*. Para obtener los planos de este CT se ha usado el software llamado *SISct*, propiedad de *Schneider Electric*, que permite generar proyectos de CT de la misma compañía.

El centro de transformación desarrollado consta de las siguientes partes:

- Zona de la compañía: En esta zona solo está permitido el acceso a los miembros de la compañía eléctrica y en ella se encuentran las celdas de entrada y salida.
- Zona de abonado: En esta otra zona se encuentran el resto de celdas del CT. A esta parte del CT pueden acceder tanto el personal de la compañía como el personal de mantenimiento del CT.
- Estas dos zonas tienen que estar separadas. Esta separación se lleva a cabo mediante una valla. Este tipo de valla también se utilizará para aislar el transformador del resto del centro de transformación.

Ilustración 25: Partes de un CT de abonado
(Schneider Electric, 2008)



A continuación, se describen cada una de las partes que componen el CT.

5.1.1 Zona de compañía

Como se ha dicho en el apartado anterior, a esta zona solo puede acceder el personal perteneciente a la compañía eléctrica.

En esta parte se encuentran las celdas de tres interruptores. Estas celdas forman un conjunto compacto y estanco bañado con atmósfera de hexafloruro de azufre (SF6) y equipado con tres funciones de línea con interruptor. Las características de estas celdas son:

- Modelo: RM6 3L
- Tensión nominal: 24Kv
- Intensidad nominal: 630A
- Dimensiones: 1142mm de alto, 1186mm de ancho y 710mm
- Interruptor-seccionador:
 1. Poder de corte: 50KA cresta.
 2. Intensidad térmica: 20KA eficaces.
- Seccionador de puesta a tierra en SF6
- Palanca de maniobra
- Dispositivos de detección de presencia de tensión en todas las funciones de línea
- Tres lámparas individuales para conectar a dichos dispositivos
- Pasatapas de tipo roscado M16 de 630A
- Cubrebornas metálicos en todas las funciones
- Manómetro para el control de presiones del gas

Ilustración 26: Celda de entrada
(Schneider Electric, 2008)



5.1.2 Zona de abonado

En esta otra zona se encuentran el resto de celdas del centro de transformación: celda de remonte, de protección y de medida.

La celda de remonte es la encargada de cambiar la dirección de los cables, en este caso le entran los cables por la parte inferior izquierda y los saca por la parte superior derecha. Esta celda es de la gama SM6 y las características que tiene son:

- Modelo: GAME
- Dimensiones: 375mm de ancho, 1600mm de alto y 870mm de profundidad
- Juego de barra interior tripolar de 400A, tensión 24Kv y 20KA.
- Remonte de barras de 400A para conexión superior con otra celda.
- Preparada para conexión inferior con cable seco unipolar.
- Embarrado de puesta a tierra.

La siguiente celda que se puede encontrar en la zona de abonado del CT es la de protección. Esta celda lleva una combinación de interruptor-fusible y también pertenece a la gama SM6. Sus características son las siguientes:

Ilustración 27: Celda de corte
(Schneider Electric, 2008)

- Modelo: QM.
- Dimensiones: 375mm de ancho, 1600mm de alto y 940mm de profundidad
- Juego de barras tripolar de 400A, para conexión por la parte superior con las celdas que están junto a esta.



- Interruptor-seccionador en SF6 de 400A, tensión de 24Kv y 20KA y también contiene una bobina de apertura a emisión de tensión a 220v y 50Hz.
- Mando C1 manual de acumulación de energía.
- Contiene tres cortacircuitos fusibles de alto poder de ruptura con baja disipación térmica tipo MESA CF (DIN 43625), de 24Kv y calibre de 16A.
- Hay una señalización mecánica de fusión de los fusibles.
- Indicadores de presencia de tensión con lámparas.
- Embarrado de puesta a tierra.
- Seccionador de puesta a tierra de doble brazo, tanto en la parte superior como inferior de los fusibles.
- Enclavamiento por cerradura C4, que impide el cierre del seccionador de puesta a tierra y el acceso a los fusibles si el disyuntor general de baja tensión no está abierto y enclavado. Dicho enclavamiento impedirá también el acceso al transformador si el seccionador de puesta a tierra no se ha cerrado previamente.

La última celda que falta por presentar es la de medida. Esta celda es la encargada de medir tanto la tensión como la intensidad y es de la gama SM6. Tiene la entrada y la salida de cables por su parte inferior, siendo sus características más relevantes las siguientes:

- Modelo: GBC2C.
- Dimensiones: 750mm de ancho, 1600mm de alto y 1038mm de profundidad.
- Juego de barras tripolar de 400A y 20KA.
- Entrada y salida por cable seco.
- Tres transformadores de intensidad:
 1. Relación 2.5-5/5A cl.10VA
 2. CL=0.5S
 3. 30VA 5P10
 4. $I_{th}=200In$
 5. Gama extendida al 150%
 6. Aislamiento 24Kv
- Tres transformadores de tensión unipolares:
 1. Relación 16500:V3/110:V3-110:V3
 2. 25VA
 3. CL=0.5
 4. 50VA3P
 5. Potencia a controlar= 100KW
 6. $F_t=1.9$
 7. Aislamiento 24Kv

Ilustración 28: Celda de medida
(Schneider Electric, 2008)



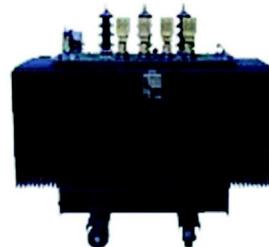
5.1.3 Transformador

El transformador a utilizar en nuestro centro de transformación es un transformador trifásico reductor de tensión, cuya referencia es TRIHAL160-24, ya que la tensión que tenemos a la entrada entre fases es de 16Kv y la tensión que logramos a la salida en vacío es de 420v entre fases y de 240v entre fase y neutro.

Las características más importantes de este transformador son las siguientes:

- Tiene el neutro fácilmente accesible y con refrigeración natural, aparte de un encapsulado en resina epoxi.
- Tiene que pasar los siguientes ensayos climáticos:
 1. Ensayo de choque térmico: el nivel que se ha logrado es el C3, esto significa que puede trabajar sin dañarse a hasta una temperatura de -50°C.
 2. Ensayo de condensación y humedad: el nivel que tiene este transformador es el E3, que esto quiere decir que puede trabajar en un entorno de condensación casi total y de contaminación importante, con un nivel de humedad hasta del 95%
 3. Ensayo de comportamiento ante el fuego: el nivel que se ha obtenido es el F1, esto significa que requiere inflamabilidad restringida, genera poco humo, sirve de auto extinción de incendios en el transformador y hace una contribución limitada de energía calorífica a la fuente del incendio.
- Potencia nominal: 160KVA
- Tensión nominal primaria: 16Kv
- Regulación en el primario: $\pm 2.5\%$, $\pm 5\%$, $\pm 10\%$
- Tensión nominal secundaria en vacío: 420v
- Tensión de cortocircuito: 6%
- Grupo de conexión: Dyn11
- Nivel de aislamiento:
 1. Tensión de ensayo a onda de choque: 1.2/50seg 95Kv
 2. Tensión de ensayo a 50Hz durante 1min: 50Kv

Ilustración 29: Transformador
(Schneider Electric 2008)



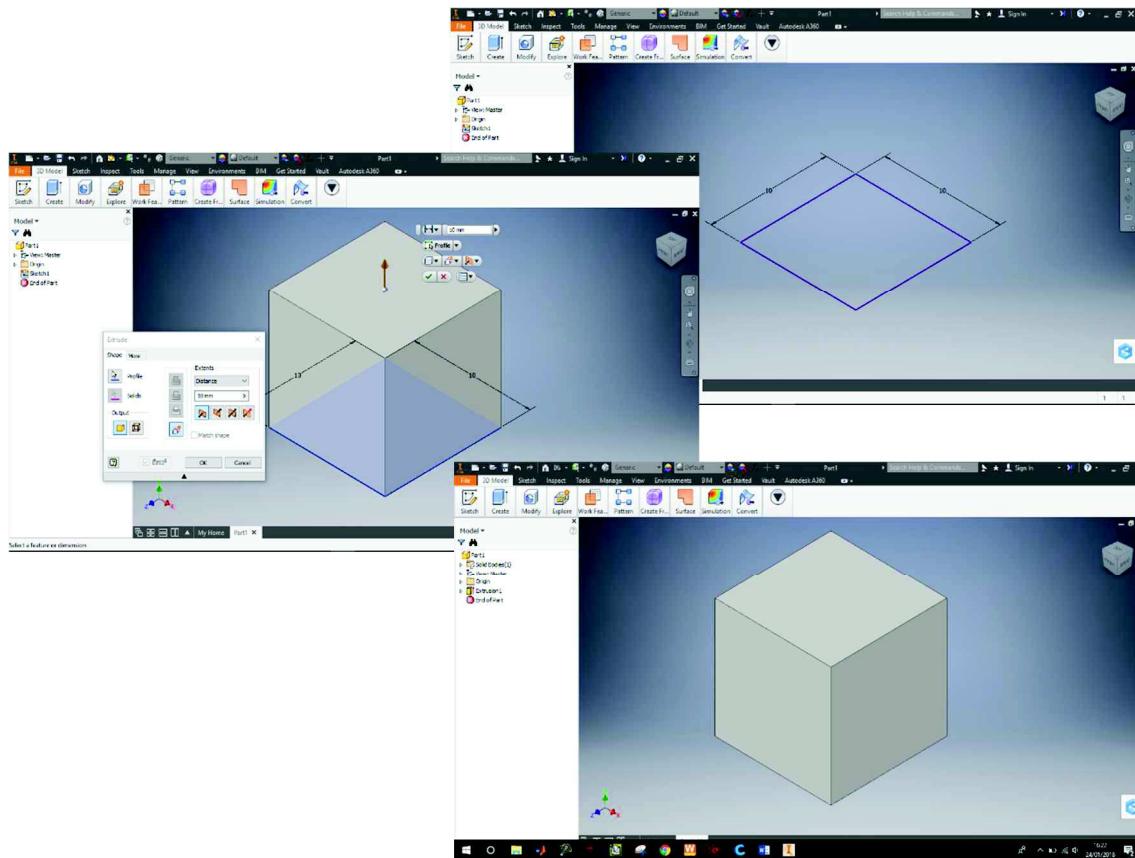
5.2 Programa de diseño: Inventor (Wikipedia, 2017)

En este apartado se describe el programa de diseño 3D con el que se han diseñado las diferentes piezas del CT. El software seleccionado fue Inventor, ya que nos permite modelar sólidos en tres dimensiones. Para el desarrollo de este proyecto se utilizó la versión de evaluación del mismo.

Este software permite diseñar piezas y hacer conjuntos de estas para dar lugar a ensamblajes, que al corregir los cambios que aparezcan en las piezas (geometría, dimensiones y materiales) producen cambios automáticos en el diseño del ensamblaje. Esto es porque este programa está destinado principalmente a diseños de ingeniería, permitiendo la mejora en la producción y el perfeccionamiento de productos de manera sencilla.

Este software tiene un uso intuitivo: para poder hacer una pieza antes hay que tener un boceto en dos dimensiones. Por ejemplo, para dibujar un cubo primero hay que dibujar el boceto de un cuadrado, y extruirlo para darle volumen y conseguir el cubo deseado.

Ilustración 30: Como dibujar un cubo utilizando Inventor

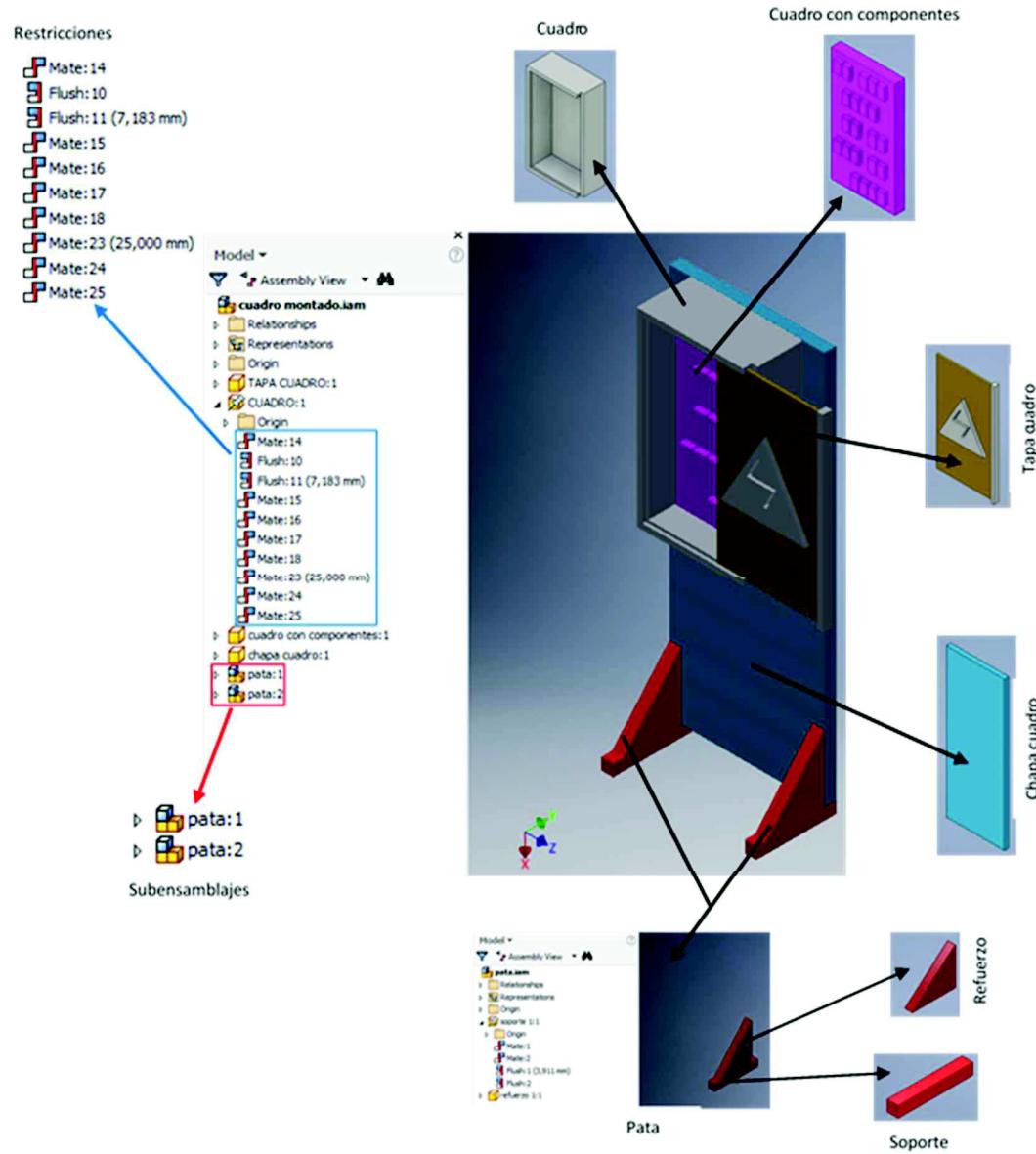


La siguiente fase del diseño del componente final es el ensamblaje de diferentes piezas entre sí o con subensamblajes. Esto se logra poniendo restricciones en las piezas o ensamblajes (puede ser en las caras, las aristas, los planos, los vértices o en los ejes). Las restricciones posibles son las siguientes: coincidencia, nivelación, inserción (insertar), ángulo, tangente, transicional, movimiento, sistema de coordenadas de usuario. Por ejemplo, si colocamos una rueda dentada en un eje, una de las restricciones sería de coincidencia, ya que conseguiríamos que los ejes de

rotación de la rueda dentada y del eje fueran el mismo. Otra de las restricciones sería la distancia a la que se inserta dentro del mismo. Esta restricción se implementaría por ejemplo nivelando a la distancia deseada una cara de la rueda con una de las caras del eje. Esta misma acción se podría conseguir de otra manera, haciendo una sola restricción de inserción a la distancia deseada.

Mediante estos pasos, el programa nos permite realizar restricciones muy grandes y complejas. Para ello, habría que unir con restricciones ensamblajes más pequeños (subensamblajes).

Ilustración 31: Ensamblaje del "Cuadro de baja tensión" de la maqueta



5.3 Impresora 3D: Prusa i3(mibqyyo, 2014)

El tipo de impresora a utilizar es el de extrusión. Esta tecnología se basa en hacer pasar un filamento de plástico (PLA o ABS) por un extrusor caliente, derritiéndolo y dejando caer esta masa fundida de plástico sobre una cama caliente. Las piezas finales en este tipo de impresión se consiguen con la unión de las diferentes capas que se van imprimiendo una sobre otra.

Para este tipo de impresoras es muy importante la correcta calibración de la cama con el extrusor (tiene que tener aproximadamente el espesor de un folio, es decir, alrededor de unos 0.1mm), para que el filamento se deposite de manera correcta en la misma. Otro factor clave es la correcta configuración de los parámetros de la impresora, es decir, configurar de manera adecuada el grosor de la capa inicial, el grosor de cada una de las capas, el relleno de las diferentes piezas, etc.

