



Universidad  
Rey Juan Carlos

**Escuela superior de ciencias experimentales y tecnología**

**GRADO EN INGENIERÍA  
DE TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Trabajo fin de grado

**AUTOMATIZACIÓN DE UN ENSAYO DE MODELO  
ANÁLOGO GEOLÓGICO UTILIZANDO HARDWARE  
LIBRE**

Adrián Zeus Román García

Director: Felipe Machado Sánchez

Curso académico 2019/2020





## **Grado en ingeniería en tecnologías industriales**

### **Trabajo de Fin de Grado (TFG)**

El presente trabajo, titulado **“AUTOMATIZACIÓN DE UN ENSAYO DE MODELO ANÁLOGO GEOLÓGICO UTILIZANDO HARDWARE LIBRE”**, constituye la memoria correspondiente a la asignatura Trabajo de Fin de Grado de D. Adrián Zeus Román García como parte de su formación para obtener el título de graduado en ingeniería en Tecnologías Industriales. Este trabajo ha sido realizado en el **Campus de Móstoles de la URJC** en el **departamento de electrónica** bajo la dirección de **Felipe Machado Sánchez**

Móstoles 18 junio de 2020



# **1. Resumen**

El ensayo de modelo análogo geológico es ensayo muy útil en la predicción de eventos geológicos que no son fáciles de observar por su gran magnitud o larga duración. Consiste en introducir un modelo semejante a lo que se quiere estudiar en una caja con una o dos caras móviles, después se procede a desplazar las caras para deformar el modelo. De esta manera podemos ver cómo reaccionaría lo que se quiere estudiar, pero para poder conseguir una predicción fiable se debe conocer con precisión las variables del experimento como la velocidad o la distancia.

Este proyecto busca solucionar la petición del departamento de Geología de fabricar una maquina capaz de realizar un experimento de modelo análogo, controlada por un sistema electromecánico y debe tener unas dimensiones parecidas a las de un prototipo que fue dado al alumno en formato CAD. Sin embargo, se buscará en la medida de lo posible que el proyecto de instrucciones suficiente para construir la maquina en cualquier parte del mundo utilizando software y hardware libre y el portal GitHub para facilitar tanto los datos del montaje como los programas que se deben instalar.

Este trabajo se estructura para conseguir 4 objetivos principales: la accesibilidad global al proyecto; diseñar una parte electrónica precisa, fiable y sencilla; diseñar la parte mecánica resistente y presupuestar el proyecto.

Para conseguir la **accesibilidad global**, el alumno deberá ser autodidacta y familiarizarse con plataformas de open source como GIT y facilitar a través de esta plataforma instrucciones suficientes para poder replicar el proyecto siguiendo la filosofía “do it yourself” (DIY), para lo que necesitará aprender un nuevo lenguaje de programación.

Para el diseño de la **parte electrónica** del proyecto, alumno realizará un circuito eléctrico y un programa de estados capaz de pedir variables al usuario a través de una sencilla interfaz y de, en función de estas y de los datos obtenidos por los sensores, realizar el experimento y reiniciarse al acabar sin ayuda humana. En este concepto el alumno deberá familiarizarse con el uso de hojas de datos técnicos, el hardware libre y aplicar los conocimientos obtenidos en el grado en las asignaturas de la rama de electrónica y programación

El trabajo relacionado con la **parte mecánica** del proyecto consistirá en analizar el prototipo dado, corregir cualquier parte que considere importante cambiar, diseñar las piezas que falten para poder imprimirlas en 3D y realizar planos suficientes para la comprensión y montaje del proyecto. Para ello el alumno deberá aprender a utilizar programas CAD y de impresión 3D y aplicar sus conocimientos obtenidos en las asignaturas del grado de la rama de mecánica y dibujo técnico.

Para realizar el **presupuesto del proyecto**, el alumno debe realizar mediciones para saber cuántas unidades necesita de cada material, investigar proveedores y calcular el coste material que tiene el proyecto, para lo que deberá el alumno utilizar sus capacidades de búsqueda y utilizar sus conocimientos obtenidos en el grado en la asignatura de proyectos de ingeniería.

## 2. Introducción

### *2.1. Ensayo de modelo análogo*

A la hora de representar una realidad con modelos podemos distinguir 3 tipos: modelos icónicos, análogos, y simbólicos

**Los modelos icónicos** son aquellos que representan un evento real a través de propiedades morfológicas, cambiando la escala, pero conservando las propiedades topológicas.

un ejemplo de estos modelos es una maqueta donde se ha aplicado un factor de escala, este tipo de modelado tienen unas implicaciones menos obvias que pueden ser importantes en algunos casos, como que la relación con la rugosidad no se conserve porque depende de la escala, y esto puede afectar a los resultados.

**Los modelos análogos** son aquellos que poseen algunas propiedades similares al objeto real sin ser una regla morfológica del mismo. Normalmente se utilizan ciertas convenciones que codifican las propiedades del objeto para su lectura.

El modelo análogo o analógico utiliza los principios de escalado para reproducir una situación real que debido a su tamaño y/o duración no es posible observar fácilmente.

Un ejemplo de modelo análogo son los mapas impresos donde se consigue un resultado distinto al objeto real pero que facilita la lectura de algunas propiedades en concreto.

**Los modelos simbólicos** se construyen mediante reglas más abstractas, representando en muchos casos el objeto real de forma matemática.

Un ejemplo es la representación matemática de un edificio permite aplicar algoritmos para calcular esfuerzos.

Los procesos geológicos son especialmente duraderos y grandes por eso esta técnica está muy utilizada en esta rama de la ciencia. Un ejemplo es el proceso de orogenia que puede durar millones de años y afectar a continentes enteros, y con este ensayo se puede representar en unas pocas horas.

Este ensayo consiste en colocar unos materiales con propiedades parecidas a los que queremos emular, lo que llamaremos modelo análogo, en un entorno controlado y aplicar fuerzas y desplazamientos regulados para observar los efectos que producen.

Suele estar compuesto por una caja con 1 o 2 paredes móviles y en algunos casos, 1 o 2 caras transparentes para poder ver el interior de la caja (aunque puede que no tenga caras laterales o que las tenga opacas), en el interior de esta caja se depositan los materiales del experimento, en ocasiones formando capas para representar la interacción entre diferentes materiales y se desplazan las caras móviles controlando la velocidad y duración del experimento para observar los cambios.

