

Proyecto Fin de Grado

Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Diseño y fabricación de prototipo simplificado de un
mecanismo multifunción

Autor: Antonio Moreno López

Tutor: Aida Estévez Urra

Dpto. Ingeniería Mecánica y Fabricación
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021



Proyecto Fin de Grado
Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Diseño y fabricación de prototipo simplificado de un mecanismo multifunción

Autor:

Antonio Moreno López

Tutor:

Aida Estévez Urra

Profesora colaboradora

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Fabricación

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021

Proyecto Fin de Carrera: Diseño y fabricación de prototipo simplificado de un mecanismo multifunción

Autor: Antonio Moreno López

Tutor: Aida Estévez Urra

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Sevilla, 2021

Agradecimientos:

Me gustaría agradecer a mi familia, mis amigos y a todas las personas que me han acompañado a lo largo de estos años.

Resumen:

El mundo cambia día a día y la tecnología avanza rápidamente ayudando a su crecimiento. Sin embargo, hay ciertas prácticas que se mantienen similares a como se realizaban cientos de años atrás.

Una de estas prácticas que poco han cambiado a lo largo de la historia es el arte del dibujo corporal, o como se conoce actualmente, tatuajes.

Es por ello que debido a la amplia demanda actual de los mismos, por parte fundamentalmente del público joven, se plantea una idea, ¿porqué no utilizar la tecnología para facilitar la ejecución de estos dibujos e incluso poder modificarlos una vez realizados si fuera necesario?

A lo largo de este proyecto se ha desarrollado el diseño completo de una máquina empleada para la impresión de tatuajes temporales sobre la piel.

En este documento, se muestra una primera etapa con bocetos iniciales a papel mostrando las ideas que surgieron y el planteamiento de los mecanismos para la movilidad del conjunto creado.

A partir de los primeros conceptos desarrollados, se realizan una serie de diseños en 3D que muestran lo que podrían ser las piezas que conformarían la máquina en cuestión, y como serían las conexiones entre las mismas para un funcionamiento colectivo.

Tras analizar los modelos creados y encontrar varios problemas en los planteamientos, se contempla la opción de elaborar un prototipo alternativo que proporcionara mayor fiabilidad.

La creación de la máquina definitiva se llevó a cabo partiendo de las soluciones a los inconvenientes encontrados en los prototipos anteriores. El diseño de las piezas se acompaña en todo momento con simulaciones en programas informáticos para el análisis de esfuerzos y desplazamientos en las mismas durante su funcionamiento.

Para comprobar que todo lo elaborado informáticamente podría ser desarrollado físicamente, se inicia la producción de un prototipo simplificado empleando procesos de fabricación aditiva.

Por último, se acompaña la creación física del prototipo con un sistema electrónico y un código informático que permita comprobar que todo el conjunto realiza su función de manera correcta.

Índice:

1. Introducción	13
1.1. Antecedentes	13
1.2. Objetivos	15
1.3. Tareas a Desarrollar	16
2. Propuestas tecnológicas iniciales	17
2.1. Primeros bocetos	17
2.2. Primeros diseños en 3D	22
2.3. Descripción detallada de elementos y movimientos	25
2.4. Elección de materiales y simulaciones	32
3. Diseño definitivo	41
3.1. Descripción general de elementos	41
3.2. Descripción detallada de elementos	43
3.2.1. Guía circular	43
3.2.2. Guía lineal	47
3.2.3. Conjunto de tornillos y guías de soporte de peso	49
3.2.4. Uniones abisagradas	52
3.2.5. Soportes extremos y placa base	56
3.3. Introducción a la fabricación del prototipo	59
3.4. Pasos para la fabricación del prototipo	64
3.5. Resultado final	72
4. Electrónica y programación	73
4.1. Electrónica	73
4.2. Programación	81
5. Conclusiones y trabajos futuros	88
6. Bibliografía	90
ANEXO	94

1. Introducción

1.1. Antecedentes

Una de las actividades de moda que en los últimos años se está realizando fundamentalmente en el ámbito juvenil (aunque cada vez se está extendiendo más a todas las franjas de edad) consiste en hacerse dibujos permanentes en la piel a modo de marcas con diferentes significados que pueden describir desde vivencias, formas de ser, sentimientos, etc., hasta simples formas decorativas que tratan de mejorar la estética del cuerpo humano.

Esta serie de dibujos permanentes comentados en el párrafo anterior reciben el nombre de tatuajes (Figura 1.1.) y son realizados por expertos en la materia (tatuadores) a través de una máquina (Figura 1.2.) que introduce una aguja repetidas veces en la segunda capa de la piel humana (dermis). Dicha aguja es mojada por el tatuador en cuestión en tinta de diferentes colores formando una imagen en la piel. El tatuaje adquiere la condición de permanente debido a que la segunda capa de la piel no se regenera con el tiempo.



Figura 1.1. Persona tatuada ⁽¹⁾



Figura 1.2. Máquina de tatuar ⁽²⁾

Sin embargo, pese a lo comentado anteriormente, los tatuajes no han sido inventados recientemente. Se apunta a los hombres euroasiáticos del periodo Neolítico como los primeros "tatuadores", hace más 5 mil años, a juzgar por los restos encontrados a finales del siglo XX, en Siberia y el delta del Danubio.

A partir de entonces, se sabe que en Egipto, lugar del que provienen los pigmentos de henna (que se convertiría también en un fenómeno en el sur de la India), las mujeres eran tatuadas para representar su estatus social y muchas momias eran marcadas.

Al mismo tiempo, la cultura celta y germánica utilizaban el arte del tatuaje con fines bélicos; los japoneses tatuaban figuritas de barro que acompañaban a los difuntos en su camino al paraíso, y los aztecas tatuaban especialmente a los niños con tal de rendir tributo a dioses como Quauhtli.⁽³⁾

A continuación en las figura 1.3, 1.4 y 1.5 se muestran varios ejemplos de tatuajes antiguos realizados por culturas como las anteriormente mencionadas:



Figura 1.3. Tatuajes en la cultura maorí ⁽⁴⁾



Figura 1.4. Indígenas con tatuajes ⁽⁵⁾



Figura 1.5. Estatuilla egipcia tatuada ⁽⁶⁾

Algunos consideran esta disciplina como un arte, otros simplemente como una moda pasajera que trata de mejorar la estética... En definitiva es una actividad que suscita bastante polémica también dentro del propio colectivo médico, fundamentalmente entre los profesionales de la dermatología, ya que a lo largo de los últimos años se han realizado una serie de estudios que han dado a conocer los posibles daños que pueden ocasionar este tipo de tintas en las pieles humanas. A modo de ejemplo se citan varios testimonios de la Academia Española de Dermatología y Venerología:

- *La Academia Española de Dermatología y Venerología (AEDV) aconseja conocer los riesgos que conllevan hacerse tatuajes, ya que si no se hacen correctamente, pueden ocasionar problemas indeseados. Los dermatólogos aconsejan asegurarse de que el tatuador tiene conocimientos sanitarios pertinentes, ya que la tinta no homologada "puede ser tóxica, alergénica o incluso puede estar contaminada y provocar infecciones"*
- *Es recomendable elegir colores azules, grises y negros, ya que son más fáciles de eliminar que los tonos amarillos y verdes. Hay que intentar evitar el color rojo o naranja porque suelen provocar reacciones de rechazo.*
- *Es aconsejable no hacerse tatuajes sobre lunares, ya que si el lunar resulta ser un tumor, es difícil de diagnosticarlo.*

Como se observan en todos los testimonios anteriormente mencionados, hay ciertos peligros conocidos acerca de realizarse tatuajes. Fundamentalmente estos peligros están relacionados con la aparición y la dificultad de detección de cánceres de piel, en la posibilidad de que la piel del receptor de la tinta produzca rechazo ante esta serie de pigmentos, o bien, que se produzcan infecciones generalmente debido a una mala calidad de la tinta o a un mal cuidado de la zona tras haberse realizado el tatuaje.

Por todo lo comentado con anterioridad y por factores que se comentan a continuación, un amplio porcentaje de las personas que disponen de tatuajes en su piel deciden eliminarlos de ella al cabo de cierto tiempo tras habérselos realizado. Estos factores también influyentes van desde motivos laborales (muchas empresas rechazan que sus trabajadores lleven en su piel algún tipo de tatuaje permanente), hasta motivos personales como por ejemplo: tatuajes en una pareja que posteriormente sufren una ruptura, deterioro en la coloración y en el delineado del tatuaje debido a que la piel sufre cambios a lo largo de la vida, aburrimiento por parte de la persona de siempre ver el mismo dibujo en su piel, cambios en la forma de ser o en los hábitos de vida del portador...

A continuación se muestran en las figuras 1.6 y 1.7 varias noticias acerca de cómo ha aumentado la demanda de clínicas de eliminación de tatuajes en los últimos años en España:

Aumentan las consultas para quitarse tatuajes

En solo dos años, la demanda para eliminarlos ha crecido un treinta por ciento

La idea de hacerse un tatuaje para toda la vida ha cambiado, así lo demuestra el hecho de que hayan aumentado un 30 por ciento las consultas sobre la eliminación de tatuajes en los dos últimos años; al arrepentimiento y los motivos laborales, se suma el aumento de casos de menores de edad tatuados que acuden obligados por sus padres.

No hay una estimación clara de qué población podría llevar un tatuaje, ni quienes han decidido eliminarlo, lo que sí parece por las consultas que han recibido desde la Unidad de Dermatología de la Clínica Ruber es que **hasta un 60 por ciento de las personas que se realizan uno, se arrepiente a los 5 años de habérselo hecho.**

Figura 1.6. Noticia ABC Sociedad (7)

Los centros médicos registran un aumento de demanda para borrar tatuajes

Una alta proporción de pacientes renuncia al tatuaje porque les limita en su profesión
Borrar pigmento resulta más largo, caro y doloroso que hacérselo

Según los datos de Planas, el número de personas que solicitan que se les borre un tatuaje aumentó un 81% del 2006 al 2010. Esta tendencia al alza coincide con la observada en la clínica Teknon, donde los tratamientos para borrar tatuajes se iniciaron en el 2007 y donde en los últimos tres años se ha triplicado la actividad. El número de hombres y de mujeres que se tratan para eliminar tatuajes es similar, según los registros de Planas y de Teknon. Un 52% de la demanda se concentra en la franja de edad de 21 a 30 años y otro 31% en la de 31 a 40.

Figura 1.6. Noticia Josep Corbella LA VANGUARDIA (8)

De todas estas noticias que aparecen recurrentemente en prensa y que son conocidas por la mayoría de las personas que están de alguna manera relacionadas con la industria del tatuaje y de la información referente a los posibles problemas de salud que puede ocasionar esta disciplina, surge la idea sobre la que versa el trabajo que se presenta a continuación. Dicha idea consiste en la fabricación de una máquina que realice tatuajes temporales en casa, de manera simple, indolora y empleando tinta amigable con la salud dermatológica humana. La máquina que se menciona consistiría en un mecanismo similar al de una impresora 3D de manera tal que a través de una serie de automatismos controlados mediante software y electrónica fuera recorriendo varias zonas de la piel dejando dibujos en ella. Para no eliminar la labor del tatuador se propone además crear una plataforma online en la que todos los tatuadores y aficionados a la industria del tatuaje puedan subir sus diseños a ella y ser descargados por los usuarios creando una red de oferta-demanda en la que nadie salga perjudicado por la implantación de la nueva tecnología.

Además se plantea la opción de utilizar esta nueva tecnología en actividades cotidianas como por ejemplo: eliminar tickets y documentos impresos anticuados que se pueden perder o deteriorar y sustituirlos por códigos QR o similares impresos directamente sobre la piel; sistemas de acceso por reconocimiento de tatuajes en hoteles, alojamientos... en lugar de tarjetas de acceso como se utilizan en la actualidad; etc.

1.2. Objetivos

A colación de todos los antecedentes anteriormente mencionados, lo que se pretende en este trabajo es realizar un estudio acerca de cómo se podría conseguir democratizar la industria del tatuaje de manera tal que todas las personas puedan realizarse tatuajes en su propia casa sin necesidad de pasar por ningún tipo de estudio o clínica especializada.

La opción principal que se plantea es la mencionada anteriormente de la fabricación de un automatismo que se encargue de traspasar los diseños de formato digital a la piel. Para ello en primer lugar se van a realizar varios diseños de cómo podría ser la máquina en cuestión; estudios relativos a su usabilidad final por el usuario; análisis de esfuerzos en la misma; búsqueda de elementos para su accionamiento

(motores, rodamientos, cojinetes, husillos...); elección de materiales para optimizar su peso, dimensiones y forma; planteamiento del funcionamiento del sistema electrónico y sus componentes (sensores, cableado...); rediseños de los diferentes elementos que conforman la máquina según se vayan detectando posibles problemas derivados de diferentes factores; fabricación de prototipo simplificado final en madera para observar dimensiones, forma y poder detectar problemas con mayor facilidad...

Por último se pretende realizar un análisis de cómo se acometería la producción de la máquina desde el punto de vista industrial: equipos empleados para el conformado de las diferentes piezas; equipos de montaje y ensamblado; equipos de inspección y control de calidad; ensayos de funcionamiento y de fatiga para conocer la vida de las diferentes piezas que conforman la máquina... Además se realizará un estudio simplificado de los costes de fabricación de la misma (precio de materiales, equipos que intervengan en su fabricación, mano de obra..) y de su viabilidad económica desde el punto de vista de su comercialización.

Cabe destacar además que la máquina en cuestión cuya finalidad principal sería la impresión de tatuajes en la piel, podría ser utilizada en otros para otras actividades tanto en el ámbito doméstico como en el industrial: actividades de personalización de objetos (tazas, jarrones...); máquina de CNC para tallado de piezas o figuras en 3D en materiales como madera o materiales metálicos...

1.3. Tareas a desarrollar

En función de todos los objetivos detallados en el apartado anterior, se plantean las siguientes tareas a desarrollar para la ejecución del proyecto ordenadas temporalmente:

- Realización de unos primeros esbozos de cómo sería el mecanismo y que tecnologías, materiales y fuentes de energía necesitaría para funcionar.
- Diseño de primeros modelos 3D en función de los bocetos anteriormente realizados.
- Análisis de los modelos 3D buscando posibles fallos en el diseño y búsqueda de soluciones.
- Rediseño de los modelos 3D en función del análisis anterior.
- Elección de posibles materiales para la fabricación de las diferentes piezas que conformaran la máquina.
- Simulación de esfuerzos sobre los modelos para identificación de zonas más débiles y comprobación de si los materiales elegidos cumplen con las exigencias que requiere la máquina para su funcionamiento.
- Rediseño de los modelos en función de los fallos encontrados en la elección de los materiales y refuerzos en zonas más debilitadas.
- Búsqueda y cálculos para la selección de elementos auxiliares que sean necesarios para el correcto funcionamiento de la máquina (rodamientos, juntas, motores, husillos, sensores...).
- Fabricación de un prototipo simplificado en madera que permita observar mejor la estructura de la máquina, sus dimensiones, el funcionamiento final de la misma...
- Búsqueda de tecnologías para la fabricación final de las piezas a nivel industrial (inyección, fundición, fabricación aditiva...).
- Análisis final de costes de fabricación de la máquina en función de los materiales y tecnologías elegidas.

2. Propuestas tecnológicas iniciales

Siguiendo la lista de tareas comentadas en el apartado anterior, se van a ir explicando detalladamente los diferentes pasos que se han ido siguiendo para desarrollar el diseño de la máquina en cuestión.

2.1. Primeros bocetos

Tras observar los problemas detallados en el apartado introductorio, se piensa una solución viable que permita resolverlos directamente desde casa, sin necesidad de acceder a ningún tipo de centro especializado o clínica que suponga un desembolso importante económicamente hablando además de una exposición a ciertos métodos que puedan ser dañinos desde el punto de vista dermatológico.

El planteamiento inicial es realizar un diseño similar al de una impresora 3D pero que fuera capaz de adaptarse a las diferentes superficies del cuerpo, de forma tal que uno mismo pudiera descargarse un archivo en forma de imagen (o similar) en su casa a través de internet y pasárselo a la máquina en cuestión para que lo imprimiera directamente sobre la piel.

La opción más factible que se contempla inicialmente es el diseño de un anillo circular a modo de guía de un tamaño tal que una pierna o un brazo de tamaño estándar entrara con facilidad dentro del mismo. Una vez la extremidad en cuestión estuviera colocada dentro del anillo, un cajetín con cartuchos de tinta similar al de una impresora tradicional, empezaría a girar alrededor del mismo accionado por una serie de motores y poleas. A medida que el cajetín avanza realizando el movimiento circular, una serie de boquillas irán inyectando la tinta sobre la piel. La apertura y cierre de dichas boquillas ha de estar controlada por un sistema electrónico que las sincronice con el movimiento de avance del cajetín para ir formando la imagen final que se desea obtener.

Para que el mecanismo fuera adaptable a otras partes del cuerpo diferentes de las extremidades (como por ejemplo el tronco), debería estar dotado de ciertos grados de libertad de manera tal que articulando el anillo anteriormente mencionado el usuario pudiera conseguir colocarlo en la postura ideal que le conviniera para la realización del tatuaje.

A modo ilustrativo, se adjuntan a continuación en las figuras 2.1 y 2.2 un par de bocetos de cómo debería adaptarse la máquina según la parte del cuerpo sobre la que se quisiera imprimir el dibujo:

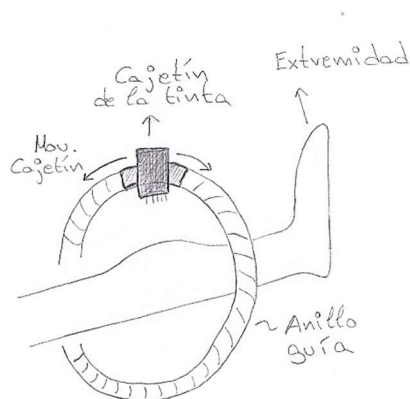


Figura 2.1. Mecanismo sobre extremidad

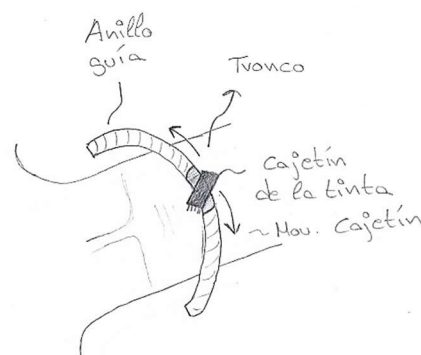


Figura 2.2. Mecanismo adaptado sobre tronco humano

Dichos grados de libertad anteriormente mencionados no debían dificultar el movimiento limpio del cajetín encargado de la impresión, por lo que inicialmente se piensa en una especie de barra flexible que actuara del anillo guía mostrado en las figuras 2.1 y 2.2.

Buscando tecnologías similares encontramos de nuevo guías de impresoras 3D como la mostrada en la figura 2.3, sin embargo, tal y como se muestra en dicha figura, las barras guías empleadas en la actualidad en este tipo de tecnologías son rígidas lo cual supone un problema.

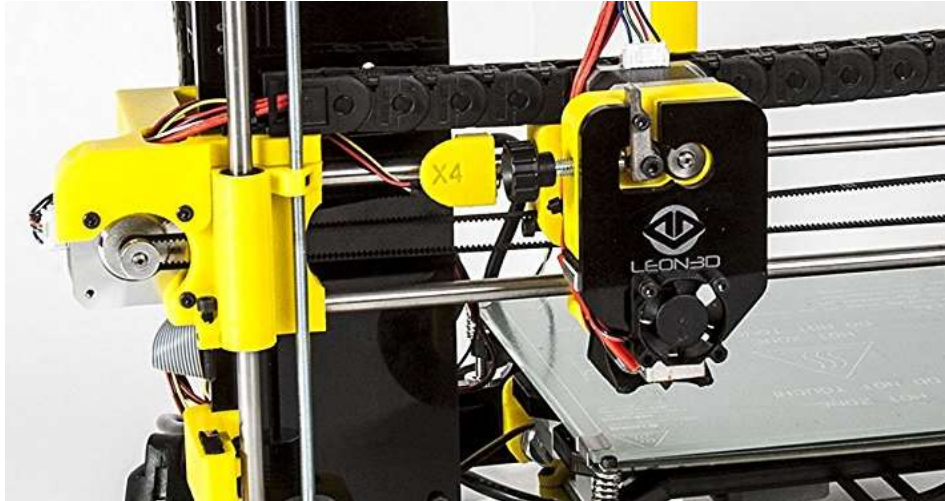


Figura 2.3. Guía lineal impresora 3D ⁽⁹⁾

La opción que se plantea para dar solución a dicho problema consiste en fabricar la guía empleando diferentes materiales combinados entre sí.

El interior del anillo estaría compuesto por algún tipo de material flexible a modo de resina que dotara de cuerpo (forma) y flexibilidad al conjunto. Recubriendo dicho núcleo se plantea colocar refuerzos articulados fabricados en metal, contemplando el aluminio como principal opción para ello. La idea es que dicho refuerzo metálico otorgue rigidez al conjunto para que este soporte el peso del cajetín de la tinta y su propio peso en cuestión (en la figura 2.4 se adjunta una imagen de un tubo de aluminio flexible que podría servir como referencia para ilustrar la idea en cuestión). Por último, se recubriría finalmente el anillo con un material que permitiera el deslizamiento del cajetín alrededor del mismo sin que se produzcan problemas derivados de la fricción.



Figura 2.4. Tubo flexible de aluminio ⁽²⁰⁾

En la figura 2.5 que se adjunta a continuación, se muestra el boceto de cómo sería el diseño final del anillo en virtud de todos los condicionantes comentados anteriormente.

Para mejorar la estabilidad del cajetín de la tinta, se plantea la opción de colocar dos anillos en paralelo para que el agarre sea doble tal y como se muestra en el boceto de la derecha.

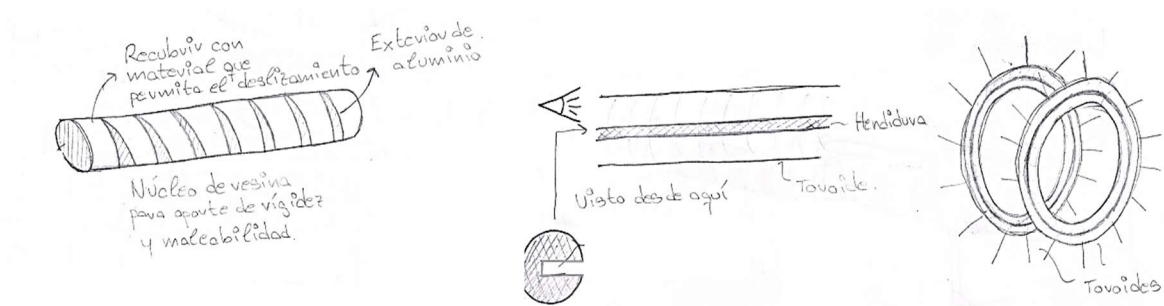


Figura 2.5. Boceto del diseño del anillo guía

Además del diseño del anillo como tal resulta necesario determinar cómo será la forma hendidura que se muestra en la figura anterior de la cual irá enganchado todo el mecanismo encargado de la inyección de la tinta. En la siguiente figura se detalla cómo sería la forma exacta de la guía por su interior y la geometría del enganche en cuestión (Figura 2.6).

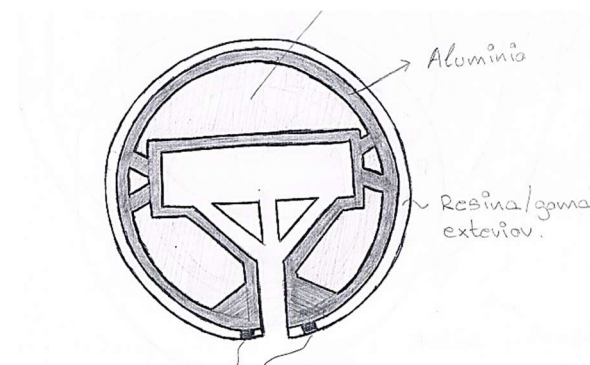


Figura 2.6. Detalle hendidura para enganche de cajetín

El siguiente punto que tratar en el diseño de la máquina es del mecanismo encargado de inyectar la tinta sobre la piel, o como se denominó anteriormente el cajetín de la tinta. En este caso se opta por una especie de acoplamiento que irá enganchado directamente sobre el anillo guía y sobre el cual irá montado todo el dispositivo encargado de introducir o depositar la tinta en la piel tal y como se muestra en la figura 2.7.

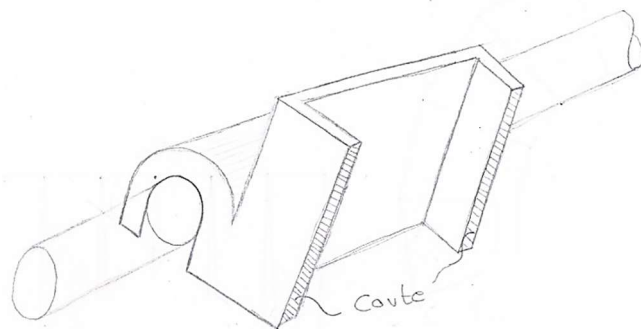


Figura 2.7. Boceto del acoplamiento para dispositivo de inyección de tinta

El dispositivo además deberá ir acompañado de un regulador de altura que permita adaptarse a los diferentes relieves de la piel humana. Como opción tecnológica para la fabricación de dicho regulador de altura, se plantea un mecanismo accionado por una polea, un pequeño motor de corriente continua y un resorte de constante K dimensionada de forma tal que si la fuerza del motor cesa, el resorte tienda a recuperar su longitud inicial haciendo que el conjunto suba. En la figura 2.8 se ilustra como sería el funcionamiento del regulador y que fuerzas actuarían sobre el mismo.

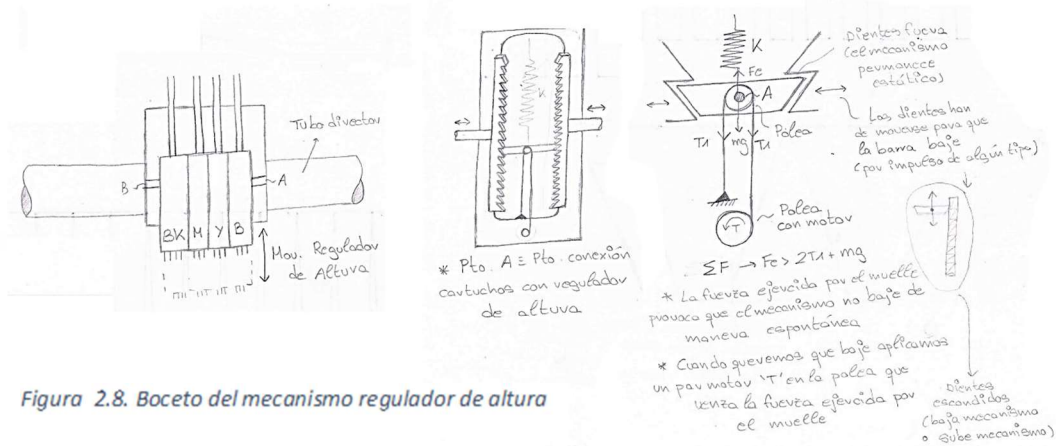


Figura 2.8. Boceto del mecanismo regulador de altura

La explicación detallada del mecanismo regulador de altura es la siguiente:

- La serie de dientes tallados en una de las piezas del mecanismo tal y como se muestra en la figura anterior provocan que por la acción del motor de corriente continua y la polea el mecanismo baje con facilidad.
- Cuando la acción del motor cesa, la forma de los dientes y del acople al que está conectado el cajetín de la tinta (en el punto A), hacen que el mecanismo quede fijado a la altura en cuestión en la que el motor se haya parado debido al equilibrio de fuerzas que se produce entre las piezas que intervienen.
- En el caso de querer subir, los dientes se abrirían de forma tal que el acoplamiento anteriormente mencionado queda libre y por la acción del resorte de constante K al que está conectado regresa a su posición original.

Debido a la complejidad que supone llevar a cabo un diseño óptimo de un anillo guía como el anteriormente comentado capaz de soportar todos los esfuerzos y vibraciones que se generen durante el funcionamiento de la máquina sin que se produzcan alteraciones en el resultado final del dibujo realizado sobre la piel, se propone un mecanismo alternativo más simple para realizar la misma tarea.

Dicha alternativa consiste en modificar el anillo por dos poliedros concéntricos de dieciséis lados (hexadecágonos) de manera tal que el aspecto resultante del mismo sea lo más parecido a un toroide posible (Figura 2.9). La estructura alternativa propuesta recibirá el nombre de guía poligonal.

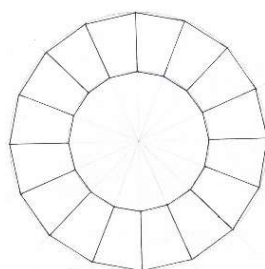


Figura 2.9. Guía poligonal cerrada

Cada una de las dieciséis piezas que formarían la estructura estarían articuladas entre sí mediante una serie de bisagras de manera tal que se pudiera transformar la guía circular en longitudinal según convenga para adaptarse a las diferentes partes del cuerpo humano (Figura 2.10).

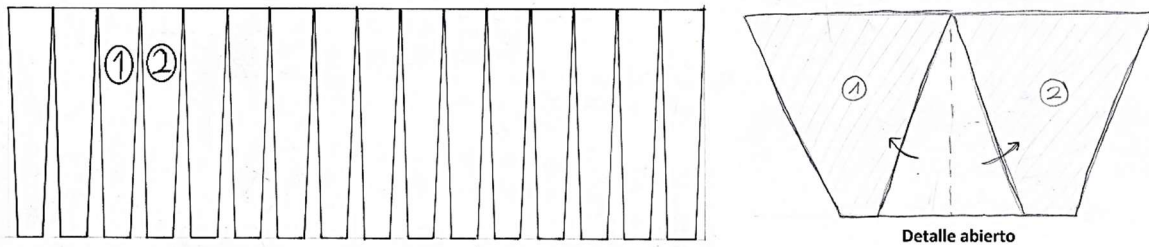


Figura 2.10. Guía poligonal abierta (Longitudinal)

Además de lo anteriormente mencionado, sería importante diseñar una fijación correcta para que cuando las dieciséis piezas se unieran entre sí formando la guía circular, estas no se separen durante el funcionamiento de la máquina provocando errores en los resultados de la misma. Se estipula para ello la colocación de pinzas en dos de las piezas, las cuales serán las únicas del conjunto no abisagradas, y por donde se abrirá la guía para adaptarse según su uso. A continuación, en la figura 2.11 se observa de qué forma irían colocadas dichas pinzas permitiendo anclar el conjunto:

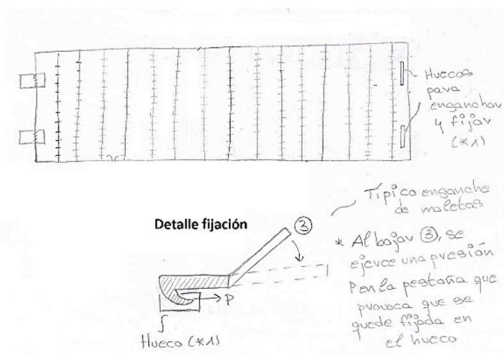


Figura 2.11. Pinzas fijación

Cabe destacar que en este mecanismo alternativo que se plantea se mantendría el diseño del regulador de altura comentado con anterioridad.

Para mejorar la estabilidad del cajetín de la tinta, al igual que en el caso del anillo, se plantea la opción de colocar dos guías en paralelo para que el agarre sea doble.

Tras haber comentado las dos opciones existentes de mecanismos susceptibles de ser utilizados como guía, se llega a la conclusión de que por los motivos que se enumerarán a continuación la alternativa de la estructura poligonal es más correcta que la del anillo inicial:

- Facilidad de fabricación: resulta más sencillo fabricar piezas metálicas de manera poligonal las cuales se podrían obtener simplemente cortando perfiles de sección rectangular o cuadrada, que obtener un anillo metálico perfecto con las articulaciones y la rigidez necesarias para que el conjunto realice su función.
- El conjunto poligonal tendrá más facilidad para soportar los esfuerzos que se generen durante el funcionamiento de la máquina que el anillo inicial ya que será más rígido.
- La sujeción a la estructura final de la máquina será más sencilla en el caso del conjunto poligonal ya que es más difícil establecer uniones en una superficie curva que en una superficie lisa

2.2. Primeros diseños en 3D

Partiendo de todos los bocetos presentados en el apartado anterior se comienzan a realizar diseños en 3D del mecanismo en cuestión. A modo de resumen se van a comentar cuales han sido las alternativas finalmente elegidas en cuanto a tecnologías y geometrías de la máquina y que sirven de partida para comenzar a diseñar en 3D:

- Dos guías poligonales paralelas formadas cada una por dieciséis piezas unidas entre sí sobre las cuales deslizará en cajetín de la tinta.
- Piezas de las guías poligonales huecas, formadas por uniones de barras articuladas.
- Regulador de altura para adaptarse a los relieves de la piel humana.

Para realizar los diseños que se muestran a continuación se ha utilizado el programa Solid Edge un software de edición 3D desarrollado por Siemens.

Las figuras 2.12 y 2.13 muestran los primeros diseños estructurales. Se puede apreciar que las piezas están formadas por un conjunto de barras unidas entre sí por unas articulaciones esféricas. Este tipo de articulaciones permiten cierto movimiento relativo entra las barras provocando que estas trabajen únicamente a esfuerzos axiles (no se producirán momentos flectores ni torsores que puedan afectar a la integridad de la estructura). Con este tipo de tecnología se conseguiría minimizar el peso de las piezas en cuestión y por tanto el peso de la máquina en su conjunto, además de ahorrar en cuestión económica ya que se empleará menos cantidad de material para su fabricación.