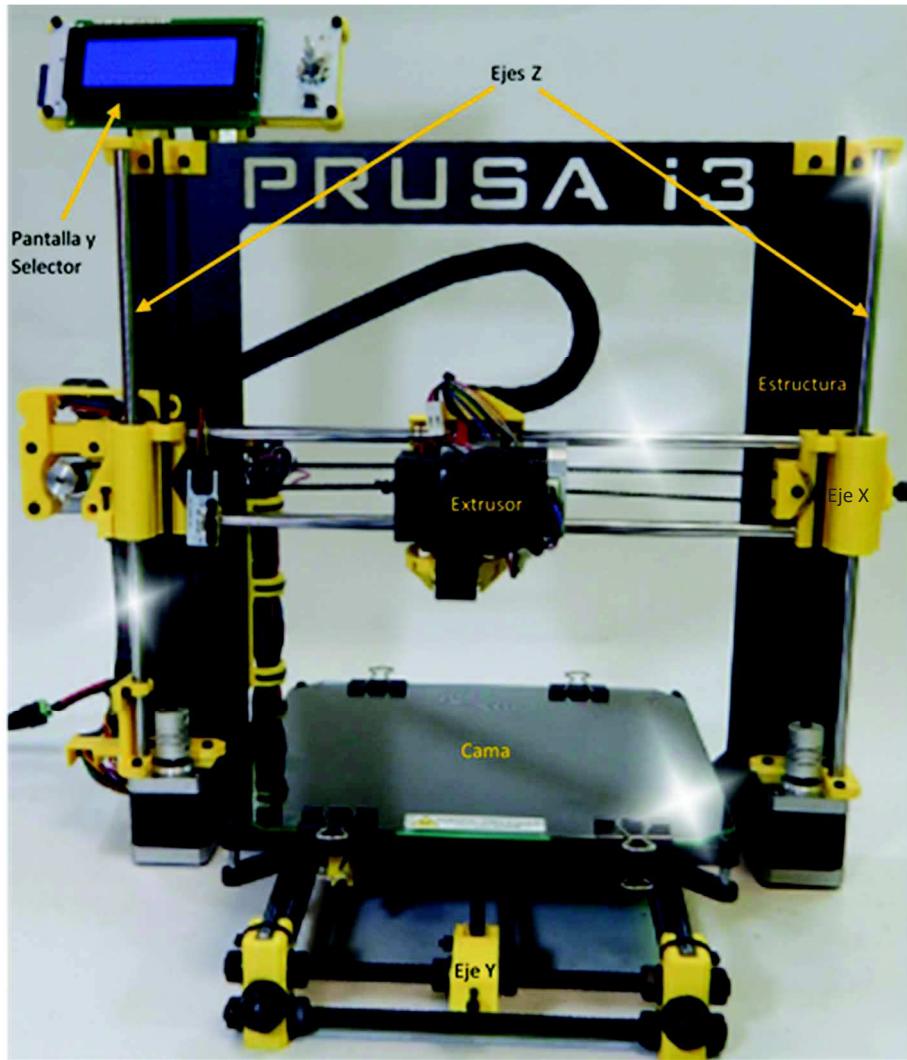
A continuación, se describen las partes más importantes de una impresora 3D por extrusión:

- Cama: Elemento en el cual se deposita el material fundido. Para una mejor adhesión del mismo debe estar calefactado. La cama es el lugar donde se va a generar la pieza. Esta pieza ha de calibrarse (las cuatro patas de la cama tienen que estar exactamente al mismo nivel) para que haya una correcta impresión.
- Ejes: Mediante unos servomotores se garantiza el desplazamiento de las diferentes partes móviles de los ejes. Uno de los factores a considerar es la velocidad de impresión, ya que si es muy alta puede haber problemas con la movilidad de los diferentes ejes de la impresora. La impresora tiene tres tipos de ejes en función de su orientación:
 1. En sentido Z: Está formado por dos varillas roscadas, una en cada lateral de la estructura de la impresora. Sobre estas va apoyado el extrusor. Este eje es el encargado del movimiento vertical.
 2. En sentido X: Este eje está constituido por un soporte que va unido a dos varillas roscadas. Utiliza una “cadena de eslabones” para permitir el correcto movimiento.
 3. En sentido Y: Este eje está constituido por dos correas dentadas a través de las cuales se mueve la cama.
- Extrusor: Es el encargado de colocar el material fundido sobre la cama. Las partes que lo componen son:
 1. Motor paso a paso: Este motor se utiliza para empujar el material sólido desde la bobina hasta la boquilla de salida. Este motor está controlado por la electrónica de la impresora y hace fracciones de giro precisas para que salga la cantidad necesaria de material.
 2. Engranaje de tracción: La función que tiene es empujar el material sólido para que se desplace según los giros del motor paso a paso.
 3. Engranaje reductor: Este se usa en algunas ocasiones para aumentar la fuerza sobre el filamento para un mayor arrastre de este.
 4. Rodamiento de presión: La función de este es presionar el filamento del rollo contra el engranaje para que se desplace según ordena el extrusor.
 5. Guía de Filamento: Es un tubo que hace de guía para el filamento, que va desde el motor hasta el *hotend*.
 6. *Hotend*: Este elemento es el encargado de hacer que se funda correctamente el filamento. Es un tubo vertical, por el cual pasa el filamento sólido, que por su

exterior se calienta lo necesario para que por el interior se llegue a la temperatura deseada y el filamento funda.

7. Sensor de temperatura: Es el elemento encargado de tomar los datos de temperatura del extrusor y llevarlos al sistema de control de la impresora para que se regule la temperatura de extrusión al valor deseado.
8. Boquilla de salida: Es el lugar por donde el material fundido sale al exterior del extrusor y se deposita sobre la cama.

Ilustración 32: Impresora Prusa i3 (diwo, 2018)



Los dos tipos de extrusión que se utilizan en este tipo de impresoras son los siguientes:

- *Directa*: En este tipo de extrusión el filamento pasa directamente del motor al *hotend* y de éste a la boquilla, siendo toda una sola pieza. El principal problema de este tipo es que es demasiado pesado y puede dar problemas en los movimientos de X y Z. Por el contrario, su ventaja principal es que el extrusor está compacto y es más fácil de reparar.
- *Browden*: En este tipo de extrusión el motor está separado del *hotend*, estando unidos por la guía de filamentos. El *hotend* está situado en un carrito en el eje X, consiguiendo así una reducción de peso y mejor movilidad de este eje. Por el contrario, al estar separados en un sistema más complejo es más sensible a fallos como la exudación (significa que sale el plástico fundido por la boquilla, mientras esta está caliente, y al



quitarlo se genera un vacío en el interior del extrusor, por lo que hace que se generen huecos en la impresión).

La impresora 3D que se ha utilizado para el desarrollo de este proyecto ha sido una Prusa i3 de BQ. Este tipo de impresora tiene las siguientes características (Imprimalia3d, 2018):

- Tecnología: Extrusión
- Tipo de plástico: PLA, ABS
- Tamaño de la impresora: 200mm x 180mm x 170mm
- Tamaño del filamento: 1,75mm
- Tipo de extrusión: Browden
- Diámetro extrusor: 0.4mm
- Espesor por capa: 0.2mm
- Base calefactable: Sí
- Tipo de archivo: gcode
- Conexión: SD card
- Alimentación: 220v AC

5.4 Arduino Mega 2560 (Panamahitek, 2013) y resto de componentes electrónicos

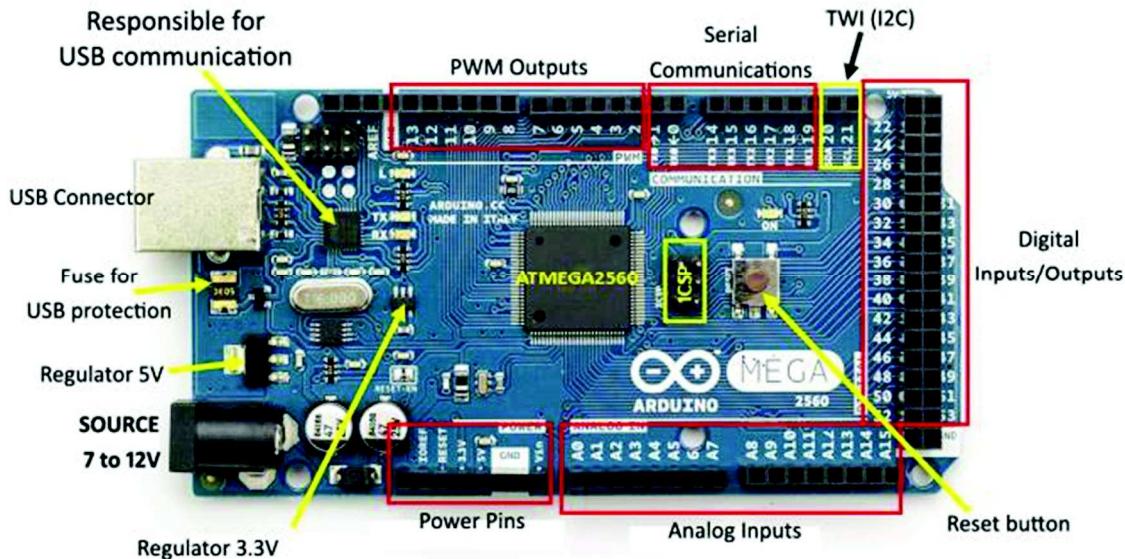
Dentro de las posibles placas Arduino, se va a hacer uso de la placa Arduino Mega. Esta placa posee 54 pines digitales, que se pueden usar tanto de entrada como de salida (pudiendo utilizarse 15 de ellos como salidas PWM), 16 entradas analógicas, un cristal oscilador de 16MHz, un puerto USB, un botón de *reset* y una entrada de alimentación, entre otros.

Tabla 1: Especificaciones Arduino Mega 2560 (Panamahitek, 2013)

ESPECIFICACIONES	
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje Operativo	5v
Voltaje Entrada	7-12v
Voltaje Entrada (límites)	6-20v
Pines digitales E/S	54 (15 pueden ser salida PWM)
Pines analógicos entrada	16
Corriente DC por Pin E/S	40mA
Corriente DC entregada en PIN 3.3v	50mA
Memoria Flash	256KB (8KB usados por el bootloader)
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Clock Speed	16MHZ

Como se ha explicado en el apartado anterior, la comunicación y la transferencia de los datos se hace a través del puerto USB, mediante un convertidor USB-serie. El Arduino se puede alimentar tanto desde el puerto USB como con una fuente externa. El rango de alimentación tiene que estar comprendido entre los 7v y los 12v, aunque el voltaje operativo es de 5v habitualmente.

Ilustración 33: Placa Arduino Mega 2560 (Slideplayer.com)



Para el desarrollo de los circuitos se han utilizado diversos componentes electrónicos que interaccionan con la placa Arduino Mega:

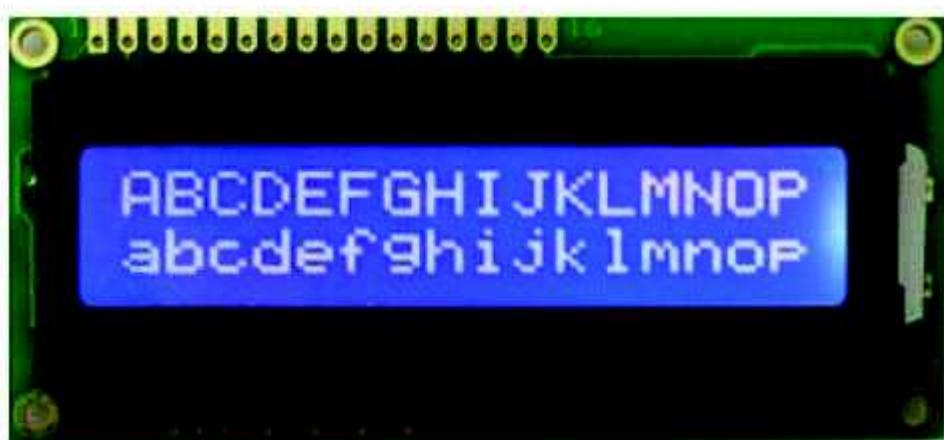
1. Pantalla LCD 16x2
2. Botones de 4 patillas
3. Diodos led verdes
4. Diodos led rojos
5. Diodos led amarillos
6. Resistencias de $220\ \Omega$
7. Resistencias de $10\ K\Omega$
8. Potenciómetro de $10\ K\Omega$
9. Servomotores

Comenzamos describiendo la **pantalla LCD** (Electronicoscaldas, 2018) que consta de 2 líneas de escritura, admitiendo cada una de ellas hasta un máximo de 16 caracteres. Esta pantalla LCD puede operarse bien con 8 bits o con 4 bits (longitud de los caracteres). La diferencia es que con la operación de 4bits se ahorran pines en el microcontrolador.

Tabla 2: Especificaciones pantalla LCD 16X2 (Electronicoscaldas, 2018)

Pin	Símbolo	Conexión Externa	Función
1	Vss	Power Supply	Señal de tierra
2	Vdd		Tensión máxima (5 v) para el máximo lógico
3	V0		Ajuste del contraste
4	RS	MPU	Señal de Registro
5	R/W	MPU	Señal de Leer o Escribir
6	E	MPU	Señal de <i>Enable</i> (habilitación)
7 a 10	DB0-DB3	MPU	Son los cuatro bits menos significativos en la transferencia de datos Si se usa la transferencia de datos de 4 bits, estos no se utilizan
11 a 14	DB4-DB7	MPU	Son los cuatro bits más significativos en la transferencia de datos
15	LED+	LED BKL power supply	Es el ánodo del LED (5 v)
16	LED-		Es el cátodo del LED (GND)

Ilustración 34: Pantalla LCD 16x2 (Electronicoscaldas, 2018)



A continuación, vamos a describir los **botones de cuatro patillas**. Son unos pequeños botones de 12mm de lado con un pulsador de 6 mm de diámetro. Se encuentran normalmente abiertos.

Ilustración 35: Botón cuatro patillas (Laotecnology, 2018)



Los siguientes componentes que se usan son los **diodos led**. Están formados por materiales semiconductores que permiten emitir una radiación luminosa. En este caso se usan tres tipos diferentes de led, ya que cada uno desempeña una función diferente: son los led verdes (tienen la función de encendido y de que están todos los elementos correctos), los led rojos (tienen la función de apagado o de decir que hay algún componente en mal estado) y los led amarillos (tienen la función de hacer las tareas de transición entre el encendido y apagado de alguno de los componentes o la de cambio de un componente dañado).

Estos leds tienen características internas diferentes como se puede observar en los datasheets, pero al tener la misma tensión de alimentación (5v) se pueden usar de la misma forma.

Ilustración 36: Leds de diferentes colores (wiktionary, 2013)



Otros componentes a utilizar son las **resistencias** y el **potenciómetro** (resistencia de valor variable). La función que tienen es la delimitar la corriente en las diferentes partes del circuito.

En el proyecto se han usado dos valores de resistencia distintos: uno de $220\ \Omega$ para proteger los diodos y uno de $10K\Omega$ que se usa para la protección de los botones. El potenciómetro se usa para la regulación del contraste de la pantalla LCD.

Ilustración 38: Potenciómetro
(micro-log, 2018)



Ilustración 37: Resistencia
(nextiafenix, 2018)



Otros elementos a utilizar son los **servomotores**. Hay que remarcar que los servomotores que se han utilizado en este proyecto no funcionan como servomotores (ya que un servomotor solo hace un giro completo como máximo, es decir, su rango de movilidad va desde los 0° hasta los 360°), y los que hemos utilizado se mueven como un motor, porque están modificados para ello.

La modificación ha consistido en abrir el servomotor, extraer el potenciómetro interno que hace que solo pueda girar de 0° a 180°, y sustituirlo por otro externo que nos permita regular la velocidad de giro de los servos modificados. Esto se ha hecho colocando tres cables en la posición de las tres patillas que ha dejado libre el potenciómetro extraído.

Ilustración 39: servomotor (BricogEEK, 2018)



6 Descripción de la maqueta

En esta sección se describe la maqueta interactiva desarrollada. Esta maqueta consta de dos partes claramente diferenciables una estructural y otra electrónica.

Ilustración 40: Maqueta por dentro



La **parte estructural** consta de una réplica, lo más exacta posible, de un CT de abonado de la empresa *Schneider Electric*. El CT está dividido en tres zonas. A continuación, se describen de izquierda a derecha, remarcando también las diferencias entre las piezas de la maqueta y las del CT real que representan. Las zonas son las siguientes:

1. En la primera zona se encuentra una réplica de una **celda de entrada**. Esta celda incorpora una serie de modificaciones respecto a la real. La más evidente es que en la celda real hay tres puertas, pero en nuestra maqueta se han fusionado en una sola puerta que abarca a las tres. Esto se debe a que se hicieron pruebas de diseño dando como resultado que había problemas con las bisagras utilizadas. Por este motivo se optó por incluir una sola puerta ya que la pieza seguía siendo fiel a la realidad. Además, el interior de la celda no se replicó ya que la resolución de la impresora no es suficiente cuando se fabrican piezas muy pequeñas.
2. En la segunda zona se pueden observar tres celdas: de remonte, de corte y de medida, así como el cuadro de baja tensión del transformador. También se encuentra una banqueta y una pértila, que son dos elementos obligatorios en los CT. La banqueta es para llegar a las zonas altas de las celdas, mientras que la pértila sirve para que en caso de electrocución se pueda separar a la persona que se está electrocutando sin peligro de electrocución para el portador de la pértila.

Las celdas son casi idénticas a las reales, excepto en los circuitos que se ven en el frontal. Estos circuitos son muy parecidos, aunque no son exactamente iguales. Esto se debe a la escala de la maqueta, ya que, si se incluían todos los detalles, al ser muy pequeños, no se veían bien una vez impresos.

En el caso del cuadro de BT, se diferencia del real en que no tiene el frontal transparente, ya que ese tipo de materiales no existen para impresoras 3D. Además, en su interior no se encuentra la recreación de la apertura de BT por problemas de diseño.

3. En la última zona, la de la derecha, se encuentra una maqueta lo más fiable que se ha podido hacer de un transformador. La maqueta es bastante fiel al transformador real, aunque hay pequeños detalles que no se han podido recrear.

Estas tres zonas están separadas por una réplica de unas vallas de seguridad. La diferencia que hay con las reales es que están hechas en cuatro partes en vez de en una sola. Esto se debe a que una valla de ese tamaño no entraba dentro de las dimensiones de la impresora, por lo que se optó por dividirla en cuatro partes. Otra diferencia respecto a una valla real es que se han tenido que poner refuerzos porque, al estar sujetas sólo en dos planos ya que los otros dos son abatibles, fue necesario dotarlas de mayor sujeción para que no se volcaran.

Otro aspecto que se puede observar es una serie de tapas que se encuentran en el suelo. Estas tapas representan las tapas de acceso a los cables subterráneos del CT.

La parte estructural incluye también el frontal del CT y el techo. Estos elementos son abatibles ya que se han diseñado para que se pueda ver el interior del CT, puesto que la maqueta tiene fines educativos y divulgativos. La puerta frontal se abre y se cierra mediante dos servomotores que se controlan con el Arduino y para que se vea mejor la parte del interior se abre y se cierra el techo, aunque de manera manual.

La parte estructural de la maqueta se complementa con la **parte eléctrica**. A través de esta parte conseguimos hacer interactiva la maqueta, haciendo uso de una placa de Arduino que controla una serie de leds, una pantalla LCD informativa y los servomotores.

Así, la maqueta dispone de una botonera para realizar diferentes acciones. Estos botones son el **punto de interacción de los usuarios con la maqueta**. Al pulsar cada uno de estos botones se muestra una secuencia de luces. La luz roja representa que la celda en cuestión se encuentra inactiva, la luz verde que se encuentra activa y la luz amarilla nos indica que se está haciendo dos cosas diferentes, la primera es que se está cambiando la posición del seccionador y la otra es que se está cambiando un fusible.

Así mismo, al pulsar cada botón, la pantalla LCD muestra un mensaje indicando las diferentes acciones (activaciones o desactivaciones) que se suceden en la maqueta.