El ensayo ha evolucionado desde cuando en 1812 creado por Marion Hall

**La caja de modelado** es el modelo más antiguo y básico porque se acciona a mano, esto hace que se encuentre en muchos centros educativos para que se vean los efectos de forma fácil pero no es muy práctico porque no es sencillo controlar la velocidad y el desplazamiento de forma precisa.

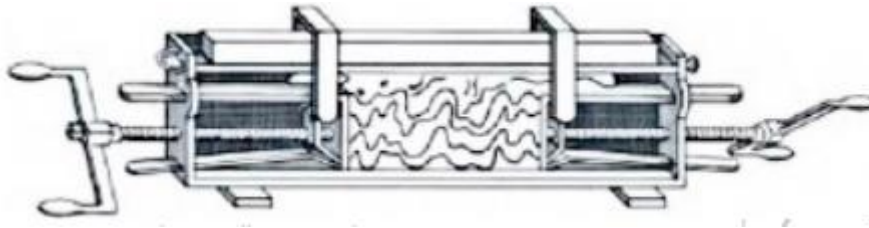


Figura 1: caja de modelado

**El sistema de modelado** es una actualización de la caja de modelado a las nuevas tecnologías de computación y mecánica, consiguiendo mucha más precisión y trazabilidad, consiguiendo velocidades del orden de micras por segundo constantes (nota:  $1\mu\text{m/s} = 3,6\text{ mm/h}$ ).

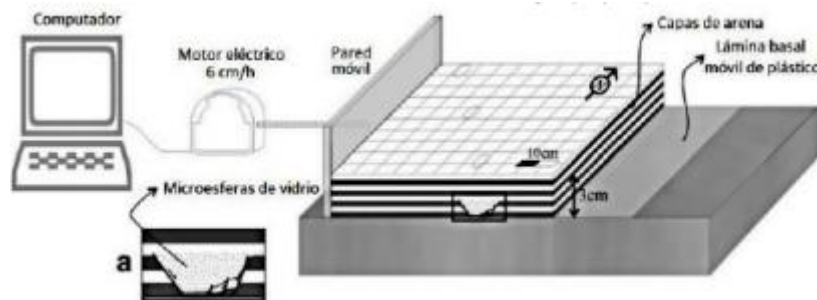


Figura 2 sistema de modelado

## 2.2. Hardware libre, software libre y la filosofía DIY

El concepto de hardware y software libre es el conjunto de programas y piezas de electrónica o maquinas que son de libre acceso a la población, tanto la pieza en si como sus diagramas y datos técnicos, ya sea de forma gratuita o mediante algún tipo de pago haciendo mucho más accesible la electrónica fuera de las empresas.

un ejemplo de hardware y software libre son los dispositivos y programas de la familia Arduino, los cuales tienen sus esquemas y datos técnicos disponibles en internet, puedes descargarte libremente su editor de código (que también permite fácilmente cargar los códigos en los dispositivos Arduino) y subir y descargar paquetes de programas compatibles con estos dispositivos.

Debido a que en los últimos años el libre intercambio de diseños y las impresoras 3D se han normalizado, ha nacido la corriente Do It Yourself (DIY). Esta corriente incita a sus usuarios a no comprar diseños terminados, sino a aprender y compartir el desarrollo tecnológico y construir ellos mismos sus diseños.

Esto permite que afloren muchos equipos de desarrollo científico sin necesitar un alto presupuesto. En particular este TFG utiliza estos conceptos para ser accesible con bajo coste a

nivel internacional, consiguiendo que cualquier universidad, instituto o equipo de personas pueda acceder a esta tecnología.

### ***2.3. GitHub***

GitHub es un portal “open source” de desarrollo colaborativo con control de versiones donde cualquiera puede hacerse una cuenta y subir diseños a repositorios propios de forma libre y gratuita.

Open Source es una expresión de la lengua inglesa que significa fuente abierta, se suele utilizar en el ámbito de la informática para referirse a programas que te dan su código de programación para que cualquiera lo descargue y edite.

GitHub permite el desarrollo colaborativo a través de que en algunos repositorios el autor puede permitir que otros usuarios editen su contenido, facilitando así el trabajo en equipo ya que mucha gente puede trabajar desde diferentes perspectivas en un mismo trabajo de forma sencilla, además, cuando trabajas de esta manera el propio programa te avisa si los archivos que tienes están desfasados respecto de los de la carpeta principal (la que esta subida a la plataforma) y te permite actualizarlos fácilmente.

Del mismo modo, también permite ver que ha cambiado cada vez que se han subido nuevos programas y recuperar información de las versiones anteriores si fuese necesario, de manera que no es necesario conservar muchos programas por miedo a que al realizar cambios dejen de funcionar.



### 3. Objetivos

El proyecto busca crear una nueva máquina para realizar un ensayo de modelo análogo para el área de geología de la universidad Rey Juan Carlos (que actualmente carece de un método para realizar esta práctica).

Durante el desarrollo de este proyecto se deben conseguir los siguientes resultados:

- El diseño debe ser **funcional** que permita la realización del experimento y la fácil medición de la distancia y velocidad a la que se ha realizado el experimento.
- El diseño debe ser **interactivo**, permitiendo cambios en los parámetros del experimento por el usuario.
- El diseño debe ser **intuitivo** y fácilmente utilizable, permitiendo introducir las variables y entender los resultados sin grandes complicaciones.
- El diseño debe ser **resistente**. Durante la ejecución del experimento ninguna pieza debe sufrir daños irreversibles (deformaciones plásticas de los componentes mecánicos, quema de los componentes electrónicos, etc....).
- El diseño debe ser **seguro y didáctico**. Dado que se utilizará para la enseñanza debe poder pararse fácilmente durante el funcionamiento del motor para dar una explicación o prevenir un riesgo y después poder continuar el experimento o terminarlo y que vuelva a su posición de inicio.
- Se deben calcular los límites del diseño como la precisión de las variables del ensayo o la fuerza máxima que puede ejercer.
- Este proyecto debe ser autoexplicativo y accesible a través de GitHub. Los contenidos en el repositorio de GitHub deben ser suficientes para que cualquier persona pueda adquirir todo el material necesario y construir el diseño sin tener conocimientos especiales.
- El diseño se debe utilizar los materiales disponibles en el departamento de electrónica para reducir al máximo el coste de compra de piezas para la universidad.