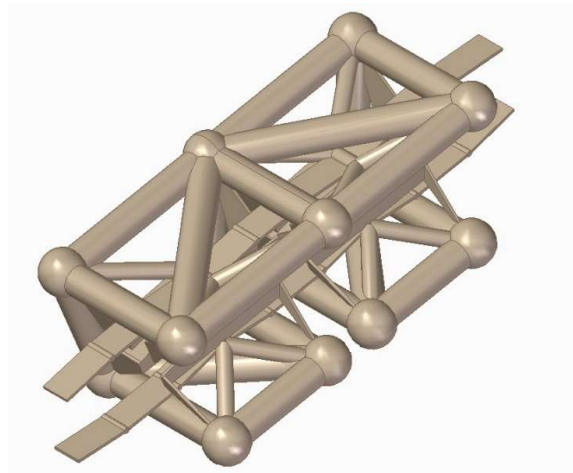


Figura 2.12. Piezas articuladas guía poligonal (Isométrico)

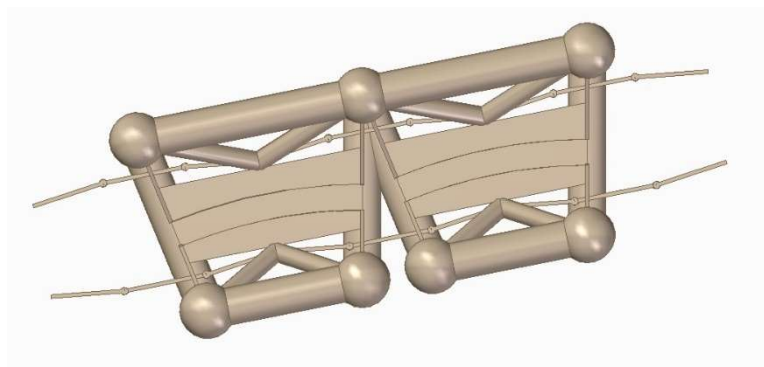


Figura 2.13. Piezas articuladas guía poligonal (Alzado)

A continuación se muestra en detalle como son y como se acoplan dichas articulaciones a las barras en la figura 2.14.

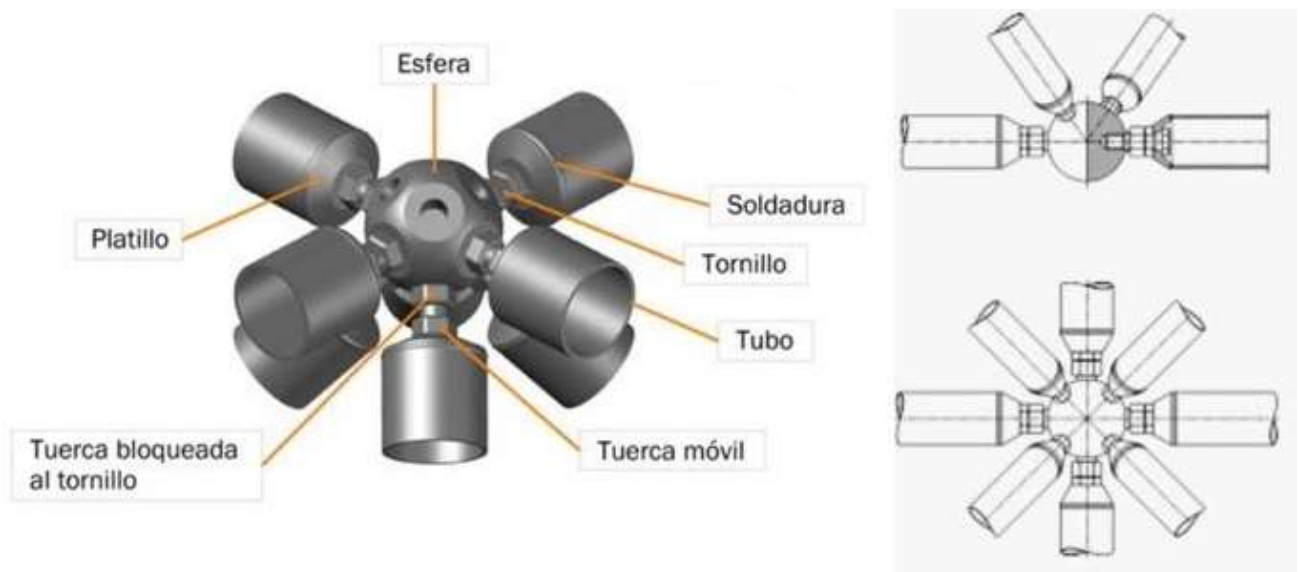


Figura 2.14. Detalle de articulación entre barras ⁽¹²⁾

Este tipo de articulaciones en estructuras de barras son muy típicas en construcciones civiles en las que se emplean perfiles metálicos unidos entre sí para soportar esfuerzos de distinto tipo. Con ellas conseguimos como se ha dicho anteriormente que las barras trabajen únicamente a tracción, que, según ensayos realizados, es el esfuerzo que mejor soportan este tipo de materiales metálicos. De esta forma se consigue minimizar el peso de las estructuras manteniendo su comportamiento al emplear perfiles de menor diámetro que si se realizara una construcción completa con otro tipo de conexiones entre los mismos.

Por ilustrar lo comentado se adjunta una imagen (Figura 2.15.) de una estructura situada cerca de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla en la que se emplean este tipo de tecnología.



Figura 2.15. Estructura metálica articulada del Cartuja Sports (Sevilla) ⁽¹²⁾

Como se ha comentado anteriormente los materiales empleados en este tipo de estructuras son materiales metálicos, principalmente aceros al carbono por su buen comportamiento mecánico.

En el caso de la máquina se descarta el uso de aceros debido a su peso excesivo que puede provocar para un dispositivo de este tamaño que sea inasumible su fabricación.

Se plantea el uso de aluminio como material base para el conformado de las piezas de la guía poligonal ya que se trata de un material de menor densidad que el acero, pero de propiedades similares lo cual es ideal para el resultado que se espera obtener. Aun así y pese lo anteriormente mencionado, en caso de zonas de las piezas sometidas a grandes esfuerzos se podría plantear el uso de algún tipo de acero inoxidable a modo de refuerzo.

Debido a la complejidad de fabricar un mecanismo formado por barras y articulaciones como los observados en las imágenes anteriormente mencionadas, se opta por iterar hacia un diseño similar, pero de manera tal que se obtenga en forma de pieza completa y no por unión de diferentes elementos.

Con este cambio en el diseño se busca facilitar el conformado de las piezas estructurales ya que se podrían emplear tecnologías como la inyección de plásticos o metales para la obtención de conjuntos ya completos sin necesidad de uniones que pudieran provocar que el funcionamiento de la máquina fuera defectuoso y menos fiable.

A continuación, en las figuras 2.16 y 2.17 se muestra cuál sería el resultado final de las piezas y la composición final de la máquina cuyo funcionamiento se explicará detalladamente en el siguiente apartado.

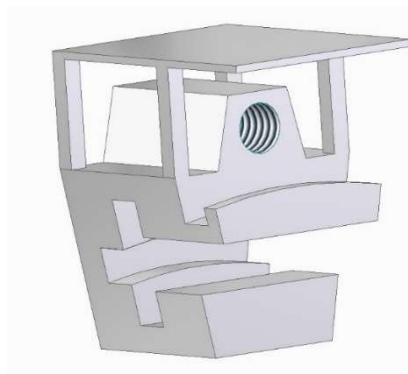


Figura 2.16. Pieza estructural completa

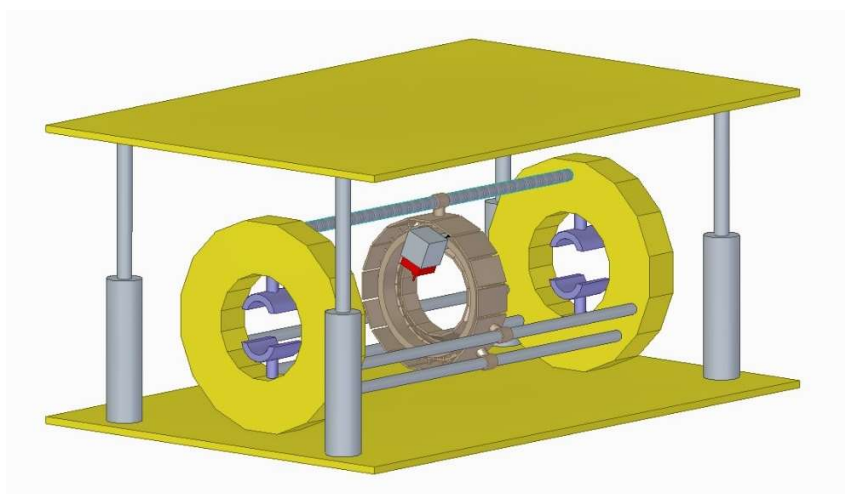


Figura 2.17. Diseño final del primer prototipo

2.3. Descripción detallada de elementos y movimientos

En este apartado se va a tratar como sería la estructura de la máquina como tal y cómo se producirían los movimientos de las diferentes piezas para realizar la función que se le requiere. A lo largo del mismo se va a identificar el conjunto poligonal elegido anteriormente con un toroide para simplificar la elaboración de los bocetos.

En primer lugar se va a comentar cómo se llevaría a cabo el movimiento longitudinal de la estructura poligonal para poder llegar a todos los puntos de la parte del cuerpo en cuestión en la que se desea imprimir la imagen. Para ello se plantean dos alternativas:

Primera alternativa (Mecanismo de poleas):

En este caso un conjunto de poleas accionadas por un motor de corriente continua serán las encargadas de proporcionar movimiento longitudinal al conjunto. Las poleas irán colocadas de la siguiente forma:

- Una de ellas irá conectada directamente a las guías poligonales en paralelo
- La otra tendrá conexión directa con el motor en cuestión y será la encargada de ejercer la tensión necesaria para que el conjunto de las guías se desplace.

La conexión entre ambas poleas será realizada a través de un cable o correa que será el encargado de transmitir la fuerza desde la polea conectada al motor hasta la otra provocando su movimiento.

En la siguiente imagen (Figura 2.18) se muestra cómo sería el mecanismo que se comenta. Tal y como se observa en la misma, el motor es accionado por corriente continua provocando un momento torsor en la primera polea que comienza a recoger el cable que la mantiene conectada a las guías en paralelo. Para que el conjunto pueda moverse en los dos sentidos, será necesario colocar un motor similar en el otro extremo de manera simétrica.

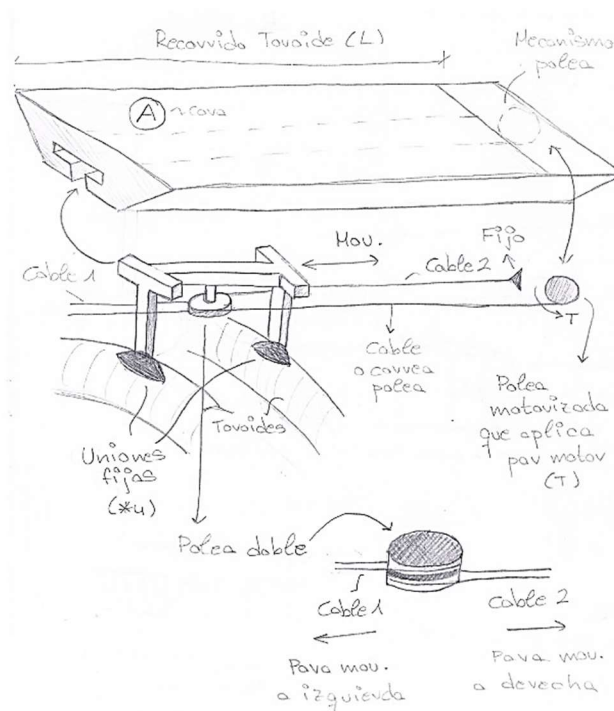


Figura 2.18. Mecanismos de desplazamiento por poleas

Segunda alternativa (Tornillo):

En este caso se plantea la opción de utilizar un tornillo junto con dos husillos conectados a las guías poligonales en paralelo de forma tal que el mismo al girar provoque el desplazamiento longitudinal del conjunto tal y como se requiere (Figura 2.19).

Para que el tornillo gire será necesario ejercerle un par a través de un motor de corriente continua que habría que dimensionar para que soporte todos los momentos que se generen durante el movimiento.

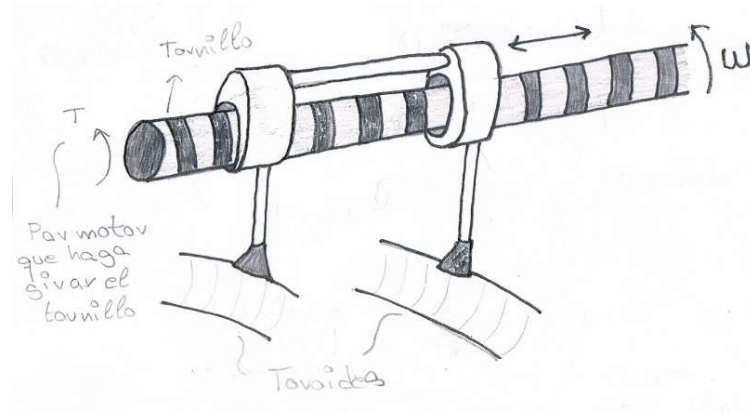


Figura 2.19. Mecanismo de desplazamiento por tornillo

Ambas opciones descritas son viables y relativamente fáciles de fabricar, sin embargo, cabe destacar que la opción del tornillo es la más usada actualmente en máquinas similares como impresoras 3D para dotar de movimientos longitudinales a un conjunto determinado. A modo de ejemplo se muestra la figura 2.20 en la que se observa el mecanismo típico de este tipo de impresoras.

Desde el punto de vista de los esfuerzos, el tornillo al ser más rígido estará más preparado para soportar las acciones derivadas del funcionamiento de la máquina y por tanto será más fiable y preciso. Además, en el mercado se dispone de gran variedad de husillos diseñados para ser conectados a tornillos de este tipo y que soporten adecuadamente los esfuerzos que se generen.

También cabe destacar que el movimiento del tornillo se podrá controlar de manera muy exhaustiva colocando un encoder que determine que la posición en la que se encuentran las guías poligonales es la exacta en cada momento, creando un bucle cerrado de realimentación que mida constantemente para comparar datos entre sí.

Debido a todos estos factores que se comentan se determina que el tornillo sería la alternativa más viable para las cumplir con las especificaciones que se esperan obtener fundamentalmente basadas en la precisión de la máquina en cuestión.



Figura 2.20. Eje y husillo impresora 3D ⁽¹³⁾

Una vez se ha decidido que guías (guías poligonales) y que mecanismo para el desplazamiento longitudinal (tornillo) se van a usar, se procede al diseño concreto de cómo las piezas que forman la guía van a estar unidas entre sí para poder transformar la misma de circular a longitudinal.

Para comentar como serán las articulaciones encargadas de transformar las guías para que actúen longitudinalmente se tomará como referencia la figura 2.21.

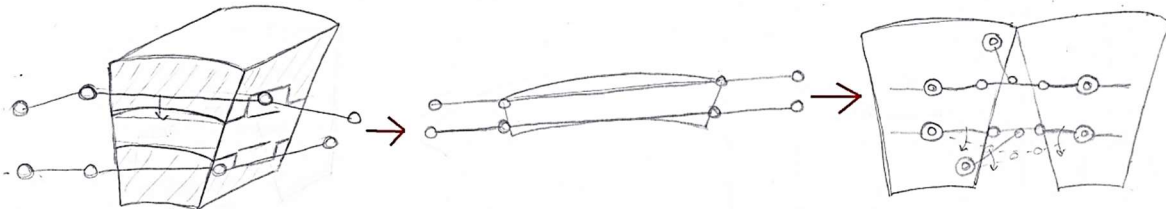


Figura 2.21. Detalle articulacion de piezas

En esta imagen se observa que se van a emplear dos mecanismos de cuatro barras para unir las piezas entre sí para conseguir el resultado deseado.

La idea con este mecanismo es que cuando las piezas se junten para formar la guía circular, las partes del mecanismo de cuatro barras se repliegan sobre sí mismas debido a las articulaciones que lo mantienen unido y dejen de actuar en el conjunto.

En el caso contrario, cuando el conjunto estaba cerrado formando a guía circular y se abre para formar la longitudinal, dicho mecanismo de cuatro barras se extenderá tal y como se observa en los bocetos central y derecho de la imagen anterior.

De esta forma, con este mecanismo tan simple conseguimos tener ambos movimientos (circular y longitudinal) del cajetín de la tinta empleando un solo conjunto de piezas.

Como se comenta, la guía longitudinal estará formada por el propio mecanismo de cuatro barras mientras que la circular estará tallada directamente sobre las propias piezas en cuestión como se observa en el boceto de la izquierda de la figura anterior donde se muestra la curvatura que posee la propia pieza en su parte frontal.

Además de todo lo anteriormente mencionado, se plantea la colocación de una quinta barra en el mecanismo como se muestra rodeada en la parte izquierda en la figura 2.22. Esta quinta barra sería la encargada de que el mecanismo siempre se replegara en el mismo sentido, ya que, al abrirse por completo de manera longitudinal, tendría dos posibles caminos para volver a cerrarse, o bien sea plegándose hacia arriba, o bien sea plegándose hacia abajo. Con este sistema de la barra auxiliar se evitarían posibles errores de ese tipo que causaran alteraciones en el funcionamiento de la máquina.

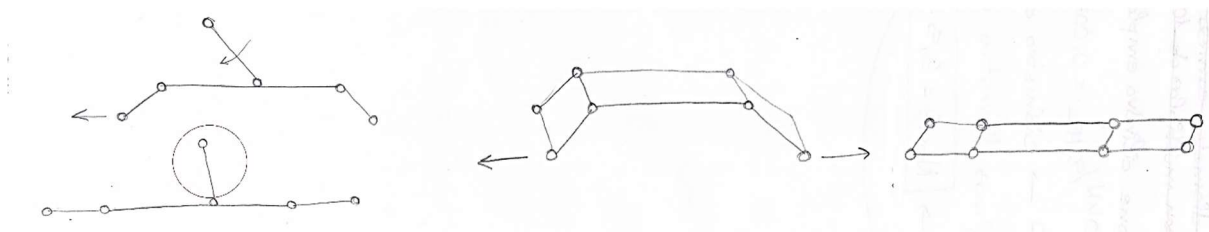


Figura 2.22. Detalle mecanismo de cuatro barras

Cabe destacar además que para que el acople del cajetín de la tinta pueda adaptarse a ambos funcionamientos, longitudinal y circular, deberá estar desarrollado de forma tal que se pudiera transformar dicho acople dependiendo de que uso se le esté dando en cada momento.

Para solucionar este caso, se crea un acople con dos piezas:

- Una de ellas en forma de prisma de base cuadrada para adaptarse a la guía longitudinal (cuatro barras) de forma tal que vaya deslizándose sobre ella y cediendo el peso del cajetín a la misma.
- La otra pieza tendrá forma curva para adaptarse a la guía circular de las piezas deslizándose de igual forma sobre la misma y transmitiendo el peso del conjunto y los esfuerzos a esta.

Cuando una de las piezas está funcionando, la otra se oculta y viceversa para que no haya problemas durante el funcionamiento de la máquina (Figura 2.23).

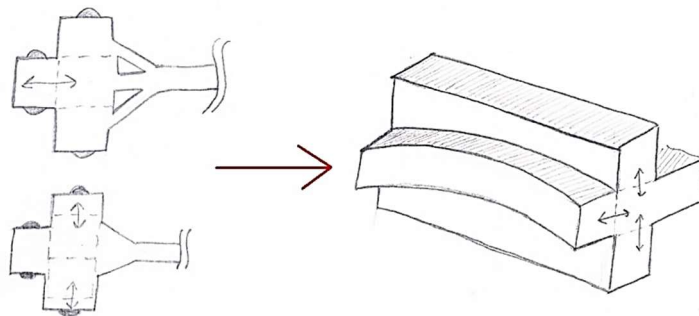


Figura 2.23. Acople del cajetín de la tinta

Finalmente, como punto final en el diseño inicial de la máquina, se plantea elaborar las piezas de la guía poligonal empleando barras articuladas para aligerar lo máximo posible el peso de las mismas, pero sin que se vieran afectadas sus propiedades mecánicas, es decir, sin que se vieran comprometidas a sufrir daños tras cargarlas de peso y ser sometidas a esfuerzos diversos.

En las siguientes imágenes (Figuras 2.24 y 2.25) se muestran varios diseños de cómo serían las piezas finalmente, empleando la triangulación como método para que las barras únicamente soporten esfuerzos axiales y sean más resistentes ante las cargas aplicadas sobre ellas.

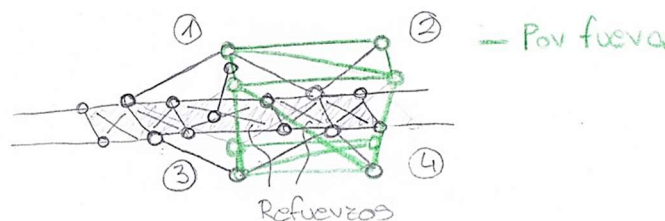


Figura 2.24. Detalle de piezas de la guía empleando barras articuladas

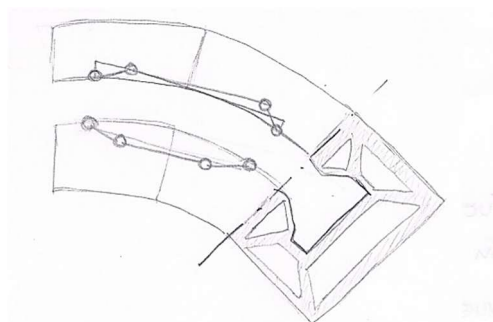


Figura 2.25. Detalle lateral de estructura hueca de las piezas

Descripción detallada de elementos:

Para llevar a cabo las explicaciones de cuáles son las partes que forman los diferentes elementos de la máquina y sus mecanismos de movimiento, se van a emplear imágenes ilustrativas para que su comprensión sea más visual e intuitiva (Figuras 2.26, 2.27, 2.28, 2.29 y 2.30).

En primer lugar, se va a comenzar explicando en detalle cada una de las partes que forman las piezas estructurales:

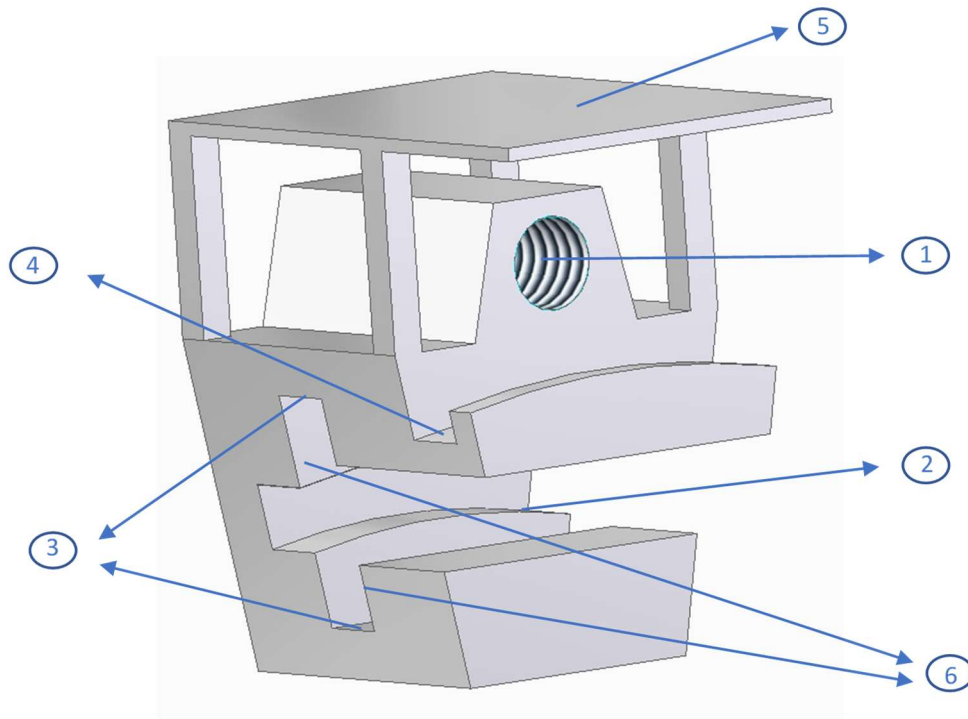


Figura 2.26. Pieza estructural detallada

1. Husillo para movimiento longitudinal de la guía poligonal: en él encajará un tornillo que conectado a un motor será el encargado de generar el movimiento de translación lineal de la guía en cuestión (el tornillo se verá reflejado en la Figura 2.30).
2. Guía circular: la superficie indicada hará las veces de guía para cuando la estructura se encuentre cerrada en forma de círculo. Por ella deslizará el cajetín con la tinta, el cual irá dispuesto con una serie de rodamientos para que su movimiento sea lo más suave posible.
3. Guía lineal: en este caso se utilizará esta superficie a forma de guía cuando la estructura se encuentre abierta. De forma similar, el cajetín con la tinta deslizará por ella generando el movimiento lineal deseado.
4. Rueda de fricción o engranaje: esta superficie funcionará a modo de rueda de fricción o engranaje con el motor fijado al cajetín de la tinta (se detallará más adelante en la Figura 2.29) el cuál dispondrá de una rueda o engranaje similar, pero de tamaño mucho menor, de manera tal que al ser accionado genere el movimiento circular deseado alrededor de la guía poligonal formada por las piezas abisagradas (Figura 2.27. y Figura 2.28.) entre sí.
5. Protección de cableado: se deja esta especie de cubierta en la parte superior de las piezas para evitar que los cables de corriente que lleguen al cajetín de la tinta se enrollen al girar alrededor de las guías.
6. Superficies laterales: se encargan de impedir que el cajetín de la tinta pueda salirse de las guías provocando que la máquina deje de funcionar o actúe inadecuadamente.

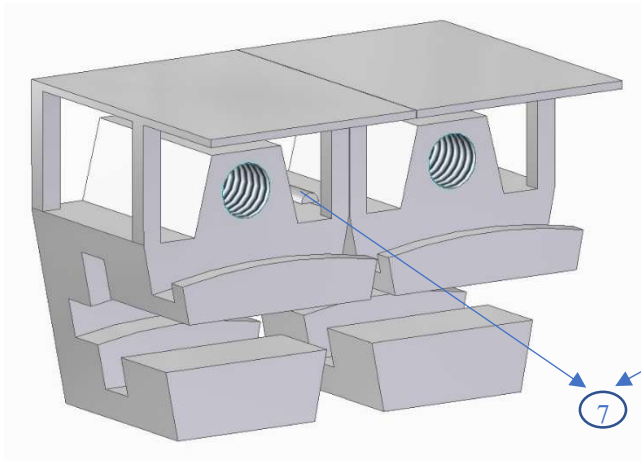


Figura 2.27. Detalle piezas abisagradas abierto

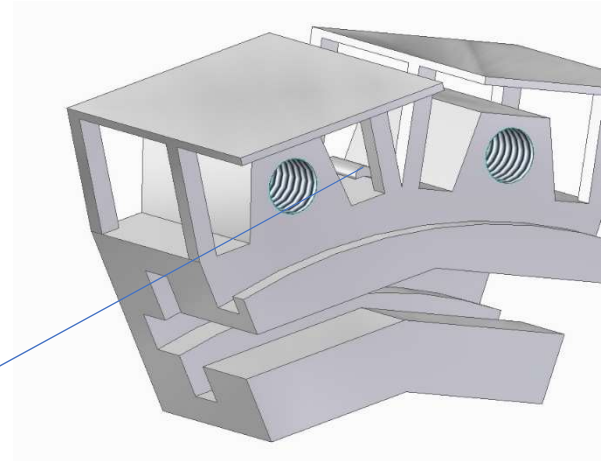


Figura 2.28. Detalle piezas abisagradas cerrado

7. Unión abisagrada: se encargan de unir las piezas de la guía poligonal entre sí de manera tal que se pueda transformar su funcionamiento para funcionar como estructura lineal o circular indistintamente.

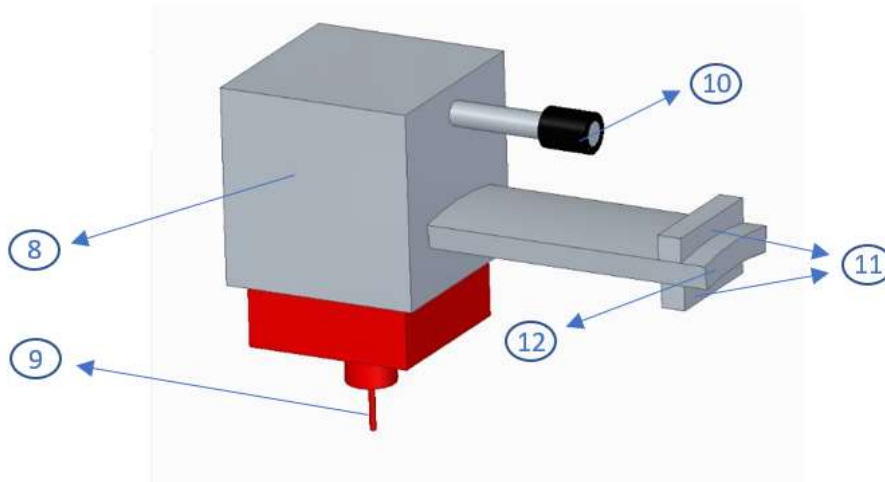


Figura 2.29. Detalle del cajetín con la tinta

8. Cuerpo del cajetín de la tinta: albergará en su interior todos los componentes electrónicos necesarios para el funcionamiento del mismo así como la tinta que se empleará para la ejecución del tatuaje.
9. Aguja: elemento encargado de elaborar el tatuaje pinchando directamente sobre la piel. Recogerá la tinta del cuerpo del cajetín para realizar el dibujo correspondiente.
10. Rueda de fricción o engranaje: en este caso la rueda estará en contacto con la superficie 4 anteriormente mencionada, de forma tal que ambas ruedas engranen entre sí o bien generen movimiento rotacional al girar la una sobre la otra debido al esfuerzo de fricción. La rueda en cuestión estará directamente conectada con un motor que será el encargado de generar el movimiento de rotación citado con antelación.
11. Guía lineal: la superficie tratada en este caso irá en contacto con la superficie 3 anteriormente mencionada, de forma tal que entre ambas realicen el movimiento de translación lineal cuando la máquina lo requiera.
12. Guía circular: de manera similar, esta superficie se encontrará en contacto con la número 2 anteriormente mencionada, de forma tal que entre ambas realicen el movimiento de rotación del cajetín sobre la guía poligonal cuando la máquina lo requiera.

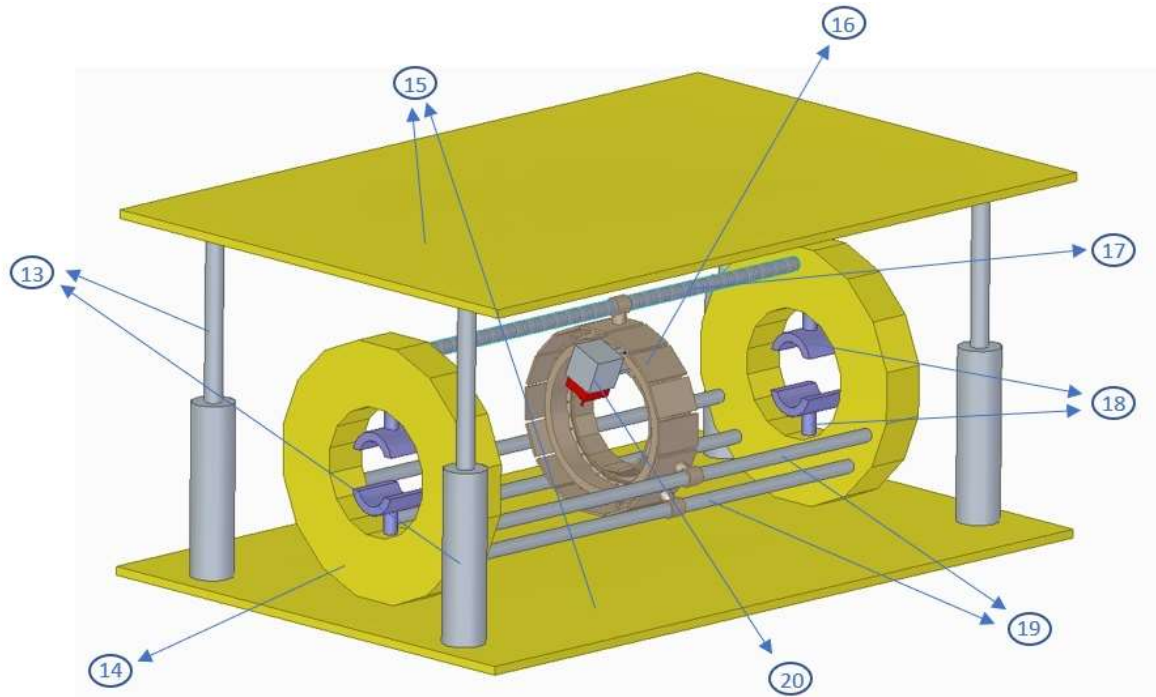


Figura 2.30. Detalle de prototipo completo

13. Pistones: elementos encargados de la regulación de altura de la máquina, de esta forma cuando la estructura se abra para trabajar de manera lineal permitirá adaptar la distancia entre aguja y piel para que sea la correcta para la elaboración del tatuaje.
14. Estructura de soporte poligonal: estructura similar a la guía poligonal por la que circula el cajetín de la tinta. En este caso, esta se encargará de soportar el peso de todos los mecanismos de movimiento (tornillos, motores, guías de soporte de peso...) por lo que tendrá que estar especialmente diseñada para ello. Al igual que la guía poligonal ha de abrirse para que el movimiento de la máquina pase de circular a lineal y viceversa.
15. Placas base: se trata de dos placas que realizarán la función de base sobre las cuales se apoyará todo el conjunto de la máquina. También servirá de apoyo para el cuerpo de la persona que se esté tatuando cuando la máquina funcione de manera lineal.
16. Guía poligonal: formada por la combinación de 16 piezas estructurales como las vistas anteriormente en las figuras 2.26, 2.27 y 2.28. Por ella circulará el cajetín de la tinta para realizar los diferentes movimientos que se le requieran para ejecutar el tatuaje deseado.
17. Tornillo: elemento que actuará para proporcionar de movimiento de translación longitudinal al conjunto de la guía poligonal (17). En uno de sus extremos estará conectado a un motor a través de un acoplamiento para dotar de movimiento de rotación al conjunto generando el avance de la guía.
18. Soporte para brazos y piernas: se trata de dos piezas que se encargarán de realizar la sujeción del brazo o pierna en cuestión sobre el que se esté realizando el tatuaje para evitar que un movimiento del cuerpo pueda provocar que el dibujo sea defectuoso.
19. Guías para soporte de peso: en este caso se trata de una serie de barras que soportarán el peso de la guía poligonal (16) a la cual estarán conectadas mediante una serie de cojinetes lineales. La función principal de estas es evitar que el tornillo (17) soporte ningún tipo de esfuerzo derivado del propio peso de la máquina para que este pueda girar libremente sin obstrucciones de ningún tipo que dificulten su desplazamiento.
20. Cajetín de la tinta: desarrollado con anterioridad en la figura 2.29.