En concreto hay 9 botones:

- Botón de **apertura de puerta**: Al pulsarlo baja la parte delantera del CT.
- Botón de **presentación**: Se presentan de cada una de las celdas, el fusible, el seccionador y el transformador.
- Botón de **secuencia de encendido**: Se muestra el orden en que se van activando las celdas del CT partiendo del estado apagado.
- Botón de **parada de mantenimiento**: Se muestra el orden en el que se van desactivando las celdas del CT partiendo del estado encendido.
- Botón de **parada de emergencia**.
- Botón de conexión del **seccionador de puesta a tierra**.
- Botón de **cambio de fusible**.
- Botón de **rearme**.
- Botón de **cierre de la puerta**.

Para un buen uso de la maqueta se debería seguir el siguiente guion:

1. Lo primero es pulsar el botón de la apertura de la puerta.
2. Lo siguiente sería abrir el techo de manera manual.
3. Para continuar, habría que hacer la presentación de cada uno de las celdas y del transformador.
4. El siguiente paso sería ir haciendo las secuencias en un orden lógico. La primera tendría que ser la de encendido.
5. Una vez hecha esta se debería hacer tanto la de parada de mantenimiento como la de parada de emergencia como la de conectar el seccionador a tierra.
6. Para seguir se debería hacer un cambio de fusible.
7. Para terminar, se podría hacer un rearme.
8. Y una vez que se ha acabado la secuencia, se debería de cerrar el techo y subir la puerta.

7. Desarrollo del proyecto

Una vez presentada la maqueta se va a detallar el proceso de desarrollo de sus diversas partes.

7.1 Fase de fabricación

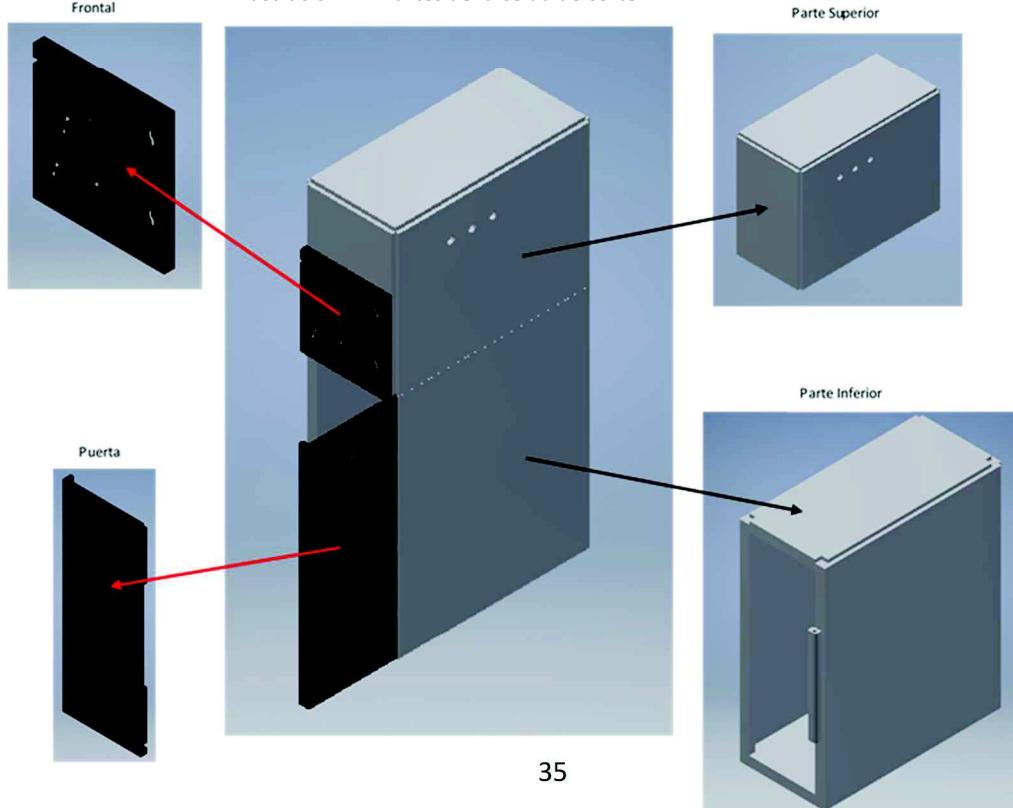
En este apartado se van a describir las diversas fases que dieron lugar a la maqueta final.

En primer lugar, fue necesario elegir el tipo de centro de transformación que se iba a fabricar. Nos decantamos por elegir, entre todos que se han explicado en el primer apartado de este documento, un **centro de transformación de abonado, superficial, con acometida subterránea y de paso**. Se decidió hacer este ya que es más completo que un CT de compañía. Así mismo, que fuera de tipo subterráneo o con otro tipo de acometida, nos pareció que no era un aspecto relevante a la hora de hacer la elección.

El siguiente paso fue la búsqueda de planos de centros de transformación de abonado. Para obtenerlos se tuvo que descargar e instalar el programa *SIScet* (programa de desarrollo de proyectos de centros de transformación, desarrollado por la compañía *Schneider Electric*). Al configurar las características del CT se logró obtener el plano estándar recogido en el Anexo.

Tras este paso, se eligió el tamaño que iba a tener la maqueta. Al hacer la primera prueba se vio que salía demasiado pequeña y se optó por hacerla más grande. Tras esto se comenzó con el diseño de cada una de las piezas que van a incluirse en la maqueta. Para ello se utilizó el programa de diseño industrial *Inventor* (versión de evaluación). Se decidió elegir éste ya que es un software familiar y facilita el ensamblaje de diferentes partes de una pieza para generar el modelo final. Por ejemplo, para diseñar piezas más grandes de la maqueta con mucho nivel de detalle, se han generado piezas pequeñas por separado y luego se han juntado todas para obtener el diseño final de la pieza. De este modo se puede observar cómo queda y, en caso de no satisfacer las necesidades, es posible rediseñarla.

Ilustración 41: Partes de la celda de corte



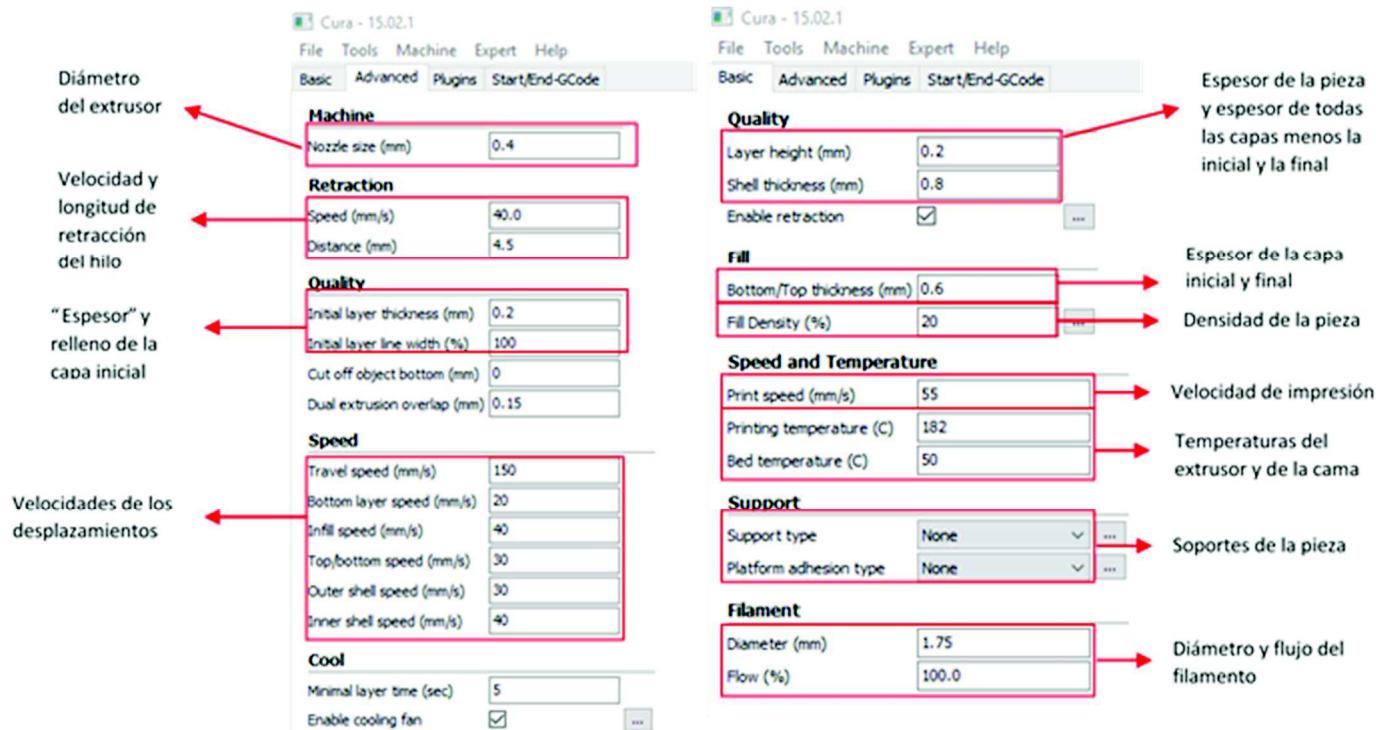
En paralelo al diseño de todas las piezas, se prepararon las impresoras 3D que se utilizaron, es decir, se calibraron y configuraron.

Para la correcta calibración de una impresora 3D se tienen que seguir los siguientes pasos:

1. Se enciende la impresora 3D y en el menú de ésta se accede al submenú que pone “PREPARAR”.
2. Dentro de este se tiene que seleccionar “PARAR MOTORES”, con esto conseguimos mover todos ejes de la impresora a mano como queramos, sin dañar ninguno de los motores de la impresora.
3. Se coge un trozo de folio y se introduce entre la punta del extrusor y la cama de la impresora.
4. Ahora se mueve el papel hacia todas las direcciones y se observa si roza con el extrusor. Si está muy suelto significa que se necesita subir la cama de la impresora, pero si por el contrario el papel no mueve, significa que se necesita bajar la cama, ya que la punta del extrusor está rozando demasiado con la cama.
5. El siguiente paso es, utilizando una llave *allen*, apretar o aflojar los tornillos que hacen subir o bajar las esquinas de la cama. Apretar conlleva que la cama baje y aflojar hace que suba la cama.
6. La impresora está calibrada cuando el papel roza ligeramente, puesto que la distancia adecuada de calibración es el grosor de un folio.
7. Estos pasos se hacen en cada uno de los tornillos de las 4 esquinas de la cama y, para ver si están todos igual de calibrados, se comprueba la separación en el centro de la cama.

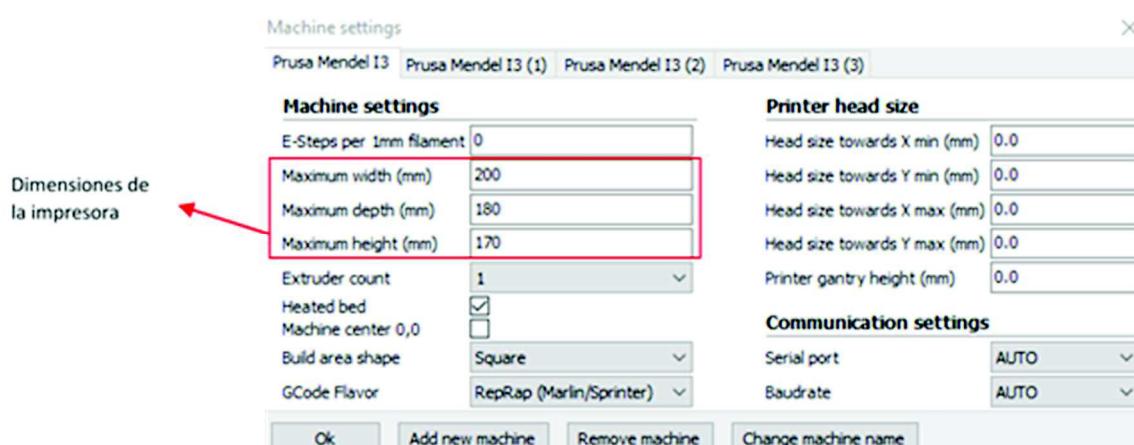
Para la configuración se utilizó el programa *Cura*, en el cual se configuran los parámetros más importantes de la impresora, así como los parámetros de impresión deseados.

Ilustración 42: Configuración impresora 1



Por último, y una vez impresas las piezas diseñadas, se extrajeron las diferentes piezas de la impresora y se ensamblaron, mediante la utilización de un adhesivo específico para pegar plásticos.

Ilustración 43: Configuración impresora 2



7.2 Placas Impresas

En este proyecto se han realizado también placas de circuito impreso donde ubicar los componentes electrónicos.

Las ilustraciones 42 y 43 representan el esquemático y diseño de una de las placas compuesta por un circuito con dos diodos.

Ilustración 44: Esquemático de conexión de dos diodos (Autodesk, 2018)

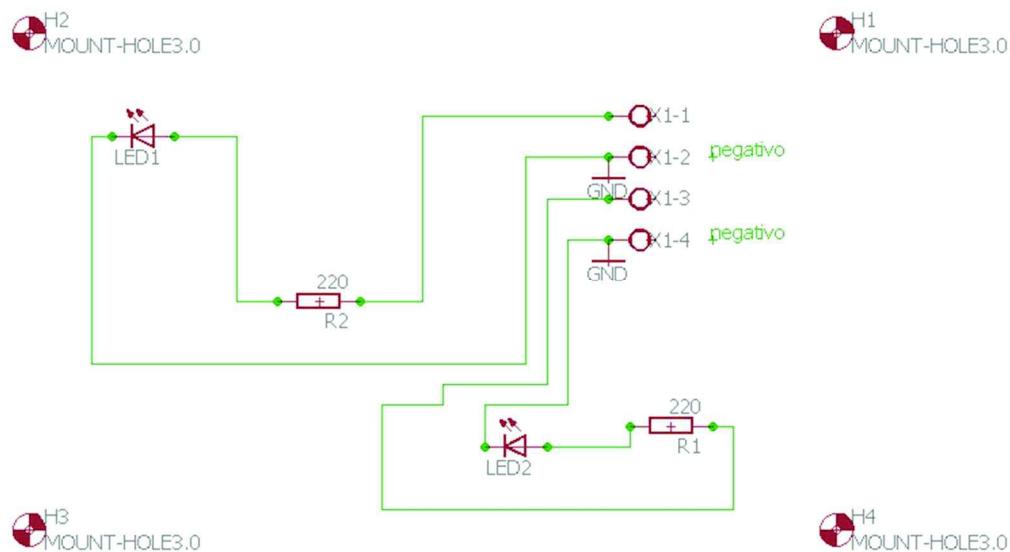
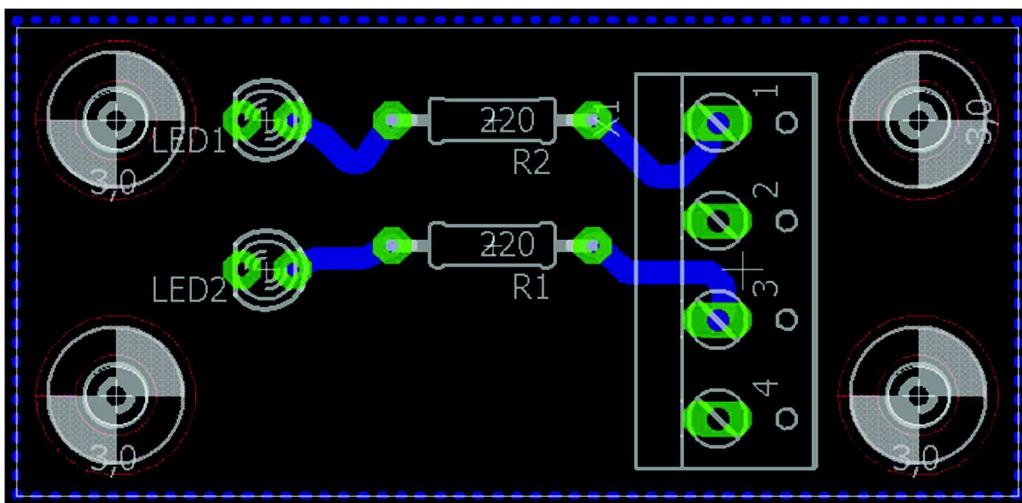


Ilustración 45: Placa de conexión de dos diodos (Autodesk, 2018)



Las ilustraciones 44 y 45 representan el esquemático y diseño de una de las placas que incluye un circuito con tres diodos.