## 4. Solución técnica

### 4.1. Resultados

Este proyecto termina con un diseño final, que tras analizar el prototipo corrige los fallos que se han encontrado en él e incluye las piezas impresas y un programa para que realice adecuadamente el experimento

El diseño final puede ejercer una fuerza con su puente móvil de 2460 N (unos 246 kg) en movimiento si consideramos un factor de trabajo del 1 y despreciamos las pérdidas por rozamiento, aunque para conseguir un movimiento fluido se recomienda no superar el 80% de su capacidad de carga (aproximadamente 2000 N), el sistema puede conseguir una precisión de 3,2 micras, pero el programa solo consigue una precisión de 15 micras y velocidades regulables entre las 11 micras/s hasta las 117 micras /s.

Entre un diseño y el otro se cambia la longitud de los ejes de acero de los lados de 1100mm a solo 500 mm, porque no es necesaria tanta longitud porque solo se requiere que el puente móvil pueda desplazarse 400mm, y el diseño del puente móvil para reducir las tensiones que sufre (para más información sobre este cambio diríjase al análisis mecánico del proyecto).

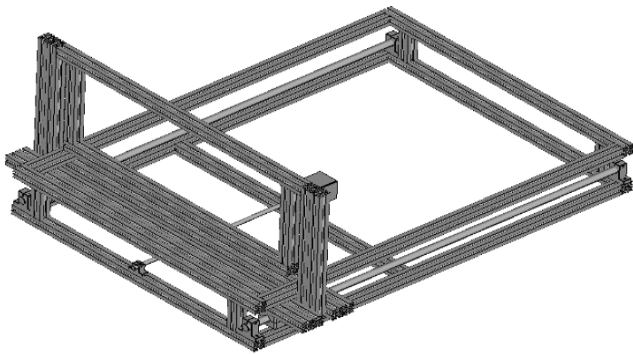


Figura 4: modelo CAD del prototipo

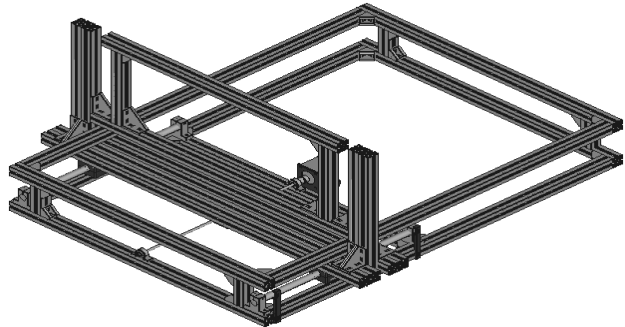


Figura 3: modelo CAD del diseño del ensayo de modelo análogo geológico simple

Por otro lado, también se han incluido las piezas impresas en 3D que se han considerado necesarias, por regla general se han utilizado para unir 2 o mas piezas que de otra manera seria difícil unir

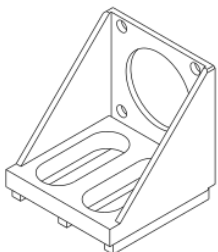


Figura 8: modelo CAD del soporte del motor

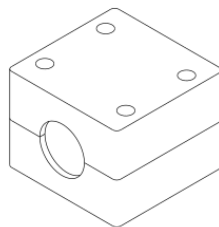


Figura 7: modelo CAD del soporte del cojinete

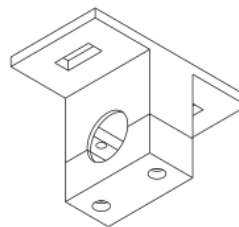


Figura 6: modelo CAD del soporte de la tuerca del husillo



Figura 5: modelo CAD del soporte del fin de carrera

El usuario puede controlar este sistema desde una pantalla LCD con un encoder y un buzzer, de esta manera el programa debe adaptarse a que el usuario solo puede interactuar girando el

encoder en sentido horario o antihorario o presionándolo, y a modo de feedback para que el usuario sienta que la pantalla funciona, cada vez que pulse el encoder sonará el buzzer.



Figura 9: pantalla LCD con encoder y buzzer

El programa que rige el experimento se divide en 6 estados:

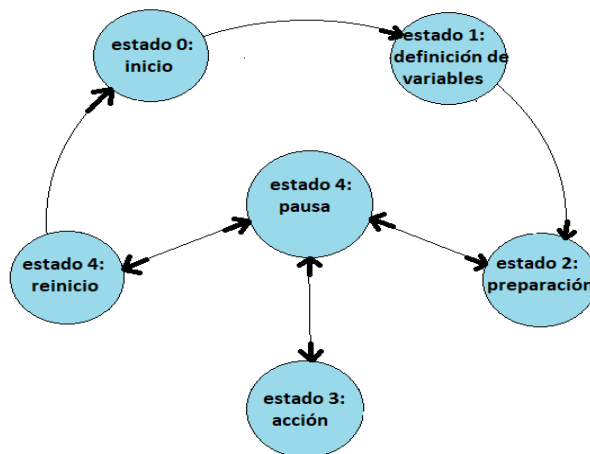


Figura 10: Diagrama de estados del programa del ensayo

**Estado 0 inicio:** Sirve de portada, para esperar hasta que alguien quiera empezar el experimento y para reiniciar todas las variables para que no se arrastre información basura de un experimento al siguiente. Para salir de este estado e ir al estado 1 solo hay que pulsar el encoder.

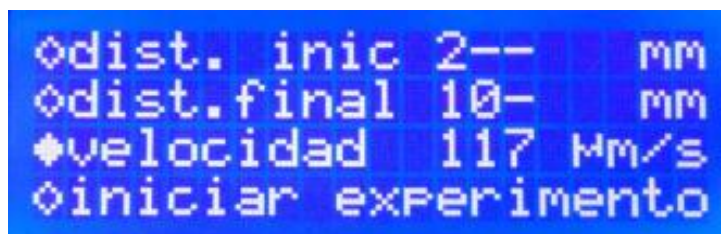


Figura 11: pantalla LCD en el estado 0

**Estado 1 Definición de variables:** En esta etapa el usuario tiene la oportunidad de escoger 3 variables del experimento: “distancia inicial”, que regula hasta donde se mueve el puente móvil antes de empezar el experimento; “distancia final”, que regula el desplazamiento máximo durante el experimento y “velocidad”, que regula a que velocidad se mueve el puente móvil durante el experimento.