2.4. Elección de materiales y simulaciones

Una vez detallados los principios de movimiento y las diferentes partes que conforman la máquina en cuestión, es necesario realizar estudios de cómo se enfrentará la estructura de las piezas a los distintos esfuerzos que se derivaran del funcionamiento de la máquina.

A partir de los resultados obtenidos de estas pruebas, para las cuales utilizaremos el mismo software de diseño 3D empleado en el apartado anterior, se realizarán iteraciones en los materiales utilizados para la fabricación de las mismas y se mejorará su estructura de forma tal que su relación funcionalidad-peso-costes sea lo más óptima posible. A continuación, se detalla por independiente la importancia de cada uno de los aspectos de dicha relación:

Funcionalidad:

Según la RAE:

Funcionalidad: cualidad de funcional.

Funcional: 1. Perteneciente o relativo a la función o a las funciones.

2. Dicho de una cosa: Diseñada u organizada atendiendo, sobre todo, a la facilidad, utilidad y comodidad de su empleo.

Tal y como se extrae de las definiciones anteriormente mostradas, algo es funcional cuando cumple adecuadamente sus funciones y además lo hace de forma tal que su uso resulta fácil, útil y cómodo para aquella persona implicada.

Desde el punto de vista de la máquina es necesario que su funcionalidad sea grande ya que se requiere de bastante precisión y rapidez en los movimientos que realice para realizar los tatuajes sin que ello conlleve una pérdida en la comodidad de la persona que se está prestando a ser tatuada.

Además, ha de ser fácil de usar ya que la máquina está concebida para que pueda ser utilizada por el público en general, es decir, para que cualquiera desde su ámbito doméstico pueda manejarla sin necesidad de ningún tipo de formación específica para ello (Figura 2.31).



Figura 2.31. Concepto de funcionalidad ⁽²⁴⁾

Peso:

Debido a que se trata de una máquina como se ha dicho anteriormente pensada para un uso doméstico, la misma ha de ser manejable y lo más ligera posible para que no suponga un problema para su utilización.

En el caso del peso influye mucho el tipo de material empleado para la fabricación de las diferentes piezas que conforman la máquina en cuestión.

En principio se plantea emplear polímeros de uso industrial con buenas propiedades mecánicas para aquellas piezas que ocupen mucho volumen, pero sin embargo no tengan que soportar grandes esfuerzos durante el funcionamiento.

Para aquellas zonas que estén sometidas a mayores cargas se propone la utilización de materiales metálicos, los cuales tienen propiedades mecánicas y estructurales superiores a las de los polímeros, aunque por contrapartida elevan el peso de la máquina ya que su densidad es mayor. Además, se recomienda el uso de este tipo de materiales en aquellas piezas encargadas de proporcionar movimiento al conjunto (como pueden ser poleas, tornillos, etc.) ya que se comportan muy bien ante este tipo de esfuerzos.

Costes de fabricación:

Además de los dos conceptos anteriormente mencionados es necesario que los costes de fabricación de las piezas sean los menores posibles. Para ello es importante que las piezas estén diseñadas de forma tal que se puedan manufacturar de forma simple y sin necesidad de utilizar tecnologías muy complejas que encarezcan en gran medida los costes finales del conjunto, así como que empleen materiales que sean asequibles dentro de lo posible.

Como punto de partida se intentan diseñar las piezas de manera que tengan el menor número de bordes posibles y de cavidades interiores que puedan dificultar su fabricación.

En la imagen que se muestra a continuación (Figura 2.32), se especifican cuáles son la mayoría de los conceptos que interfieren directa o indirectamente sobre los costes de fabricación de un producto.

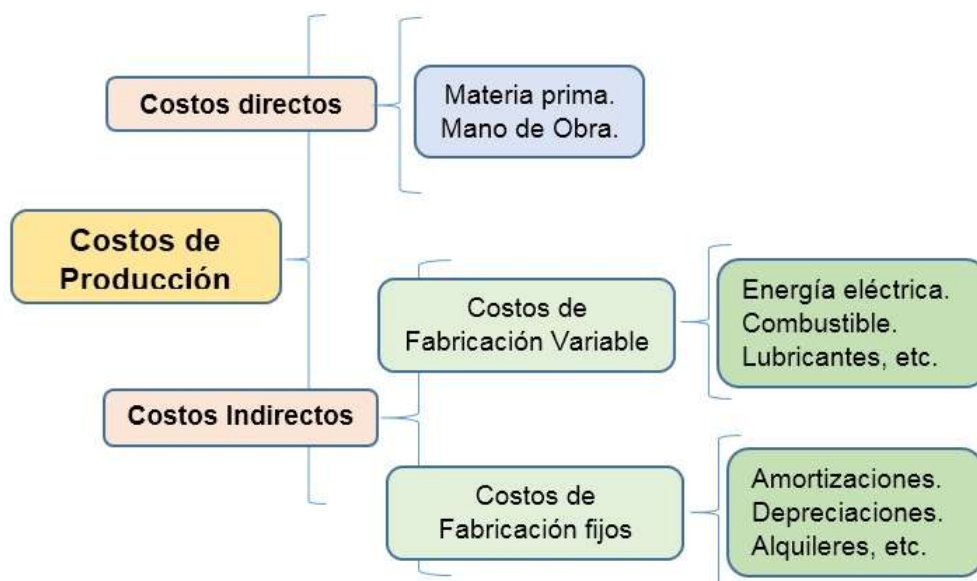


Figura 2.32. Costes de producción ⁽¹⁵⁾

Partiendo del equilibrio entre estos tres puntos que se acaban de destacar, se comienza antes de realizar las simulaciones por acometer la elección de los materiales que se creen más idóneos para la fabricación de las piezas que se requieren.

A continuación, se van a comentar las características y propiedades de cada uno de ellos así como información relativa a las tecnologías más adecuadas para el conformado de cada uno de ellos:

Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS):

El ABS es el nombre dado a una familia de termoplásticos amorfos. Se le llama plástico de ingeniería, debido a que es un plástico cuya elaboración y procesamiento es más complejo que los plásticos comunes, como son las poliolefinas (polietileno, polipropileno). El acrónimo deriva de los tres monómeros utilizados para producirlo: acrilonitrilo, butadieno y estireno. Por estar constituido por tres monómeros diferentes se lo denomina terpolímero (copolímero compuesto de tres bloques).

- Los bloques de acrilonitrilo proporcionan rigidez, resistencia a ataques químicos y estabilidad a alta temperatura, así como dureza.
- Los bloques de butadieno, que es un elastómero, proporcionan tenacidad a cualquier temperatura. Esto es especialmente interesante para ambientes fríos, en los cuales otros plásticos se vuelven quebradizos.
- El bloque de estireno aporta resistencia mecánica y rigidez.

Esta mezcla de propiedades, llamada sinergia, indica que el producto final contiene mejores propiedades que la suma de ellos.⁽¹⁶⁾

Sus propiedades más importantes se muestran en la figura 2.33 mostrada debajo.

ABS – POLIACRILONITRILLO BUTADIENO ESTIRENO

ABS Polyacrylonitrile butadiene styrene

Propiedades Físico – Mecánicas Physical & Mechanical Propierties	
Alargamiento a la Rotura (%) <i>Elongation at break (%)</i>	45
Coefficient de Fricción <i>Coefficient of friction</i>	0,5
Módulo de Tracción (GPa) <i>Tensile modulus (GPa)</i>	2,1-2,4
Resistencia a la Tracción (MPa) <i>Tensile strength (MPa)</i>	41-45
Resistencia al Impacto Izod (J m ⁻¹) <i>Izod impact strength (J m⁻¹)</i>	200-400
Absorción de Agua - en 24 horas (%) <i>Water absorption - over 24 hours (%)</i>	0.3-0.7
Densidad (g cm ⁻³) <i>Density (g cm⁻³)</i>	1,05
Resistencia a la Radiación <i>Radiation resistance</i>	Acceptable Fair
Resistencia a los Ultra-violetas <i>Resistance to Ultra-violet</i>	Mala Poor

Figura 2.33. Propiedades del ABS ⁽¹⁷⁾

Polipropileno (PP):

El polipropileno (PP) es el polímero termoplástico, parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno. Pertenece al grupo de las poliolefinas. El polipropileno es uno de los polímeros más versátiles, con aplicaciones tanto de plástico como en forma de fibras. Es utilizado en múltiples sectores para la fabricación de todo tipo de productos debido a su buen comportamiento químico y mecánico, así como a su bajo coste tanto de adquisición como de conformado.

Existen dos tipos de polipropileno:

- **PP homopolímero:** Se denomina homopolímero al PP obtenido de la polimerización de propileno puro.
- **PP copolímero:** Al añadir entre un 5 y un 30% de etileno en la polimerización se obtiene un copolímero que posee mayor resistencia al impacto que el PP homopolímero.⁽¹⁸⁾

Sus propiedades más importantes se muestran en la figura 2.34 mostrada debajo.

	PP homopolímero	PP copolímero
Densidad (g/cm ³)	0.9 - 0.91	
Módulo elástico en tracción (GPa)	1,1 a 1,6	0,7 a 1,4
Alargamiento de rotura en tracción (%)	100 a 600	450 a 900
Carga de rotura en tracción (MPa)	31 a 42	28 a 38
Módulo de flexión (GPa)	1,19 a 1,75	0,42 a 1,40
Resistencia al impacto Charpy (kJ/m ²)	4 a 20	9 a 40
Dureza Shore D	72 a 74	67 a 73

Figura 2.34. Propiedades del polipropileno ⁽¹⁸⁾

Aleaciones de Aluminio (Al):

El aluminio y sus aleaciones destacan por dos propiedades principalmente, su baja densidad y excelente resistencia a la corrosión. Estas características han impulsado su empleo en aplicaciones donde el peso es un factor determinante, como ocurre en la industria del transporte.⁽¹⁹⁾

Dentro de las diferentes aleaciones existentes, las de la serie 6XXX son las que más encajan dentro del tipo de piezas que se requieren fabricar para la máquina en cuestión debido a su buena maquinabilidad, alta resistencia a la corrosión y soldabilidad. Este tipo de aleaciones se suelen utilizar para la fabricación de perfiles de aluminio los cuales podrían adaptarse bastante bien a las especificaciones de ciertas piezas de las que se necesitan.

A continuación, se muestran las propiedades más significativas del aluminio 6061 en la figura 2.35.

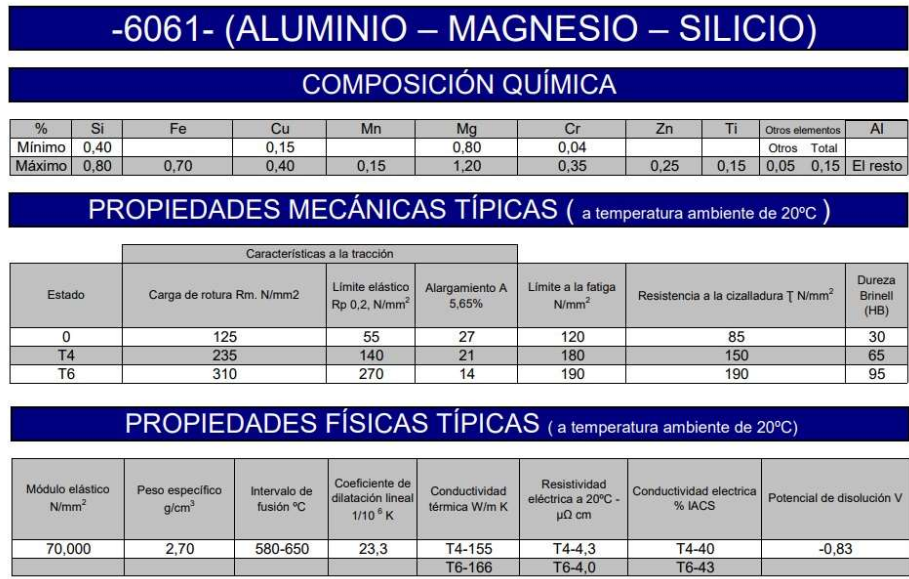


Figura 2.35. Propiedades del aluminio 6061 (20)

Acero inoxidable:

Aleación de hierro con un contenido de cromo > 10.5 % y de carbono < 1.2 %, necesario para asegurar la formación de una capa auto protectora superficial que proporciona resistencia al material ante la corrosión (capa pasiva).⁽²¹⁾ En la siguiente imagen (Figura 2.36) se muestran las diferentes familias de aceros que existen:

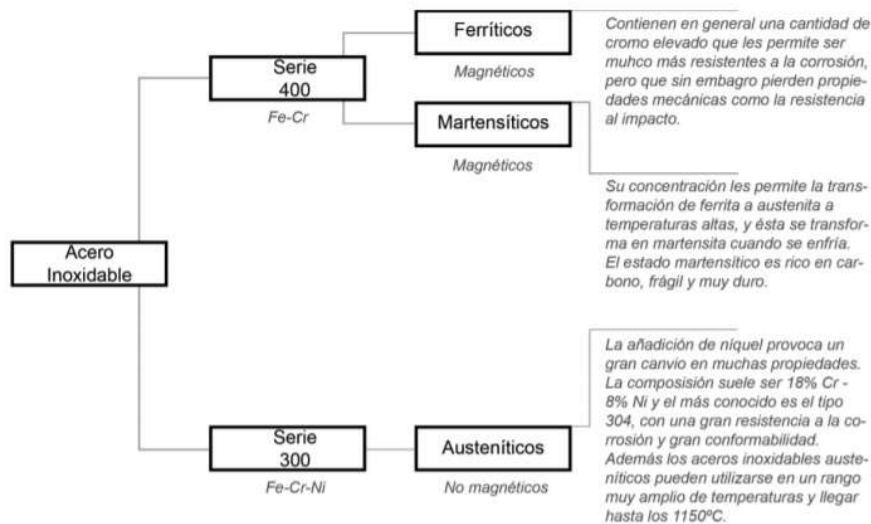


Figura 2.36. Familias de aceros inoxidables (22)

En el caso de la máquina de tatuajes se plantea el uso de aceros inoxidables principalmente de la serie 300 ya que son los más utilizados para la fabricación de electrodomésticos. Será necesario el uso de este tipo de material en aquellas piezas que soporten esfuerzos mayores, principalmente las estructurales, ya que es el material de todos los anteriormente mencionados con mejores propiedades mecánicas.

El problema principal que supone el empleo de este tipo de material es su elevada densidad que provocará que se incremente en gran medida el peso de la máquina por lo que únicamente se planteará su uso en aquellos casos que sea estrictamente necesario debido a las condiciones mecánicas que se generen del uso de la máquina.

A modo de nota informativa, se adjuntan las propiedades más importantes del acero 304 en la figura 2.37 mostrada debajo.

Acero 304 Propiedades Mecánicas	
Densidad	7.93 g/cm ³
Punto de fusión	1398-1454 °C
Calor específico (Capacidad calorífica específica)	500 J/(Kg·K) a 20°C
Resistividad eléctrica	0.73 μΩ·m (20°C)
Permeabilidad magnética	1.02 (Aproximado)
Modulo elastico	193 GPa (28×10 ⁶ psi)
Difusividad térmica	3.84 mm ² /s
Coeficiente de conductividad termica	16.3 (100 °C)
	21.5 (500 °C)
Coeficiente de dilatacion lineal	17.2 (0-100 °C)
	17.8 (0-300 °C)
	18.4 (0-500 °C)

Figura 2.37. Propiedades acero inoxidable 304 (23)

Una vez comentada la importancia de la selección de materiales, así como la relación entre funcionalidad-peso-costes de fabricación, se van a realizar simulaciones de ciertas partes de la estructura de la máquina que por su complejidad o su actividad es necesario comprobar que su comportamiento se adecuado.

A modo de simplificación inicialmente sólo se realiza un estudio sobre una de las piezas de la guía poligonal que se detalló anteriormente. En este caso se va a emplear el ABS como material de partida debido a sus buenas propiedades mecánicas y baja densidad.

Para realizar la simulación se supone que el conjunto del cajetín de la tinta con todos sus mecanismos y cableado interior pesarán alrededor de 1 kg (10 N) peso que se aplicará proporcionalmente sobre todas aquellas superficies sobre las que apoyará dicho conjunto.

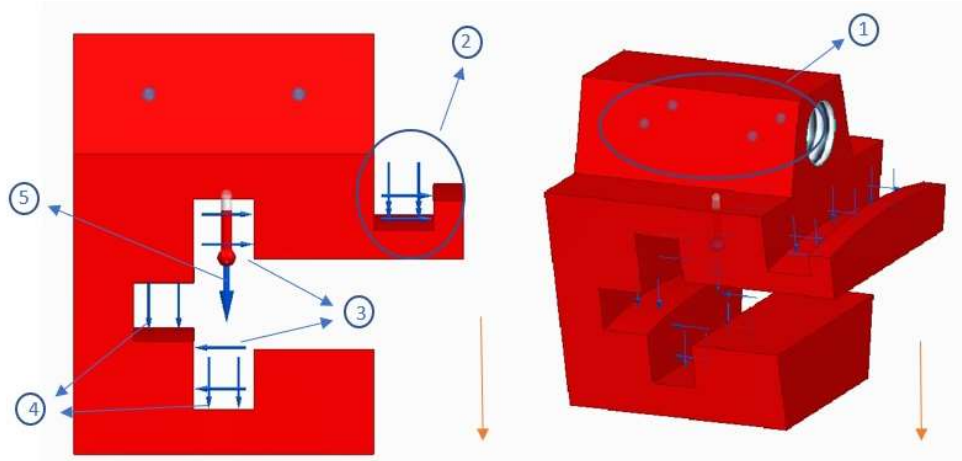


Figura 2.38. Simulación de pieza de guía poligonal en ABS

El centro de gravedad del cajetín de la tinta estará situado a una distancia 'x' en horizontal del centro de gravedad de la pieza que se está estudiando. En la figura anterior se muestra la carga derivada del peso del cajetín en forma de flecha naranja mostrando aproximadamente cómo sería la situación final del conjunto.

1. Esta superficie hace referencia al hueco por el cuál pasará el tornillo (número 17 de figura 2.30) o bien las guías de soporte de peso (número 19 de figura 2.30). Desde el punto de vista de la simulación de esta pieza, supondremos que este hueco se mantiene fijo ya que analizando un instante de tiempo determinado ese será el punto del que cuelgue todo el peso del conjunto.
2. Zona de la pieza encargada de generar el movimiento de rotación mediante engranaje o rueda de fricción. Debido a que se tratan de superficies que han de generar un movimiento, no han de estar sobrecargadas en exceso así que serán diseñadas de forma tal que soporten alrededor de un 10% de la carga total del conjunto.
3. Superficies encargadas de soportar la mayor parte de la carga y de fijar el conjunto del cajetín de la tinta a la pieza en cuestión para que no se salga.
4. Al igual que las superficies 3 soportarán gran parte del peso del conjunto con la diferencia principal de que en este caso la carga que se deriva es paralela a la dirección de la gravedad, por lo que no se generarán momentos flectores sobre ellas.
5. Gravedad propia de la pieza en cuestión.

A continuación en las figuras 2.39 y 2.40, se muestran los resultados obtenidos al realizar la simulación anteriormente detallada.

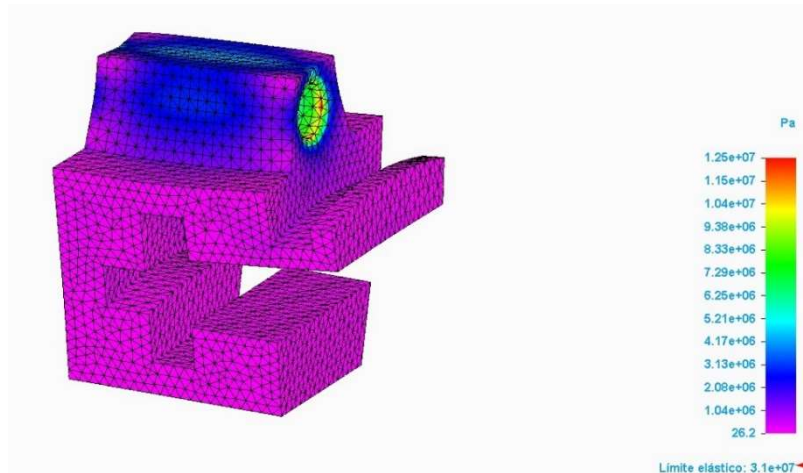


Figura 2.39. Tensión de Von Mises en pieza de guía poligonal

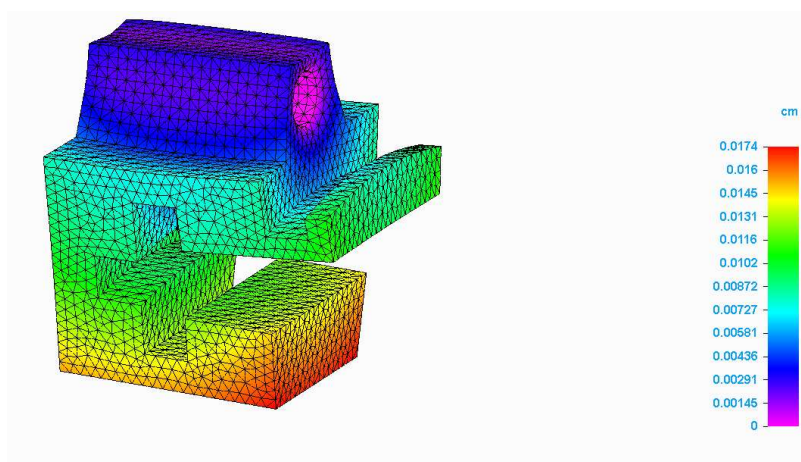


Figura 2.40. Desplazamientos en pieza de guía poligonal

De la figura 2.39 se deduce que la estructura diseñada está capacitada para soportar los esfuerzos que se derivan del funcionamiento de la máquina ya que no se llega a alcanzar el límite elástico del material en cuestión (ABS). En este caso, el factor de seguridad mínimo que existe en aquellas zonas de la pieza más sometidas a cargas es de 2.48, es decir la tensión máxima que se da en la pieza es 2.48 veces inferior que el límite elástico.

Sin embargo, pese al buen comportamiento desde el punto de vista de los esfuerzos, se observa en la figura 2.40 que este no lo es tanto desde el punto de vista de los desplazamientos que se producen en los distintos puntos de la estructura. La mayor parte de la pieza sufrirá desplazamientos de alrededor de 0.1 mm durante su funcionamiento y aquellas zonas más debilitadas pueden llegar a soportar desplazamientos de hasta cerca de 0.2 mm.

Debido a la elevada precisión que se precisa a la hora de realizar un tatuaje, se ha de descartar la opción estudiada ya que desplazamientos del orden comentado podrían llegar a producir imperfecciones visibles en el dibujo final que se realice.

Para subsanar el problema de los desplazamientos sin que se vea comprometido en exceso el peso de la pieza, se propone emplear una estructura de aluminio 6061 encajada en la pieza de ABS, de forma tal que sea el aluminio el encargado soportar los esfuerzos (a modo de esqueleto) mientras que el polímero únicamente realizará una función formadora del conjunto (es decir, otorga forma a la pieza en cuestión).

En la figura 2.41 que se muestra a continuación, se observa cómo sería el resultado obtenido en diferentes vistas, la última de ellas ilustrando la estructura de aluminio de manera individual:

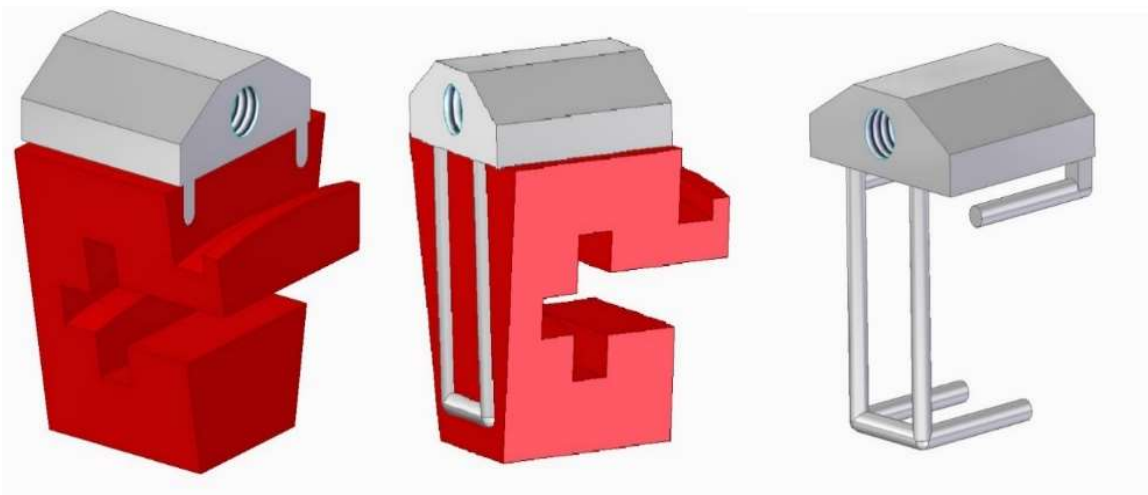


Figura 2.41. Pieza reforzada con estructura de aluminio

Debido a que el programa empleado no da la opción de combinar dos tipos de materiales en una sola simulación, se van a realizar dos simulaciones para comprobar que el resultado obtenido es válido para corregir el problema detectado.

En primer lugar, se prueba a cargar la estructura de aluminio para comprobar que es suficientemente resistente para soportar las tensiones que se generen.

Los resultados de dicha simulación se muestran a través de imágenes en las figuras 2.42 y 2.43.

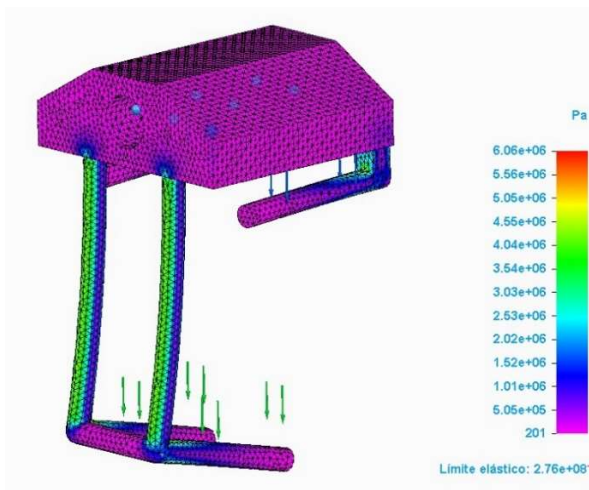


Figura 2.42. Tensión de Von Mises estructura de aluminio

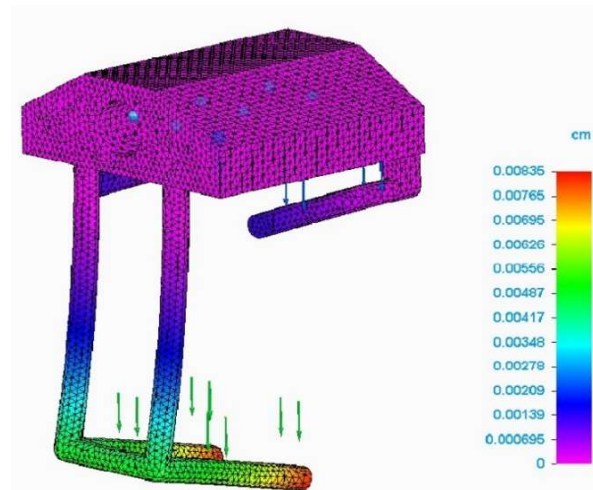


Figura 2.43. Desplazamientos estructura de aluminio

Como se observa, las tensiones que se generan en la estructura siguen siendo perfectamente admisibles, incluso se incrementa el factor de seguridad en gran medida hasta alcanzar valores cercanos a 50. Sin embargo, los desplazamientos en la estructura son del orden de la mitad de los anteriormente calculados por lo que se obtiene el resultado que se deseaba sin comprometer en gran medida el peso de la pieza en cuestión.

A continuación, a modo de comparativa se detalla cómo sería el peso de la pieza fabricada en ABS únicamente o bien con la combinación de ABS y aluminio 6061 vista en la última simulación mostrada (Figuras 2.44 y 2.45).

Global	Principales	
Masa:	Volumen:	Área de superficie:
113.940 g	111.270 cm ³	262.98 cm ²

Figura 2.44. Propiedades de la pieza fabricada en ABS

Global	Principales
Masa:	Volumen:
0.291 kg	203540.184 mm ³
Masa de sustitución de cantidad:	<input type="checkbox"/> Usar como la masa del conjunto
0.291 kg	

Figura 2.45. Propiedades de la pieza fabricada en ABS+Aluminio 6061

Se observa que la pieza ha incrementado su peso en alrededor del 40% debido a que la densidad del aluminio es bastante mayor que la del polímero ABS.

Se podría plantear el uso de acero inoxidable AISI 304 para mejorar aún más la precisión del conjunto estructural y que sus desplazamientos y factor de seguridad sean aún mejores. Sin embargo, ello conllevaría un incremento en el peso de la estructura muy superior, lo cual no resulta necesario (e incluso puede ser contraproducente ya que comprometería el fácil manejo de la misma) debido a que con los resultados obtenidos anteriormente la fiabilidad y precisión de la máquina ha de ser lo suficientemente alta para desempeñar su labor.

3. Diseño definitivo

Tras haber comentado los primeros pasos que se han seguido durante las etapas iniciales de diseño de la máquina así como las tecnologías utilizadas, se va a proceder a detallar cómo sería el diseño final de la máquina en cuestión.

Tras un análisis intenso de la funcionalidad y manejo del prototipo diseñado con anterioridad, se llega a la conclusión de que desde el punto de vista de su uso en el ámbito doméstico resulta un poco complicada su adaptación.

En primer lugar se trataría de un aparato de grandes dimensiones y peso que no encajaría para su uso en todo tipo de espacios lo cual limita bastante su funcionalidad.

Posteriormente, cabe destacar la complejidad que requiere realizar un diseño óptimo del conjunto de manera tal que las guías poligonales comentadas en el apartado anterior realicen su función sin problemas y con precisión. Esto es así principalmente debido a que las uniones abisagradas entre piezas no aseguran una estabilidad lo suficientemente buena como para que se dé un buen comportamiento del conjunto, lo cual supone que habría que dotar de refuerzos a la estructura para que cumpliera su función de manera correcta.

Por último, desde el punto de vista de la usabilidad por parte del consumidor, también resulta incómodo tener que realizar cambios en la estructura de la máquina cada vez que se desee modificar la superficie del cuerpo donde se quiera dibujar el tatuaje, ya que esto puede no resultar nada intuitivo y generar problemas para el mismo.