Ilustración 46: Esquemático de conexión de tres diodos (Autodesk, 2018)

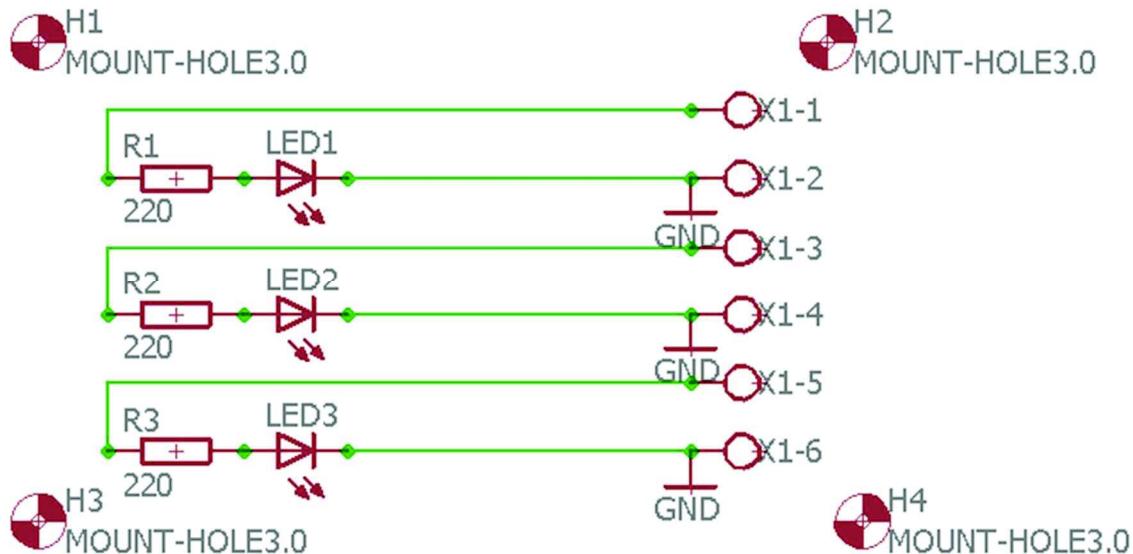
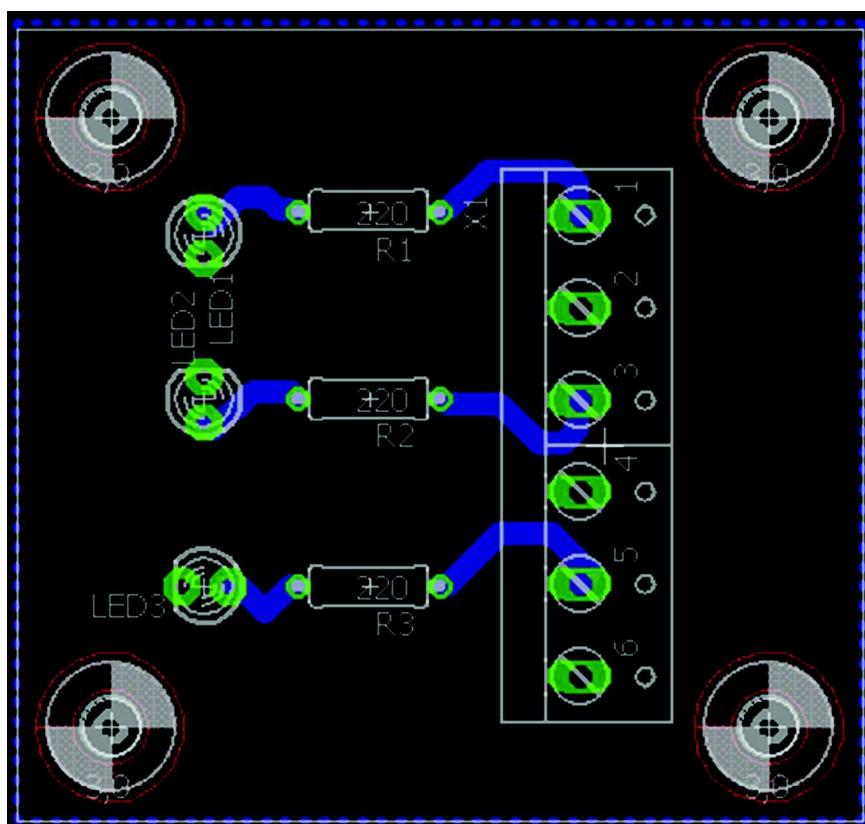


Ilustración 47: Placa de conexión de tres diodos (Autodesk, 2018)



Las ilustraciones 46 y 47 representan el esquemático y diseño de una de las placas que incluye un circuito con la LCD y todos los botones.

Ilustración 48: Esquemático de conexión de la LCD y de los botones (Autodesk, 2018)

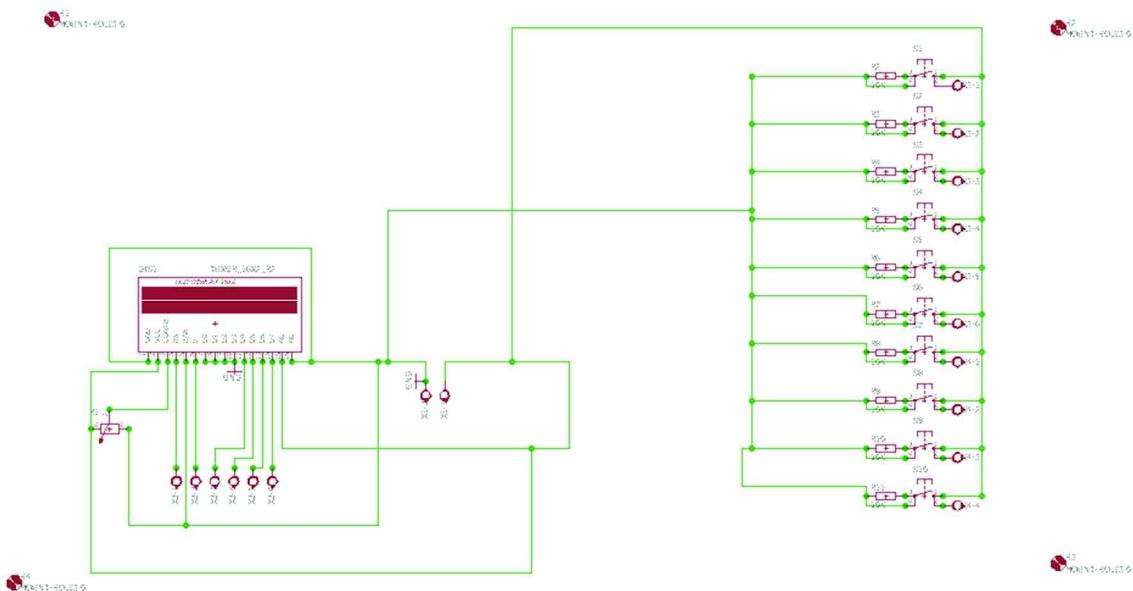
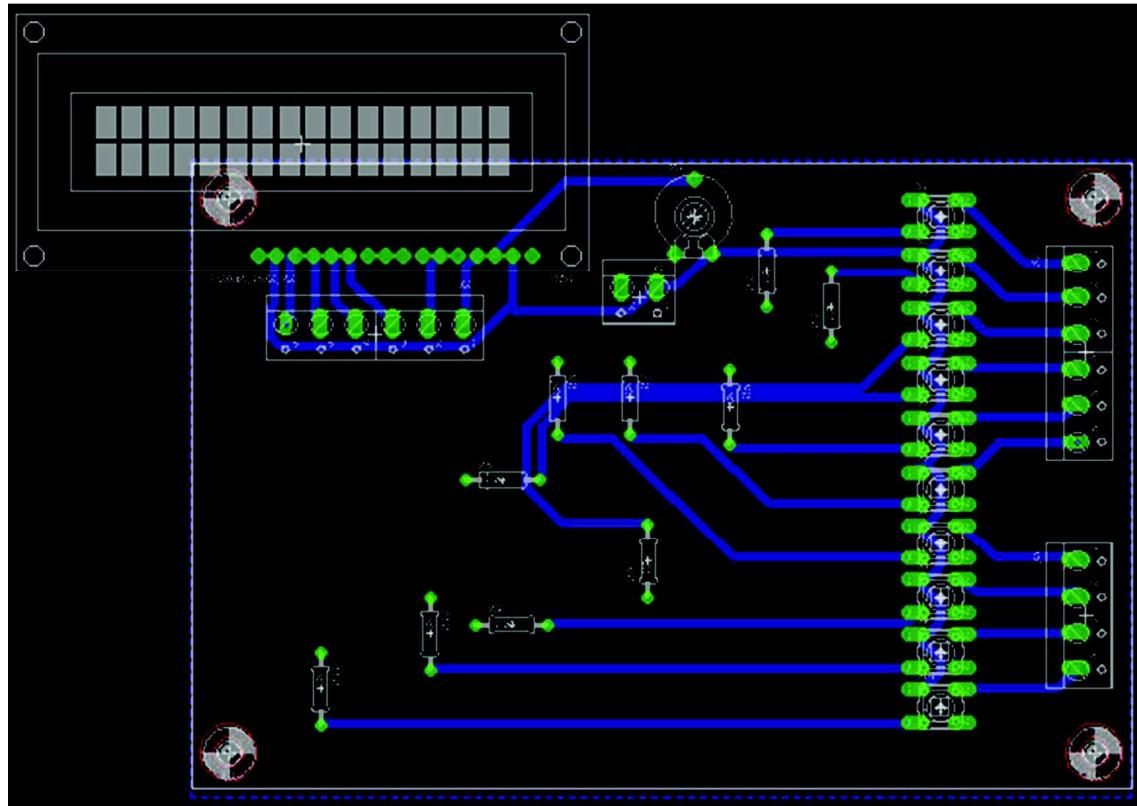


Ilustración 49: Placa de conexión de la LCD y de los botones (Autodesk, 2018)



7.3 Programa de Arduino

La maqueta diseñada se ha dotado de interactividad a través de un programa de Arduino. En esta sección presentamos el diagrama de flujo del programa desarrollado.

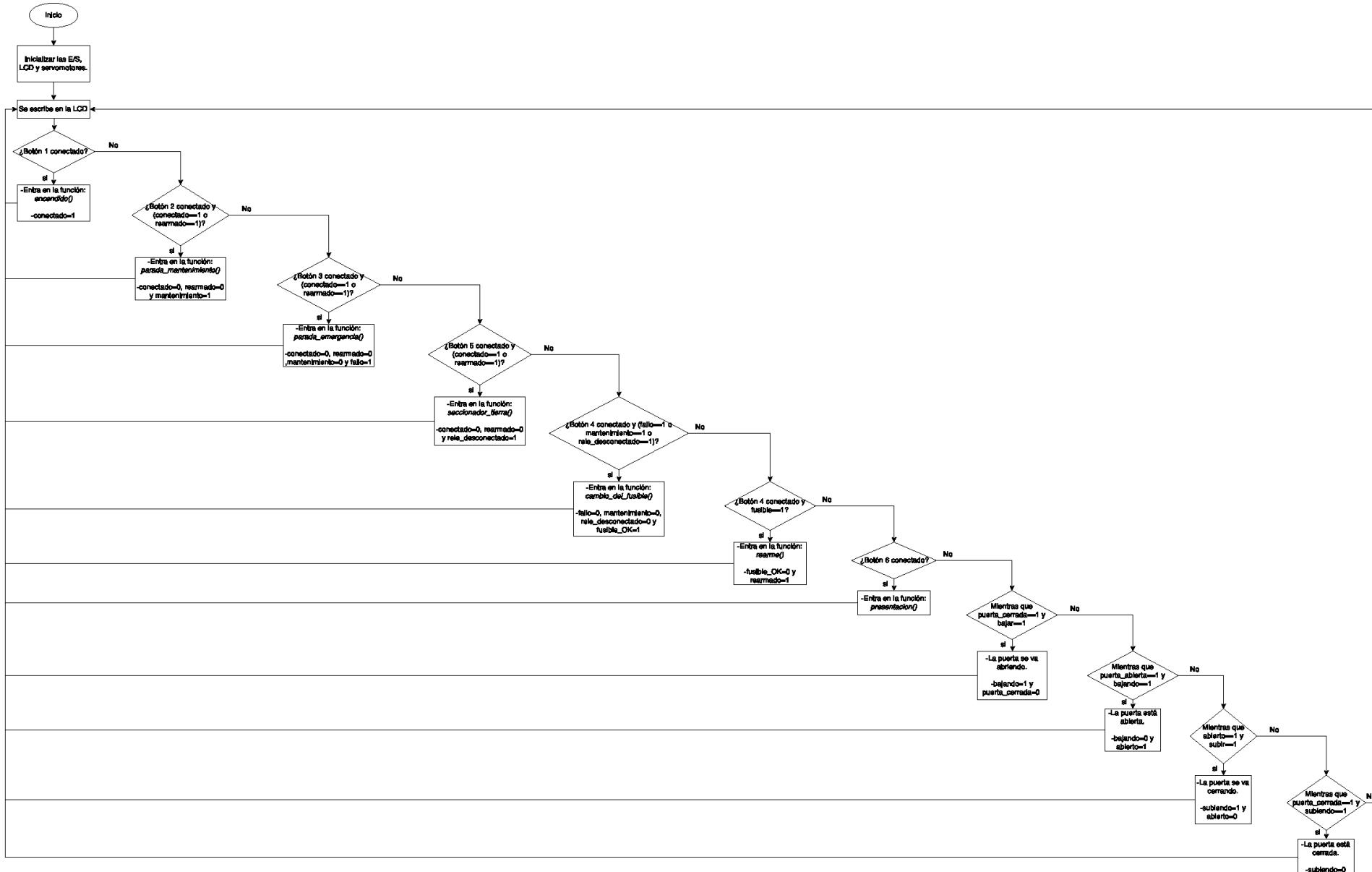
Con este código logramos hacer dos cosas: hacer la maqueta explicativa y controlar los dos motores para subir la parte delantera de la misma. Por un lado, se ejecutan una serie de secuencias visuales utilizando leds. Las secuencias programadas son: presentación de cada uno de los elementos del CT, encendido, apagado, fallo de emergencia, simulacro de cambio de fusible y rearme tras un fallo (en este caso sería que ha fallado un fusible). Por otro lado, se controla el giro de los servomotores para la correcta elevación y bajada de la puerta.

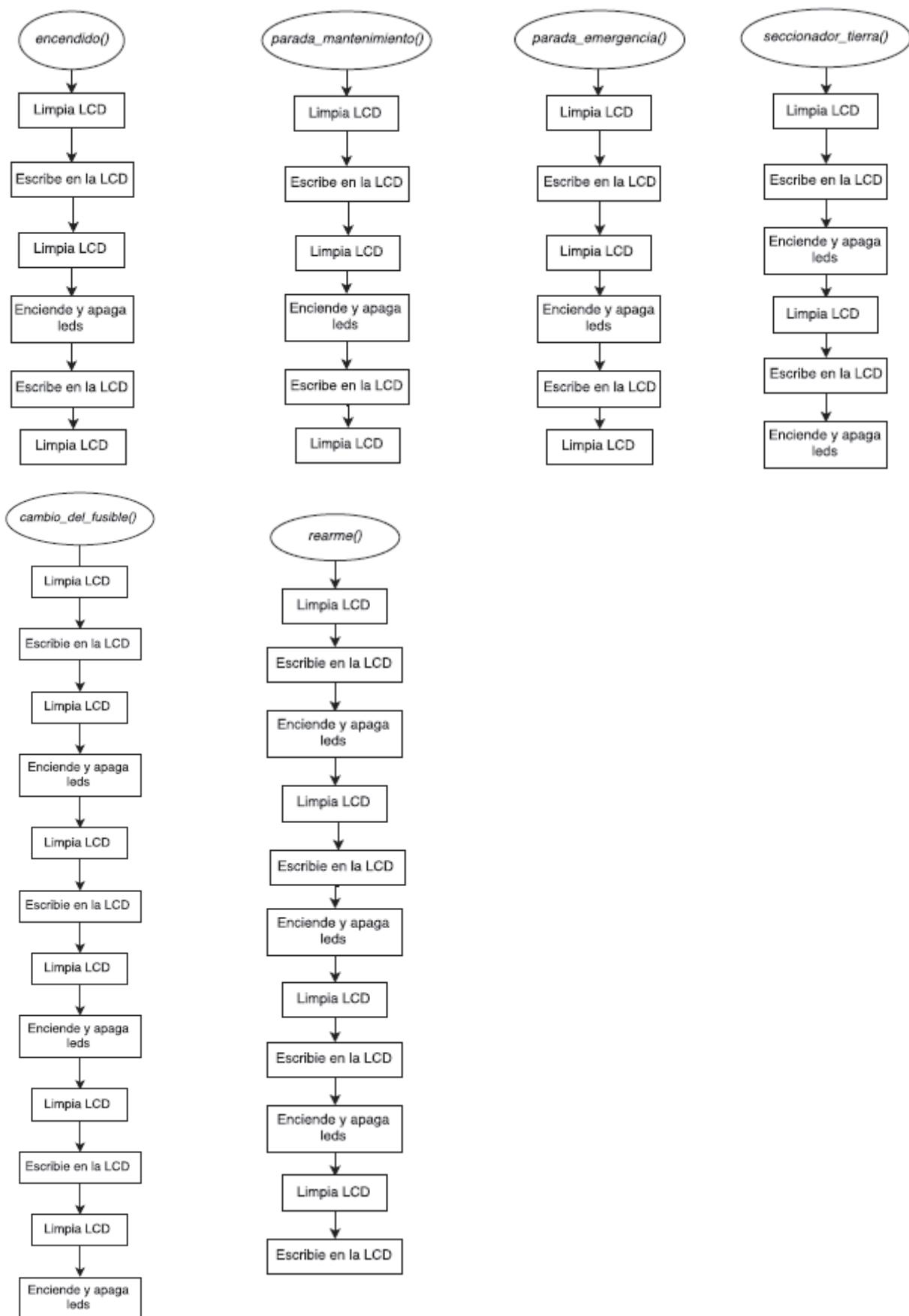
Como se puede ver el programa consta de diferentes funciones que dotan de interactividad al CT. A continuación, se detallan todas las funciones incluidas en el programa principal:

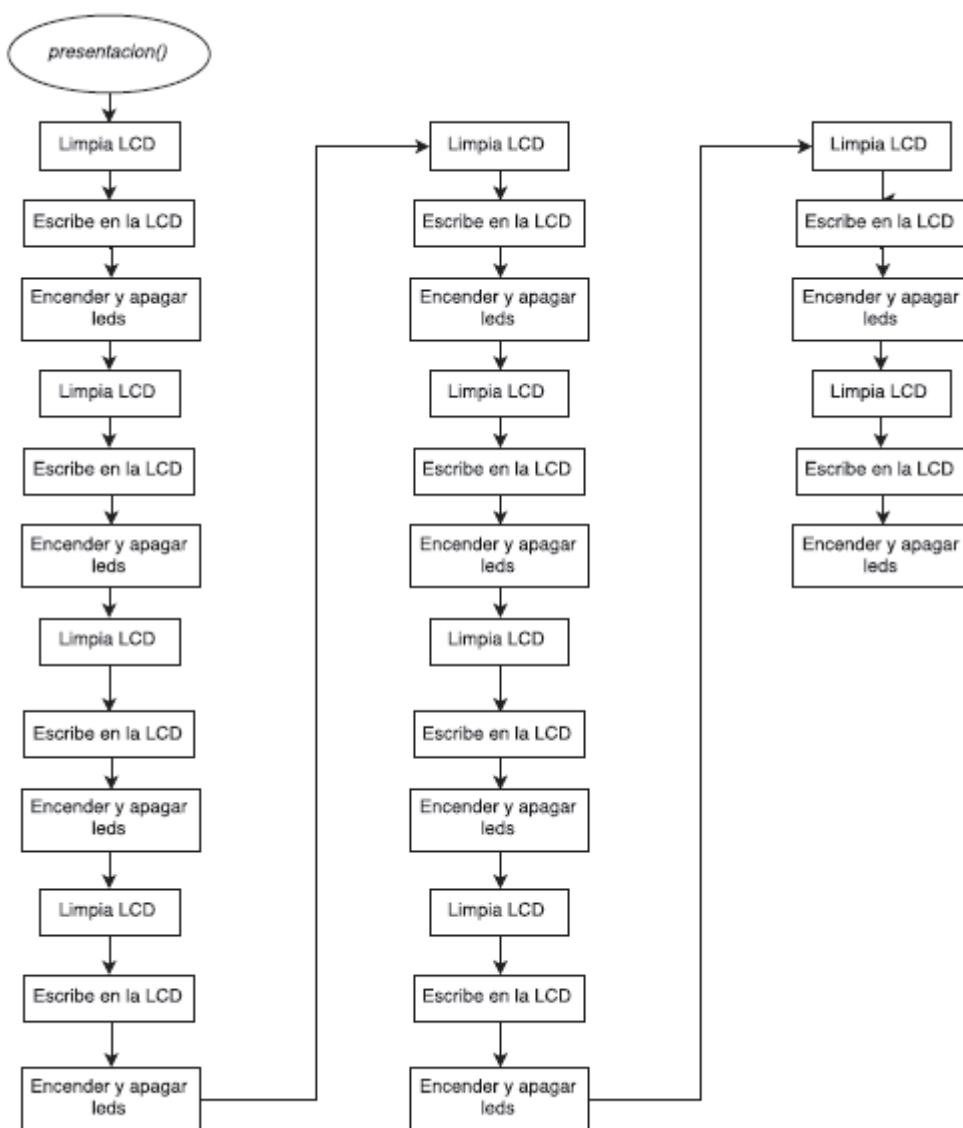
1. *encendido()*: Esta función permite mostrar cómo se van conectando las diferentes celdas del CT hasta que se llega al encendido del transformador partiendo del transformador apagado.
2. *parada_mantenimiento()*: Esta función permite mostrar cómo sería la secuencia de apagado de cada uno de los aparatos del CT, para realizar labores de mantenimiento en el mismo.
3. *parada_emergencia()*: Esta función permite mostrar el corte de emergencia de una de las celdas del CT al producirse un fallo en la misma y por tanto teniendo que ser sometida a revisión o reparación.
4. *seccionador_tierra()*: Esta función permite recrear los pasos que hay que dar para apagar una celda de manera correcta (incluyendo la conexión del seccionador de puesta a tierra).
5. *cambio_del_fusible()*: Esta función permite mostrar cómo se cambia el fusible de una de las celdas, ya sea en una para de mantenimiento, en una de parada de emergencia o al conectar el seccionador de puesta a tierra.