Para moverse por la pantalla el usuario puede girar la ruleta del encoder, una vez haya llegado a la variable que desea puede pulsar el encoder y después al girar otra vez el encoder en vez de moverse entre variables empezará a sumar o restar valor a la variable deseada. En el caso de “distancia inicial” y “distancia final” si se pulsa 1 vez se sumará de 100 en 100, si se pulsan 2 se sumarán de 10 en 10 y si se pulsan 3 de 1 en 1 (el incremento mínimo en esta variable es 1 mm). En el caso de la velocidad tiene valores limitados, y cuando giramos avanzamos entre ellos, y al volver a pulsar volvemos a la selección de variables.

Cuando se han editado todas las variables podemos clicar en “iniciar experimento” para avanzar al siguiente estado



*Figura 12: pantalla LCD en el estado 1*

**Estado 2 Preparación:** En este estado la máquina desplaza el puente móvil tan rápido como puede hasta la distancia inicial, supuestamente en esta etapa aun no se debe colocar el modelo análogo en el sistema de modelado porque esta etapa aun no forma parte del ensayo.

Si surge cualquier problema se puede detener el motor pulsando el encoder, e iremos al estado de pausa, desde ahí se puede elegir entre continuar con el experimento como estaba escogiendo “continuar” o reiniciarlo escogiendo “terminar”.

Si el puente móvil alcanza su posición para empezar el experimento, el programa se ira a pausa para dar tiempo a montar el modelo análogo, y se reanudara cuando alguien seleccione “continuar”



*Figura 13: pantalla LCD en el estado 2*

**Estado 3 Acción:** En este estado la máquina se mueve a la velocidad indicada hasta la posición final, durante este proceso se presenta por pantalla la distancia recorrida respecto del objetivo final.

Si surge cualquier problema se puede detener el motor pulsando el encoder, e iremos al estado de pausa, desde ahí se puede elegir entre continuar con el experimento como estaba escogiendo “continuar” o reiniciarlo escogiendo “terminar”.

Si el puente móvil alcanza su posición final o se activa el fin de carrera del final del recorrido, el programa se ira a pausa para dar tiempo tomar las notas que sean necesarias, después cuando se quiera terminar solo se deberá pulsar en” terminar”



*Figura 14: pantalla LCD en estado 3*

**Estado 4 Pausa:** Este es el estado por el que mas veces se pasa durante el experimento y que más cambia porque su interfaz cambia sutilmente en función de donde venga y si ese estado ha terminado o no; caso afirmativo si se selecciona continuar pasamos al estado siguiente y en caso negativo volvemos al estado anterior, en caso de seleccionar “terminar” siempre se va al estado 5 (reinicio).



*Figura 15: pantalla LCD en estado 4*

**Estado 5 Reinicio:** Este estado hace funcionar los motores al revés, haciendo que el puente móvil llegue a su posición inicial, solo se para si alguien pulsa el encoder para ir a pausa (por si hubiese algún peligro) o si se llega a la posición de inicio, en cuyo caso volvemos al estado 0 (inicio)



*Figura 16: pantalla LCD en estado 5*

A modo de extra el alumno ofrece una propuesta de mejora el cual cuenta con mejoras cualitativas como ser capaz de controlar dos puentes móviles a la vez para conseguir mayor variedad en el experimento.

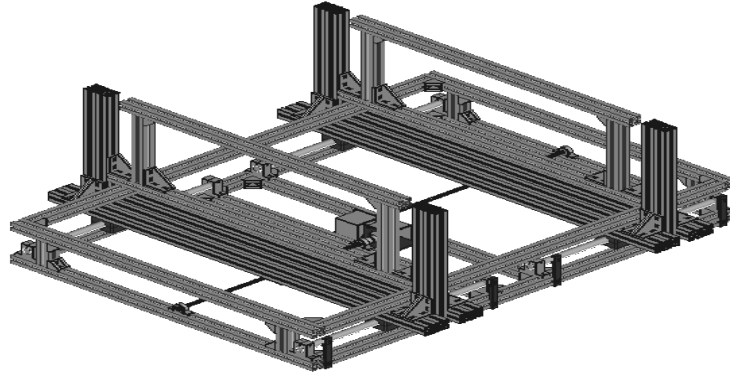


Figura 17: modelo CAD del diseño del ensayo análogo geológico doble

Este diseño no presenta cambios técnicos importantes en el aspecto mecánico, solo instala un segundo puente móvil con todos los sistemas necesarios asociados, haciendo que se pueda montar sobre el primero sin tener que empezar un diseño nuevo de 0 si se decide montar este más adelante.

Sin embargo, obliga a desplazar el sistema de transmisión de fuerza lateralmente 35mm, haciendo que no empuje el puente móvil en su punto medio sino desviado, con las implicaciones que eso tiene para las tensiones, cosa que se deberá tener en cuenta para el calculo de fuerzas máximas admisibles.

Pero donde se ven los cambios mas significativos es en el programa de Arduino, que se ve obligado a desarrollarse para adaptarse a trabajar con 2 motores a los cuales nombramos como X e Y.

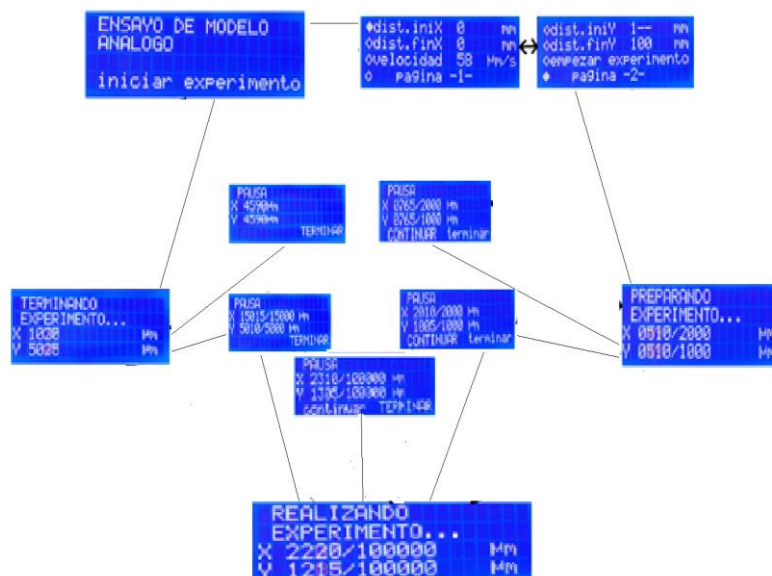


figura 18: Diagrama de pantallas en el programa de ensayo doble



para afrontar este cambio el **estado 1: Definición de variables** debe crear diferentes paginas para hacer cómoda la navegación (porque las variables prácticamente se duplican) e implementar un método de avanzar y retroceder entre ellas sin perder información en el proceso.



figura 19: Pantallas 1 y 2 del estado de definición de variables

En los **estados donde los motores trabajan**, se indica la posición de estos durante el experimento; se ha considerado que no siempre se quieren utilizar los dos motores, de esta manera solo aparecen en pantalla el desplazamiento de los puentes móviles que se estén moviendo o se hayan movido durante el experimento.