3.1. Descripción general de elementos

En primer lugar se va a comenzar mostrando en la figura 3.1 cómo sería el diseño final de la máquina y todas sus partes:

- 1 – Placa base
- 2 – Unión abisagrada central
- 3 – Guía circular
- 4 – Tornillo
- 5 – Uniones abisagradas laterales
- 6 – Soportes
- 7 – Conjunto del cajetín de la tinta
- 8 – Guía lineal
- 9 – Guías para soporte de peso
- 10 – Soportes externos

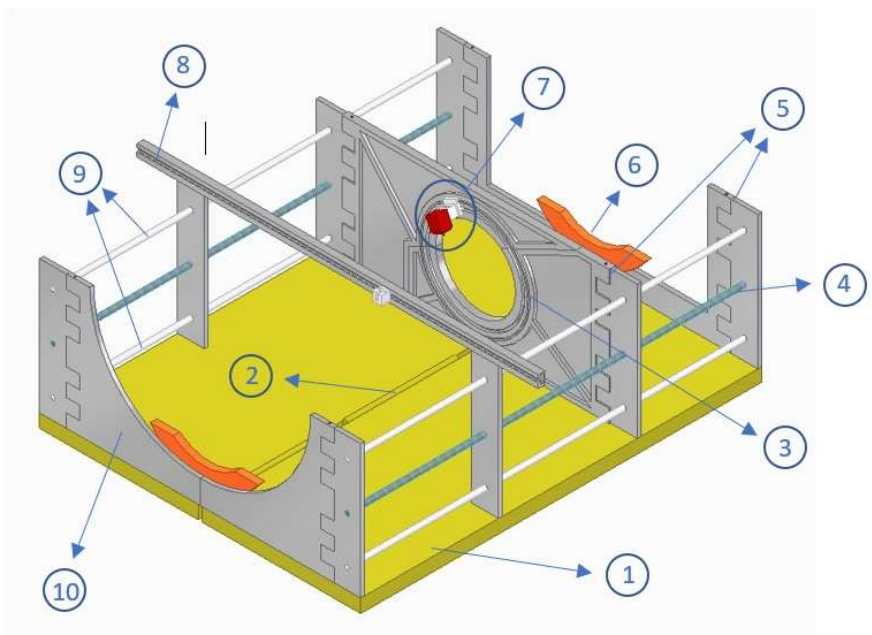


Figura 3.1. Prototipo final

A continuación se va a comentar a grandes rasgos cuales son las diferentes partes que conforman la estructura de la nueva máquina:

1. Placa base: realiza una función de soporte de la estructura al completo. Sobre ella se apoyan directa o indirectamente todos los elementos que conforman la máquina.
2. Unión abisagrada central: una de las ventajas principales a destacar de este diseño es que se ha realizado de forma que sea plegable, por lo que se adapta mucho mejor a las necesidades de un aparato doméstico cuyas dimensiones han de ser admisibles para poder almacenarlo cómodamente. Esta bisagra central divide la placa base en dos de manera tal que a la hora de almacenarla ocupe la mitad de espacio.
3. Guía circular: este elemento sustituye a la guía poligonal del apartado anterior. Sobre ella circulará un acoplamiento (el cual se observa en la imagen de color blanco) que a su vez estará conectado al cajetín de la tinta. De la misma forma que la placa base esta pieza está dividida en dos partes con la idea de plegar la máquina como se comentó anteriormente.
4. Tornillo: elemento que actuará para proporcionar de movimiento de translación longitudinal al conjunto de la guía circular y lineal (se detallará a continuación). En uno de sus extremos estará conectado a un motor a través de un acoplamiento para dotar de movimiento de rotación al conjunto generando el avance de las guías.
5. Uniones abisagradas laterales: como se ha comentado anteriormente la idea es diseñar el conjunto de forma tal que se pueda plegar el conjunto para ocupar el mínimo espacio posible. Estas uniones se encargan de plegar elementos como las guías y los soportes de los extremos que se detallarán a continuación.
6. Soportes: se trata de dos piezas que se encargarán de realizar la sujeción del brazo o pierna en cuestión sobre el que se esté realizando el tatuaje para evitar que un movimiento del cuerpo pueda provocar que el dibujo sea defectuoso.
7. Conjunto del cajetín de la tinta: albergará en su interior todos los componentes electrónicos necesarios para el funcionamiento del mismo así como la tinta que se empleará para la ejecución del tatuaje. Como se ha comentado anteriormente irá conectado a la guía a través de un acoplamiento intermedio.
8. Guía lineal: este elemento sustituye a la guía poligonal del apartado anterior cuando se encontraba abierta. Sobre ella circulará un acoplamiento (el cual se observa en la imagen de color blanco) igual que en el caso de la guía circular. En este caso la pieza en cuestión será fácilmente extraíble para facilitar el plegado de la máquina.
9. Guías para soporte de peso: en este caso se trata de una serie de barras que soportarán el peso de las guías 3 y 8 a las cuales estarán conectadas mediante una serie de cojinetes lineales. La función principal de estas es evitar que el tornillo (4) soporte ningún tipo de esfuerzo derivado del propio peso de la máquina para que este pueda girar libremente sin obstrucciones de ningún tipo que dificulten su desplazamiento.
10. Soportes extremos: piezas que se sitúan en los extremos de la máquina y que realizarán una función tanto estructural, dotando de cuerpo a la misma, como de soporte. La idea es que cuando se deseen realizar tatuajes sobre superficies más planas como la espalda o el pecho se pueda apoyar el tronco sobre ellos para evitar movimientos extraños que puedan provocar fallos en el dibujo. Debido a su función serán piezas que deberán estar especialmente reforzadas para soportar el peso del tronco de una persona sobre ellas.

3.2. Descripción detallada de elementos

Tras haber comentado todas las partes que forman la máquina de manera general se va a comenzar a detallar aquellas más complejas por separado para que la comprensión del funcionamiento de la máquina sea lo más correcta posible.

Además, a lo largo de este apartado se mostrarán simulaciones de aquellas piezas estructurales que por su función requieran de un estudio detenido de los esfuerzos a soportar.

3.2.1. Guía circular:

Es una de las piezas más importantes de la máquina en cuestión ya que es la encargada de generar el movimiento de rotación del cajetín de la tinta alrededor del brazo o pierna a tatuar. Como se observa en la figura 3.2, la pieza está seccionada por su parte central y únicamente se visualiza la parte izquierda de la misma. Esto es así para que pueda plegarse como se comentó en el apartado anterior.

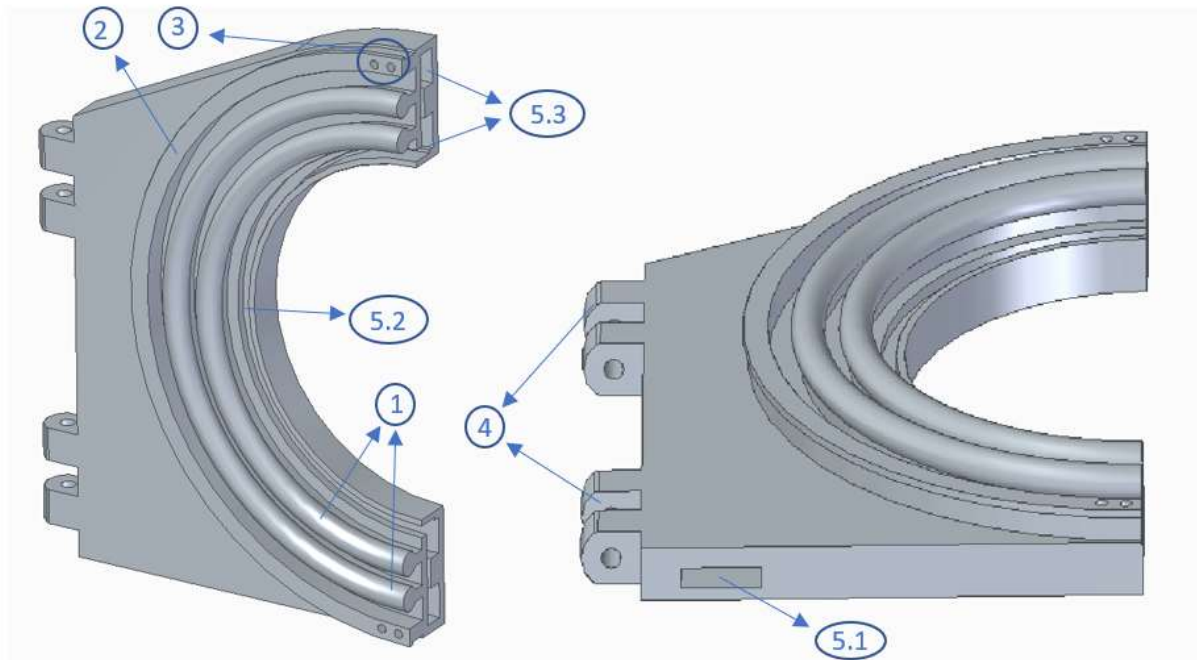


Figura 3.2. Detalle de guía circular

1. Guías: es el elemento central de la pieza en cuestión. Se trata propiamente de las guías que han sido creadas para que el cajetín de la tinta circule por ellas (para ello como se verá más adelante se diseña un acoplamiento que realiza la unión móvil entre ambos). Cada una de ellas forman una especie de toroide unido a la pieza mayor a través de una sección en forma de anillo de sección rectangular.
2. Rueda de fricción: para generar el movimiento de rotación del cajetín de la tinta se plantea la opción de emplear ruedas de fricción, que accionada una de ellas por un motor (conectado al acoplamiento que se comentó anteriormente) provocaría que el conjunto realizara dichos movimientos.
3. Uniones atornilladas: como se ha comentado, la pieza estaría dividida en dos partes para poder plegar el conjunto. Estas uniones hacen las veces de refuerzos para mantener el conjunto cerrado y sin que se produzcan movimientos extraños cuando el mecanismo se encuentre funcionando.
4. Uniones abisagradas: elementos encargados del plegado del conjunto de la guía circular.

5. Huecos para cableado: debido a que el mecanismo está pensado para realizar movimientos circulares alrededor de una guía, existe el problema de que los cables al girar se enrollen sobre el brazo o pierna que se esté tatuando pudiendo provocar fallos en el sistema.

Para subsanar dicho contratiempo, se plantea dejar la pieza hueca por su zona interior dejando varias salidas para que los cables puedan circular enrollándose sobre la propia pieza y no sobre el usuario que se esté tatuando.

- 5.1. Hueco de entrada de cableado al interior de la pieza.
- 5.2. Hueco de salida de cableado al cajetín de la tinta. Dicho hueco coincidirá con otro realizado sobre el acoplamiento como se explicará próximamente.
- 5.3. Huecos de conexión de parte interior izquierda y derecha.

Tras comentar las partes diferenciadas de la guía circular, se procede a explicar el funcionamiento del acoplamiento empleado para el cajetín de la tinta (Figura 3.3):

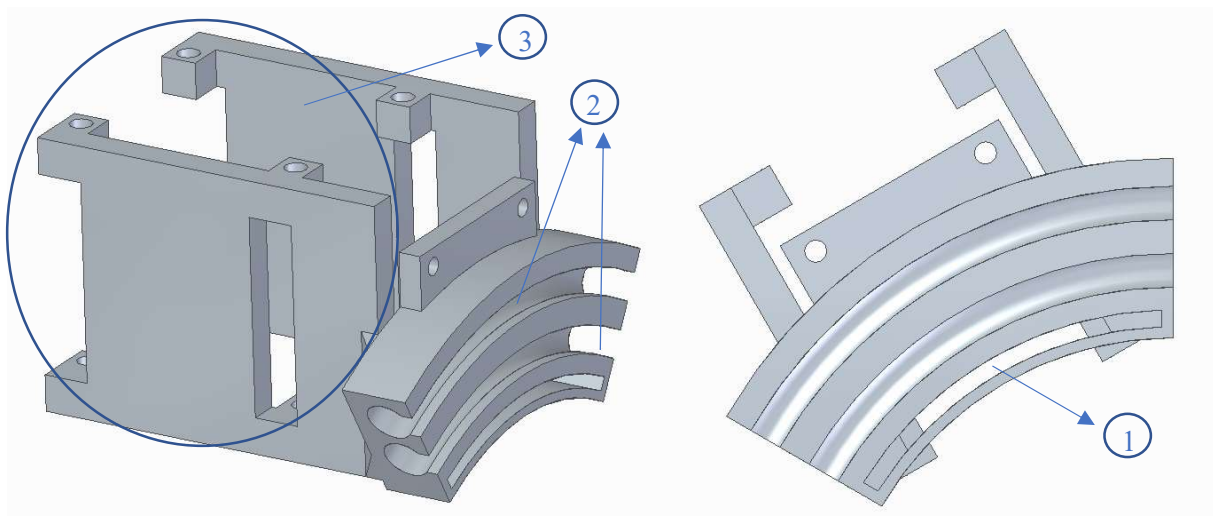


Figura 3.3. Acoplamiento para cajetín de la tinta

1. Hueco para cableado: como se ha comentado anteriormente, esta abertura está diseñada para que al girar coincida en todo momento con el hueco 5.2 de la figura 3.2.
2. Guías: es el elemento central de la pieza en cuestión. Se trata de dos huecos cilíndricos que han sido creados para que encajen a la perfección en las guías de la figura 3.2. (presentan el mismo radio de curvatura). Para asegurar que el deslizamiento entre ambas guías sea óptimo, se plantea el uso de rodamientos de bolas acoplados al conjunto simulando el funcionamiento de un cojinete.
3. Estructura de unión para cajetín: en este caso el elemento que se muestra consiste en una estructura que aguardará la función de conectar el cajetín de la tinta con el acoplamiento en cuestión. La unión se plantea que se realice a partir de una serie de varillas roscadas con tuercas de manera tal que sea regulable en cierta medida la altura de la aguja de tatuar para adaptarse a las superficies corporales implicadas.

Debido a que la guía circular es una pieza de gran importancia para que se de un funcionamiento correcto de la máquina, se va a realizar un estudio más detallado de la misma ejecutando una simulación de los posibles esfuerzos derivados del uso (Figuras 3.4 y 3.5).

Como condiciones para la realización de la simulación, se va a suponer que se emplea ABS como material de fabricación de la misma y que el conjunto de acoplamiento y cajetín de la tinta pesarán entorno a 1 kg (peso sobredimensionado para asegurarnos de que las condiciones en las que finalmente funcionará sean lo suficientemente correctas).

Uno de los problemas que se encuentran al realizar la simulación, es que no podemos reproducir la situación real de carga que sufrirá la guía ya que el programa únicamente permite aplicar las mismas sobre superficies enteras y no sobre partes de las mismas.

En una situación real únicamente la parte de la guía en la que se encuentre el cajetín en cada momento se encontrará cargada mientras el resto permanece inalterada.

Para realizar la simulación de una manera que permita observar aproximadamente el comportamiento de la guía, se ha aplicado sobre ellas una carga en dirección 'z' cuatro veces mayor de lo previsto pensando que aproximadamente el acoplamiento del cajetín de la tinta ocupará un cuarto de circunferencia. De esta forma se consigue que el peso por cada cuarto de circunferencia sea igual que si el cajetín de la tinta estuviera sobre el mismo.

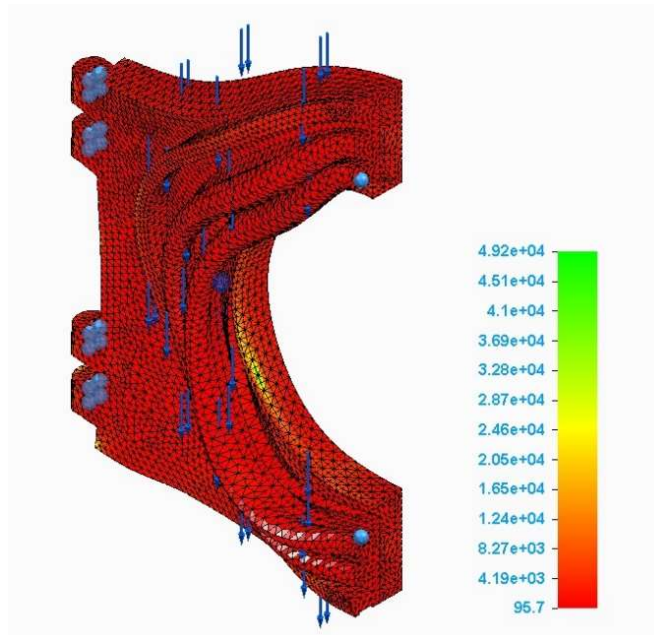


Figura 3.4. Tensión de Von Mises de guía circular

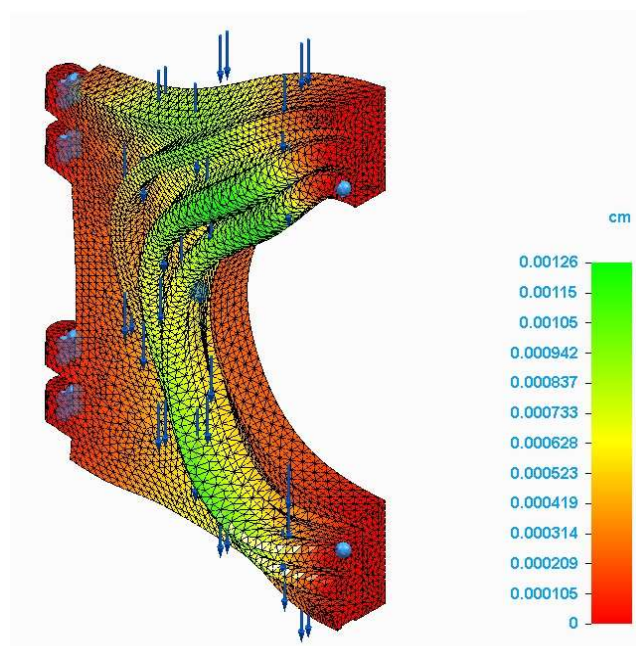


Figura 3.5. Desplazamientos de guía circular

De las figuras anteriores se puede deducir dos aspectos:

- El primero de ellos es que la pieza diseñada soporta sobradamente las tensiones que se derivan de las cargas aplicadas, alcanzando un factor de seguridad sobre el límite elástico del material cercano a 100.
- El segundo es que los desplazamientos que se dan en los puntos de la estructura son completamente admisibles desde el punto de vista de la precisión de la máquina y no han de alterar en principio el funcionamiento de la misma.

De igual forma se va a realizar una simulación sobre el acoplamiento para el cajetín de la tinta en la que se observará si su comportamiento es correcto (Figuras 3.6 y 3.7).

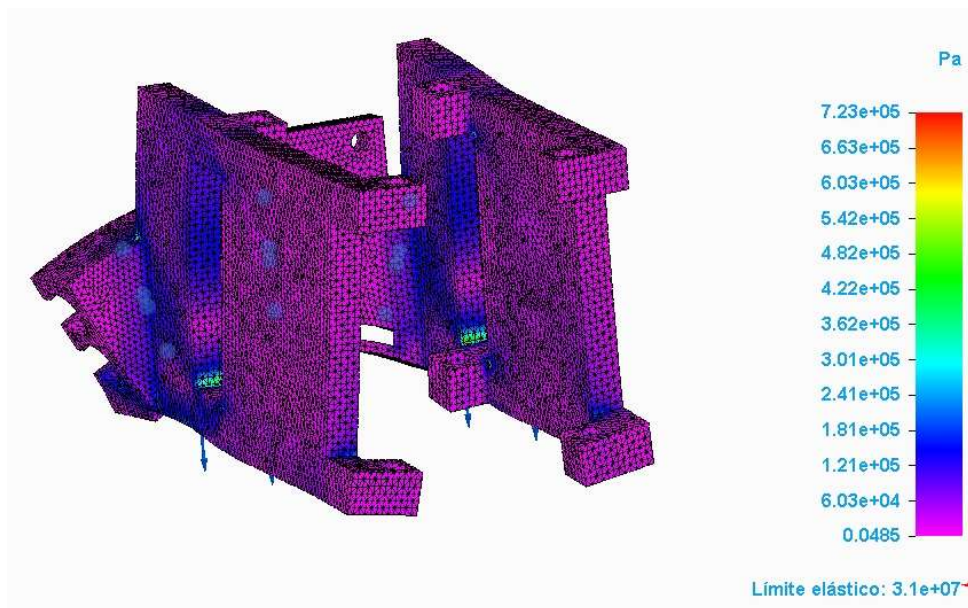


Figura 3.6. Tensión de Von Mises del acoplamiento

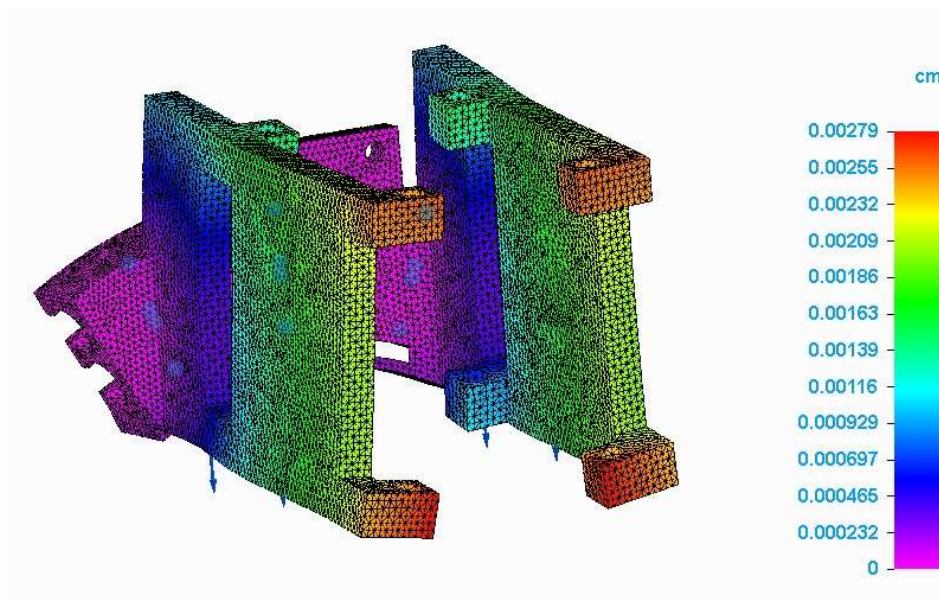


Figura 3.7. Desplazamientos del acoplamiento

Las conclusiones que se sacan en este caso son similares a las extraídas en el caso de las guías circulares, siendo perfectamente admisibles las tensiones y los desplazamientos que se generan.

3.2.2. Guía lineal:

Al igual que en el caso anterior, es una de las piezas más importantes de la máquina en cuestión ya que es la encargada de generar el movimiento de translación lineal del cajetín de la tinta cuando se desee realizar un tatuaje sobre una superficie plana como puede ser la espalda o el pecho.

Desde el punto de vista del prototipo cuya fabricación se detallará más adelante, no se tendrá en cuenta este elemento ya que se trata de una pieza sencilla y que no supone un problema desde la perspectiva del funcionamiento de la máquina (se trata de una tecnología muy utilizada en máquinas como impresoras 3D).

En las figuras 3.8 y 3.9 se muestran las simulaciones de cómo se comportaría la misma ante los esfuerzos a los que estaría sometida suponiendo el ABS como material de fabricación.

De igual forma que en el caso anterior se va a aplicar al peso del cajetín (1 kg) un coeficiente de ampliación de 4, ya que se supone que el acoplamiento que se empleará para el cajetín de la tinta tendrá dimensiones de aproximadamente un cuarto de la guía completa.

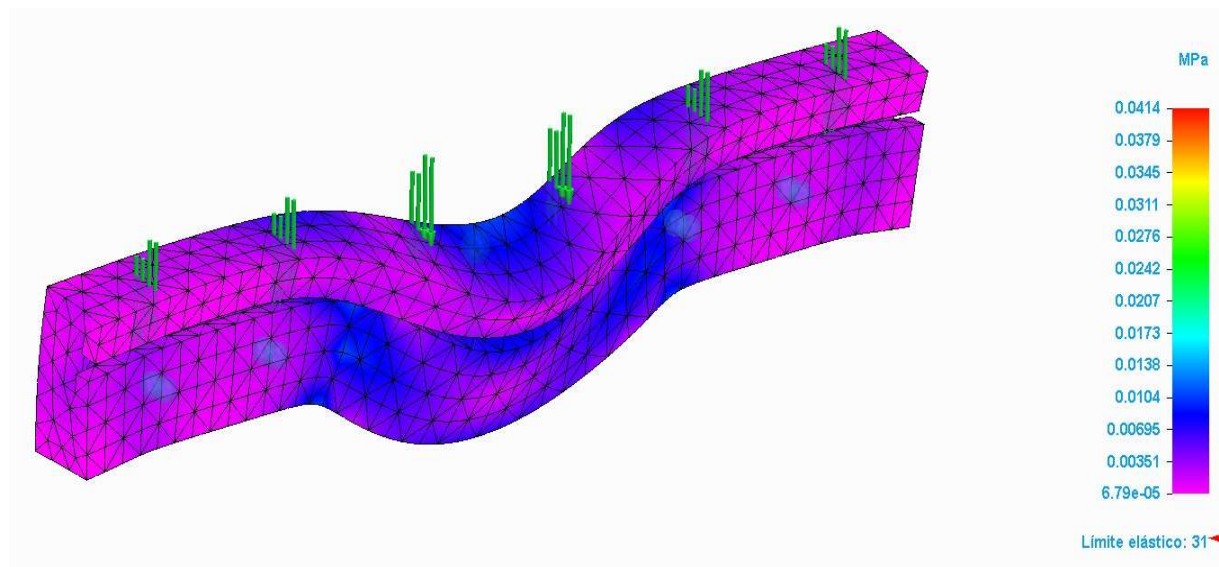


Figura 3.8. Tensión de Von Mises guía lineal

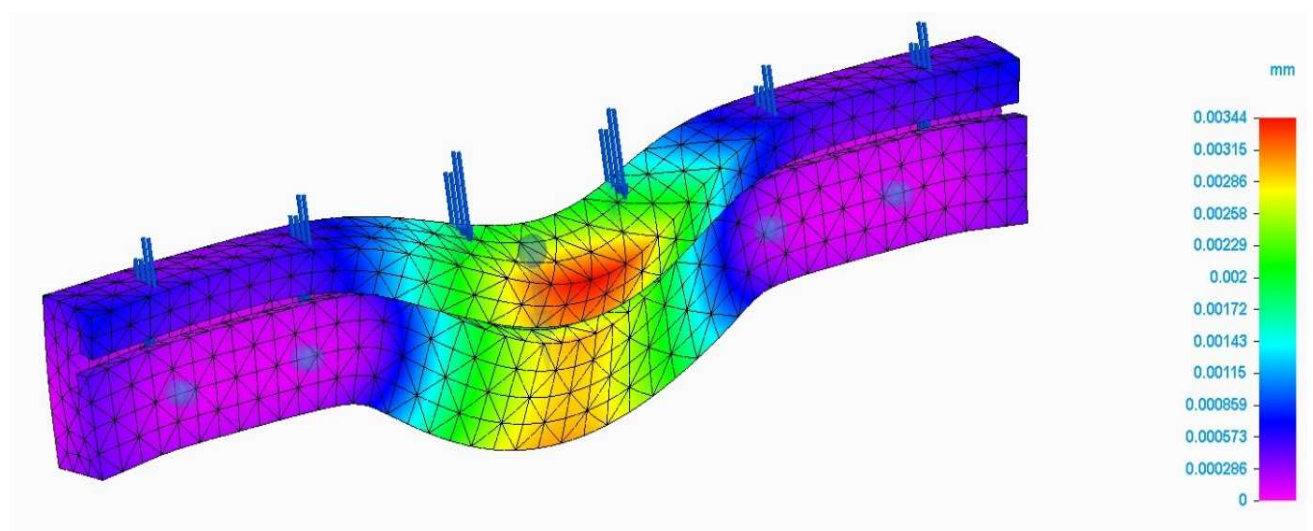


Figura 3.9. Desplazamientos guía lineal

El comportamiento de la guía lineal se ajusta a las especificaciones que se esperan lo cual asegura una buena precisión de la máquina y una minimización de los errores e imperfecciones en el tatuaje que se vaya a dibujar.

Para estudios posteriores será necesario conocer el peso de la guía que se acaba de detallar, el cual se puede obtener fácilmente a partir del programa utilizado para el diseño de las piezas (Figura 3.10).

Global		Principales	
Masa:	Volumen:	Área de superficie:	
0.672 kg	656198.562 mm ³	118863.72 mm ²	

Figura 3.10. Propiedades de la guía lineal

A continuación se va a mostrar el diseño del acoplamiento en este caso creado para conseguir una unión móvil entre la guía lineal y el cajetín de la tinta (Figura 3.11).

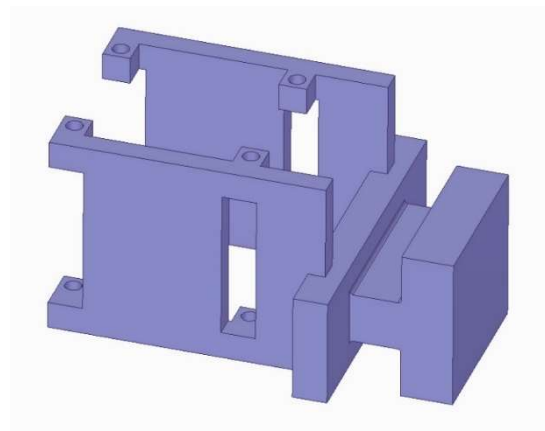


Figura 3.11. Acoplamiento para cajetín de la tinta

Se trata de un diseño muy parecido al del caso anterior ya que la función que va a tener esta pieza es similar a la buscada anteriormente.

Tras conocer como es geoméricamente la pieza en cuestión, se procede a mostrar los resultados de las simulaciones obtenidas tras aplicar los esfuerzos a los que se supone estará sometida (Figuras 3.12 y 3.13).

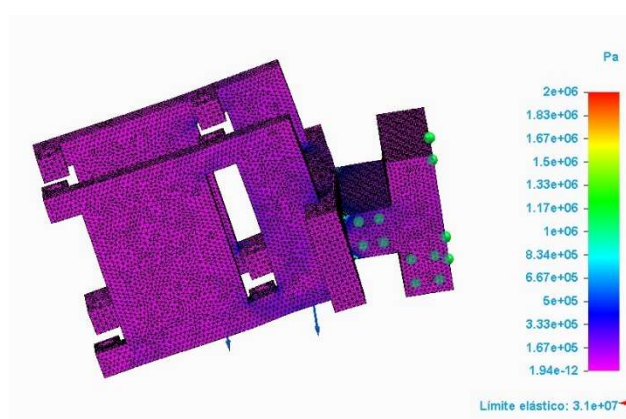


Figura 3.12. Tensión de Von Mises del acoplamiento

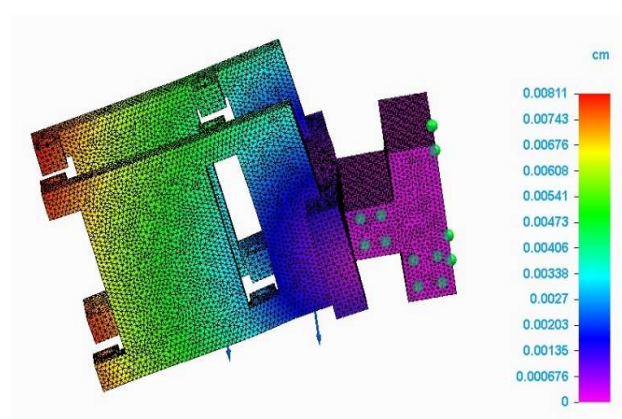


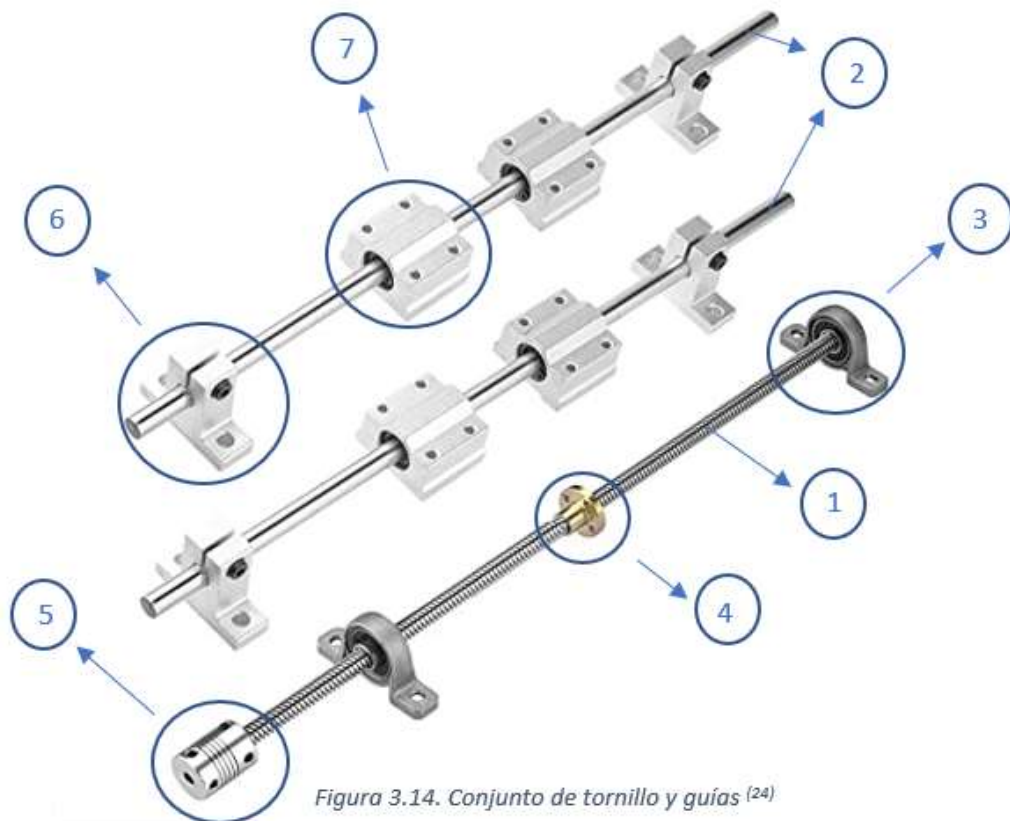
Figura 3.13. Desplazamientos del acoplamiento

Los resultados de nuevo son similares a los obtenidos en el caso del acoplamiento circular lo cual era de esperar, ya que tanto la geometría como las cargas soportadas por las piezas son bastante parecidas en ambos casos.