La secuencia a realizar es la siguiente: búsqueda de cuál es el fusible que está fundido, extracción, colocación del nuevo fusible y comprobación de que está bien conectado. Tras esto se tiene que conectar de nuevo la celda a la red.

6. *rearme()*: Aquí se simula la conexión a la red de la celda a la que se le ha hecho el mantenimiento.
7. *presentacion()*: En esta secuencia lo que se muestra es uno a uno todos los elementos que forman el CT, desde la celda de entrada hasta el transformador.





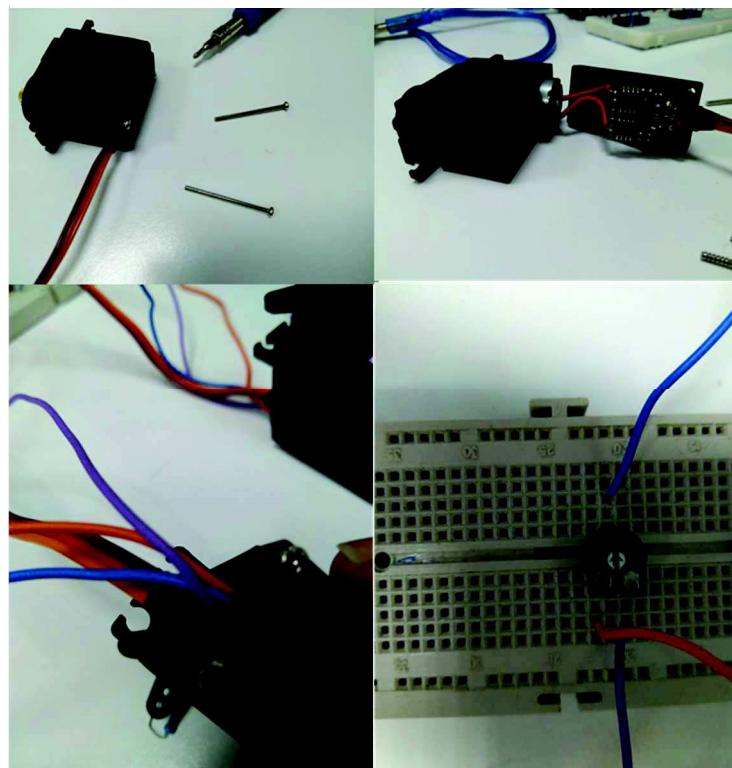


Para terminar la placa Arduino también controla la subida y bajada de la puerta frontal del CT, esto se logra utilizando la función `servo.write(ángulo)`. Para configurarla hay que poner un valor desde 0° hasta 180° en el parámetro `ángulo`.

Para permitir el movimiento simultáneo de ambos servos se tuvieron que regular mediante un potenciómetro externo. Esto se tuvo que realizar puesto que los servos fueron modificados para que actuaran como motores de giro continuo. El potenciómetro externo se reguló para hacer que el ángulo de parada coincidiera con 90°, lo que significa que el motor recibe una tensión de 0v para ese ángulo. Se decidió usar ese ángulo porque es el punto medio entre 0° y 180°. Para lograr la sincronización de los dos servos haciéndose hicieron calibraciones para ver la velocidad de rotación en ambos sentidos. El proceso fue el siguiente:

1. Como los servos están enfrentados en la maqueta, para subir o bajar tienen que llevar direcciones diferentes, lo que facilitó mucho las cosas.
2. Al llevar direcciones diferentes y tener el mismo ángulo de parada, se forzó uno de los motores a la máxima velocidad posible, es decir, a uno de los límites (para bajar la puerta este límite es 0°). Con el otro motor se fueron probando velocidades partiendo de la mayor que podía dar y parando en aquella que fuera igual o muy pareja a la del motor forzado. En el caso de bajar la puerta este valor fue de 106°.
3. Como última consideración, remarcaremos que la disparidad de ángulos que dan la misma velocidad en los dos motores está causada porque los servos no son exactamente iguales (aun siendo de la misma marca).

Ilustración 50: Modificación de los servomotores



7.4. Elementos mecánicos

Los elementos mecánicos utilizados para el desarrollo del TFG son poleas y rodamientos:

- Las poleas fueron diseñadas con el programa Inventor e impresas en 3D. Se utilizan para ayudar al motor a subir la pared frontal de la maqueta. Se han diseñado dos tipos de poleas: unas son las que van unidas al eje del servomotor y las otras son las que giran mediante la colocación de un rodamiento en su interior. La única diferencia que hay entre ellas es que las del rodamiento llevan un agujero en el cual se inserta dicho rodamiento.
- Los rodamientos son de bolas, tienen 6mm de diámetro interior, 19mm de diámetro exterior y 6mm de ancho.

La unión entre las poleas y el rodamiento se realiza a través de un tornillo de M6 al que se le han añadido una serie de arandelas para lograr la separación deseada con la pared de la maqueta. Por el otro lado de la pared se ha colocado una tuerca de la misma métrica para un correcto apriete.

Por otra parte, se han colocado tornillos para unir la polea a uno de los apoyos que trae el servomotor, para que así nos permita unir la polea al eje del transformador. Esto se hizo porque replicar las estrías del eje con la impresora es muy complicado.

Para terminar, las poleas y la puerta se han unido mediante un hilo de nylon, que por un extremo se anuda en la polea y por el otro se coloca en un tornillo que está colocado en la puerta.

Para permitir el movimiento de la puerta, se han colocado tres pequeñas bisagras de libro en la parte que une la puerta con el suelo de la maqueta. También se han colocado bisagras en el techo de la maqueta, aunque en este caso la apertura es manual en vez de automática.

Ilustración 51: Poleas de la maqueta



8. Lecciones aprendidas, conclusiones y líneas de trabajo futuro

8.1. Fallos que han surgido y su resolución

Durante el desarrollo de la maqueta han surgido numerosos errores. A continuación, se describirán los más significativos:

1. **El tamaño de las piezas de la maqueta:** Este fue uno de los primeros errores que surgió. Fue motivado porque las piezas que se empezaron a imprimir eran demasiado pequeñas y no se observaban los detalles en ellas. Para solventarlo se optó por aumentar la escala al doble de lo estimado al principio.

Este aumento de escala acarreó que algunas de las piezas se tuvieran que partir para poder ser impresas, ya que las piezas enteras sobrepasaban los límites de la impresora.

2. **Cambio de materiales:** Al aumentar el tamaño de los elementos de la maqueta al doble de lo inicial, se tuvo que aumentar el tamaño de las paredes, suelo y tejado de la maqueta. Esto llevó a un cambio de material de construcción de estas.

En un principio iban a ser de plástico también, pero al intentar imprimirlas había que dividirlas en muchas piezas diferentes, que posteriormente había que ensamblar. Esto no garantizaba que el resultado final fuera satisfactorio por lo que se optó por utilizar madera para esas piezas. Este material se seleccionó para intentar que la maqueta fuera ligera y porque este material es fácil de trabajar.

3. **Fallos en la impresión:** En este punto se recogen los numerosos fallos de impresión acaecidos:

- **Escuadras erróneas:** Este error se cree que se debe a la calibración de las impresoras. Como se ha explicado anteriormente, se hace de forma manual, por lo que la calibración no es la misma en cada impresión. Al imprimir dos o más piezas que tienen que casar con dos o más impresoras diferentes, la misma calibración nunca va a ser la misma, por lo que las piezas al verlas por separado se ven correctas, pero al unirlas no coinciden.

Para solucionar este error se han tenido que lijar y limar las piezas lo máximo posible, uniéndolas lo más suavemente posible.

- **Cama demasiado fría:** La temperatura de la cama donde se imprimen las piezas es fundamental para una correcta impresión y depende del tipo y color del material que se utilice. Esto se desconocía en un principio, por lo que este problema nos sucedió en diferentes piezas. Una temperatura incorrecta de la cama llevó que la primera capa de las piezas no se pegara bien a la cama y se levantara por las esquinas, lo que hacía que las piezas salieran ligeramente dobladas, aunque totalmente funcionales.

Una observación respecto a este problema fue que una temperatura más elevada era necesaria en los colores más claros de PLA, sobre todo en el plástico blanco. En nuestra opinión podría deberse a que el plástico blanco absorbe peor el calor, ya que con el color negro a esa misma temperatura se imprimían correctamente las piezas.

La solución que se le dio fue subir la temperatura de la cama para colores claros, adaptándola a cada color.

- Extrusor con poca temperatura: Este error acarreaba que el plástico que salía por el extrusor, en vez de hacerlo de forma fluida, saliera a gotas intermitentes.

Se observó que esto solo se daba en los colores más oscuros de PLA, sobre todo con el plástico negro. En nuestra opinión es porque necesita más calor para fundir de manera constante, ya que con el resto de colores a esa misma temperatura se obtenía un correcto flujo de plástico.

La manera de solucionarlo fue mediante el aumento de la temperatura del extrusor cuando se imprimía con color negro.

- Piezas combadas: Esto se dio por una mezcla de dos problemas como la incorrecta calibración de la impresora y la baja temperatura de la cama. Esto hacía que las capas más cercanas a la cama no se unieran correctamente y acabaran dobladas. De este modo, las piezas se llegaron a caer en mitad de una impresión, siguiendo el extrusor tirando material hasta acabar el programa que tenía fijado.

Este problema se solucionó subiendo la temperatura de la cama y calibrando correctamente la cama de la impresora.

- Piezas partidas: Este error consistió en que la pieza se dejaba de imprimir correctamente en algunas ocasiones a mitad de una impresión. Nunca se llegó a averiguar cuál era su origen.

La solución que se dio fue reiniciar la impresora, quitando el trozo de pieza impreso correctamente y cargando de nuevo el programa, pero, en esta ocasión, en vez de empezar la pieza desde el principio, se reinició en el punto donde se había quedado parada. Finalmente había que unir ambas partes.

8.2. Futuras mejoras

Una posible mejora que podría implementarse sería el diseño e impresión del interior de cada una de las celdas, es decir, incluir en la maqueta todos los elementos internos.

Otra posible mejora sería la impresión completa de la maqueta en 3D, incluyendo pareces, techos, etc.

Sería también interesante, tomando como base esta maqueta, la construcción de otros tipos de CT, como pueden ser los CT subterráneos o compactos. De este modo se podría enseñar a estudiantes en la materia y gente con interés por este tema, las diferencias que hay entre los diferentes tipos de CT.

Otra posible mejora sería la utilización de un sistema de sonido, para que a la vez que se ven las diferentes secuencias, mediante el encendido y apagado de leds, se reproduzca un fichero de audio explicando cada una de ellas. Por ejemplo, en la secuencia de presentación del CT, el audio podría describir las partes más importantes de cada una de las celdas, del cuadro de baja tensión y del transformador, así como la función que desarrollan dentro del CT.

También sería una buena mejora hacer que el techo se elevara de manera automática mediante dos servos, uno en cada lado del techo. También se podría cambiar el sistema mecánico, ya que se usa un sistema de poleas inspirado en puentes levadizos. El sistema mecánico podría ser más sofisticado.

8.3. Conclusiones

La primera conclusión de este trabajo es relativa a la motivación que me llevó a realizarlo. Elegí hacer este proyecto porque no existía ninguna maqueta de un CT de abonado de este tipo fabricado con impresoras 3D. Lo más parecido que se encontró fue un CT bajo poste, por lo que me pareció que era algo innovador y me permitía también profundizar más en mis conocimientos sobre instalaciones eléctricas.

Otra de las motivaciones para realizar este proyecto fue el propósito divulgativo que perseguía. Al ser interactivo, podría usarse para enseñar a la gente que desconoce el funcionamiento de un CT, su funcionamiento, las partes que tiene y alguna de las secuencias que se pueden desarrollar en un CT real.

Con respecto al ámbito más técnico de mi proyecto decidí comenzar con este trabajo ya que las impresoras 3D son una nueva tecnología que está en auge y tiene una utilidad muy amplia. Las podemos utilizar tanto para hacer pequeños juguetes como una prótesis que puede mejorar la vida de cualquier usuario. Además de lo anterior, dentro del temario del Grado no hay un amplio apartado dedicado a ellas, lo que despertó mi curiosidad para poder ampliar mis conocimientos sobre este tipo de fabricación.

La parte que más ha costado sacar adelante ha sido la parte mecánica de la maqueta, ya que ha sido muy complicado hacer cuadrar el giro de los motores para que sean lo más parejos posible. Esto se debe a que, al no ser iguales los servomotores, aunque se configuren a la misma tensión de referencia, sus velocidades de giro no son coincidentes.

Como conclusión general podemos decir que ha sido un proyecto muy enriquecedor, por todos los nuevos conocimientos que he adquirido en el campo de las instalaciones eléctricas de media tensión y en el diseño de piezas utilizando software profesional.

9. Bibliografía

(Industria, 2014): Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Real Decreto 337/2014, de 9 mayo por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23, Accesible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2014/06/09/pdfs/BOE-A-2014-6084.pdf>, Último acceso: 16/02/2018.

(Interior, 2016): Centro de análisis y prospectiva y Gabinete Técnico de la Guardia Civil, NOTA DE FUTURO 2 / 2016 Impresoras 3D , Accesible en: http://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local_repository/documents/17854.pdf, Último acceso: 16/02/2018.

(Thingiverse, 2018): Thingiverse, Accesible en: www.thingiverse.com, Último acceso: 16/02/2018

(Igual, 2017): Raúl Igual Catalán, Apuntes de Instalaciones Eléctricas 2017 de Raúl Igual Catalán, Último acceso: 16/02/2018.

(Industria, 2017): Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Red Electrica de España, Accesible en: <http://www.ree.es/es/sala-de-prensa/infografias-y-mapas/como-funciona-el-sistema-electrico>, Último acceso: 16/02/2018.

(Google Maps, 2018): Google Maps, fotografía de la Calle Santa Teresa, Teruel, Accesible en: <https://goo.gl/BsHSnA> , Último acceso: 16/02/2018.

(Wikipedia, 2018): Wikipedia, Accesible en: <https://es.wikipedia.org> , Último acceso: 16/02/2018.

(Sola, 2018): Miguel Ángle Sola, Accesible en: www.miguelangelsola.com, Último acceso: 16/02/2018.

(Google Mapas, 2018): Google Maps, fotografía del CT de Bezcas, Teruel, Accesible en: <https://goo.gl/ZB67a3>, Último acceso: 16/02/2018.

(Solostocks, 2018): Solostocks, Accesible en: www.solostocks.com, Último acceso: 16/02/2018.

(Schneider Electric, 2008): Schneider Electric, Catálogo Schneider Electric 2008, SISct8.0, Último acceso: 16/02/2018.

(Renovacionesmecanicas, 2018): Renovacionesmecanicas, Accesible en: www.renovacionesmecanicas.com.co, Último acceso: 16/02/2018.

(Informaticamoderna, 2018): Informaticamoderna, Accesible en: www.informaticamoderna.com, Último acceso: 16/02/2018.

(Droidecomunidad, 2018): Droidecomunidad, Accesible en: www.droidecomunidad.com, Último acceso: 16/02/2018.



(Wikipedia, 2018): Wikipedia, Accesible en:
https://es.wikipedia.org/wiki/Arduino#Esquema_de_conexiones, Último acceso: 16/02/2018.

(Worldvectorlogo, 2018): Worldvectorlogo, Accesible en: www.worldvectorlogo.com, Último acceso: 16/02/2018.

(Schneider, 2017): Schneider Electric, SIScet8.0, documento de la memoria de un centro de transformación de abonado desarrollado con el programa SIScet8.0

(Wikipedia, 2017): Wikipedia, Accesible en:
https://es.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Inventor, Último acceso: 16/02/2018

(Mibqyyo, 2014): Mybqyyo, Accesible en: <https://goo.gl/Pn3po1>, Último acceso: 16/02/2018.

(Diwo, 2018): Diwo, Accesible en: www.diwo.bq.com, Último acceso: 16/02/2018.

(Imprimalia3d, 2018): Imprimalia, Accesible en:
<http://imprimalia3d.com/impresoras3d/prusa-i3-hephestos>, Último acceso: 16/02/2018.

(Panamahitek, 2013): Panamahitek, Accesible en: <http://panamahitek.com/arduino-mega-caracteristicas-capacidades-y-donde-conseguirlo-en-panama>, Último acceso: 16/02/2018.

(Electronicoscaldas, 2018): Electronicoscaldas, Accesible en:
<http://www.electronicoscaldas.com/displays-lcd-alfanumericos-y-graficos/131-display-lcd-16x2-el-1602a.html>, Último acceso: 16/02/2018.

(Laotecnology, 2018): Laotecnology, Accesible en: www.laotecnology.com.co, Último acceso: 16/02/2018.

(wiktionary, 2013): wiktionary, Accesible en: www.es.wiktionary.org, 16/02/2018.

(micro-log, 2018): micro-log, Accesible en: www.micro-log.com, 16/02/2018.