Por ejemplo, si se quieren mover ambos motores en la fase de preparación en ese momento aparecerá por pantalla la posición de ambos puentes móviles, pero si al llegar al estado 3 Acción, donde tiene lugar el experimento en sí, solo se quiere utilizar el puente X solo aparecerá este por pantalla.



figura 20: Pantalla LCD durante el movimiento de motores

El estado de pausa ahora debe presentar 2 variables, y al poder escribir solo 4 líneas eso obliga a optimizar como se presenta las opciones de continuar y terminar porque no se puede mantener el diseño anterior de selección en vertical (que necesita 2 filas para escoger) con un indicador en forma de “o” llena o vacía.

Se aprovecho esta oportunidad para implementar un diseño mas limpio donde se sabe cual variable se ha escogido porque está en mayúsculas y al cambiar de variable, la no seleccionada, cambia automáticamente a minúsculas



figura 21: comparativa entre la pantalla de pausa del diseño simple y el doble

## 4.2. Accesibilidad y utilización del proyecto

Todos los documentos se encuentran accesibles en el repositorio “tfg” del usuario “zeus97roman” (<https://github.com/zeus97roman/tfg>).

En la carpeta

[illegible][illegible]





## ANEXOS

### 1. LISTA DE PIEZAS DEL ENSAYO DE MODELO ANALOGO GEOLOGICO SIMPLE

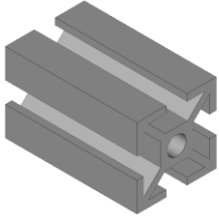
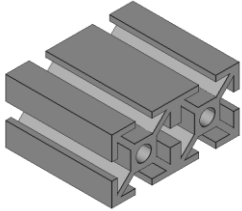


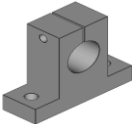
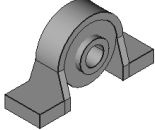
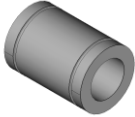
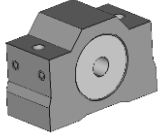
Ilustración	nombre	Número de piezas	proveedor	Enlace de compra
	Perfil 30x30 L90mm	4	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Perfil-Ranurado/Perfil-30-Tipo-B-ranura-8/Perfil-30x30-Tipo-B-ran-8::99999432.html">https://www.motedis.es/shop/Perfil-Ranurado/Perfil-30-Tipo-B-ranura-8/Perfil-30x30-Tipo-B-ran-8::99999432.html</a>
	Perfil 30x30 L250mm	2		
	Perfil 30x30 L740mm	2		
	Perfil 30x30 L800mm	4		
	Perfil 30x30 L810mm	1		
	Perfil 30x30 L1060mm	4		
	Perfil 30x60 L400mm	2	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Perfil-Ranurado/Perfil-30-Tipo-B-ranura-8/Perfil-30x60-Tipo-B-ran-8::99999436.html">https://www.motedis.es/shop/Perfil-Ranurado/Perfil-30-Tipo-B-ranura-8/Perfil-30x60-Tipo-B-ran-8::99999436.html</a>
	Perfil 30x60 L1000mm	2		
	Eje acero D20mm L500mm	2	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Modulos/Cojinete-del-bola-20-Forma-de-pe/Eje-acero-de-precision-%D820mm::999996499.html">https://www.motedis.es/shop/Modulos/Cojinete-del-bola-20-Forma-de-pe/Eje-acero-de-precision-%D820mm::999996499.html</a>
	Husillo TR 8mmx1,5mm	1	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Dinamica-Unidad-lineal/Husillo-trapezoidal-accesorios/Husillo-Trapezoidal/Acero-Husillo-de-rosca-trapezoidal/Husillo-de-rosca-trapezoidal-RPTS-derecha-TR-8x15-L%3D500mm::999993952.html">https://www.motedis.es/shop/Dinamica-Unidad-lineal/Husillo-trapezoidal-accesorios/Husillo-Trapezoidal/Acero-Husillo-de-rosca-trapezoidal/Husillo-de-rosca-trapezoidal-RPTS-derecha-TR-8x15-L%3D500mm::999993952.html</a>
	Soporte eje SH20/SK20	4	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Modulos/Cojinete-del-bola-20-Forma-de-pe/Soportes-para-ejes-SH20-SK20::999991255.html">https://www.motedis.es/shop/Modulos/Cojinete-del-bola-20-Forma-de-pe/Soportes-para-ejes-SH20-SK20::999991255.html</a>
	Rodamiento 8mm con brida a 90°	2	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Dinamica-Unidad-lineal/Rodamiento-con-brida-90G-KP/Rodamiento-con-brida-90%B0-8mm-KP08::999995357.html">https://www.motedis.es/shop/Dinamica-Unidad-lineal/Rodamiento-con-brida-90G-KP/Rodamiento-con-brida-90%B0-8mm-KP08::999995357.html</a>
	Cojinete LME20UU	4	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Dinamica-Unidad-lineal/Cojinete-lineal/Cojinete-Lineal-Estandar-sin-Alojamiento/Cojinete-lineal-20mm-LME20UU::999991278.html">https://www.motedis.es/shop/Dinamica-Unidad-lineal/Cojinete-lineal/Cojinete-Lineal-Estandar-sin-Alojamiento/Cojinete-lineal-20mm-LME20UU::999991278.html</a>
	Tuerca Trapezoidal de plomo para husillo 8x1,5 R	1	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Dinamica-Unidad-lineal/Husillo-trapezoidal-accesorios/Tuerca-Trapezoidal/Tuerca-de-husillo-trapezoidal-Bronce-rojo-con-caja-de-Aluminio/Trapezoidal-plomo-tuerca-8x15-R-bronce-rojo-con-caja-de-aluminio::999993741.html">https://www.motedis.es/shop/Dinamica-Unidad-lineal/Husillo-trapezoidal-accesorios/Tuerca-Trapezoidal/Tuerca-de-husillo-trapezoidal-Bronce-rojo-con-caja-de-Aluminio/Trapezoidal-plomo-tuerca-8x15-R-bronce-rojo-con-caja-de-aluminio::999993741.html</a>