3.2.3. Conjunto de tornillo y guías de soporte de peso:

Se trata de un grupo de elementos de gran importancia tanto estructural como de movilidad del mecanismo en cuestión, ya que el movimiento de translación de las guías (circular y lineal) se realizará gracias al mismo.

Para la elaboración del prototipo de la máquina, la cual se detallará más adelante, se ha empleado un conjunto de piezas prefabricadas que se mostrarán a continuación con alguna de las propiedades de las mismas (Figura 3.14). Se trata de un conjunto de elementos diseñados para su uso en impresoras 3D pero que por su geometría y funcionalidad se ajustan bastante a los requisitos que se desean obtener.



Especificaciones:

1. Tornillo: Rosca T8, Longitud 400 mm, Material Acero Inoxidable
2. Guías: Diámetro 8 mm, Longitud 400 mm, Material Acero Inoxidable

Además de las piezas comentadas, en la imagen se muestra un conjunto de elementos más completo el cual está formado por:

3. Soporte con rodamientos de bolas
4. Husillo roscado
5. Acoplamiento para motor
6. Soporte para sujeción de guías
7. Rodamientos lineales

Se van a utilizar las dimensiones del tornillo y las guías para elaborar simulaciones que permitan conocer si el comportamiento de las mismas va a ser correcto como se ha realizado en casos anteriores.

El resto de los elementos están diseñados para trabajar en conjunto con estos por lo que se supone que si el funcionamiento de los mismos es correcto también lo será para estos.

Hay que tener en cuenta que para realizar las simulaciones se debe que conocer cuál es el peso que van a soportar las guías en cuestión. El peso será calculado a partir de los datos que nos facilita el programa de las diferentes piezas que interfieren (Figura 3.15):

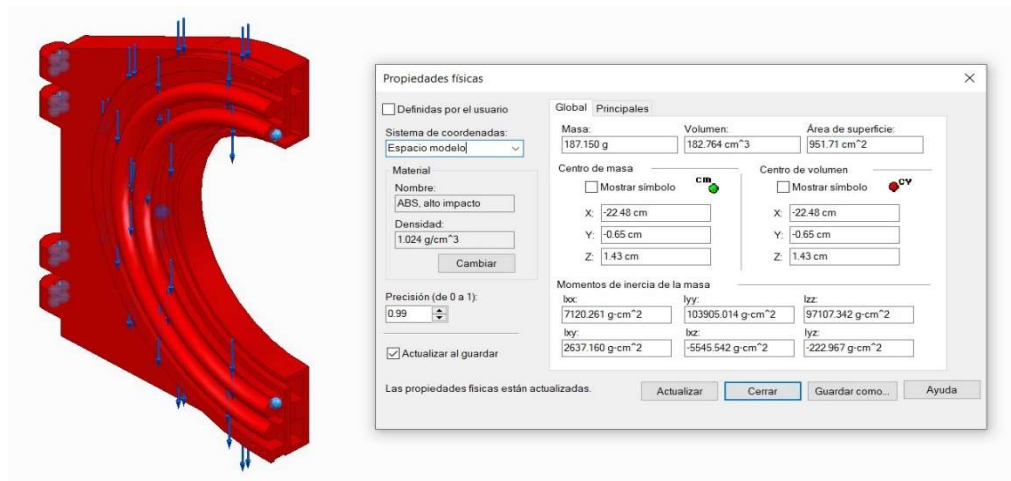


Figura 3.15. Propiedades de la guía circular

El peso de la guía circular completa sería el doble del mostrado en la figura anterior debido a que únicamente se tiene en cuenta en la misma la parte izquierda.

Además habría que sumar 1 kg que como en simulaciones anteriores se le presupone al mecanismo completo del cajetín de la tinta y el peso de la guía lineal el cual se comentó anteriormente.

Por tanto sumando todo lo anteriormente mostrado y aplicando un coeficiente de seguridad, se va a suponer que el peso a soportar por las barras será de aproximadamente 3 kg repartido entre las cuatro guías que tiene la máquina en conjunto.

Se realizan dos pruebas, una con el peso centrado en el punto medio de la guía (Prueba 1: Figuras 3.16 y 3.17) y otra con el peso situado a 125 mm del centro de la misma (Prueba 2: Figuras 3.18 y 3.19).

Prueba 1: Carga céntrica

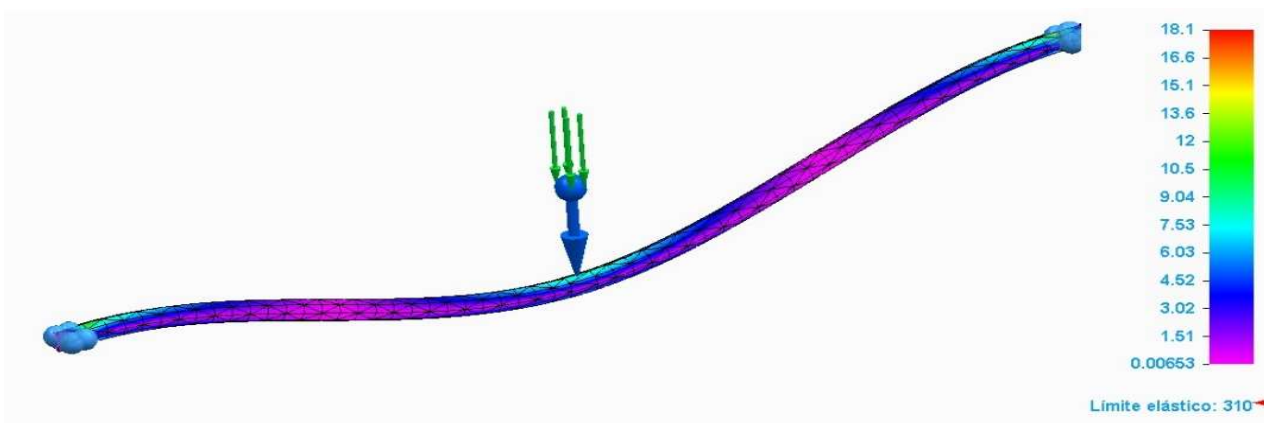


Figura 3.16. Tensión de Von Mises con carga céntrica

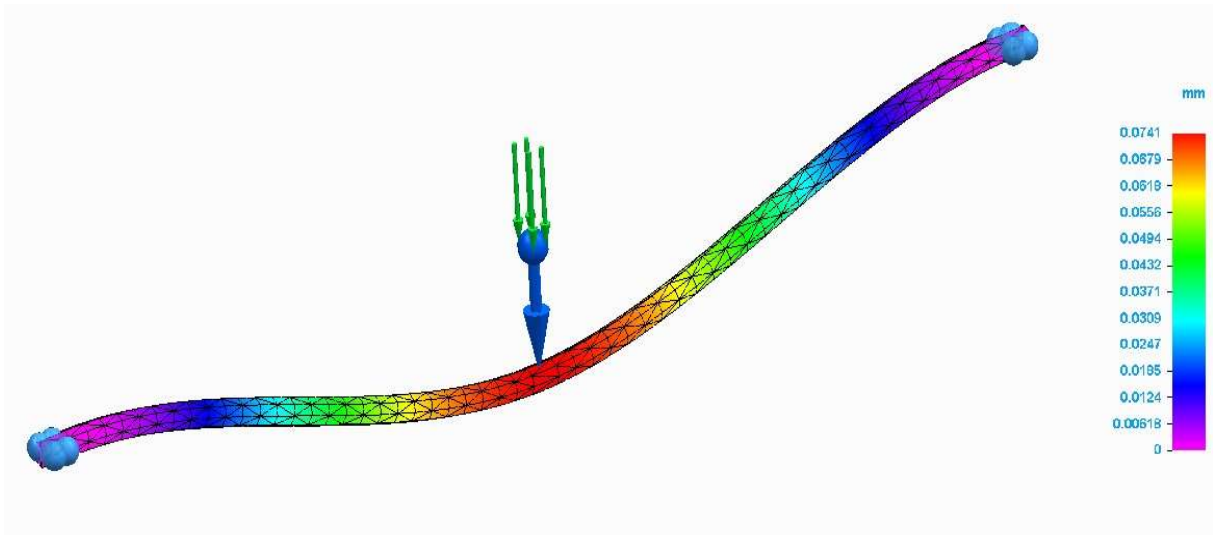


Figura 3.17. Desplazamientos con carga céntrica

Prueba 2: Carga excéntrica

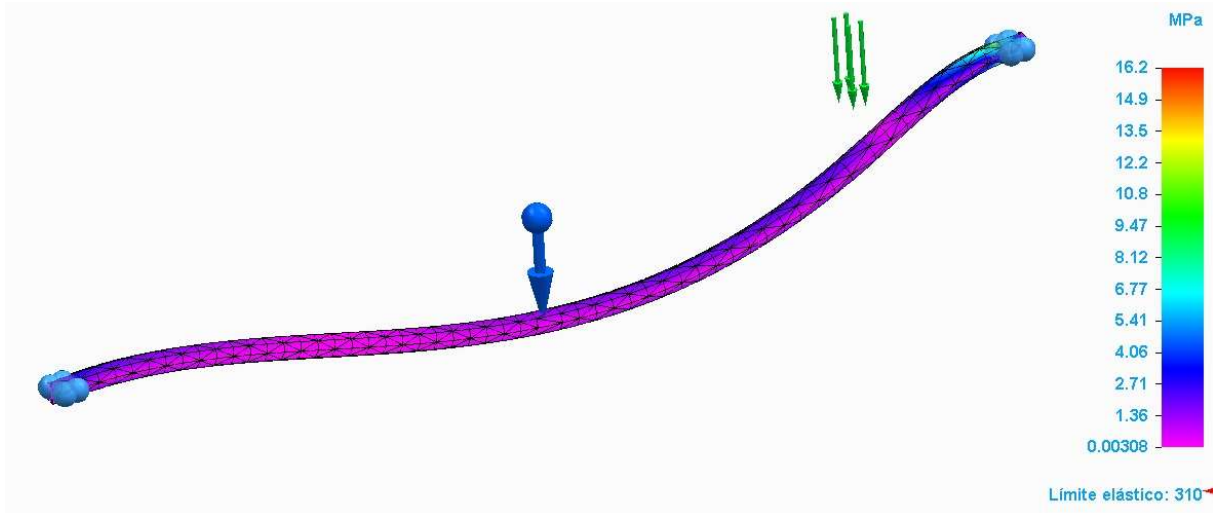


Figura 3.18. Tensión de Von Mises con carga excéntrica

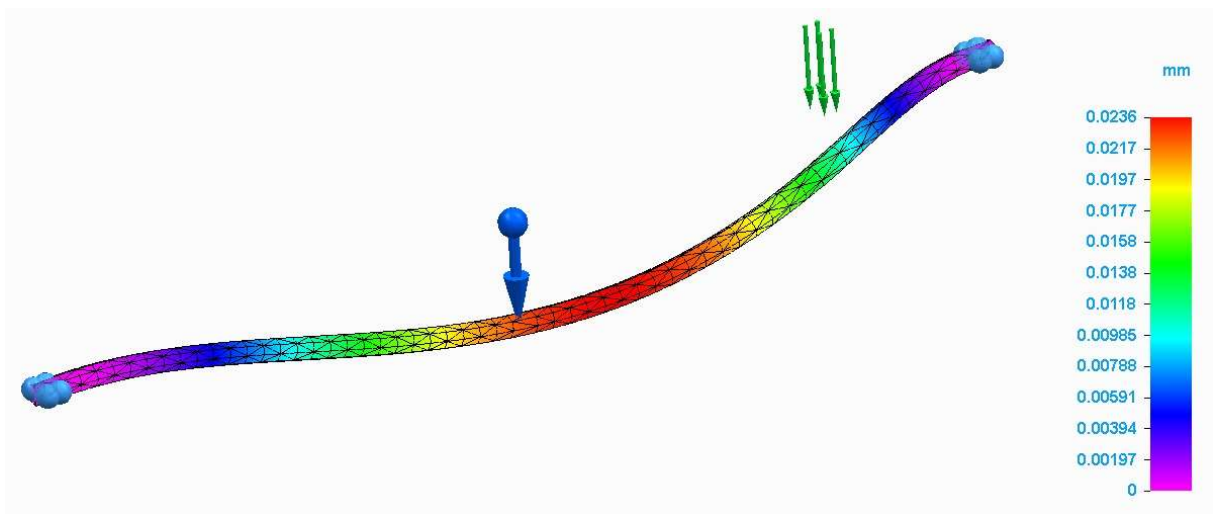


Figura 3.19. Desplazamientos con carga excéntrica

Tras realizar ambas pruebas se llega a la conclusión de que las guías están preparadas para soportar las cargas que se derivan del funcionamiento de la máquina al igual que el resto de los elementos analizados anteriormente, ya que las tensiones y desplazamientos que se generan son totalmente admisibles.

A continuación se muestran los pesos de las barras en cuestión los cuales se utilizarán más adelante para analizar otras zonas de la máquina (Figura 3.20):

Global	Principales	
Masa:	Volumen:	Área de superficie:
0.156 kg	20156.773 mm ³	10176.31 mm ²

Figura 3.20. Propiedades de las guías para soporte de peso

3.2.4. Uniones abisagradas:

En este caso se va a detallar el diseño de las distintas uniones abisagradas que se van a emplear para poder plegar la máquina y que además realizan la función de soporte de otros elementos como son la guía circular y lineal, el conjunto de tornillo y guías de soporte de peso, y los soportes externos.

Se va a comenzar explicando la geometría de las piezas empleadas en el caso de la guía circular y lineal (Figura 3.21), ya que se considera el corazón o zona más importante de la máquina en cuestión:

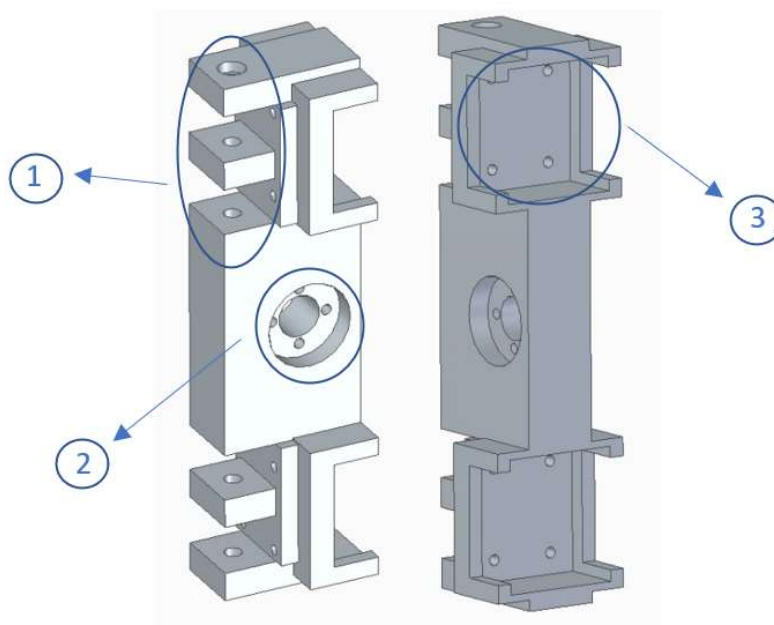


Figura 3.21. Unión abisagrada central

Debido a que se trata de una pieza de geometría compleja se pasa a detallar sus partes de manera diferenciada:

1. Unión abisagrada: se trata de un hueco cilíndrico pasante que encajará con los huecos 4 de la figura 3.2 anteriormente mostrada de manera tal que, al introducir un cilindro del mismo diámetro, se permita el movimiento de rotación de la bisagra impidiendo a su vez que las piezas puedan moverse en otras direcciones.

2. Hueco para husillo roscado: en esta cavidad encajará la pieza 4 de la figura 3.14 (husillo roscado), la cual será la encargada del movimiento longitudinal del conjunto junto con el tornillo número 1 de la misma figura.
3. Hueco para rodamientos lineales: en esta zona encajarán las piezas 7 de la figura 3.14 (rodamientos lineales) las cuales transferirán la carga a las guías de soporte de peso y deslizarán por ellas a la vez que avanza el husillo comentado en el último punto.

Cabe destacar que tanto el husillo como los rodamientos lineales quedarán fijados a la pieza en cuestión a través de uniones atornilladas los cuales encajarán en la misma a través de los diferentes orificios que se muestran en la figura.

Como en ocasiones anteriores el siguiente paso que se va a realizar consiste en comprobar que los esfuerzos soportados por esta pieza son admisibles para la misma y no generan problemas (Figuras 3.22 y 3.23).

Como material de partido de nuevo se emplea ABS. También cabe destacar, que aunque la unión sea abisagrada (articulada) se va a suponer fija ya que durante el funcionamiento de la máquina habrá de estar anclada de tal forma que no se generen movimientos en dicha zona pudiendo estropear el dibujo realizado.

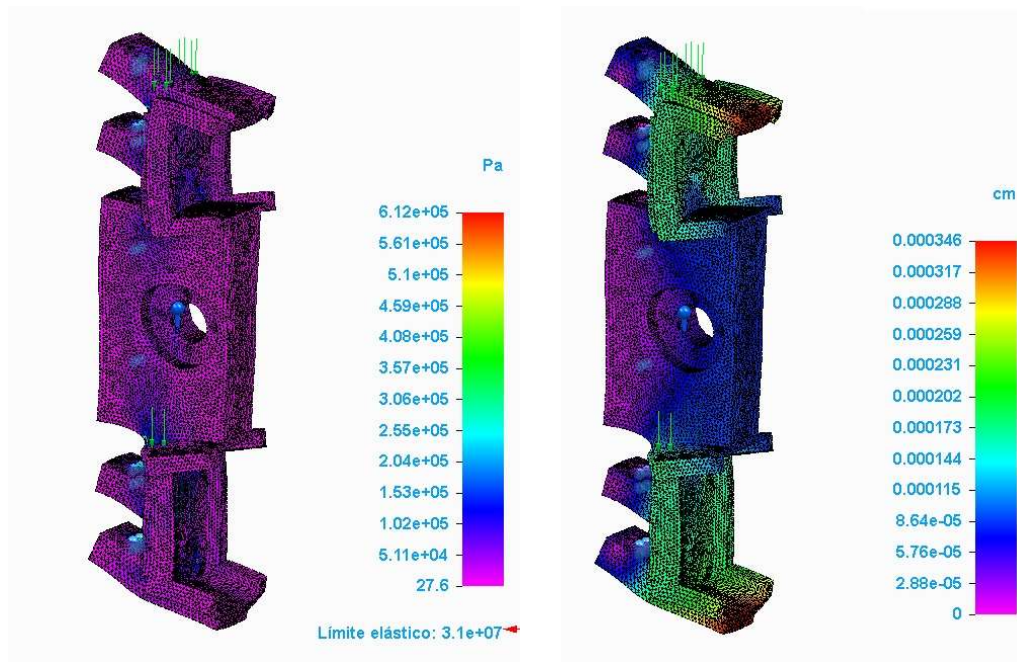


Figura 3.22. Tensión de Von Mises unión abisagrada

Figura 3.23. Desplazamientos unión abisagrada

Antes de comentar los resultados obtenidos hay que explicar cuáles han sido las cargas que se le han aplicado al elemento en cuestión.

En primer lugar, se ha estimado que como se comentó anteriormente, el conjunto de la guía circular, lineal y los acoplamiento pesan en torno a 3 kg. Debido a que la pieza que se está estudiando también ha de soportar parte del peso del conjunto de tornillo y guías de soporte, se incrementa dicha carga total aplicándole un coeficiente de seguridad y situándola en 5 kg.

Tras realizar la simulación, de nuevo las conclusiones son similares que en casos anteriores, ya que el comportamiento de las piezas que se intuye es completamente correcto y muy bueno desde el punto de vista de los desplazamientos en la estructura de las mismas (debido a que son bastante bajas).

Además de estas uniones abisagradas, existen otras en los extremos de la máquina que realizarán la función principal de transferir las cargas a la placa base, la cual como se dijo al inicio de este apartado es el punto en el que se apoyan directa o indirectamente todos los elementos que conforman la misma.

La diferencia principal entre estas piezas externas y las anteriores es que estas se mantendrán fijas en todo momento durante el funcionamiento de la máquina a diferencia de las otras que se trasladarán por la actuación del husillo roscado y el tornillo.

En cuanto a la geometría de las mismas es bastante similar a todo lo visto previamente como se observará a continuación (Figura 3.24).

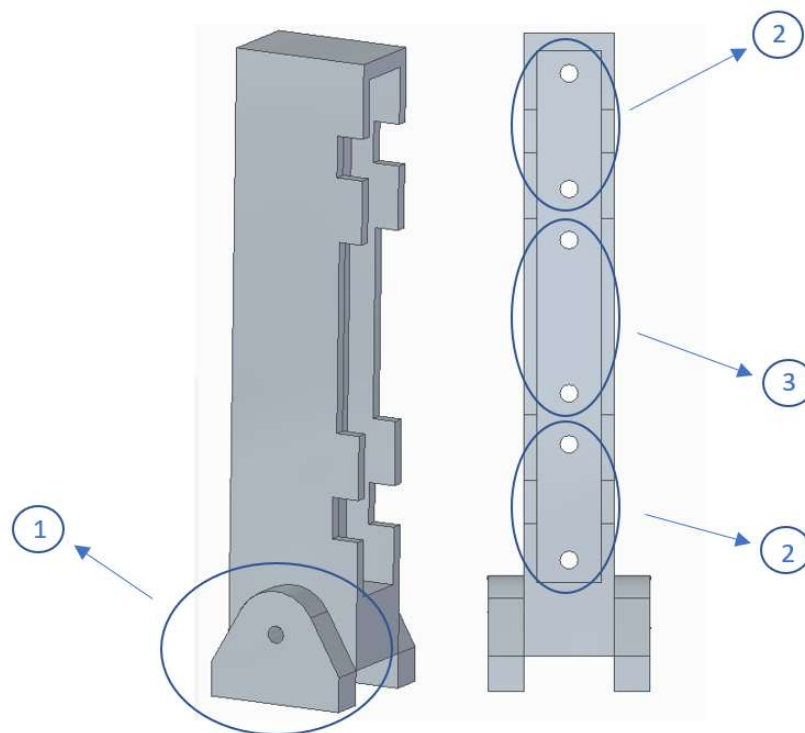


Figura 3.24. Unión abisagrada fija

De nuevo, debido a que se trata de una pieza de geometría compleja se pasa a detallar sus partes de manera diferenciada:

1. Unión abisagrada. En este caso se trata de un elemento externo al cuerpo principal de la pieza, el cual irá unido de forma fija con la placa base de la máquina por su parte inferior, y se articulará a la pieza a través del orificio que se observa en la figura.
2. Hueco para soporte de sujeción de guías. En esta zona de la pieza en la que se observa una serie de orificios, se fijarán mediante uniones atornilladas los soportes empleados para la sujeción de las barras que soportan el peso de las guías circular y lineal (piezas número 6 de la figura 3.14).
3. Hueco para soportes de rodamientos de bolas. Al igual que en la zona anterior, se observan una serie de orificios en los que se fijaran mediante uniones atornilladas los rodamientos del tornillo empleado para generar el movimiento de translación longitudinal de las guías circular y lineal.

De igual forma se realizarán una serie de pruebas sobre el elemento que se está tratando para comprobar que su comportamiento es correcto (Figura 3.25 y 3.26). En este caso se esperan resultados similares a los anteriores debido a que la carga aplicada y geometría empleadas también lo son.

La zona abisagrada también se supondrá fija ya que igualmente durante el funcionamiento de la máquina dicha unión habrá de ser lo suficientemente fuerte como para que no se produzcan desplazamientos extraños que generen un mal funcionamiento del conjunto.

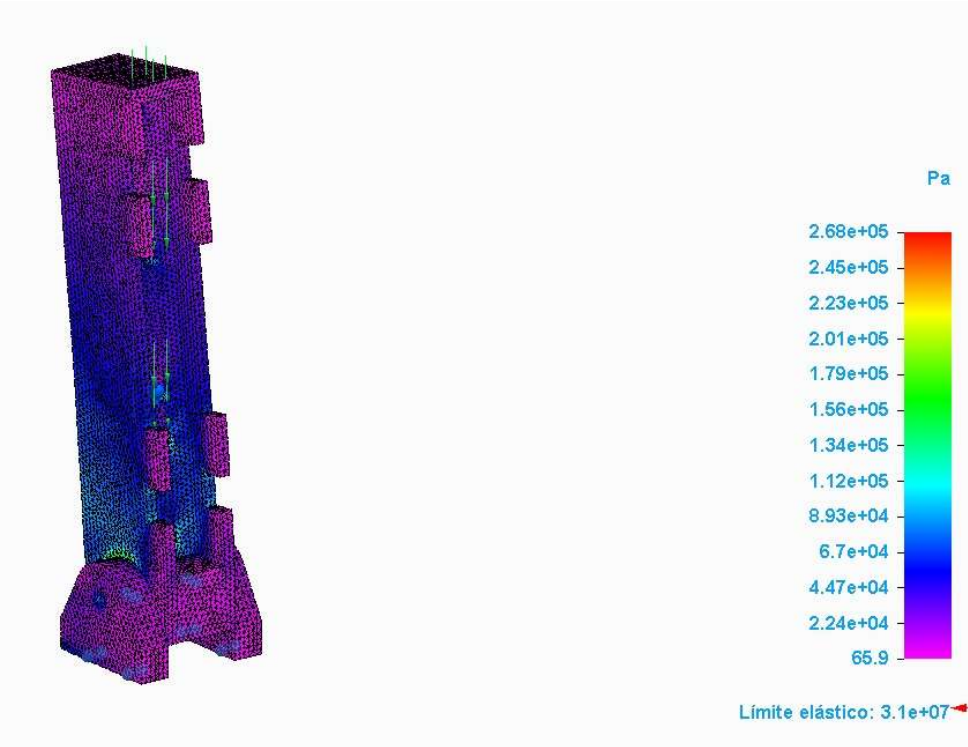


Figura 3.25. Tensión de Von Mises bisagra fija

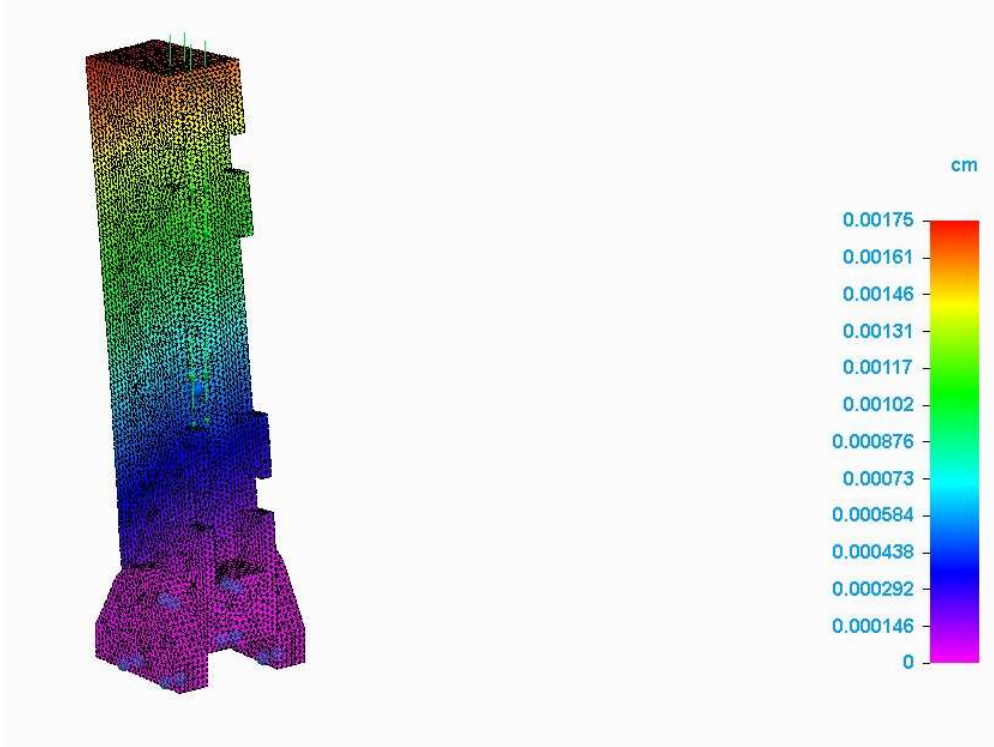


Figura 3.26. Desplazamientos bisagra fija

Tal y como se esperaba los resultados obtenidos son similares al caso anterior y por tanto se concluye que ambas piezas están perfectamente preparadas para la aplicación que tendrán.

3.2.5. Soportes extremos y placa base:

Por último se va a analizar el comportamiento de los soportes externos y la placa base de la máquina, los cuales debido a su aplicación, soportarán la mayor parte de las cargas.

Desde el punto de vista geométrico son elementos sencillos como se observará a continuación lo cual es importante desde el punto de vista de su fabricación (Figura 3.27 y 3.28).

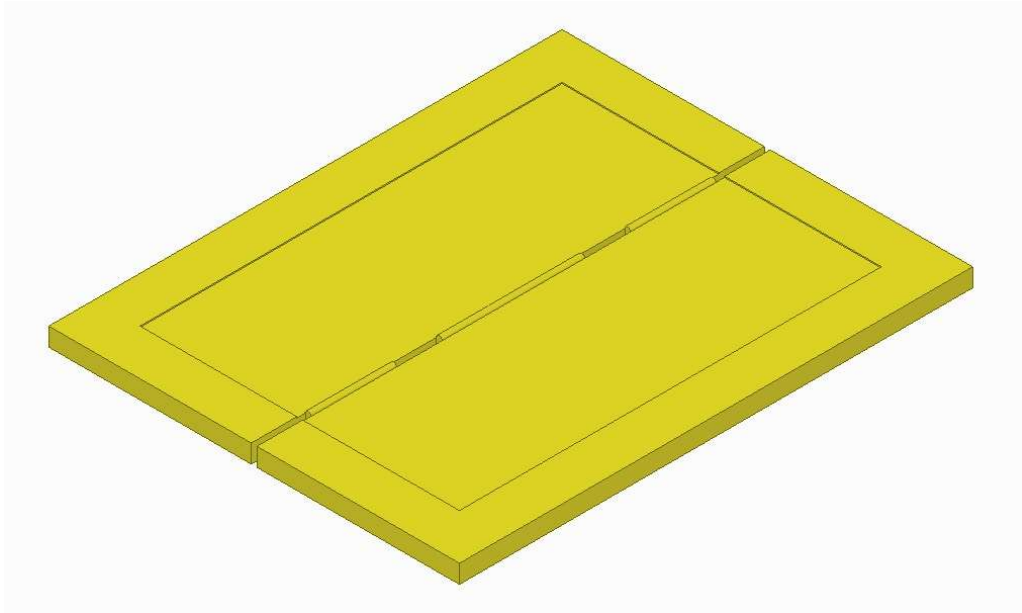


Figura 3.27. Placa base

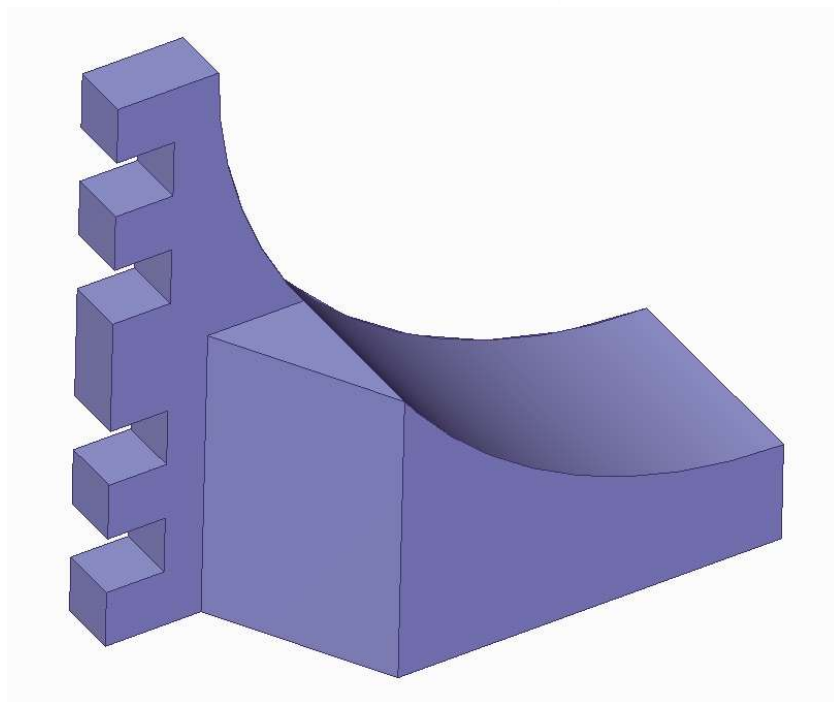


Figura 3.28. Soporte externo

Como punto de partida se presupone que el soporte externo aguantará la mitad del peso del tronco de la persona (alrededor de 20 kg) ya que cuando la máquina de tatuajes funcione de manera lineal (para tatuar espalda, pecho...) esta pieza será la encargada de sostenerlo. Se plantea que esté dotada de algún tipo de acolchamiento para mayor comodidad del usuario.