(nextiafenix, 2018): nextiafenix, Accesible en: www.nextiafenix.com, 16/02/2018.

(bricogeek, 2018): bricogeek, Accesible en: www.tienda.bricogeek.com, 16/02/2018.

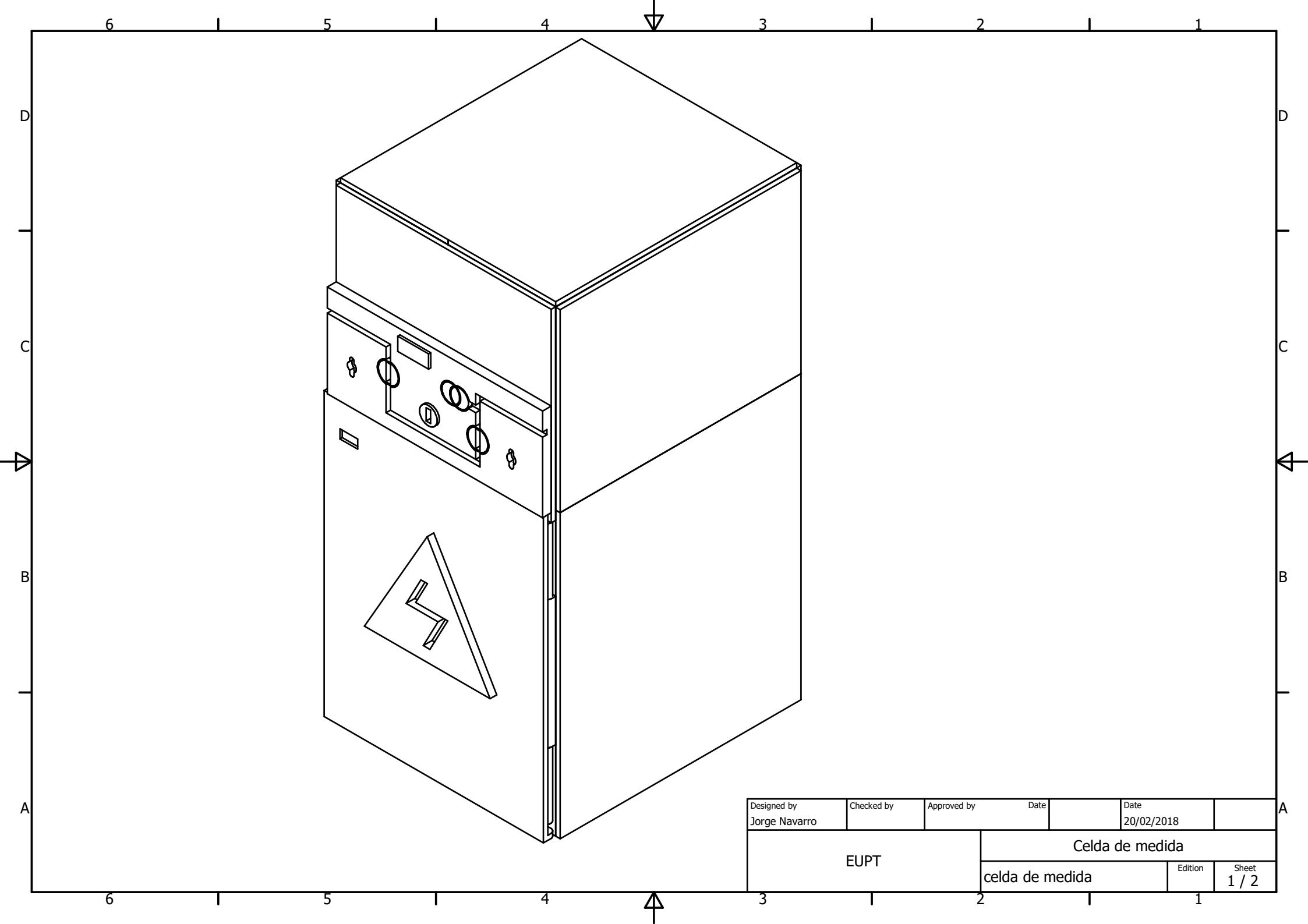
(Autodesk, 2018): Autodesk, Eagle, Accesible en:
[https://www.autodesk.com/education/free-software/eagle](http://www.autodesk.com/education/free-software/eagle), Último acceso: 16/02/2018.

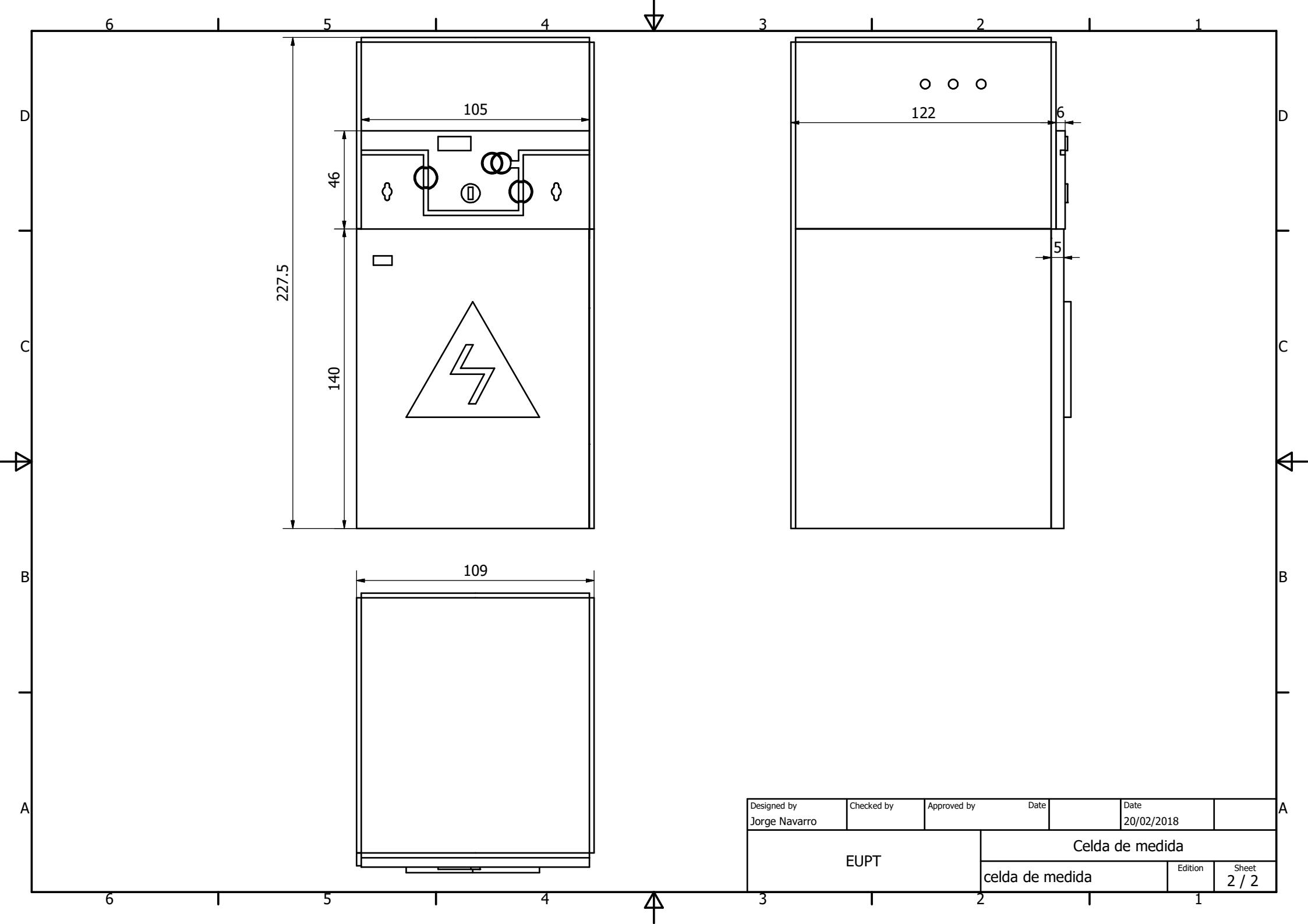
ANEXO 1:

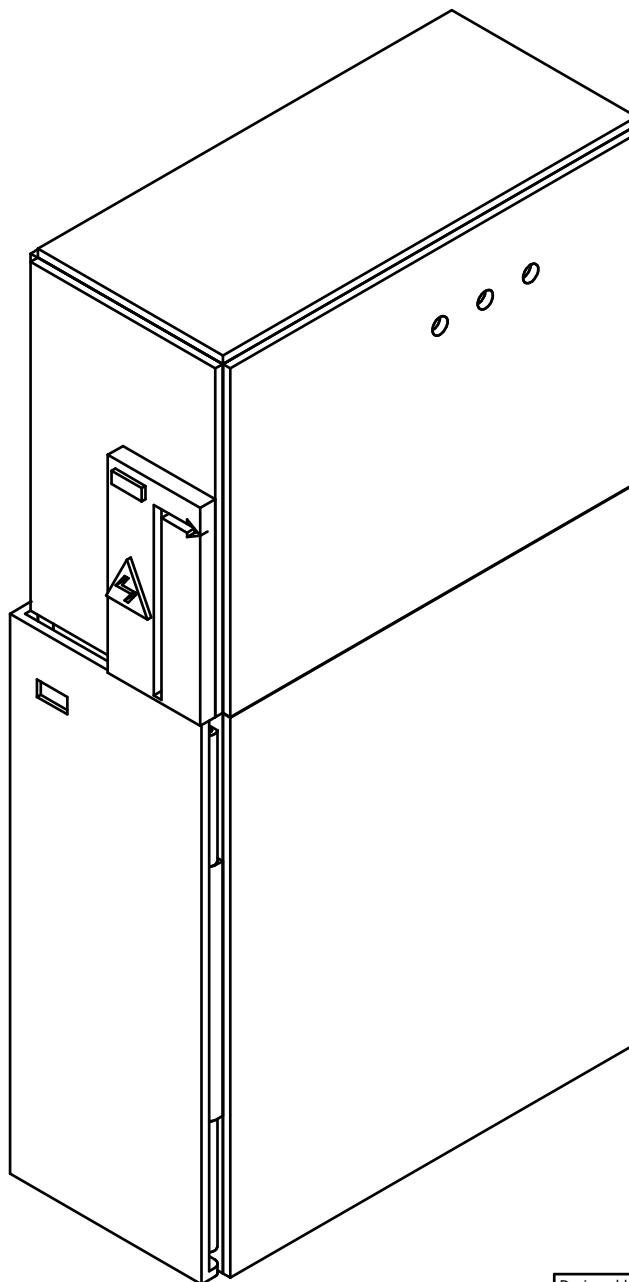
Planos de la

maqueta









Designed by
Jorge Navar

Check

l by Appro

ved by

Date

Page 10

2013

1

FLUIDS

111

111

Cel

da de rem

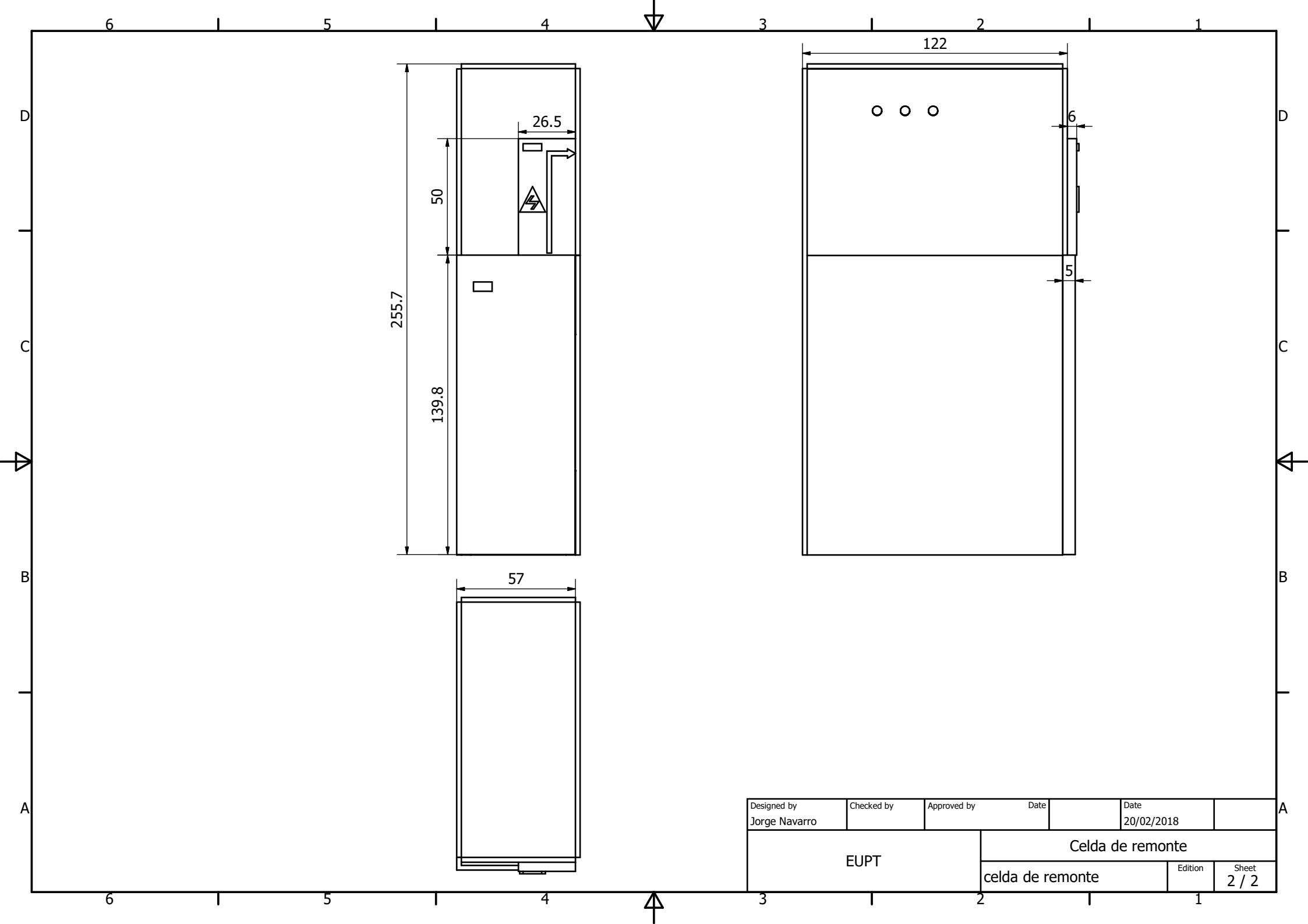
Monte

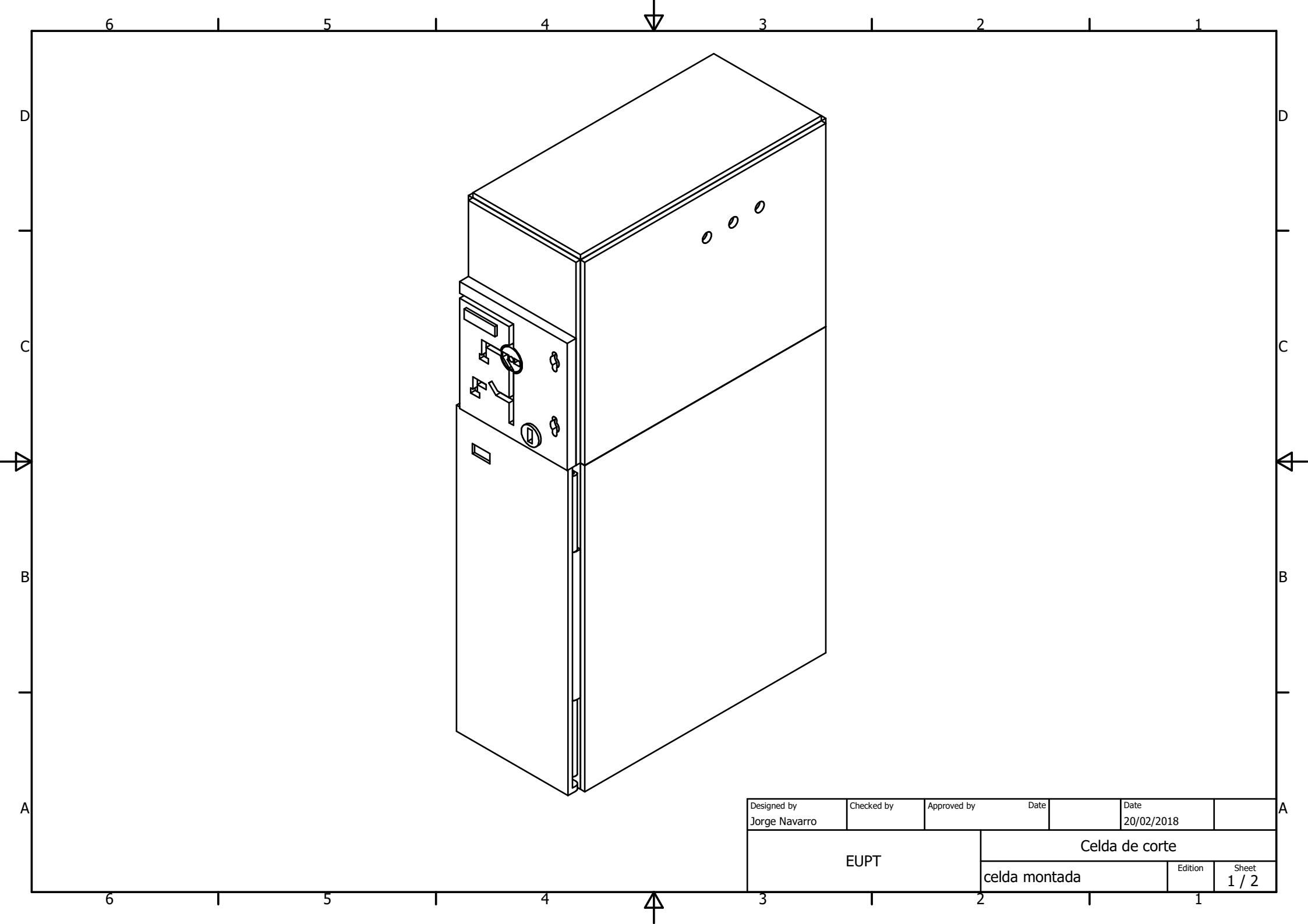
Celda de remonte

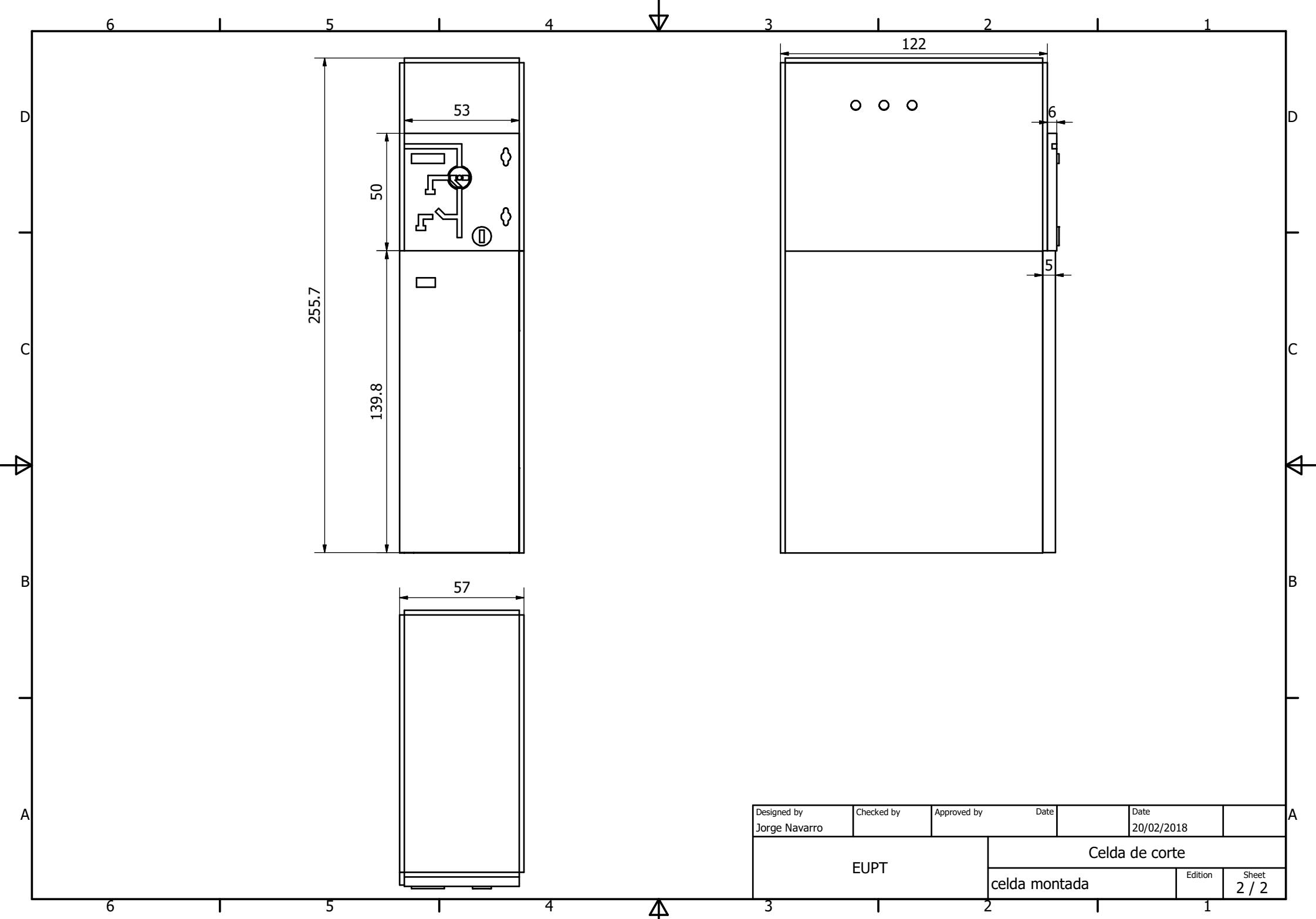
celda de remont

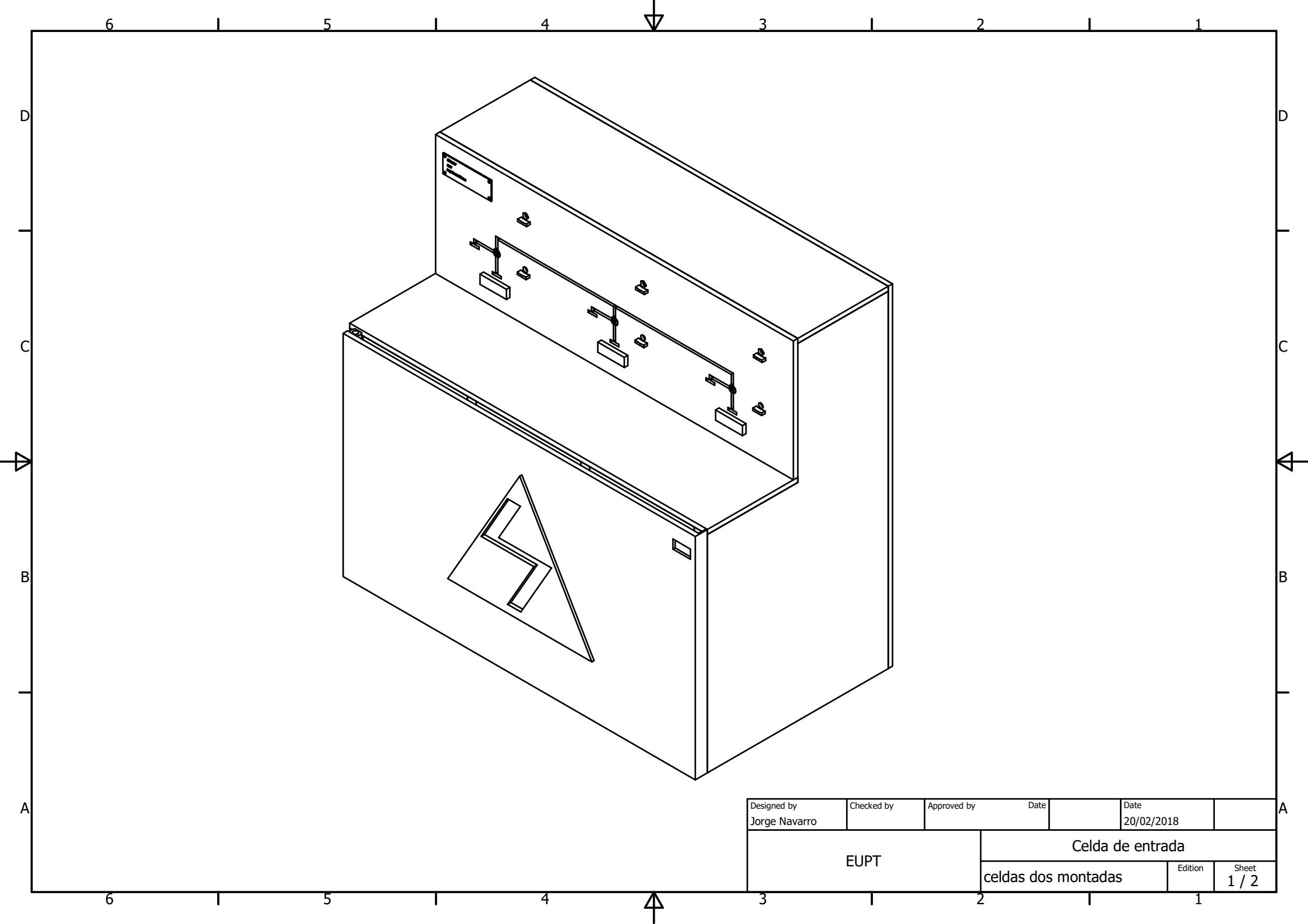
100

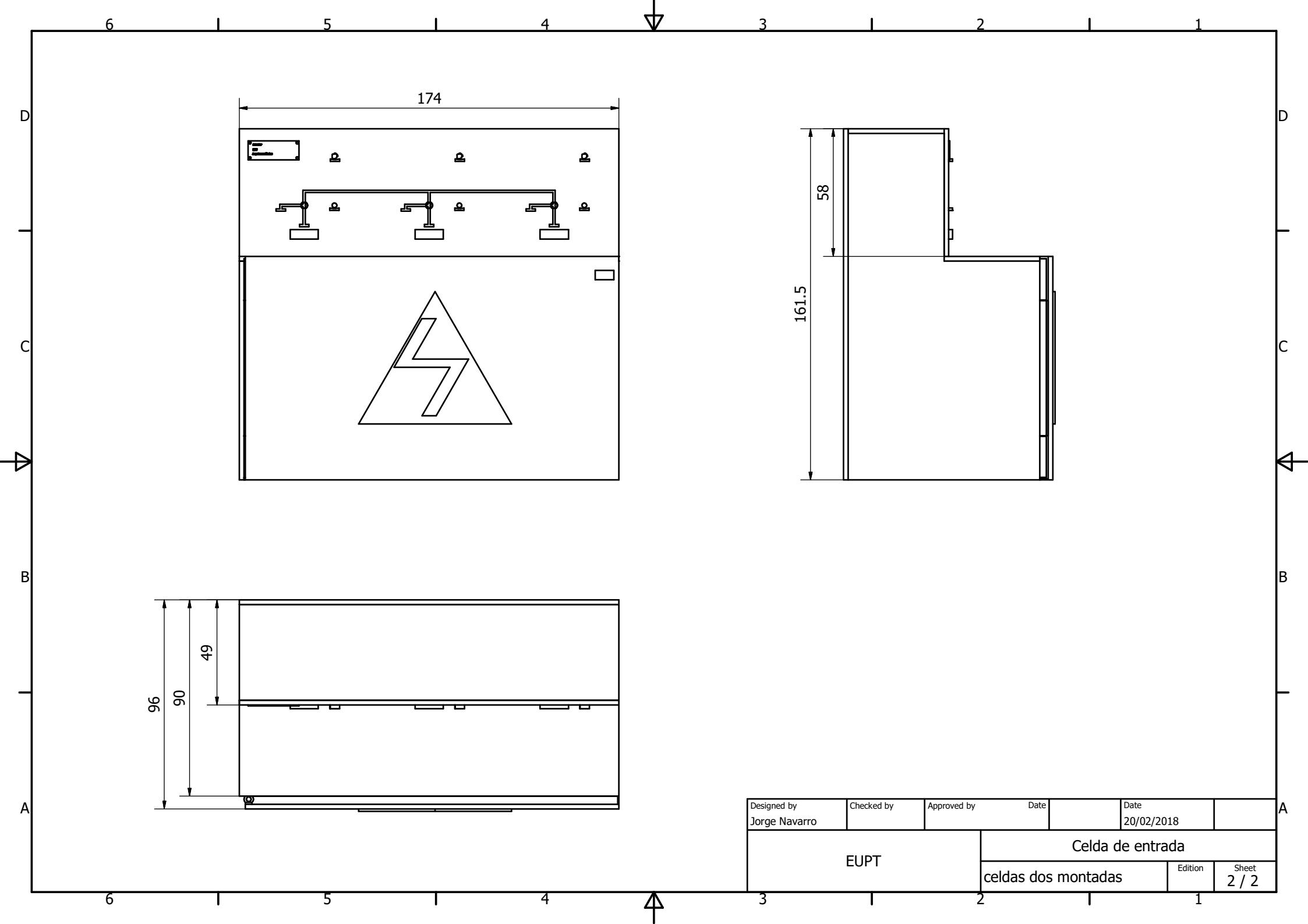
Sheet 1 / 2

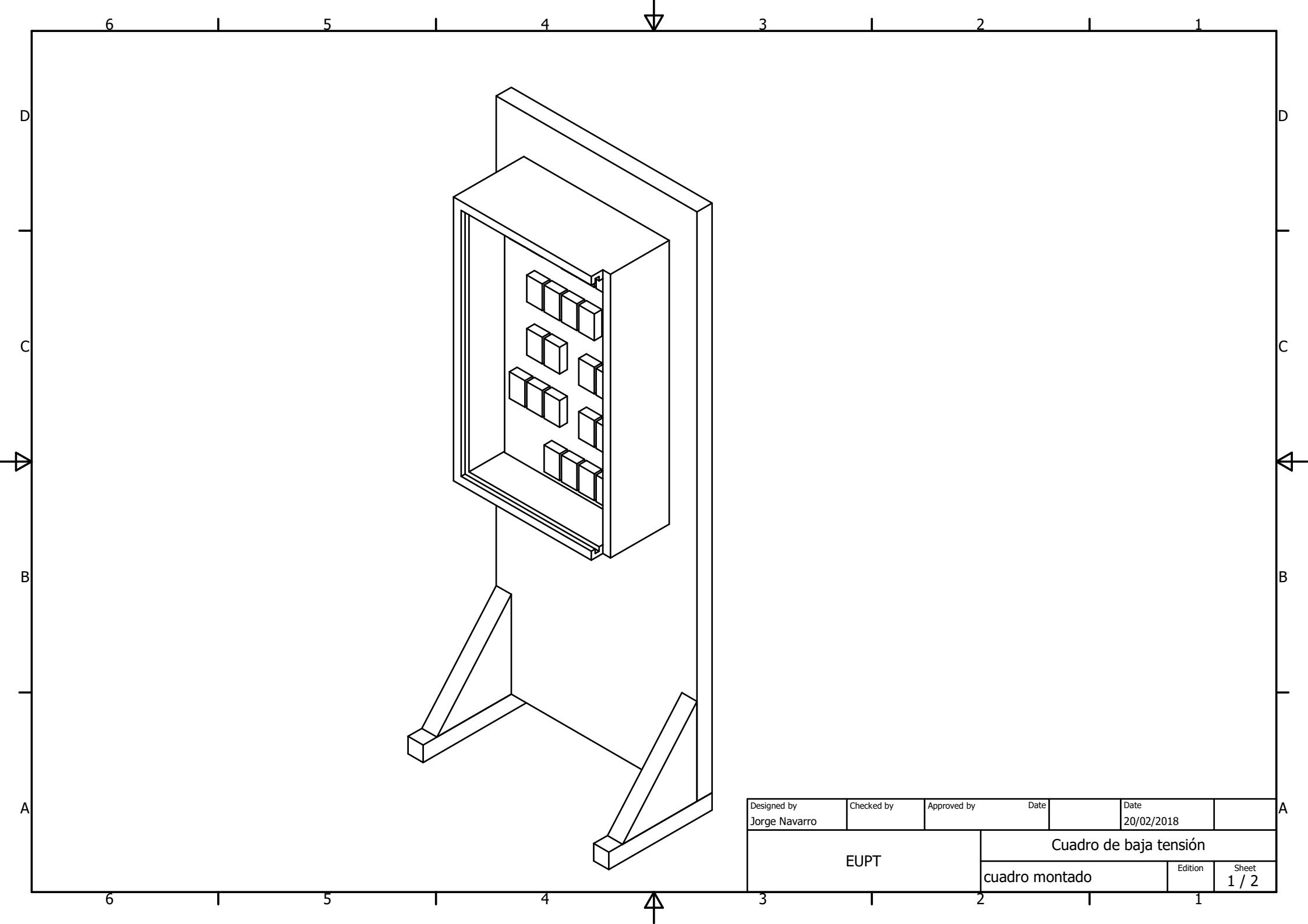


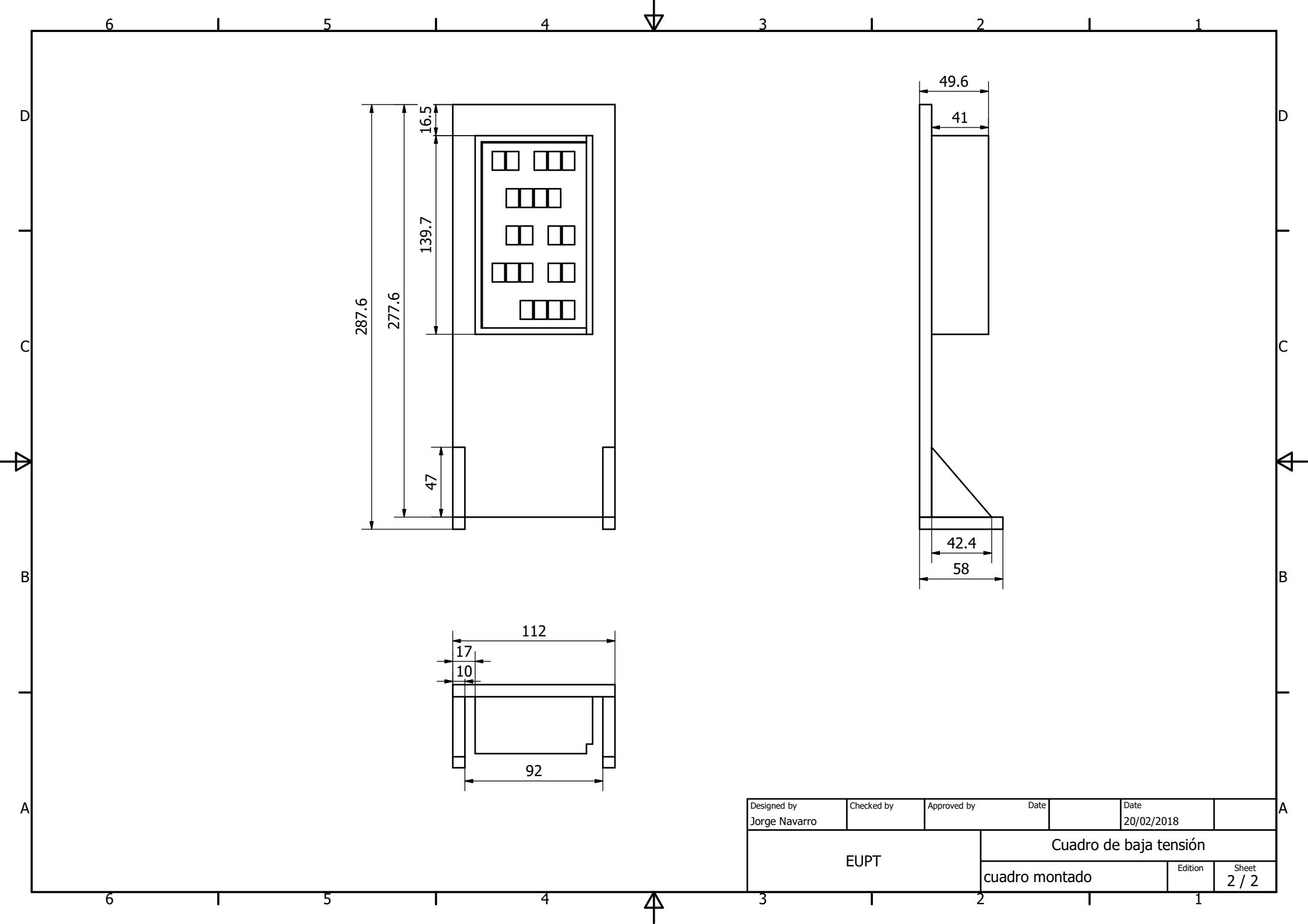