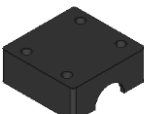
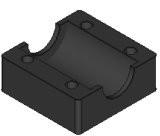
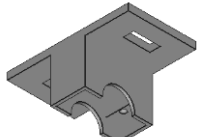
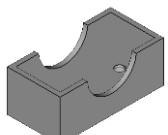
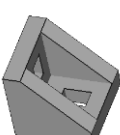
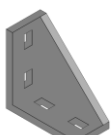





Ilustración	nombre	Número de piezas	proveedor	Enlace de compra
	Soporte cojinete LME20UU (top)	4	-	<b>IMPRESO 3D</b>
	Soporte cojinete LME20UU (botton)	4	-	<b>IMPRESO 3D</b>
	Soporte Tuerca husillo (Top)	1	-	<b>IMPRESO 3D</b>
	Soporte Tuerca husillo (botton)	1	-	<b>IMPRESO 3D</b>
	Escuadra 30x30	14	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Accesorios-para-Perfil-Ranurado/Accesorios-Perfil-20-Tipo-B-Ranura-6/Conectores-y-angulos-para-ranura-6-tipo-B/Singleparts/Bracket/Escuadra-30-tipo-B::999991057.html">https://www.motedis.es/shop/Accesorios-para-Perfil-Ranurado/Accesorios-Perfil-20-Tipo-B-Ranura-6/Conectores-y-angulos-para-ranura-6-tipo-B/Singleparts/Bracket/Escuadra-30-tipo-B::999991057.html</a>
	Escuadra 30x60	8	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Accesorios-para-Perfil-Ranurado/Accesorios-Perfil-20-Tipo-B-Ranura-6/Conectores-y-angulos-para-ranura-6-tipo-B/Singleparts/Bracket/Escuadra-30x60-tipo-B::99999332.html">https://www.motedis.es/shop/Accesorios-para-Perfil-Ranurado/Accesorios-Perfil-20-Tipo-B-Ranura-6/Conectores-y-angulos-para-ranura-6-tipo-B/Singleparts/Bracket/Escuadra-30x60-tipo-B::99999332.html</a>
	Acoplamiento flexible 6.35/8mm	1	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Dinamica-Unidad-lineal/Acoplamiento/Acoplamiento-RB/Ejes-acoplamiento-flexibles-Mot-D20L25-635-8mm::999994106.html">https://www.motedis.es/shop/Dinamica-Unidad-lineal/Acoplamiento/Acoplamiento-RB/Ejes-acoplamiento-flexibles-Mot-D20L25-635-8mm::999994106.html</a>
	Motor paso a paso, Nema 23	1	bricogeek	<a href="https://tienda.bricogeek.com/motores-paso-a-paso/422-motor-paso-a-paso-9-kg-cm.html">https://tienda.bricogeek.com/motores-paso-a-paso/422-motor-paso-a-paso-9-kg-cm.html</a>
	ARDUINO MEGA 2560	1	hta3d	<a href="https://www.hta3d.com/es/mega-2560-r3-compatible-16u2">https://www.hta3d.com/es/mega-2560-r3-compatible-16u2</a>
	Controlador POLOLU DRV8825	1	hta3d	<a href="https://www.hta3d.com/es/drv8825">https://www.hta3d.com/es/drv8825</a>
	CNC shield RAMPS 1.4	1	hta3d	<a href="https://www.hta3d.com/es/ramps-1-4">https://www.hta3d.com/es/ramps-1-4</a>

Ilustración	nombre	Número de piezas	proveedor	Enlace de compra
	Pantalla LCD	1	hta3d	<a href="https://www.hta3d.com/es/pantalla-2004-lcd-smart-controller">https://www.hta3d.com/es/pantalla-2004-lcd-smart-controller</a>
	Fin de carrera	2	hta3d	<a href="https://www.hta3d.com/es/final-carrera-mecanico-kw12-3">https://www.hta3d.com/es/final-carrera-mecanico-kw12-3</a>
	Soporte para fin de carrera	2	-	<b>IMPRESO 3D</b>
	Tornillo DIN 912 M6x12		motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Basicos-Mecanica/Basico-Basicos/DIN-pieza-normalizada/Tornillos-DIN/Tornillo-DIN-912::999991121.html">https://www.motedis.es/shop/Basicos-Mecanica/Basico-Basicos/DIN-pieza-normalizada/Tornillos-DIN/Tornillo-DIN-912::999991121.html</a>
	Tornillo DIN 912 M6x40			
	Tornillo DIN 912 M2x12			
	Tuerca Martillo M6		motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Accesorios-para-Perfil-Ranurado/Accesorios-Perfil-30-Tipo-B-Ranura-8/Sliding-nuts-suitable-for-Nut-8-B-type/Tuerca-martillo-ran-8-tipo-B-M4-M5-M6::999998941.html">https://www.motedis.es/shop/Accesorios-para-Perfil-Ranurado/Accesorios-Perfil-30-Tipo-B-Ranura-8/Sliding-nuts-suitable-for-Nut-8-B-type/Tuerca-martillo-ran-8-tipo-B-M4-M5-M6::999998941.html</a>
	Tuerca Hexagonal M2		amazon	<a href="https://www.amazon.es/Hexagonal-BiuZi-Sujetador-Galvanizado-Opcional/dp/B07WVW7SNJ/ref=sr_1_5?adgrpid=56245435815&amp;dchild=1&amp;gclid=CjwKCAjw57b3BRBIEiwA1ImytoWNUGeW0C05f9XdYYopxTdmjMwnkR2RhCUCm_iKUvsj2iZ8_mHfHBoC3V0QAvD_BwE&amp;hvadid=275347028870&amp;hvdev=c&amp;hvlocphy=9047044&amp;hvnetw=g&amp;hvqmt=e&amp;hvransd=551291719288938984&amp;hvtargid=kwd-327827106366&amp;hydadcr=1431_1736081&amp;keywords=tuerca+m2&amp;qid=1592722156&amp;sr=8-5&amp;tag=hydes-21">https://www.amazon.es/Hexagonal-BiuZi-Sujetador-Galvanizado-Opcional/dp/B07WVW7SNJ/ref=sr_1_5?adgrpid=56245435815&amp;dchild=1&amp;gclid=CjwKCAjw57b3BRBIEiwA1ImytoWNUGeW0C05f9XdYYopxTdmjMwnkR2RhCUCm_iKUvsj2iZ8_mHfHBoC3V0QAvD_BwE&amp;hvadid=275347028870&amp;hvdev=c&amp;hvlocphy=9047044&amp;hvnetw=g&amp;hvqmt=e&amp;hvransd=551291719288938984&amp;hvtargid=kwd-327827106366&amp;hydadcr=1431_1736081&amp;keywords=tuerca+m2&amp;qid=1592722156&amp;sr=8-5&amp;tag=hydes-21</a>