De igual forma todo el peso de la estructura de la máquina más el de la persona en cuestión que se esté tatuando pasará a la placa base, por tanto será la pieza que mayores cargas deba de soportar de todo el conjunto de la misma (se estima en alrededor de 50 kg).

En primer lugar se va a empezar estudiando cómo se comporta el soporte externo ante las cargas comentadas (Figura 3.29 y 3.30).

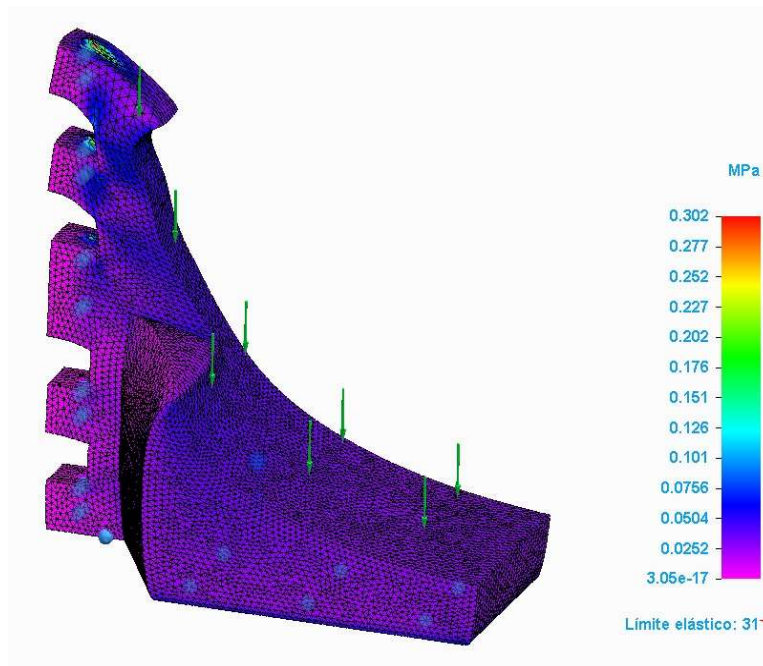


Figura 3.29. Tensión de Von Mises soporte externo

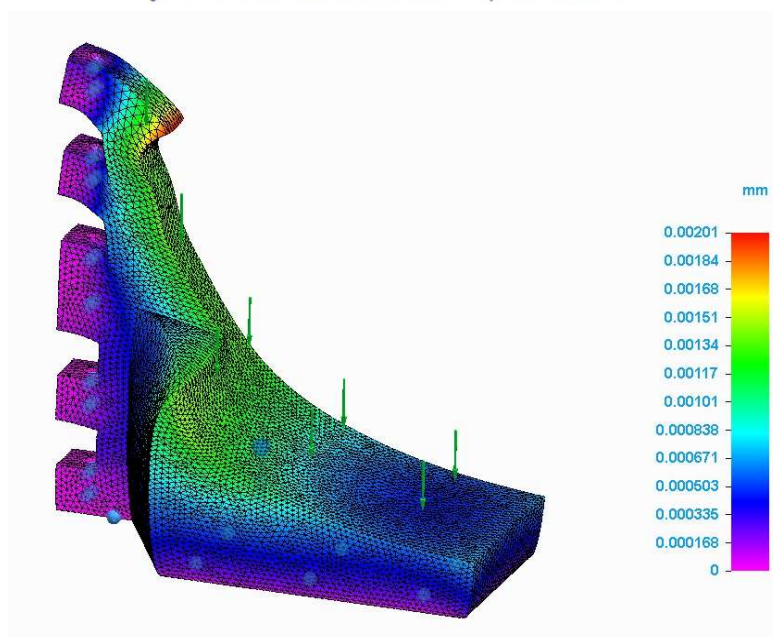


Figura 3.30. Desplazamientos soporte externo

El material empleado para la realización de estudio ha sido ABS. El resultado obtenido es bastante bueno, incluso mejor de lo esperado teniendo en cuenta las grandes cargas que la pieza habrá de soportar.

Incluso sería posible reducir la cantidad de material aligerando peso (dejando partes huecas) en aquellas zonas menos sometida a tensiones, ya que el factor de seguridad con el que se cuenta según los resultados de la simulación es cercano a 100 (bastante alto para este tipo de pieza).

Finalmente, tras analizar la mayor parte de los elementos que conforman la máquina, se pasa a analizar las tensiones y desplazamientos que sufrirá la placa base (Figura 3.31 y 3.32).

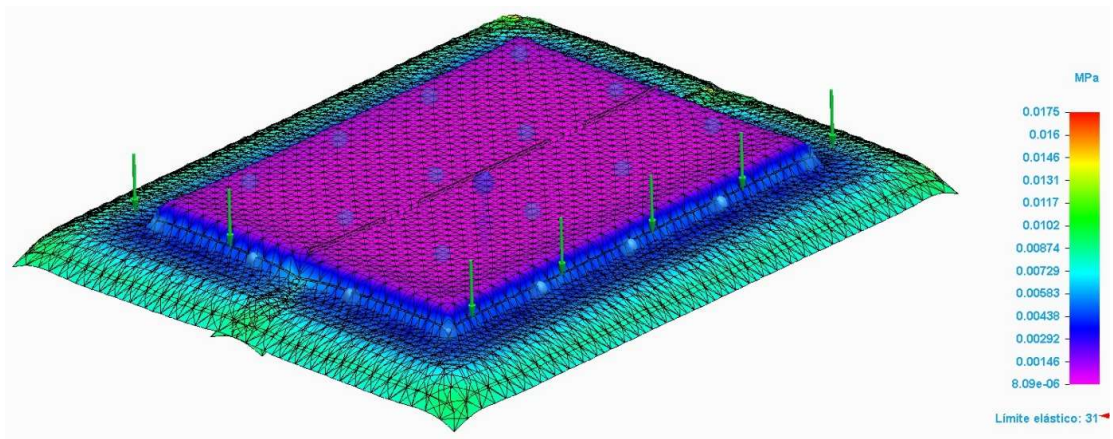


Figura 3.31. Tensión de Von Mises placa base

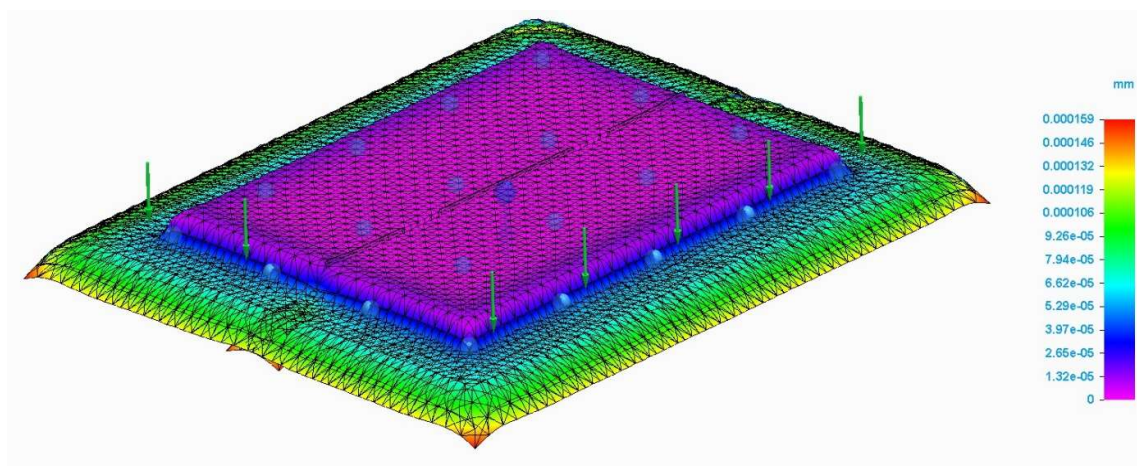


Figura 3.32. Desplazamientos placa base

Al igual que en el caso del soporte externo, el comportamiento de la placa base es tan bueno que incluso permitiría reducir el peso de la pieza en aquellas zonas menos cargadas (zona central principalmente).

Desde el punto de vista del total de la máquina esto es importante ya que tanto la placa base como el soporte son dos de las piezas más voluminosas, por lo que es interesante que se pueda reducir su peso lo máximo posible sin que interfiera en la funcionalidad de las mismas.

Como se verá a continuación en el siguiente apartado, las piezas han sido fabricadas empleando relleno de material al 80%, por lo que se aligerará el peso de cada una de ellas entorno al 20% haciendo que la máquina sea más manejable sin verse afectado el uso de la misma.

3.3. Introducción a la fabricación del prototipo

Ya se han analizado con detalle todas y cada una de las piezas que se van a emplear para conformar la máquina al completo.

A continuación se va a explicar el proceso que se ha seguido para fabricarlas (proceso de fabricación aditiva) y las herramientas que se han empleado para ello.

La fabricación aditiva consiste en un proceso automático según el cual se crean objetos en 3D a partir de un modelo digital.

El proceso consiste en depositar material de forma muy precisa sobre una superficie preparada para ello siguiendo un código generado computacionalmente que describe los movimientos a realizar por la máquina encargada de la fabricación.

Los materiales empleados en este tipo de tecnologías son principalmente plásticos (ABS, PLA...), aunque también se puede utilizar para otros como metales, cerámicas o composites.

Alguna de las ventajas de esta tecnología se resumen a continuación:

- Permite la fabricación de piezas con geometrías de altísimo grado de dificultad
- No requiere utillaje especializado, por lo que resulta un proceso especialmente rápido
- Rentable para prototipado o lotes pequeños de piezas
- Tecnología limpia, ya que no deja desechos ni emplea líquidos refrigerantes

Sin embargo también presenta alguna serie de inconvenientes como son la precisión y acabado, propiedades de los materiales que emplea, se trata de una tecnología nueva y en desarrollo...

Esta tecnología es la empleada por las impresoras 3D como la que se utilizará durante los siguientes puntos para la fabricación de las piezas mostradas anteriormente.

La impresora concreta que se va a emplear para el proceso es la Creality Ender 5 Pro. A continuación, se procede a ilustrar la misma y a detallar cuáles son sus características principales (Figura 3.33 y 3.34).



Figura 3.33. Creality Ender 5 Pro ⁽²⁵⁾

Dispone de tres ejes móviles que se corresponden con los tres ejes cartesianos X, Y, Z, y que a través de la combinación de movimientos entre los mismos se va formando la geometría deseada. Sin embargo, cabe destacar que no los tres ejes funcionan de manera simultánea, siendo el eje Z independiente de los otros dos.

Especificaciones técnicas de la impresora 3D Creality Ender 5 Pro

- Tipo de extrusión: **Sistema Bowden mejorado**
- Volumen de Impresión: **220 x 220 x 300 mm**
- Velocidad de impresión máxima: **testada a 80 mm/s sin perder calidad**
- Diámetro de Filamento: **1.75 mm**
- Precisión de impresión (altura de capa) : **0.3 – 0.04 mm**
- Diámetro del nozzle: **0.4 mm**
- Filamentos compatibles: **PLA, ABS, PETG, Flexibles...**
- Resolución de capa: **50 micras**
- Formato de archivos compatibles: **STL, Gcode, Obj**
- Rodamientos de aluminio con ranura en V (**V Slot**)
- Numero de **extrusores**: 1
- Conectividad: **Cable USB, micro SD**
- Software de laminado: **Cura, Repetier, craftware Simplify 3D, Slic3er, etc...**
- Voltaje de red compatible: **110V/220V**
- Voltaje: **24V**
- Potencia: **270W**
- Peso neto: **11Kg (Aprox)**
- Peso en embalaje: **12 Kg (Aprox)**

Figura 3.34. Características impresora 3D ⁽²⁶⁾

Es importante destacar que la impresora no es capaz como tal de leer objetos en 3D tal cual salidos del programa de diseño.

Para poder iniciar la fabricación de las piezas en primer lugar se ha de pasar por un software intermedio que se encarga de generar el código de movimientos en X, Y, Z, para que este puede ser leído por la impresora en cuestión, la cual únicamente reproduce esos movimientos.

Dicho programa intermedio que se ha utilizado recibe el nombre de Ultimaker Cura (Figura 3.35 y 3.36), y además de generar el código como tal en la extensión reconocible por la impresora (.gcode), también permite modificar algunos parámetros de impresión como son la altura de capa, velocidad de avance, porcentaje de relleno...



Figura 3.35. Icono del programa Ultimaker Cura ⁽²⁷⁾

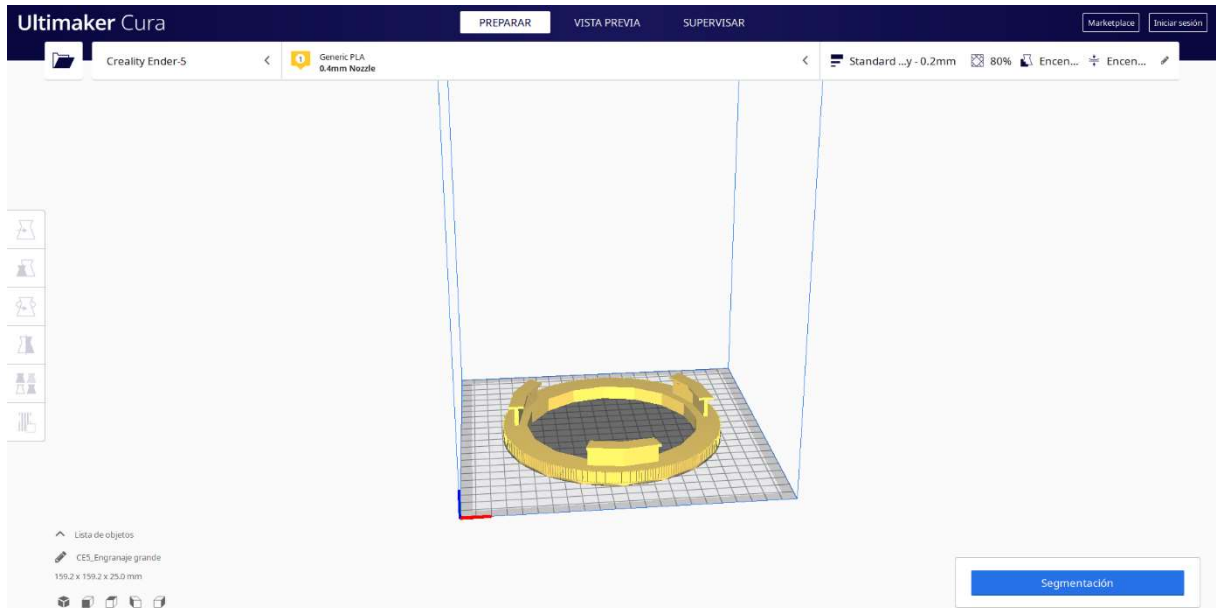


Figura 3.36. Entorno del software

Además de lo anteriormente mencionado, el programa también permite modificar otros parámetros como son tamaño de las piezas, orientación, creación de soportes para zonas en voladizo que puedan resultar difíciles de procesar, mejoras de la adherencia del material empleado a la base sobre la que se imprime, etc.

A continuación se muestra parte del código en extensión .gcode generado para la fabricación de una de las piezas que se han de fabricar (Figura 3.37).

```
G1 X10.1 Y200.0 Z0.28 F1500.0 E15 ;Draw the first line
G1 X10.4 Y200.0 Z0.28 F5000.0 ;Move to side a little
G1 X10.4 Y20 Z0.28 F1500.0 E30 ;Draw the second line
G92 E0 ;Reset Extruder
G1 Z2.0 F3000 ;Move Z Axis up

G92 E0
G92 E0
G1 F2700 E-5
;LAYER_COUNT:125
;LAYER:0
M107
G0 F6000 X52.438 Y44.42 Z0.2
;TYPE:SKIRT
G1 F2700 E0
G1 F1200 X52.752 Y44.068 E0.01569
G1 X52.916 Y43.895 E0.02362
G1 X53.278 Y43.537 E0.04055
G1 X53.507 Y43.325 E0.05093
G1 X53.937 Y42.956 E0.06978
```

Figura 3.37. Instrucciones de movimientos en .gcode

Para iniciar el proceso de fabricación a través de la impresora hay que modificar las condiciones en las que se desea que se realice la impresión en cuestión.

En el caso que nos ocupa todas las piezas han sido fabricadas con los mismos parámetros (independientemente del tipo de material empleado) los cuales se mostrarán a continuación (Figura 3.38).

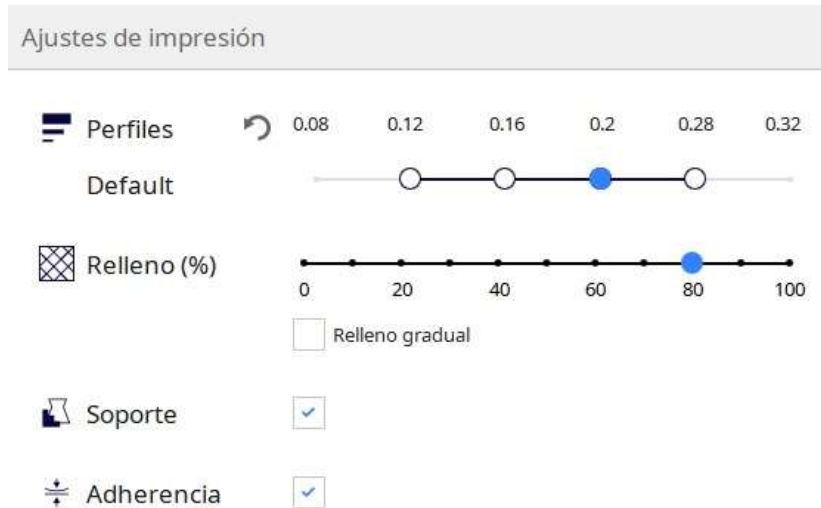


Figura 3.38. Parámetros de impresión

Como se observa en la imagen anterior, se va a emplear una altura de capa de 0.2 mm y un 80% de relleno, parámetros recomendados para el tipo de material que se va a utilizar.

Además se seleccionan las opciones de soporte (ya que la mayoría de las piezas que se van a fabricar tienen partes en voladizo que se habrán de sostener durante la fabricación) y de adherencia.

La adherencia resulta especialmente importante en el caso de la fabricación de piezas con ABS debido a que puede aparecer un fenómeno conocido como warping en las primeras capas de la impresión provocando que las mismas salgan deformadas (Figura 3.39).

Dicho fenómeno surge como consecuencia de la contracción que experimenta el material al enfriarse al ser depositado sobre la base de impresión. Es importante que la velocidad de fabricación de las primeras capas sea más baja de lo establecido para el resto de la pieza, de forma tal que el material pueda enfriarse lentamente sin sufrir contracciones bruscas.



Figura 3.39. Pieza con warping ⁽²⁵⁾

Además de lo anteriormente mencionado, también es importante reducir el tiempo de impresión al mínimo posible para evitar que el problema se acreciente.

Para ello, algunas de las piezas que se han fabricado han sido partidas en dos partes y fabricadas por separado con el objetivo de minimizar dichos tiempos de impresión.

A continuación se muestra el ejemplo de la bisagra fija que se detalló en el apartado anterior dividida en dos partes para facilitar su fabricación (Figura 3.40).

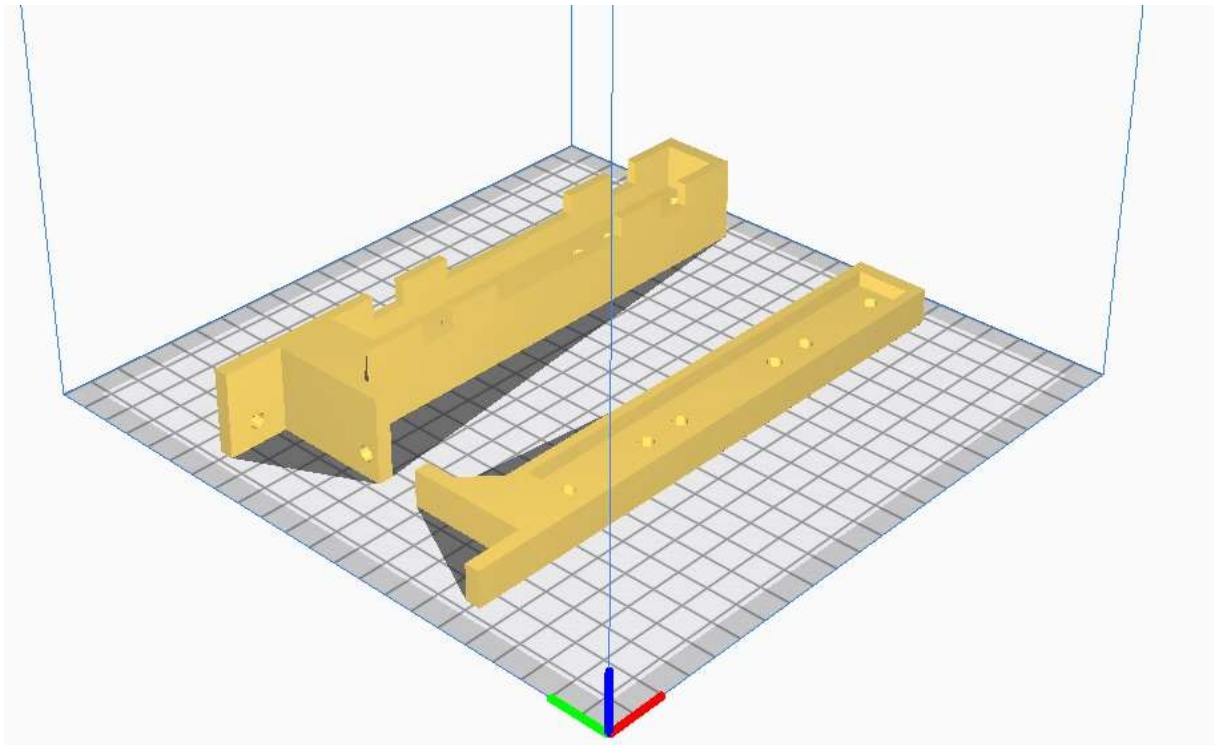


Figura 3.40. Bisagra fija dividida en dos partes

Otro de los métodos que se emplean para mejorar la adhesión de las capas imprimidas a la superficie de la impresora es la utilización de laca al inicio del proceso.

La laca forma una capa pegajosa que provoca que el material quede pegado a la superficie de impresión de manera más fiable reduciendo los problemas que se puedan generar.

Sin embargo pese a todos los esfuerzos dedicados para evitar el warping, algunas de las piezas que se han fabricado tienen fallos claramente identificables debido a este fenómeno como se verá a continuación (Figura 3.41).



Figura 3.41. Bisagra fija deformada por warping

3.4. Pasos para la fabricación del prototipo

Tras comentar de manera introductoria la tecnología y el software empleado para la fabricación de las piezas que se necesitan, así como los posibles problemas que se pueden dar durante este proceso, se va a proceder a detallar paso por paso el montaje final del prototipo.

1. Montaje de la unión abisagrada central:

Para la fabricación de esta pieza se ha decidido emplear ABS como material debido a que dentro de los distintos elementos que conforman la máquina, es uno de los más importantes por su condición de generador del movimiento longitudinal de la misma y de soporte de la guía circular que se mostrará próximamente.

Para evitar posibles problemas de warping, se opta por dividir la pieza en dos partes independientes (cuerpo 1 y cuerpo 2) como se comentó anteriormente.

Una vez fabricados, ambos cuerpos se unen entre sí a través de dos uniones atornilladas tal y como se muestra en la figura 3.42.

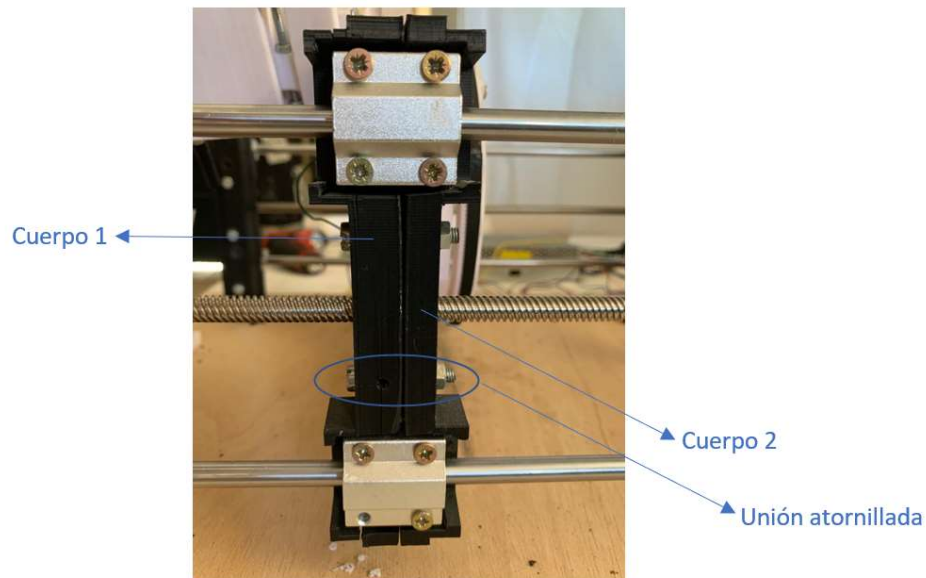


Figura 3.42. Bisagra móvil

2. Montaje de husillo roscado y rodamientos lineales:

Tras completar la unión de ambos cuerpos de la bisagra móvil, hay que montar sobre ellos los elementos que le permitirán desplazarse longitudinalmente (Figura 3.43).

Para ello, de nuevo se emplearán uniones atornilladas fijas ya que son las más rápidas y fiables para este tipo de piezas.

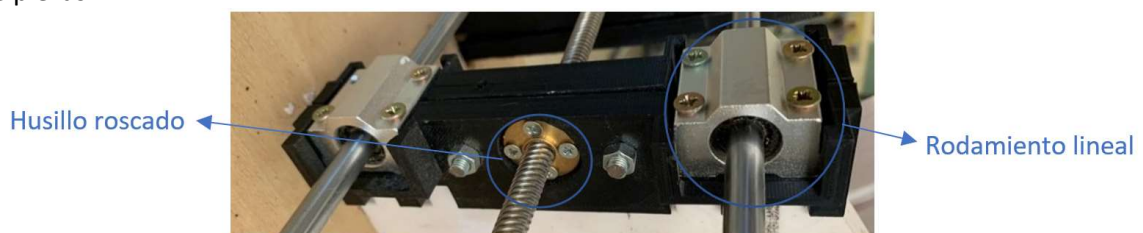


Figura 3.43. Elementos auxiliares

3. Colocación de tornillo y guías para soporte de peso:

Una vez montados el husillo y los rodamientos, se procede a colocar el tornillo y las guías que pasarán por dentro de ambos elementos (Figura 3.44).

El montaje de estos componentes es muy sencillo ya que únicamente consiste en una rosca en el caso del tornillo, y de introducir las barras de acero inoxidable en los rodamientos deslizando por su parte interior.



Figura 3.44. Elementos auxiliares

4. Montaje de uniones abisagradas extremas:

Este paso es muy parecido al visto para el caso de las uniones centrales. De igual forma las piezas empleadas se dividen en dos cuerpos (cuerpo 1 y cuerpo 2) que se unen a través de tornillos y tuercas (figura 3.45).



Figura 3.45. Unión abisagrada fija

5. Colocación de soportes y rodamiento de bolas:

Al igual que anteriormente, una vez unidos ambos cuerpos se procede a colocar los soportes para las barras de acero inoxidable y el rodamiento de bolas para el tornillo central (Figura 3.46).

Una vez situados dichos elementos se enlazarán con las barras y el tornillo propiamente dichos que se montaron anteriormente sobre la bisagra central.

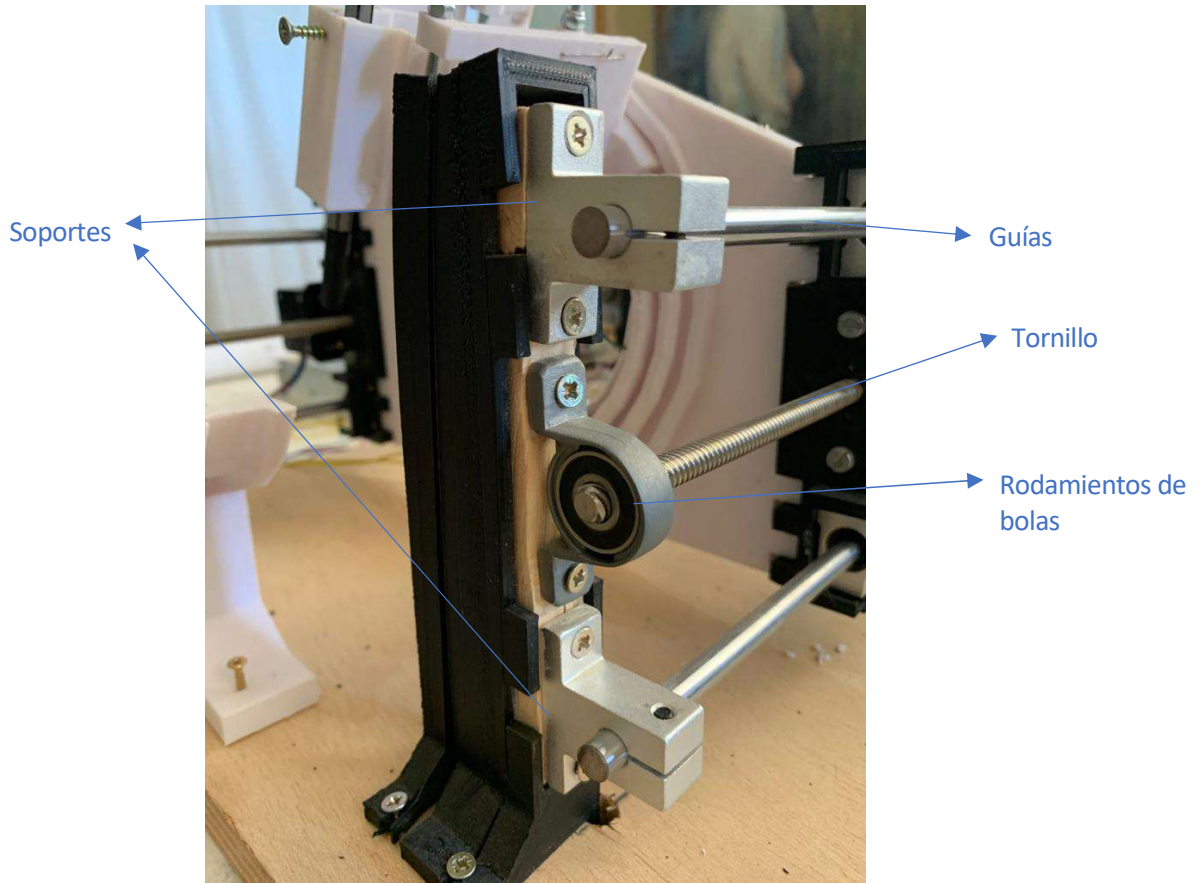


Figura 3.46. Elementos auxiliares

6. Montaje de soporte para motores:

Junto a las bisagras fijas y unidas mediante tornillos a las mismas, se colocan dos soportes para los motores que serán los encargados de generar el movimiento de rotación del tornillo central (Figura 3.47).

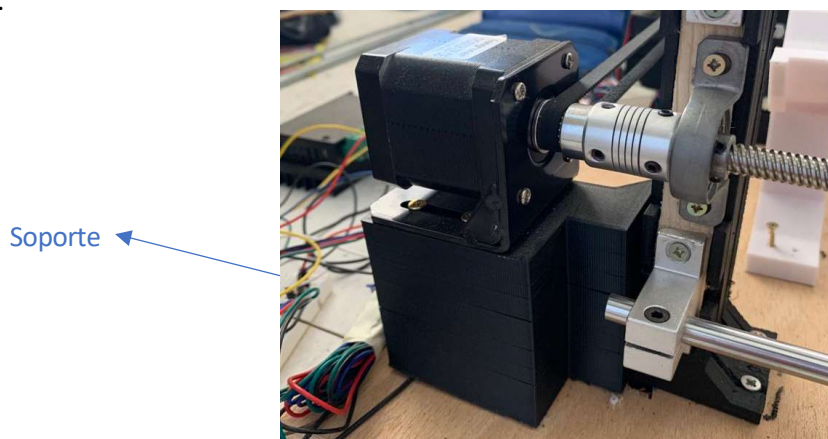


Figura 3.47. Soporte de motor

7. Montaje de la guía circular:

Este es uno de los pasos más importantes ya que la guía circular es el elemento central sobre el que se basa todo el funcionamiento de la máquina.

Dentro de este paso se van a distinguir distintas etapas:

7.1. Unión abisagrada:

La primera de las etapas consiste en a través de un tornillo pasante realizar la unión móvil entre bisagra central y guía circular (Figura 3.48).