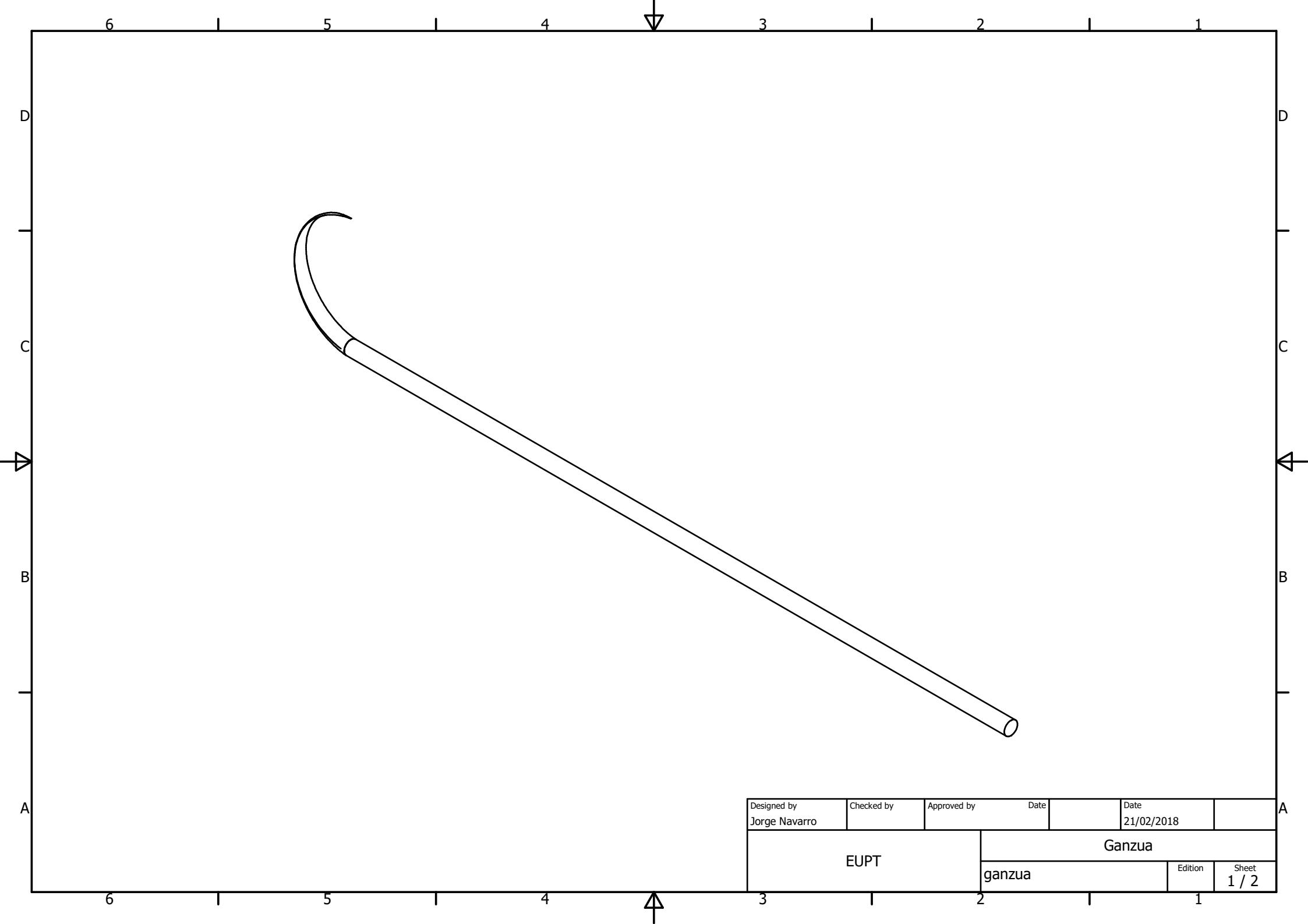












6 5 4 3 2 1

D

D

C

C

→

3

←

B

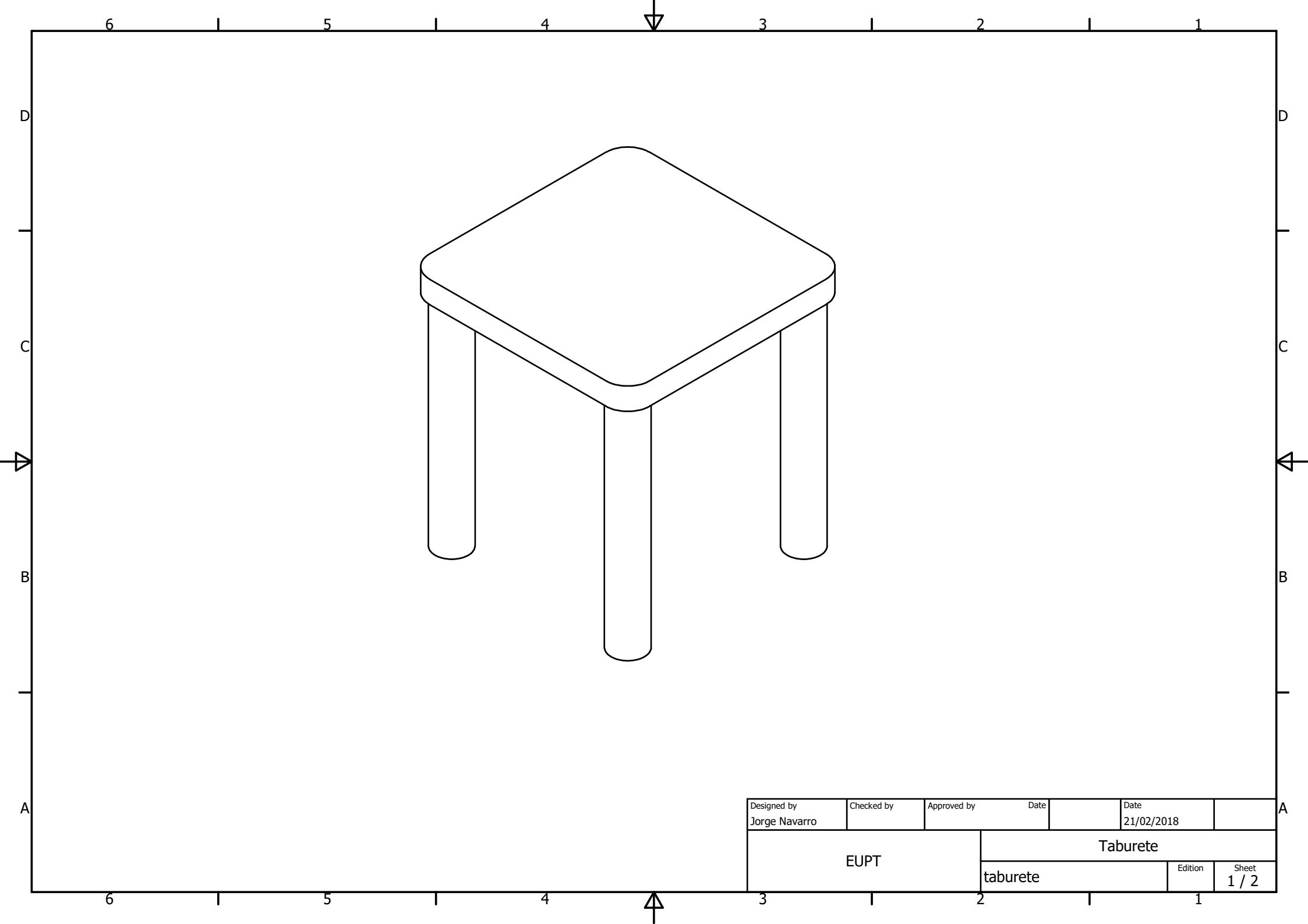
B

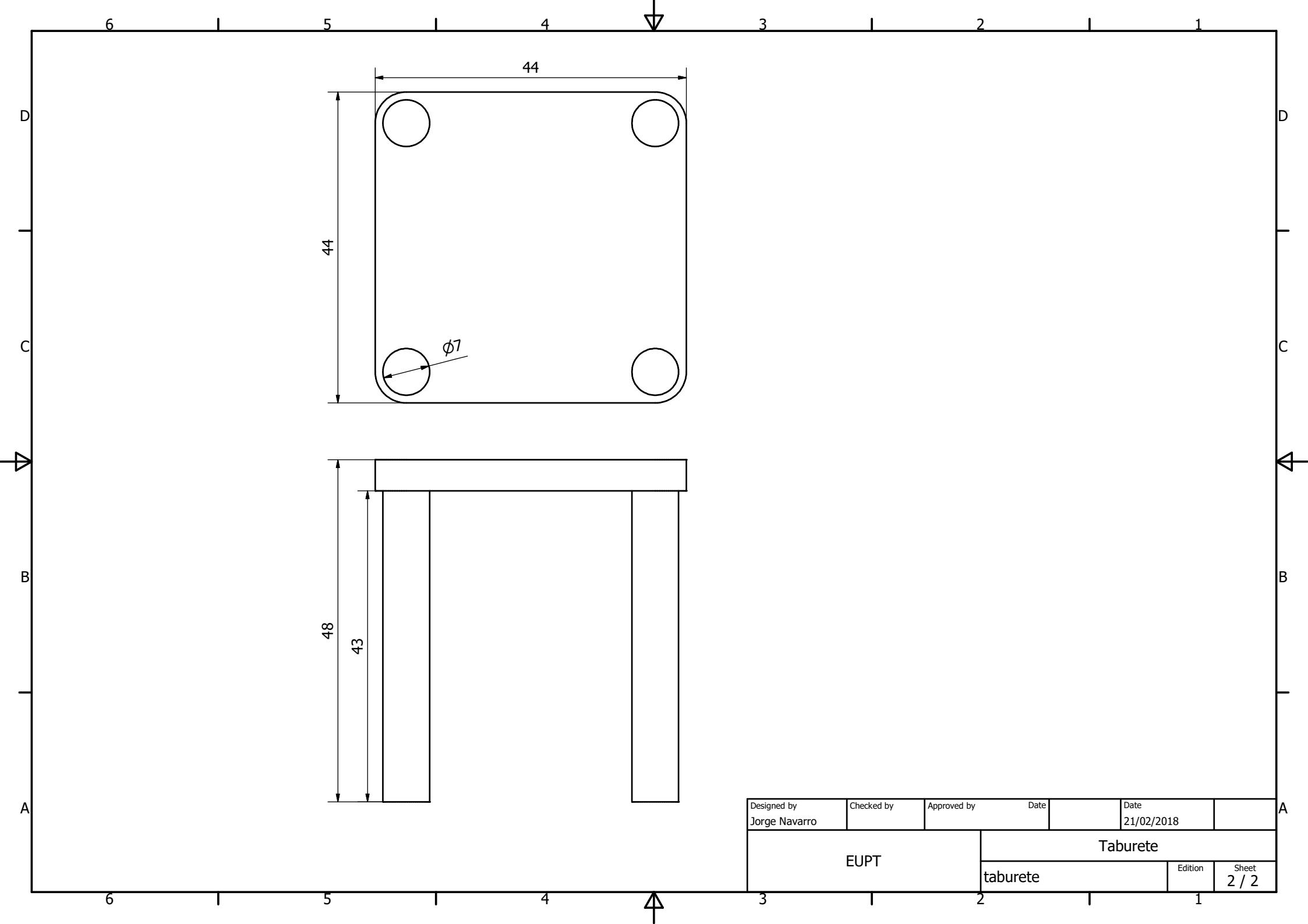
159

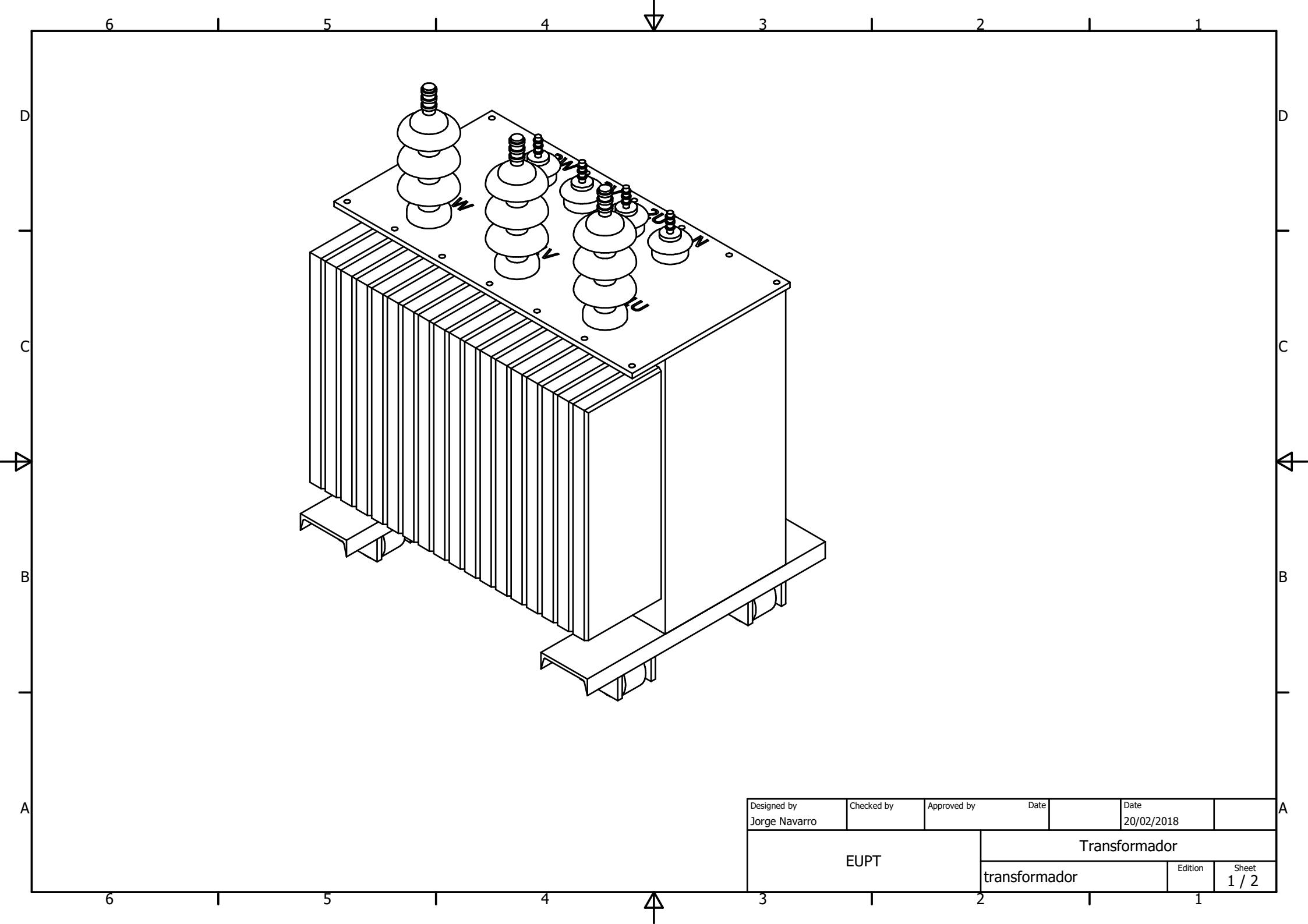
A

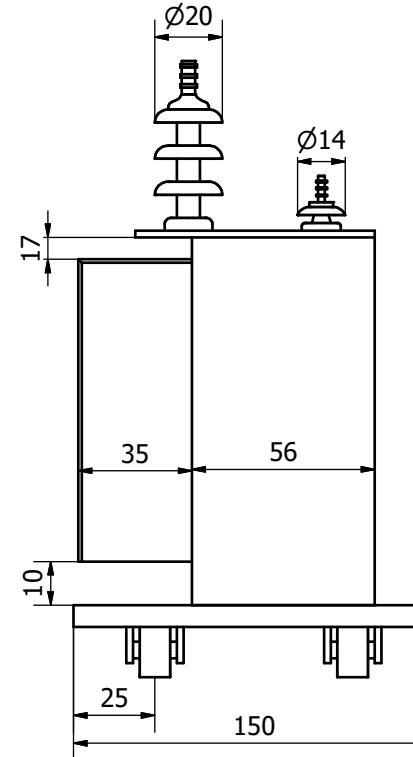
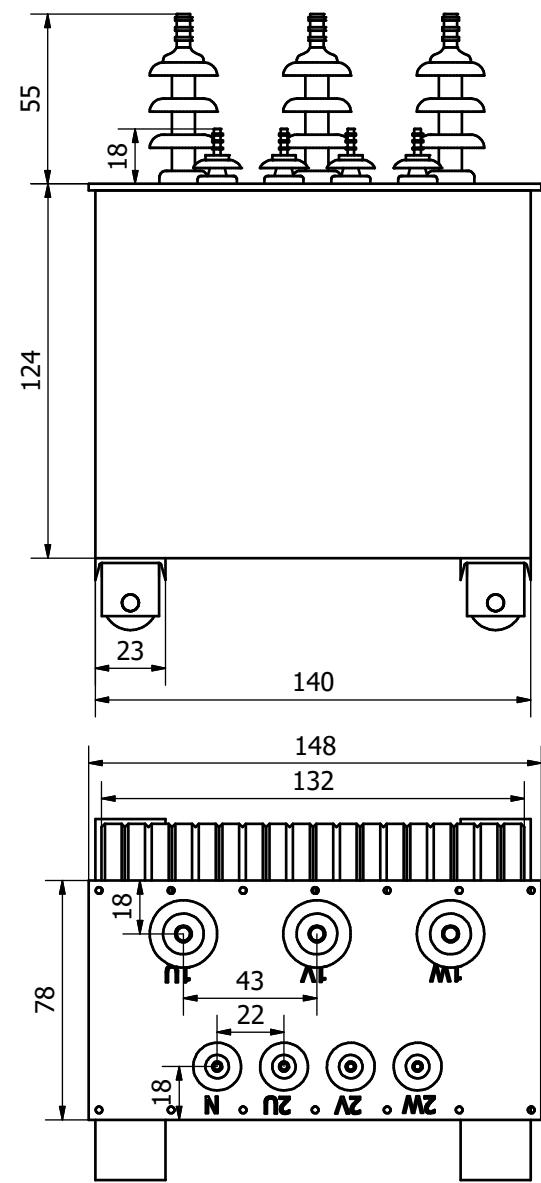
A

Designed by Jorge Navarro	Checked by	Approved by	Date	Date 21/02/2018	
EUPT		Ganzua			
		ganzua	Edition	Sheet 2 / 2	









Designed by Jorge Navarro	Checked by	Approved by	Date	Date 20/02/2018	
EUP T		Transformador transformador			