## 2. LISTA DE PIEZAS DEL ENSAYO DE MODELO ANÁLOGO GEOLÓGICO DOBLE

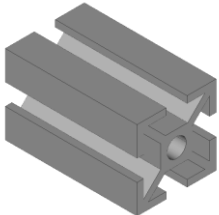
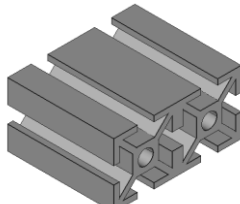

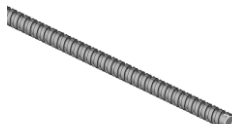
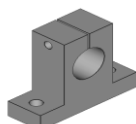
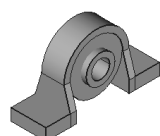
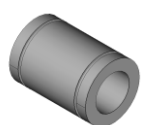
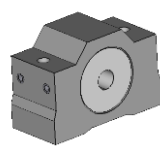
Ilustración	nombre	Número de piezas	proveedor	Enlace de compra
	Perfil 30x30 L90mm	4	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Perfil-Ranurado/Perfil-30-Tipo-B-ranura-8/Perfil-30x30-Tipo-B-ran-8::99999432.html">https://www.motedis.es/shop/Perfil-Ranurado/Perfil-30-Tipo-B-ranura-8/Perfil-30x30-Tipo-B-ran-8::99999432.html</a>
	Perfil 30x30 L250mm	4		
	Perfil 30x30 L740mm	4		
	Perfil 30x30 L800mm	4		
	Perfil 30x30 L810mm	2		
	Perfil 30x30 L1060mm	4		
	Perfil 30x60 L400mm	4	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Perfil-Ranurado/Perfil-30-Tipo-B-ranura-8/Perfil-30x60-Tipo-B-ran-8::99999436.html">https://www.motedis.es/shop/Perfil-Ranurado/Perfil-30-Tipo-B-ranura-8/Perfil-30x60-Tipo-B-ran-8::99999436.html</a>
	Perfil 30x60 L1000mm	4		
	Eje acero D20mm L500mm	4	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Modulos/Cojinete-del-bola-20-Forma-de-pe/Eje-acero-de-precision-%D820mm::999996499.html">https://www.motedis.es/shop/Modulos/Cojinete-del-bola-20-Forma-de-pe/Eje-acero-de-precision-%D820mm::999996499.html</a>
	Husillo TR 8mmx1,5mm	2	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Dinamica-Unidad-lineal/Husillo-trapezoidal-accesorios/Husillo-Trapezoidal/Acero-Husillo-de-rosca-trapezoidal/Husillo-de-rosca-trapezoidal-RPTS-derecha-TR-8x15-L%3D500mm::999993952.html">https://www.motedis.es/shop/Dinamica-Unidad-lineal/Husillo-trapezoidal-accesorios/Husillo-Trapezoidal/Acero-Husillo-de-rosca-trapezoidal/Husillo-de-rosca-trapezoidal-RPTS-derecha-TR-8x15-L%3D500mm::999993952.html</a>
	Soporte eje SH20/SK20	8	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Modulos/Cojinete-del-bola-20-Forma-de-pe/Soportes-para-ejes-SH20-SK20::999991255.html">https://www.motedis.es/shop/Modulos/Cojinete-del-bola-20-Forma-de-pe/Soportes-para-ejes-SH20-SK20::999991255.html</a>
	Rodamiento 8mm con brida a 90°	4	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Dinamica-Unidad-lineal/Rodamiento-con-brida-90G-KP/Rodamiento-con-brida-90%B0-8mm-KP08::999995357.html">https://www.motedis.es/shop/Dinamica-Unidad-lineal/Rodamiento-con-brida-90G-KP/Rodamiento-con-brida-90%B0-8mm-KP08::999995357.html</a>
	Cojinete LME20UU	8	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Dinamica-Unidad-lineal/Cojinete-lineal/Cojinete-Lineal-Estandar-sin-Alojamiento/Cojinete-lineal-20mm-LME20UU::999991278.html">https://www.motedis.es/shop/Dinamica-Unidad-lineal/Cojinete-lineal/Cojinete-Lineal-Estandar-sin-Alojamiento/Cojinete-lineal-20mm-LME20UU::999991278.html</a>
	Tuerca Trapezoidal de plomo para husillo 8x1,5 R	2	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Dinamica-Unidad-lineal/Husillo-trapezoidal-accesorios/Tuerca-Trapezoidal/Tuerca-de-husillo-trapezoidal-Bronce-rojo-con-caja-de-Aluminio/Trapezoidal-plomo-tuerca-8x15-R-bronce-rojo-con-caja-de-aluminio::999993741.html">https://www.motedis.es/shop/Dinamica-Unidad-lineal/Husillo-trapezoidal-accesorios/Tuerca-Trapezoidal/Tuerca-de-husillo-trapezoidal-Bronce-rojo-con-caja-de-Aluminio/Trapezoidal-plomo-tuerca-8x15-R-bronce-rojo-con-caja-de-aluminio::999993741.html</a>