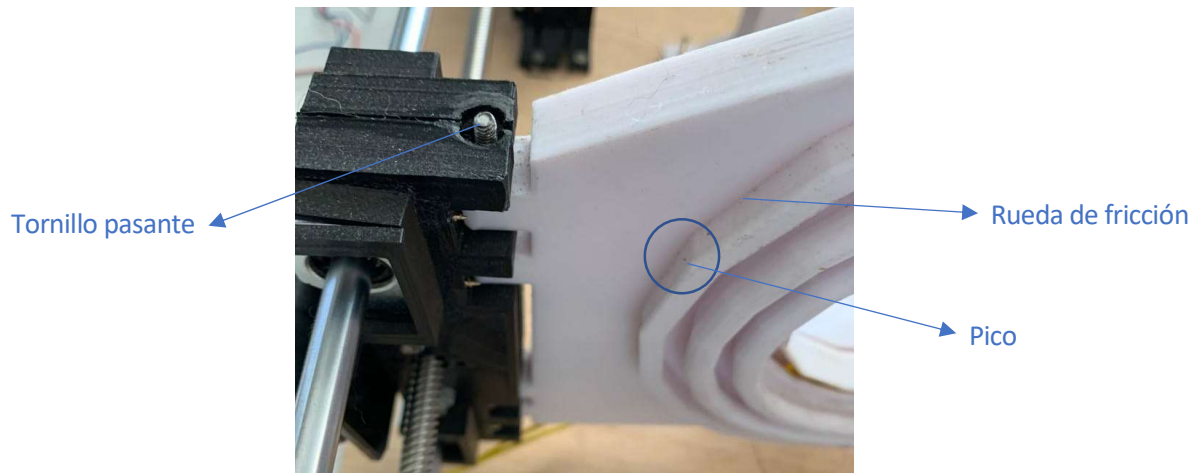


Figura 3.48. Unión abisagrada

7.2. Mecanismo de giro:

Anteriormente se había comentado que el mecanismo que se emplearía para realizar el movimiento de rotación alrededor de la guía circular iba a consistir en un par de ruedas de fricción.

Sin embargo, tal y como se muestra en la figura 3.48. el perfil supuestamente circular de la rueda de fricción aparece con picos debido a las imperfecciones derivadas de la fabricación con impresoras 3D.

Como consecuencia de ello se realizó una prueba de funcionamiento colocando un motor y una rueda para comprobar si giraban suavemente alrededor de la guía.

El resultado obtenido fue desfavorable, lo cual llevó a la iteración para buscar otro tipo de tecnología que permitiera realizar el movimiento deseado.

Finalmente se optó por utilizar un mecanismo de poleas y correas dentadas que se mostrará a continuación (Figura 3.49).



Figura 3.49. Conjunto de correa dentada y elementos auxiliares ⁽²⁹⁾

Para hacer funcionar el conjunto de elementos mostrados, es necesario diseñar una nueva pieza en forma de rueda dentada que unida al cajetín de la tinta genere el movimiento de rotación buscado.

En primer lugar se esboza una guía por la que pudiese deslizarse dicha rueda dentada impidiendo a su vez que se salga de su órbita de giro (Figura 3.50).



Figura 3.50. Guía para rueda dentada

Tras diseñar esta pieza se pasa a elaborar la rueda en cuestión, para la cual será necesario en primer lugar conocer que dimensiones han de tener los dientes tallados (Figura 3.51), el diámetro de la rueda en cuestión y el número de dientes que se tallarán en la misma.

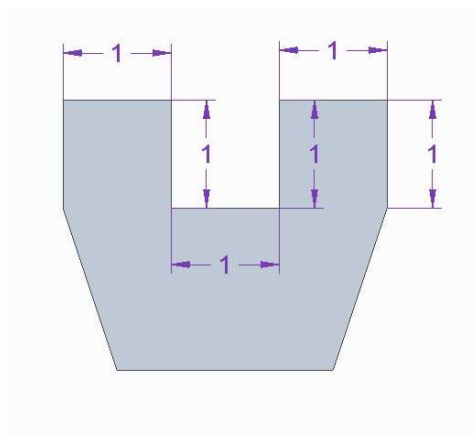


Figura 3.51. Detalle perfil de dientes (unidades en mm)

Tras conocer las dimensiones de los dientes y teniendo en cuenta que el radio de la rueda ha de ser mayor que 6 cm (radio más pequeño de la guía circular), se opta por fabricar la misma de forma tal que tenga 250 dientes distribuidos a lo largo de su perímetro, para lo cual será necesario un diámetro de 15.92 cm.

Para ilustrar todo lo comentado se muestra en la figura 3.52 y 3.53 el resultado final de la rueda dentada diseñada.

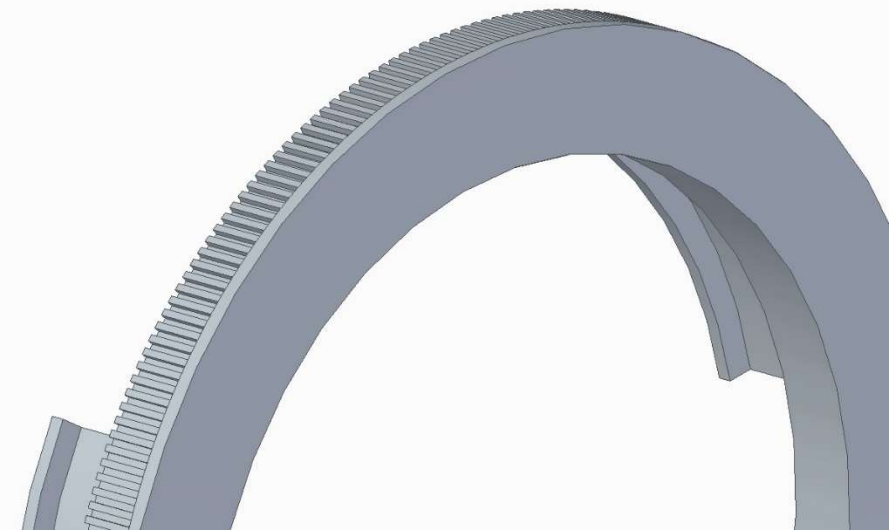


Figura 3.52. Detalle de dientes

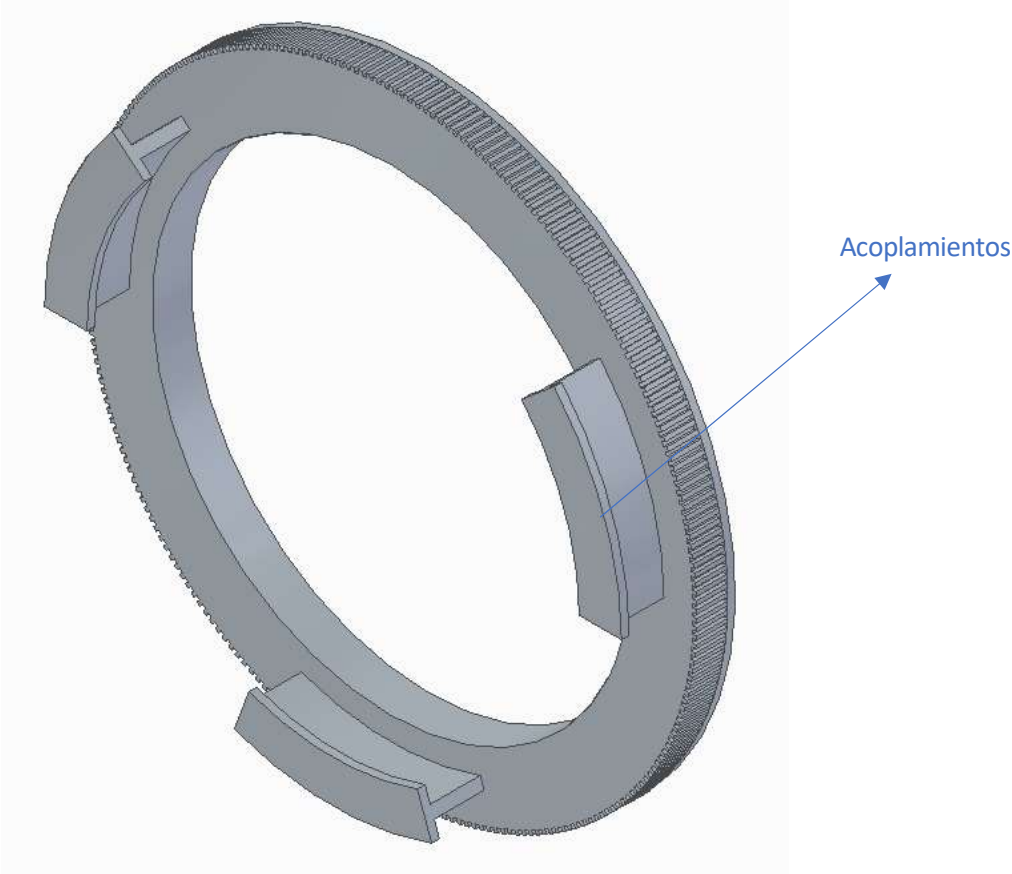


Figura 3.53. Rueda dentada

Los acoplamientos mostrados en la figura 3.53. encajarán en el interior de la guía de la figura 3.50. de forma tal que deslicen por su interior generando el movimiento de rotación deseado pero sin poder salirse de la misma provocando fallos en el sistema.

7.3. Montaje del mecanismo de giro

Tras comentar el diseño del mecanismo de giro y todos los elementos que interfieren en su funcionamiento, se pasa a montar el mismo sobre la guía circular de la máquina de tatuajes (Figura 3.54).



Figura 3.54. Mecanismo de giro

Las partes que se distinguen en la imagen son las siguientes:

1. Correa dentada
2. Rueda dentada
3. Guía para rueda
4. Tensor de correa
5. Acoplamiento para motor

Para el montaje de la guía número 3, es importante destacar que ha sido fabricada en dos partes para que la rueda dentada pueda encajar en su interior.

Debido a que tanto la guía circular como estas están divididas en dos cuerpos, la unión entre los mismos se ha de realizar de manera conjunta, para lo cual se diseña una pieza que realiza la función de enlace fijando la unión (Figura 3.55).

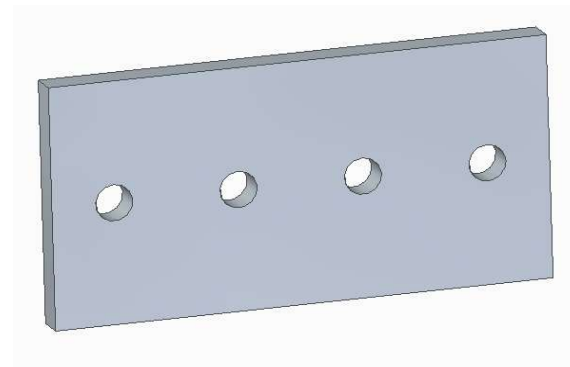


Figura 3.55. Enlace entre cuerpos

La pieza mostrada no se encuentra visible en el conjunto debido a que está tapada por otros elementos como la rueda dentada. La misma se fija a la estructura de la guía circular a través de las uniones atornilladas número 6 que se muestran en la figura 3.54.

8. Montaje del cajetín de la tinta:

Una vez realizada la unión de todas las piezas que se han comentado anteriormente, se pasa a realizar el montaje del elemento central de la máquina, el cajetín de la tinta.

Realmente este paso ha de ir combinado con el anterior ya que no se puede realizar el montaje del mecanismo de giro sin antes haber colocado el acoplamiento para el cajetín de la tinta dentro de la guía circular.

A continuación se muestra la imagen del resultado final obtenido (Figura 3.56).

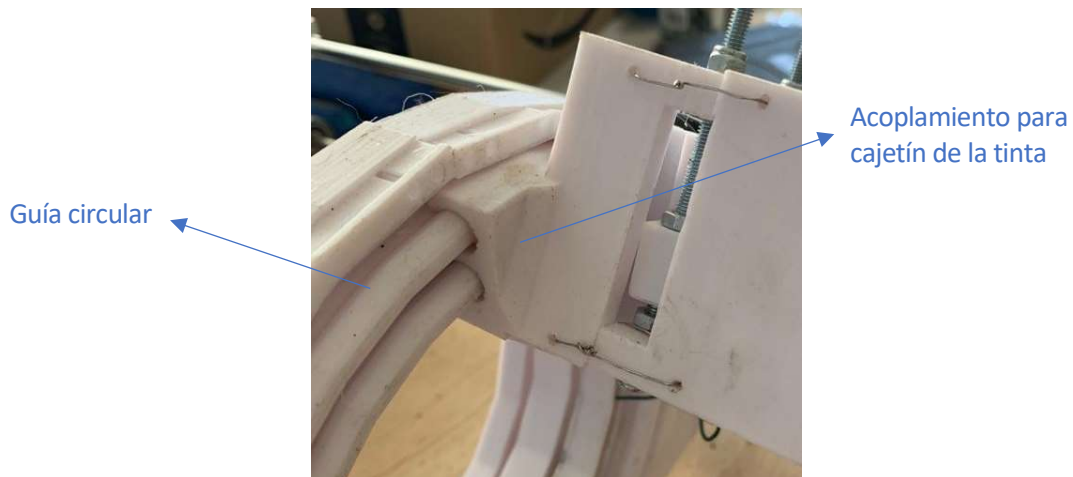


Figura 3.56. Cajetín de la tinta

Además resulta necesario mantener unido el acoplamiento para el cajetín de la tinta con la rueda dentada que se comentó anteriormente, ya que ambos han de girar solidariamente.

Para conseguir este efecto, se crea un elemento intermedio entre ambos a modo de enlace el cual se atornillará a ambas piezas por separado manteniéndolas unidas.

Para ilustrar el elemento que se describe se adjuntan las figuras 3.57, 3.58 y 3.59, en las que se muestra el diseño 3D del mismo y su montaje final en la estructura de la máquina.

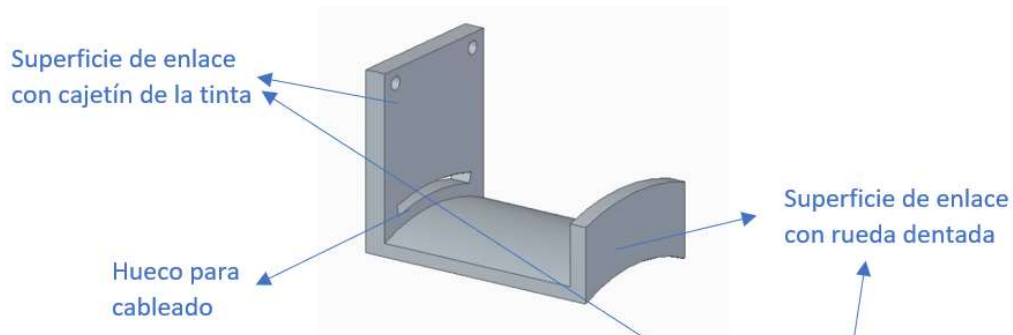


Figura 3.57. Diseño 3D



Figura 3.58. Parte baja enlace



Figura 3.59. Uniones atornilladas

Colocación de placa base y soporte para brazos:

En primer lugar cabe destacar que la placa base utilizada para el prototipo es de madera debido a que las dimensiones de la misma excedían lo máximo permitido por la impresora 3D.

La unión entre la placa base y el resto de los elementos de la estructura de la máquina se ha realizado a través de tornillos y tuercas que la mantienen fija.

Para finalizar, el último paso a llevar a cabo para completar el montaje de la máquina es situar el soporte para brazos en la placa base sobre la que se sujeta la máquina (Figura 3.60).

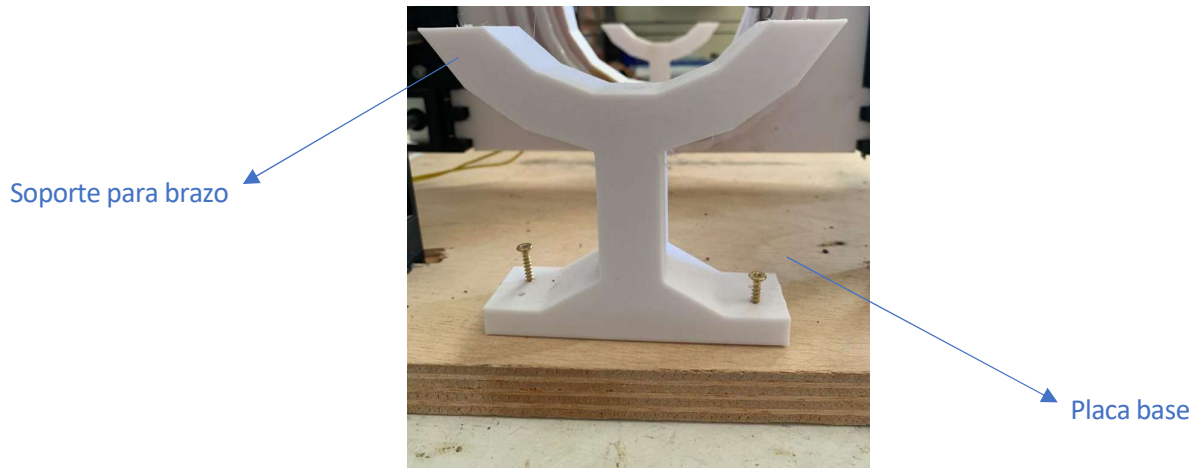


Figura 3.60. Soporte para brazos

3.5. Resultado final

Finalmente tras detallar todos los pasos que se han seguido para realizar el montaje de la máquina se procede a mostrar el resultado final obtenido (Figura 3.61).

Resulta importante destacar que hay elementos que como se ha observado han variado desde los diseños en 3D hasta su fabricación real, o incluso no aparecen en el resultado final. Esto es así debido a que se ha buscado crear un prototipo simplificado que permita hacerse una idea de cómo sería aproximadamente la máquina definitiva sin entrar en la complejidad de fabricación de ciertas piezas que por dimensiones y función resultan inviables de obtener a través de las tecnologías empleadas.

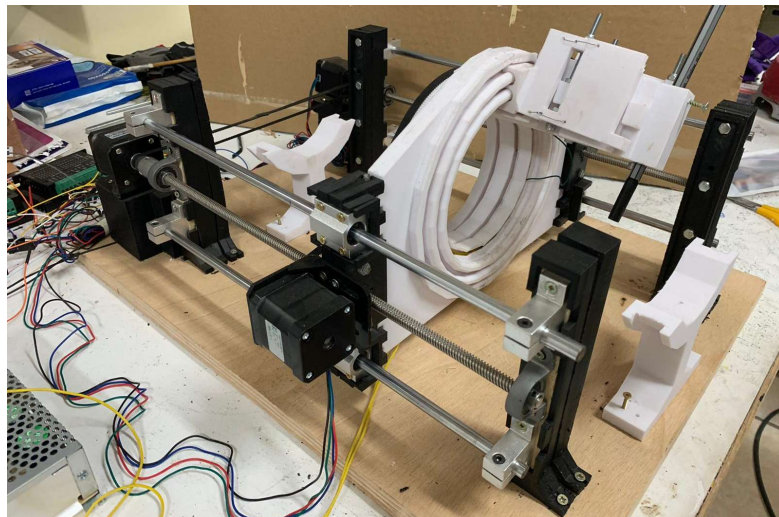


Figura 3.61. Resultado final

4. Electrónica y programación

Se han comentado todos los pasos que se han ido siguiendo para desarrollar la estructura de la máquina y la fabricación del prototipo de la misma.

Después de conocer este proceso surge la pregunta de ¿cómo se les ordenará a los mecanismos que realicen los movimientos deseados?

La respuesta a dicha pregunta consiste en que es necesario introducir una electrónica, y una serie de actuadores, que generen la movilidad de los mismos.

El desarrollo de dicha electrónica así como del programa que generará órdenes para que la misma funcione se detallará a lo largo del apartado actual.

4.1. Electrónica

El primero de los pasos consiste en el diseño de una placa base que sea el centro de la electrónica en cuestión.

Una placa base, también conocida como tarjeta madre, placa madre o placa principal, es una tarjeta de circuito impreso a la que se conectan los componentes que constituyen la computadora.

En el caso de la máquina de tatuajes, se plantea la utilización de Arduino Uno.

Arduino Uno es una placa microcontroladora de código abierto basada en el ATmega328P (chip microcontrolador).

El código abierto consiste en una filosofía que se basa en la libertad intelectual y los principios fundamentales: transparencia, colaboración, entrega, inclusión y comunidad. El intercambio de ideas y software desarrollado por las comunidades ha impulsado el avance creativo, científico y tecnológico en sectores tales como: educación, gobierno, legal, sanitario y fabricación.

El software de código abierto es colaborativo, confía en la producción comunitaria y la revisión de iguales para utilizar, cambiar y compartir código fuente entre sí. Los desarrolladores comparten conocimientos, ideas y código para crear soluciones de software más innovadoras, tanto de forma colectiva como individual. Este software escalable y flexible garantiza que cualquier persona con el código fuente lo pueda modificar, mejorar y redistribuir para mejorar su reutilización y accesibilidad.

La contrapartida al código abierto es el código cerrado. El software de código cerrado (CSS) tiene propiedad, es decir, su código no se distribuye al público. El software está protegido, por lo que solo los autores originales que crearon el código tienen derecho exclusivo a copiar, modificar, actualizar y editar legalmente el código fuente.⁽³⁰⁾

En el caso de la máquina de tatuajes es importante que el software utilizado sea de código abierto para que sea posible modificarlo y que se adapte a las necesidades requeridas. Por ello se opta por utilizar Arduino Uno como placa base, ya que resulta fácil de utilizar y tiene gran cantidad de componentes asociados que se pueden adaptar a la finalidad deseada.

Las especificaciones de Arduino Uno son las siguientes:

- 14 pines de entrada/salida
- 6 pines de los 14 anteriores pueden ser utilizados como salidas PWM

PWM (Modulación por Ancho de Pulso) - En este tipo de sistemas el motor recibe corriente por un tiempo y deja de recibirlo por otro, repitiéndose este proceso continuamente. Si se aumenta el tiempo en que el pulso está en nivel alto, se entrega más potencia y si se reduce el tiempo entrega menos potencia.⁽³¹⁾

- 6 entradas analógicas
- Cristal de cuarzo de 16 MHz
- Conexión USB
- Conector de alimentación
- Cabezal ICSP
- Botón de reinicio

A continuación, en las figuras 4.1 y 4.2 se muestra la imagen corporativa y la placa base de Arduino a modo ilustrativo.



Figura 4.1. Icono del desarrollador ⁽³²⁾

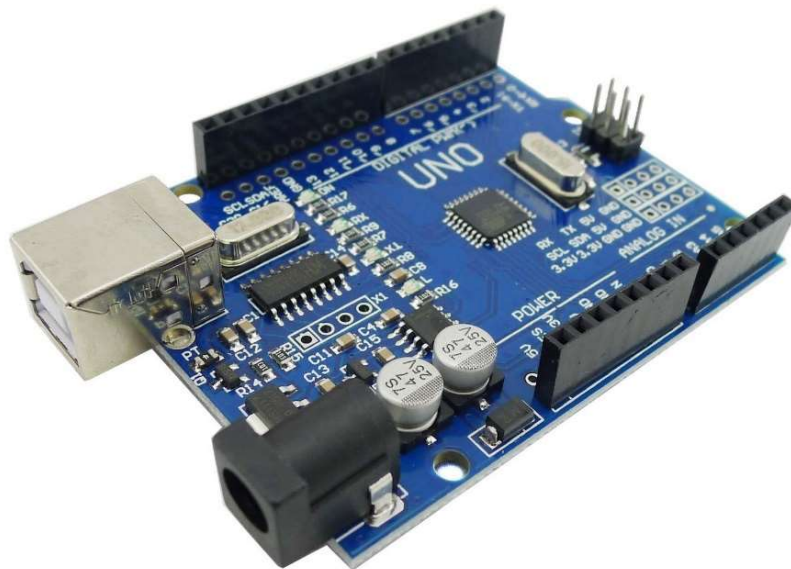


Figura 4.2. Placa base Arduino UNO ⁽³³⁾

Tras comentar lo que es el elemento central del sistema electrónico, a continuación se irán enumerando y explicando el resto de los elementos que se irán conectando al mismo para actuar directamente sobre la máquina de tatuajes.

1. Motores paso a paso:

Para generar el movimiento de rotación del tornillo y del mecanismo de giro alrededor de la guía circular será necesario emplear motores que se encarguen de ello.

La solución buscada consiste en utilizar motores paso a paso debido a su precisión y buen comportamiento en equipos similares a la máquina como es el caso de las impresoras 3D.

Un motor paso a paso (también llamado stepper) es un dispositivo electromagnético que convierte impulsos eléctricos en movimientos mecánicos de rotación. La principal característica de estos motores es que se mueven un paso por cada impulso que reciben. Normalmente los pasos pueden ser de $1,8^\circ$ a 90° por paso, dependiendo del motor.

Funcionamiento:

Cuando circula corriente por una o más bobinas del estator se crea un campo magnético creando los polos Norte-Sur. Luego el rotor se equilibrará magnéticamente orientando sus polos Norte-Sur hacia los polos Sur-Norte del estator. Cuando el estator vuelva a cambiar la orientación de sus polos a través de un nuevo impulso recibido hacia sus bobinas, el rotor volverá a moverse para equilibrarse magnéticamente.⁽³⁴⁾

En este caso, se va a emplear un motor a pasos bipolar cuyo esquema se muestra a continuación (Figura 4.3):

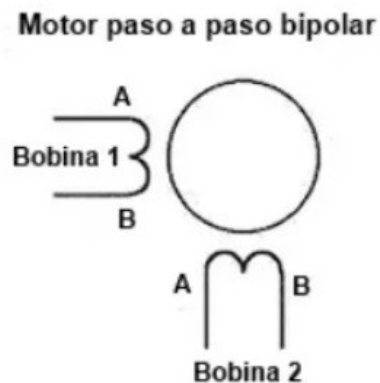


Figura 4.3. Esquema de motor a pasos bipolar ⁽³⁵⁾

En concreto el motor utilizado recibe el nombre de Longrunner Nema 17 (Figura 4.4) cuyo ángulo de paso es de $1,8^\circ$, con una demanda de corriente de 12 V y 0'4 A.



Figura 4.4. Longrunner Nema 17 ⁽³⁶⁾

2. Controlador de motor paso a paso:

Tras explicar el funcionamiento del motor, es importante comentar que el mismo no puede ser conectado directamente a la placa base de Arduino, ya que esta suministra tensión a 5 V y el motor está diseñado para funcionar a 12 V (DC) como se comentó anteriormente.

Para poder controlar los movimientos del motor, se necesita un dispositivo intermedio que se encarga de, por un lado, la comunicación con Arduino, y por otro lado la conexión al motor y a una fuente de alimentación externa que permita elevar el voltaje a 12 V (DC).

Este elemento recibe el nombre TB6600 (Stepper Motor Driver) y su apariencia se muestra a continuación en la figura 4.5.

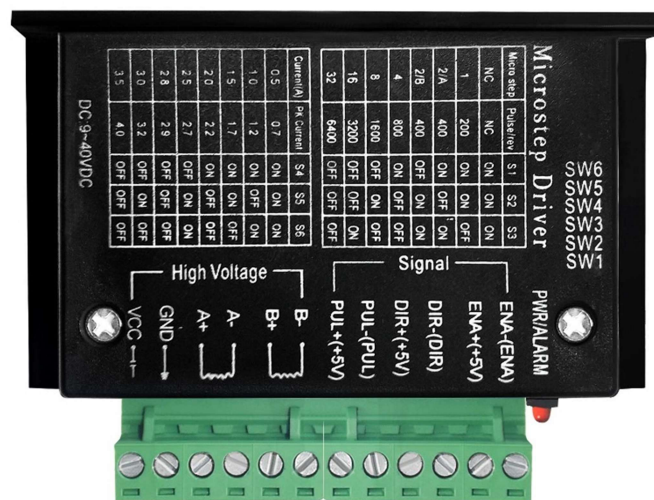


Figura 4.5. TB6600 ⁽³⁷⁾

Es importante que el conexionado entre el motor, el controlador y Arduino se realice correctamente para evitar fallos que impidan que el conjunto funcione. La figura 4.6 se adjunta para ilustrar como se ejecutarían dichas conexiones.

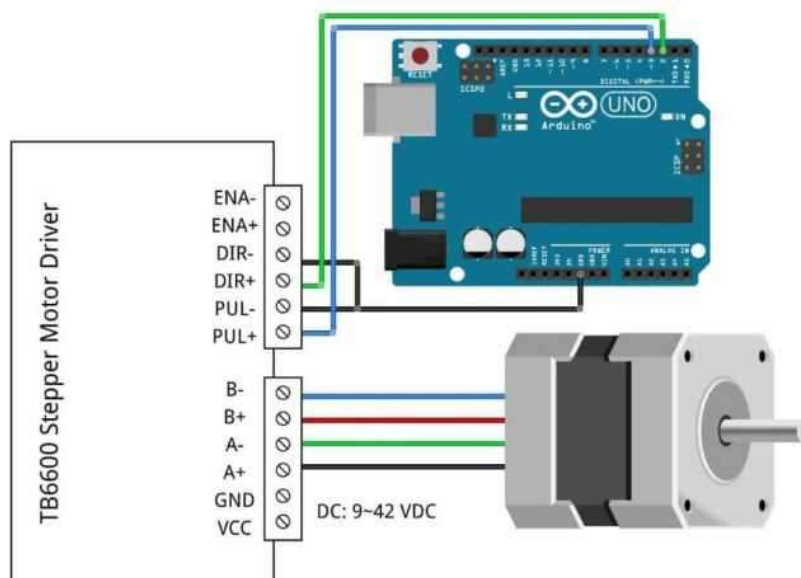


Figura 4.6. Esquema de conexionado ⁽³⁸⁾

3. Fuente de alimentación:

Para elevar el voltaje a 12 V (DC) y permitir que el motor paso a paso funcione, será necesario contar con un elemento que se encargue de transformar la corriente alterna suministrada por la red eléctrica en corriente continua al voltaje deseado. Dicho elemento recibe el nombre de fuente de alimentación.

En este caso se va a emplear una fuente con varias salidas de corriente (3 salidas), ya que aparte de los motores paso a paso, existirán más elementos a los cuales habrá que suministrarles electricidad y que se describirán más adelante (Figura 4.7).



Figura 4.7. Fuente de alimentación ⁽³⁹⁾

4. Bobinas para tatuajes:

Hasta ahora se ha comentado cómo sería el diseño del cajetín de la tinta de forma estructural, pero no se ha hablado de la tecnología empleada para que la aguja suba y baje pinchando sobre la piel humana.

Para conseguir el efecto deseado, se parte del funcionamiento de una máquina de tatuajes típica el cual se va a proceder a detallar a continuación (Figura 4.8).



Figura 4.8. Cuerpo de máquina de tatuar ⁽⁴⁰⁾

Funcionamiento:

En primer lugar hay que destacar que el conector móvil, la barra metálica y el acoplamiento para la aguja forman un conjunto fijo (no se producen movimientos relativos entre los mismos).

Cuando el cuerpo de la máquina de tatuar es conectado a la corriente eléctrica activa las bobinas. Estas ante el paso de la energía realizan una función de electroimán atrayendo a la barra metálica situada en su parte superior hasta entrar en contacto con ella.

Debido a la atracción ejercida sobre la barra metálica, el acoplamiento para la aguja baja produciendo un pinchazo sobre la piel.

Al mismo tiempo que el acoplamiento baja también lo hace el conector móvil, el cual deja de estar en contacto con el conector fijo cortando el paso de la corriente eléctrica (el conector fijo y móvil funcionan de manera similar a un interruptor, cuando ambos están en contacto permiten el paso de la energía y cuando están separados lo impiden).

Una vez la energía deja de circular por el circuito provoca que las bobinas cesen su atracción sobre la barra metálica, la cual vuelve a su posición inicial por la acción de una goma elástica.

Al subir, el conector móvil vuelve a entrar en contacto con el fijo repitiendo el proceso desarrollado.

Esta operación en una máquina de tatuar convencional ocurre a una velocidad del orden de 100 ciclos por segundo (100 pinchazos por segundo).

El efecto que se desea conseguir para el prototipo ha de ser similar a lo explicado para el caso de una máquina de tatuar convencional.

El diseño que se realiza del cajetín de la tinta, y que se mostrará a continuación, tiene como objetivo reproducir el funcionamiento detallado de la forma más fiel posible (Figura 4.9).