Ilustración	nombre	Número de piezas	proveedor	Enlace de compra
	Soporte cojinete LME20UU (top)	8	-	<b>IMPRESO 3D</b>
	Soporte cojinete LME20UU (botton)	8	-	<b>IMPRESO 3D</b>
	Soporte Tuerca husillo (Top)	2	-	<b>IMPRESO 3D</b>
	Soporte Tuerca husillo (botton)	2	-	<b>IMPRESO 3D</b>
	Escuadra 30x30	18	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Accesorios-para-Perfil-Ranurado/Accesorios-Perfil-20-Tipo-B-Ranura-6/Conectores-y-angulos-para-ranura-6-tipo-B/Singleparts/Bracket/Escuadra-30-tipo-B::999991057.html">https://www.motedis.es/shop/Accesorios-para-Perfil-Ranurado/Accesorios-Perfil-20-Tipo-B-Ranura-6/Conectores-y-angulos-para-ranura-6-tipo-B/Singleparts/Bracket/Escuadra-30-tipo-B::999991057.html</a>
	Escuadra 30x60	16	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Accesorios-para-Perfil-Ranurado/Accesorios-Perfil-20-Tipo-B-Ranura-6/Conectores-y-angulos-para-ranura-6-tipo-B/Singleparts/Bracket/Escuadra-30x60-tipo-B::99999332.html">https://www.motedis.es/shop/Accesorios-para-Perfil-Ranurado/Accesorios-Perfil-20-Tipo-B-Ranura-6/Conectores-y-angulos-para-ranura-6-tipo-B/Singleparts/Bracket/Escuadra-30x60-tipo-B::99999332.html</a>
	Acoplamiento flexible 6.35/8mm	2	motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Dinamica-Unidad-lineal/Acoplamiento/Acoplamiento-RB/Ejes-acoplamiento-flexibles-Mot-D20L25-635-8mm::999994106.html">https://www.motedis.es/shop/Dinamica-Unidad-lineal/Acoplamiento/Acoplamiento-RB/Ejes-acoplamiento-flexibles-Mot-D20L25-635-8mm::999994106.html</a>
	Motor paso a paso, Nema 23	2	bricogeek	<a href="https://tienda.bricogeek.com/motores-paso-a-paso/422-motor-paso-a-paso-9-kg-cm.html">https://tienda.bricogeek.com/motores-paso-a-paso/422-motor-paso-a-paso-9-kg-cm.html</a>
	ARDUINO MEGA 2560	1	hta3d	<a href="https://www.hta3d.com/es/mega-2560-r3-compatible-16u2">https://www.hta3d.com/es/mega-2560-r3-compatible-16u2</a>
	Controlador POLOLU DRV8825	1	hta3d	<a href="https://www.hta3d.com/es/drv8825">https://www.hta3d.com/es/drv8825</a>
	CNC shield RAMPS 1.4	1	hta3d	<a href="https://www.hta3d.com/es/ramps-1-4">https://www.hta3d.com/es/ramps-1-4</a>

Ilustración	nombre	Número de piezas	proveedor	Enlace de compra
	Pantalla LCD	1	hta3d	<a href="https://www.hta3d.com/es/pantalla-2004-lcd-smart-controller">https://www.hta3d.com/es/pantalla-2004-lcd-smart-controller</a>
	Fin de carrera	4	hta3d	<a href="https://www.hta3d.com/es/final-carrera-mecanico-kw12-3">https://www.hta3d.com/es/final-carrera-mecanico-kw12-3</a>
	Soporte para fin de carrera	4	-	<b>IMPRESO 3D</b>
	Tornillo DIN 912 M6x12		motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Basicos-Mecanica/Basico-Basicos/DIN-pieza-normalizada/Tornillos-DIN/Tornillo-DIN-912::999991121.html">https://www.motedis.es/shop/Basicos-Mecanica/Basico-Basicos/DIN-pieza-normalizada/Tornillos-DIN/Tornillo-DIN-912::999991121.html</a>
	Tornillo DIN 912 M6x40			
	Tornillo DIN 912 M2x12			
	Tuerca Martillo M6		motedis	<a href="https://www.motedis.es/shop/Accesorios-para-Perfil-Ranurado/Accesorios-Perfil-30-Tipo-B-Ranura-8/Sliding-nuts-suitable-for-Nut-8-B-type/Tuerca-martillo-ran-8-tipo-B-M4-M5-M6::999998941.html">https://www.motedis.es/shop/Accesorios-para-Perfil-Ranurado/Accesorios-Perfil-30-Tipo-B-Ranura-8/Sliding-nuts-suitable-for-Nut-8-B-type/Tuerca-martillo-ran-8-tipo-B-M4-M5-M6::999998941.html</a>
	Tuerca Hexagonal M2		amazon	<a href="https://www.amazon.es/Hexagonal-BiuZi-Sujetador-Galvanizado-Opcional/dp/B07WVW7SNJ/ref=sr_1_5?adgrpid=56245435815&amp;dchild=1&amp;gclid=CjwKCAjw57b3BRBIEiwA1ImytoWNUGeW0C05f9XdYYopxTdmjMwnkR2RhCUCm_iKUvsj2iZ8_mHfHBoC3V0QAvD_BwE&amp;hvadid=275347028870&amp;hvdev=c&amp;hvlocphy=9047044&amp;hvnetw=g&amp;hvqmt=e&amp;hvransd=551291719288938984&amp;hvtargid=kwd-327827106366&amp;hydadcr=1431_1736081&amp;keywords=tuerca+m2&amp;qid=1592722156&amp;sr=8-5&amp;tag=hydes-21">https://www.amazon.es/Hexagonal-BiuZi-Sujetador-Galvanizado-Opcional/dp/B07WVW7SNJ/ref=sr_1_5?adgrpid=56245435815&amp;dchild=1&amp;gclid=CjwKCAjw57b3BRBIEiwA1ImytoWNUGeW0C05f9XdYYopxTdmjMwnkR2RhCUCm_iKUvsj2iZ8_mHfHBoC3V0QAvD_BwE&amp;hvadid=275347028870&amp;hvdev=c&amp;hvlocphy=9047044&amp;hvnetw=g&amp;hvqmt=e&amp;hvransd=551291719288938984&amp;hvtargid=kwd-327827106366&amp;hydadcr=1431_1736081&amp;keywords=tuerca+m2&amp;qid=1592722156&amp;sr=8-5&amp;tag=hydes-21</a>