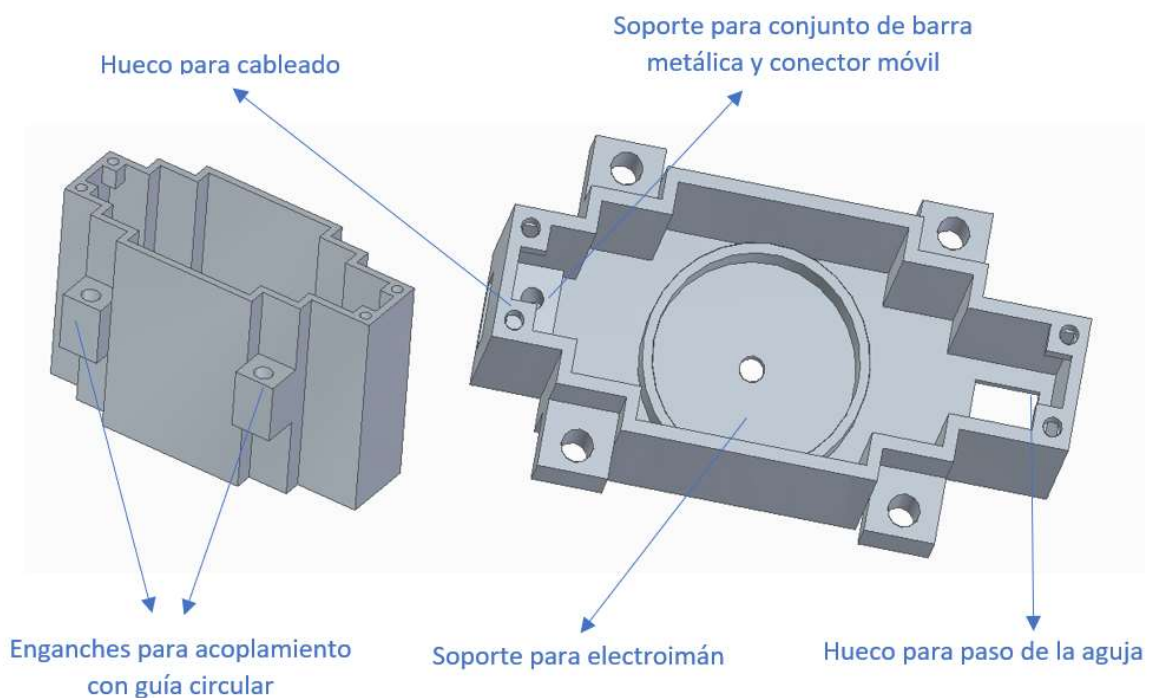
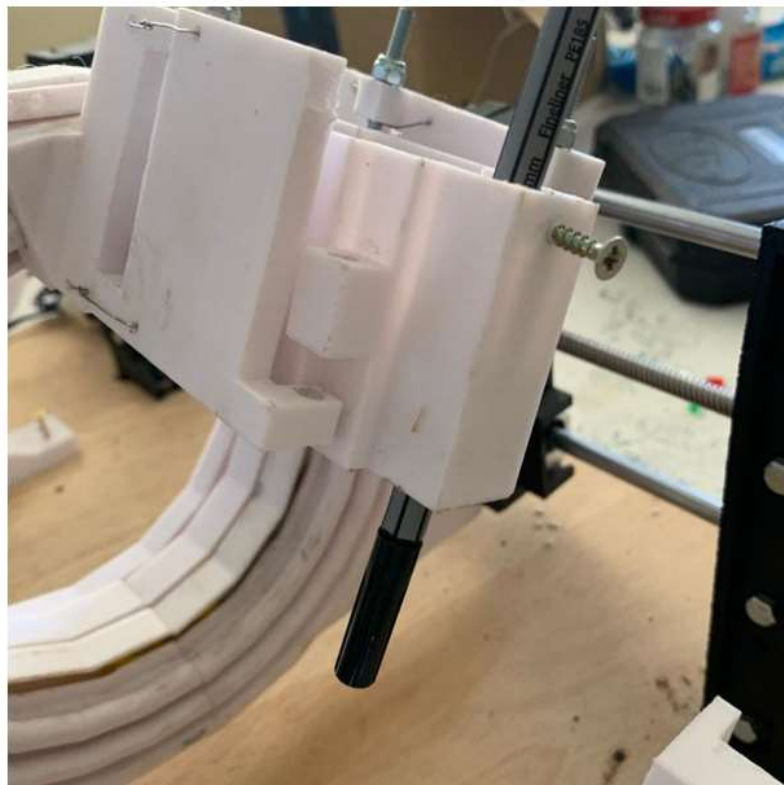
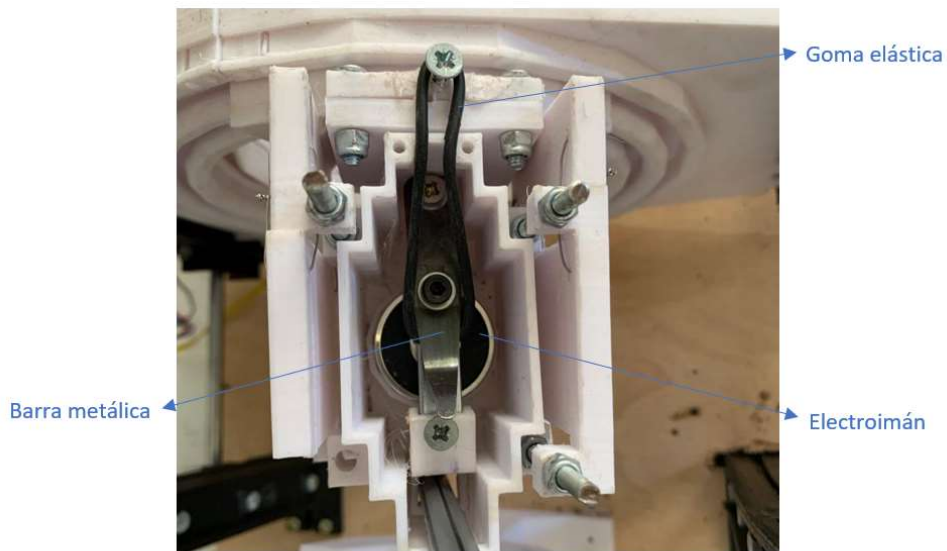


Figura 4.9. Detalle de cajetín de la tinta

En este caso, el electroimán haría las veces de bobinas atrayendo la barra metálica cuando la corriente circule por su interior.

La diferencia principal con una máquina de tatuar convencional residiría en que, el paso de la energía no se cortará por la ausencia de contacto entre los conectores cuando la barra baja, si no que desde el programa cargado a la placa base se indicará mediante un código de 0 y 1 (el cual reproduce la imagen a tatuar) cuando ha de circular o no la corriente.

Para ilustrar el resultado final del cajetín de la tinta una vez fabricadas sus piezas, se adjuntan las figuras 4.10 y 4.11.



5. Electroimán y relé:

Para finalizar la parte electrónica de la máquina se va a mostrar la apariencia física del electroimán detallado anteriormente (Figura 4.12). La principal característica que define al mismo es que tiene una capacidad de carga de en torno a 10 kg.



Figura 4.12. Electroimán ⁽⁴²⁾

Al igual que en el caso de los motores paso a paso, este elemento requiere de 12 V de corriente continua para funcionar, por lo que no puede ser conectado directamente a la placa base de Arduino.

Es por eso que, de igual forma, se requiere de un elemento intermedio a través del cual elevar la tensión hasta los niveles requeridos por el mismo.

Para conseguir el efecto deseado en este caso se emplea un relé, el cual se define como un dispositivo electromagnético que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos (combina el circuito de Arduino a 5 V con el circuito del electroimán y la fuente de alimentación).

A continuación, se muestra el tipo de relé empleado junto con el esquema de conexionado del mismo para conocer cómo encajaría el mismo dentro de la electrónica desarrollada (Figuras 4.13 y 4.14).

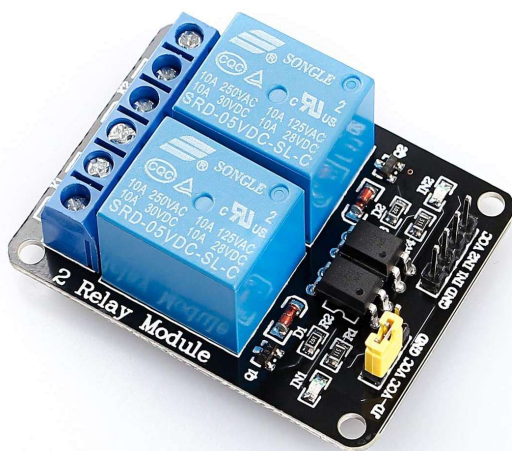


Figura 4.13. Relé ⁽⁴²⁾

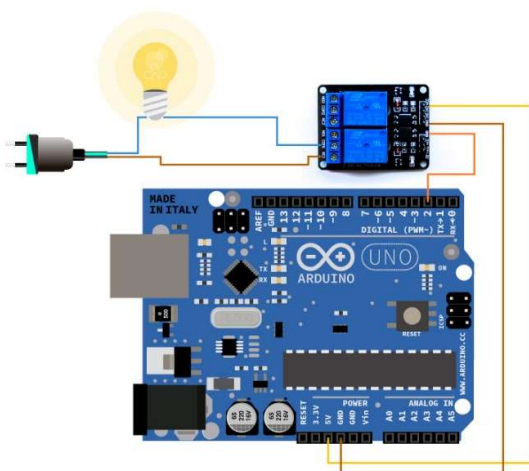


Figura 4.14. Conexionado del relé ⁽⁴³⁾

En el caso de la figura 4.14, hay que destacar que la bombilla sería un elemento equivalente al electroimán empleado al igual que el enchufe con la fuente de alimentación.

4.2. Programación

Se han comentado todos los elementos que intervienen en la electrónica de la máquina de tatuajes, los cuales están interconectados entre sí a través de la placa base de Arduino para que puedan ser controlados a través de la misma.

Sin embargo, la pregunta que ahora se plantea es, una vez montado todo el circuito electrónico, ¿cómo decirles a esos elementos que hagan lo que tienen que hacer en cada momento de manera sincronizada?, la respuesta es a través de programación.

Para el desarrollo del programa se ha empleado el software Matlab, el cual tiene un módulo integrado de fácil instalación que permite la interconexión con placas base de Arduino.

A continuación, se va a explicar paso a paso cómo el código desarrollado transforma cualquier imagen en blanco y negro (debido a que se trata de un prototipo) a un formato matricial interpretado por Arduino.

Código de Matlab:

```
a = arduino;
```

Paso 1: se inicia la conexión con la placa base de Arduino la cual se configura anteriormente a través del programa.

```
im = imread('ox.bmp');
```

```
imshow(im);
```

Paso 2: se carga la imagen en blanco y negro a tatuar y se muestra por pantalla para comprobar que se ha cargado correctamente. Es importante que la imagen se encuentre en formato .bmp (Mapa de bits) para que pueda ser interpretada por el programa.

```
r = im(:,:,1);
```

```
g = im(:,:,2);
```

```
b = im(:,:,3);
```

Paso 3: cada pixel de la imagen en cuestión presenta un color, el cual resulta de una combinación de tres colores independientes, el rojo (Red – r), el verde (Green – g) y el azul (Blue – b). Cada uno de los tres es representado por un valor numérico que oscila entre 0 y 255, de manera tal que combinando dichos valores se obtienen todos los colores de la gama cromática (Ej.: Negro - (0,0,0); Blanco – (255,255,255); Rojo – (255,0,0); Amarillo - (255, 233, 0)).

En este paso se leen todos los valores numéricos del rgb de cada pixel y se guardan en tres variables independientes de manera matricial (variables r, g y b).

```
alto = size(r, 1);
```

```
ancho = size (r,2);
```

```
M = zeros(alto,ancho);
```

Paso 4: se obtiene el alto y el ancho de la imagen en número de píxeles a partir de la matriz 'r' generada anteriormente. Se crea una matriz de ceros de la misma dimensión.

```

for i=1:alto
    for j=1:ancho
        r1 = r(i,j);
        g1 = g(i,j);
        b1 = b(i,j);

        if r1<=10&&g1<=10&&b1<=10
            M(i,j)=1;
        end
    end
end

```

Paso 5: se va leyendo el valor del rgb de cada pixel guardado en las variables anteriores uno a uno a través de un bucle for. Cuando el programa detecta que para un pixel determinado el color del mismo es negro (rgb – (0,0,0); se da cierto margen hasta valores de rgb – (10,10,10) ya que son píxeles que pueden ser considerados prácticamente negros), escribe un 1 en aquella posición de la matriz que se corresponde con dicho pixel en la imagen a tatuar.

```

k = ones(1,alto);
for i=1:alto
    for j=1:ancho
        if M(i,j)==1
            k(i) = j + 5;
        end
    end
end

```

Paso 6: se crea un vector 'k' de dimensión igual al alto de la matriz creada a partir de la imagen. A través de un bucle for se detecta para cada fila de píxeles en que posición se encuentra el último 1 registrado (que se corresponde con el último píxel negro de la fila). Las posiciones leídas se van guardando en el vector 'k' a la vez que se incrementa en 5 cada una de ellas.

```

for i=2:2:alto
    k1 = k(i);
    M(i-1,k1)=2;

    if k1 == 1
        M(i-1,k1)=0;
    end
end

```

Paso 7: cada dos filas, empezando por la número 2, se introduce un valor numérico igual a 2 en la posición guardada en el vector 'k' en la fila anterior a la tratada en cada momento. La intención de este paso es que, en las filas impares, aparezca un valor 2 cinco posiciones más adelante del último 1 de la fila siguiente, de forma tal que se utilizará dicho valor para cambiar el sentido de giro de la máquina generando un movimiento recíprocante de ida y vuelta alrededor del brazo.

El valor 2 ha de estar en la fila anterior a la tratada en cada momento para evitar que se queden zonas de la imagen sin tatuar. Para evitar problemas si el valor de k1 (k1 = k para cada fila) es igual a 1, lo cual quiere decir que no hay color negro en dicha fila, se sustituye el valor registrado 2 por un 0.

```

h = ones(1,alto);
for i=alto:-1:1
    for j=ancho:-1:1
        if M(i,j)==1
            h(i) = j - 5;
        end
    end
end
for i=3:2:alto
    h1 = h(i);
    M(i-1,h1)=2;
    if h1 == 1
        M(i-1,h1)=0;
    end
end
end

```

Paso 8: De manera similar que en los pasos anteriores, se guarda en un vector 'h' creado la posición del primer 1 de cada fila y se le resta a la misma 5 lugares más atrás.

En este caso se escriben en las filas pares un valor 2 en aquella posición guardada en el vector 'h' en la fila anterior a la tratada en cada momento.

De igual forma, esta vez se parte de la fila 3 y se va leyendo el vector 'h' de dos en dos filas.

Para evitar problemas si el valor de h1 (h1 = h para cada fila) es igual a 1, lo cual quiere decir que no hay color negro en dicha fila, se sustituye el valor registrado por un 0.

```

for j=1:ancho
    i = alto;
    if M(i,j)==1
        k3 = j;
    end
end
M(alto, k3+5)=3;

```

Paso 9: se introduce un 3 en cinco posiciones más adelante del último 1 de la última fila de la imagen. Este valor se utilizará para detener el programa, lo cual quiere decir que el tatuaje habrá finalizado.

Para tratar de comprender los pasos 6, 7, 8 y 9, los cuales resultan de difícil comprensión, se adjunta una imagen (Figura 4.16) en la que se observa cual habría de ser el resultado obtenido.

En la figura se va a mostrar una zona amarilla llena de 1, la cual se correspondería con la imagen a tatuar (Figura 4.15).

Además de la misma, se distingue una serie de números dibujados en rojo, que se corresponde con los 2 introducidos anteriormente. Tal y como se observa, los 2 están colocados de manera tal que en las filas impares aparece a la derecha de la imagen y en las filas pares a la izquierda.

Finalmente se distingue un número 3 al final de la figura dibujado en azul, el cual se corresponde con el final del programa como se detallará más adelante.



Figura 4.15. Imagen a tatuar

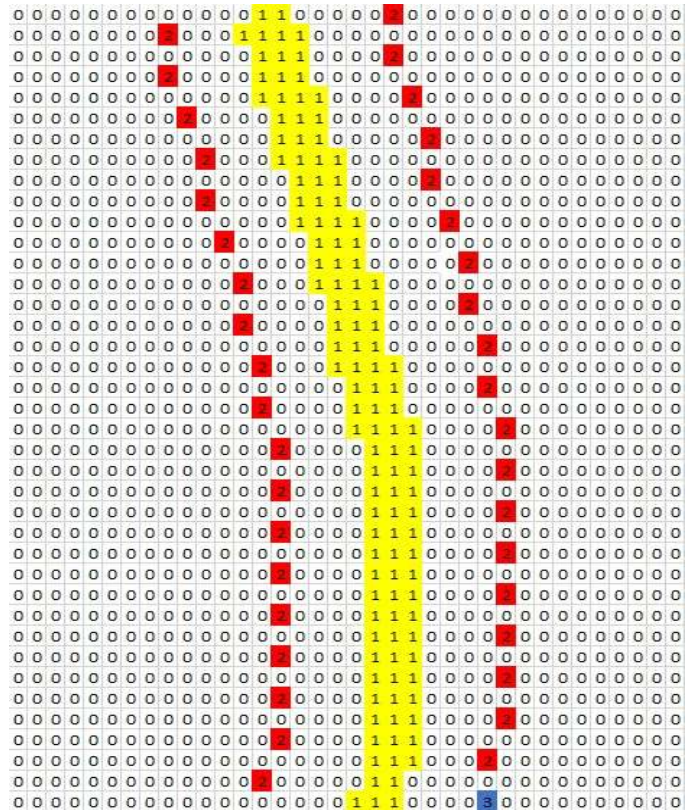


Figura 4.16. Matriz generada por código

```

k = 1;
h = 0;
aux = 1;

for p=1:1000000
    if k == 1
        for x = ancho:-1:1
            if M(1,x) == 1
                h = x;
            end
            k = k + 1;
        end
    end
end

```

Paso 10: se genera un bucle for que ocupará toda la parte restante del código y que irá recorriendo la matriz de la imagen.

Las primeras líneas que nos encontramos dentro del bucle sólo se realizan para la primera iteración, ya que el valor de $k = 1$ generado fuera del mismo (el cual permite entrar dentro del if inicial) pasa a ser $k = 2$ al recorrer dichas líneas.

La finalidad de esta parte del programa es buscar el primer 1 de la matriz y guardar la posición en la que se encuentra en la variable 'h' por motivos que se explicarán próximamente.

```

if aux == 1
    x = h;
    y = 1;
    aux = aux + 1;
    writeDigitalPin(a, 'D2', 0);
    pause(0.0001);
    writeDigitalPin(a, 'D8', 0);
    pause(0.0001);
end

```

Paso 11: de igual forma que en el caso anterior, este paso únicamente se realiza dentro de la primera iteración, ya que la variable aux pasa a ser igual a 2 al recorrer las líneas mostradas.

A partir de ahora se van a tener en cuenta varios factores:

- 'x' hará referencia a la columna de la matriz en la que se encuentre el sistema en cada momento. Como se muestra, se inicia con el valor de 'h' anteriormente registrado, lo cual quiere decir que la matriz se empieza a recorrer a partir de la posición del primer 1 encontrado (se hace así para saber en qué punto comienza el tatuaje, ya que el primer 1 encontrado se corresponde con el primer pinchazo de la aguja).
- 'y' hará referencia a la fila de la matriz en la que se encuentre el sistema en cada momento.
- D2 y D3 se corresponden con los pines de Arduino a los que está conectado el motor que genera el movimiento de rotación del cajetín alrededor de la guía circular. D2 indica en qué sentido de giro se moverá el motor, y D3 se encarga de provocar el movimiento.
- D8 y D9 son los pines a los que se conecta el motor encargado de hacer girar el tornillo principal que provoca el movimiento longitudinal de avance de la guía circular. De igual forma, D8 indica el sentido de giro y D9 inicia el movimiento del motor.
- D13 es el pin conectado al relé que se encarga de los pinchazos de la aguja.

En este caso se indica que el sentido de giro del cajetín de la tinta es en sentido horario (D2 = 0) al igual que el del tornillo de avance (D8 = 0) (D2 = 1 o D8 = 1 indica sentido antihorario).

```

if M(y,x) ~= 2
    if M(y,x) == 1
        writePWMDutyCycle(a, 'D3', 0);
        writeDigitalPin(a, 'D13', 0);
        pause(0.05);
        writeDigitalPin(a, 'D13', 1);
        pause(0.05);
    end
    writePWMDutyCycle(a, 'D3', 0.9);
    if (mod(y,2)~=0)
        x = x + 1;
    end

    if (mod(y,2)==0)
        x = x - 1;
    end
end
end

```

Paso 12: en este caso, únicamente se pasa por estas líneas de código en aquellas iteraciones en las que el valor de la matriz 'M' en un pixel determinado sea distinto de 2. Se pueden dar dos situaciones:

- Si dicho valor es igual a 1, se para el motor de giro del cajetín de la tinta y se produce un pinchazo de la aguja activando y desactivando el pin D13.
- Si es igual a 0 la aguja permanece inmóvil.

Para ambas circunstancias, tras realizar la operación correspondiente, se inicia el movimiento de giro del cajetín de la tinta (en el sentido indicado anteriormente en el paso 11 en el caso de la primera iteración, o en el indicado en el paso 13 en caso de iteraciones sucesivas) a una frecuencia de 0.9 Hz activando el pin D3.

A partir de ese momento, de nuevo se vuelven a dar dos posibilidades:

- Si la fila es impar, en cuyo caso se incrementa el valor de 'x', lo cual quiere decir que la matriz se recorre de izquierda a derecha.
- Si la fila es par, en cuyo caso se decrementa el valor de 'x', lo cual quiere decir que la matriz se recorre de derecha a izquierda.

Esto es así debido a que el recorrido de la matriz se ha de realizar en concordancia con el sentido de giro del cajetín de la tinta, el cual se mueve en las filas impares en sentido horario (como se comentó anteriormente en el paso 11 para la fila $y = 1$) y al contrario para las filas pares.

```
if M(y,x) == 2
    writePWMDutyCycle(a, 'D3', 0);

    if (mod(y,2)~=0)
        writeDigitalPin(a, 'D2', 1);
        pause(0.0001);
    end

    if (mod(y,2)==0)
        writeDigitalPin(a, 'D2', 0);
        pause(0.0001);
    end

    writePWMDutyCycle(a, 'D9', 0.9)
    pause(0.1)
    writePWMDutyCycle(a, 'D9', 0)

    y = y + 1;
end
```

Paso 13: de nuevo, únicamente se pasa por esta líneas de código en aquellas iteraciones en las que el valor de la matriz 'M' en un pixel determinado sea igual a 2.

En esta ocasión, se para el movimiento del cajetín de la tinta desactivando el pin D3 a la vez que se produce un cambio en su sentido de giro (si la fila tratada en ese momento es par, el sentido para la siguiente iteración será horario, y en caso de ser impar será antihorario).

Posteriormente se inicia durante un tiempo de 0.1 segundos el movimiento del tornillo de avance dejando que la corriente fluya por el pin D9 de Arduino (en el sentido indicado anteriormente por el pin D8). Cuanto menor sea el tiempo en el que el motor está activo, menos será el avance del tornillo por fila y por tanto mayor será la resolución del tatuaje final.

Para finalizar se avanza de fila sumándole a 'y' un valor igual a 1.

```
if M(y,x) == 3
    writePWMDutyCycle(a, 'D3', 0);
    pause(5000);
end
    pause(0.1);
end
```

Paso 14: se corresponde con las últimas líneas de código, en las cuales finaliza el bucle iniciado anteriormente en el paso 10.

En este caso si el valor de la matriz 'M' para el pixel de la imagen correspondiente a la iteración que se esté realizando es igual a 3, quiere decir que el tatuaje habrá terminado, parándose el giro de los motores y dando una pausa suficiente (igual a 5000 segundos) para apagar la máquina.

La pausa de 0.1 segundos que aparece al final de las líneas, hace referencia al tiempo en que el cajetín de la tinta está girando entre iteración e iteración si su movimiento se ha iniciado anteriormente en el paso número 12.

5. Conclusiones y trabajos futuros

Se ha explicado a lo largo de los apartados anteriores y de manera detallada, todo el proceso de diseño que se ha seguido desde el inicio, con el surgimiento de la idea, hasta el desarrollo final del prototipo de la máquina.

Tras todo el proceso realizado a lo largo del proyecto, se extraen varias conclusiones que resultan de gran importancia a la hora de diseñar un producto dedicado al público en general como el planteado.

En primer lugar, siempre hay que pensar desde el punto de vista de la funcionalidad y facilidad de uso por parte del usuario final de la máquina. Nadie quiere en su casa un aparato que no pueda utilizar debido a su complejidad o que requiera de más de una persona para ponerlo en funcionamiento.

Al inicio de este proyecto se planteaba una idea de máquina compleja, con muchos mecanismos innovadores y de difícil elaboración integrados en la misma. Esto resulta un inconveniente desde la perspectiva de la fiabilidad de la misma, pudiendo acarrear problemas de difícil resolución.

Poco a poco se fue iterando hacia un diseño mucho más limpio, empleando mecanismos simples ya probados en industrias muy extendidas como es el caso de las impresoras 3D. De esta forma, se consigue que el resultado final que se espere obtener esté mucho más controlado y se asemeje mucho más a lo planteado desde el punto de vista teórico.

El diseño novedoso actual del prototipo elaborado resulta simple y está formado por piezas sencillas de fácil fabricación, lo cual resulta especialmente de ayuda en cuestión de costes de producción. Además, el mantenimiento de la máquina resultaría bastante asequible para el público en general, sin necesidad de disponer de herramientas y servicio técnico avanzado, incluso con una buena oferta de piezas de fácil adquisición para sustituir aquellas en mal estado.

Desde la perspectiva del diseño electrónico de nuevo se ha iterado hasta encontrar lo que podría ser un modelo de fácil reproducción y que se adapte de manera sencilla a las necesidades de las personas en la época actual.

Cabe comentar además, que paralelamente al desarrollo de la máquina se ha realizado un estudio de mercado a través de publicidad en redes sociales para comprobar que la idea inicial tendría salida en el mercado tecnológico actual.

Los resultados obtenidos en el contenido mostrado a través de las redes y diversas encuestas realizadas al público en general fueron muy positivos, lo cual supone que la solución propuesta para solventar el problema inicial que se planteaba es adecuada a las necesidades de los consumidores.

En definitiva y a modo de conclusión, es importante entender que la idea inicial de un producto no es normalmente la más adecuada y no siempre se puede desarrollar de manera funcional. Es fundamental tener la mente abierta y ser capaz de adaptarse a las necesidades de las personas. No se debe caer en la obsesión por tratar de que la propuesta inicial se lleve a cabo tal y como se concibió.

Iterar y buscar soluciones más atractivas y asequibles tecnológicamente hace que el resultado final obtenido sea mucho más rico y que, probablemente se adecue mucho más a lo que realmente se espera del producto ideado.

Para la fabricación final de un producto comercializable y que pueda reproducirse en serie, aún queda una gran cantidad de pasos que se habrán de seguir poco a poco. A continuación se van a comentar cuáles se creen que son aquellos más importantes y cómo se plantea inicialmente solucionarlos sin pararse a explicarlo de manera detallada.

El desarrollo del prototipo se ha centrado en reproducir una tecnología similar a la empleada por parte de las máquinas de tatuar convencionales.

Para retomar el concepto inicial de la temporalidad en los tatuajes, se ha ido madurando paralelamente al diseño estructural qué tecnología se podría emplear para que la misma fuera factible y de rápida adaptación. Para ello, se ha pensado en las impresoras láser, al tratarse de una tecnología simple que permite imprimir imágenes de alta calidad a gran velocidad.

La solución planteada consiste en adaptar los componentes de una impresora convencional para que puedan dibujar directamente sobre la piel.

Además de la tecnología empleada para elaborar los dibujos sobre la piel, es importante estudiar aquellas encargadas de la fabricación de las piezas diseñadas, ya que el método aditivo con el que se han elaborado todas las piezas del prototipo únicamente resulta económico para lotes muy pequeños. Se propone estudiar la de inyección de plásticos por su versatilidad a la hora de fabricar piezas de diversos tamaños y geometrías complejas, así como por ser un proceso muy rápido y eficiente.

Otro de los puntos que requieren de una mayor investigación es el apartado electrónico. Tanto los circuitos empleados para la fabricación del prototipo como el código que controla los elementos conectados son demasiado simples y están pensados para comprobar que el funcionamiento de la máquina es correcto.

Se plantea la colocación de sensores bluetooth directamente integrados en la electrónica de la máquina para que la conexión con la misma se haga directamente a través de ellos sin tener que pasar por ordenador. De esta forma las imágenes a tatuar se podrían enviar directamente a través de un terminal móvil o tablet facilitando en gran medida la usabilidad de la máquina.

Finalmente, se pretende acompañar al diseño de la electrónica con la creación de una aplicación móvil o página web desde la cual se puedan descargar tatuajes ya creados y subidos a la nube por artistas. El usuario simplemente tendría que encargarse de obtener dichos diseños en un formato adecuado y transferirlos a la máquina para inicial el dibujo.

6. Bibliografía:

1. Wallpaperaccess.com. [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://wallpaperaccess.com/girls-tattoo>
2. Pitria.com. [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: https://www.pitria.com/wp-content/uploads/2019/07/people-3292901_960_720-pixabay.jpg
3. Wildsoul. ¿Cuál es el origen de los tatuajes? [Internet]. Wildsoul.es. 2021 [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://wildsoul.es/origen-de-los-tatuajes>
4. Malcolm. Tattoo enthusiast removes needle after 40 years [Internet]. Icenews.is. 2014 [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.icenews.is/2014/06/05/tattoo-enthusiast-removes-needle-after-40-years/>
5. Lemes MM. Los primeros tatuajes y su simbología [Internet]. Aboutespanol.com. [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.aboutespanol.com/los-primeros-tatuajes-y-su-simbologia-3190354>
6. Female Figure [Internet]. Metmuseum.org. [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/544220>
7. Europa press. Aumentan las consultas para quitarse tatuajes [Internet]. ABC.es. 2013 [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.abc.es/sociedad/20130527/abci-eliminar-tatuajes-aumenta-201305261721.html>
8. Corbella J. Los centros médicos registran un aumento de demanda para borrar tatuajes [Internet]. La Vanguardia. 2011 [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/vida/20111227/54241667236/centros-medicos-registran-aumento-demanda-borrar-tatuajes.html>
9. CuencaNews.es. [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.cuencaNews.es/noticia/72329/cuenca/se-pide-a-los-centros-educativos-que-tengan-impresoras-3-d-que-colaboren-para-elaborar-material-de-proteccion-ante-el-covid-19.html>
10. GRIFEMA G851-18 - Manguera ducha, 1.8 m, Flexo de Acero, Plata. [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.amazon.es/dp/B087K1N3NV?tag=strawpollde-21&linkCode=osi&th=1&psc=1>
11. Administrador. DIT 634p/18 - SISTEMA NUDO ONDDI - Dit [Internet]. Csic.es. 2018 [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://dit.ietcc.csic.es/2018/05/28/dit-634p-18-sistema-nudo-onddi/>
12. Before you continue to Google Maps [Internet]. Google.es. [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.google.es/maps/@37.4107047,-5.9998969,3a,37.5y,99.27h,101.31t/data=!3m6!1e1!3m4!1sPAdKQz3C3LJV3p2malxf2g!2e0!7i16384!8i8192>
13. T8 Vertical 2mm Lead Screw Rod + Pillow Block Mounted Bearing Kit for 3D Printer [Internet]. Ebay.com. [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.ebay.com/itm/T8-Vertical-2mm-Lead-Screw-Rod-Pillow-Block-Mounted-Bearing-Kit-for-3D-Printer-/173040808835>

14. Ardila NIB, Perfil VT mi. EVALUACION DE SOFTWARE [Internet]. Blogspot.com. [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <http://actividadreconocimiento-301569-8.blogspot.com/>
15. Sosa M, Perfil VT mi. Aprendamos Sistemas de Costos [Internet]. Blogspot.com. [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <http://aprendamossistemasdecostos.blogspot.com/2016/07/costos-indirectos.html>
16. Upc.edu. [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/76406/Annex%20D%20ABS%20\(1\).pdf#:~:text=El%20ABS%20es%20el%20nombre%20dado%20a%20una,lo%20denomina%20terpol%C3%ADmero%20%28copol%C3%ADmero%20compuesto%20de%20tres%20bloques%29](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/76406/Annex%20D%20ABS%20(1).pdf#:~:text=El%20ABS%20es%20el%20nombre%20dado%20a%20una,lo%20denomina%20terpol%C3%ADmero%20%28copol%C3%ADmero%20compuesto%20de%20tres%20bloques%29)
17. Styrene PB. ABS – POLIACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO [Internet]. Siim.com. [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <http://siim.com/docs/RAE-1018.pdf>
18. Wikipedia contributors. Polipropileno [Internet]. Wikipedia, The Free Encyclopedia. [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Polipropileno&oldid=135672481>
19. Proyecto de Innovación Atlas Metalográfico [Internet]. Ucm.es. [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.ucm.es/atlasmetalografico/aleaciones-de-aluminio>
20. Química C. -6061- (ALUMINIO – MAGNESIO – SILICIO) [Internet]. Alacermas.com. [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: [https://www.alacermas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa_6061_aluminio\(1\).pdf](https://www.alacermas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa_6061_aluminio(1).pdf)
21. Worldstainless.org. [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/What_is_Stainless_Steel_SP.pdf
22. Calvosealing.com. [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: https://calvosealing.com/wp-content/uploads/docES_acero_inoxidable_clasificacion_0.pdf
23. Material Mundial. Acero Inoxidable AISI 304 Ficha Tecnica, Propiedades, Densidad, Dureza [Internet]. Materialmundial.com. 2019 [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.materialmundial.com/acero-inoxidable-ss-astm-sae-aisi-304-ficha-tecnica/>
24. S SIENOC Husillo guía T8 de 350 mm + tuerca de copper + cojinete vertical + acoplamiento + guía lineal de 8 mm de diámetro + soporte en V + rodamiento de bolas (tipo 7, 1 juego, 350 mm). [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: https://www.amazon.es/SIENOC-cojinete-vertical-acoplamiento-rodamiento/dp/B0891THN9F/ref=sr_1_2?_mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=sienoc+husillo&qid=1631049599&sr=8-2
25. ALL. IMPRESSORA 3D ENDER-5 PRO FDM CREALITY 3D [Internet]. Com.br. [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.crealitystore.com.br/impressora-3d-ender-5-pro-fdm-creality-3d>
26. Creality Ender 5 PRO [Internet]. Servitec3d.com. 2020 [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://servitec3d.com/impresoras-3d-creality/impresora-3d-creality-ender-5-pro/>

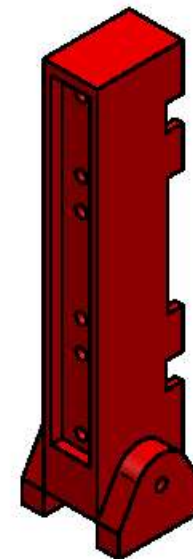
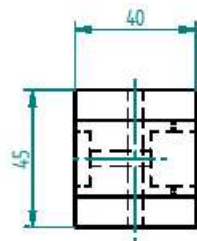
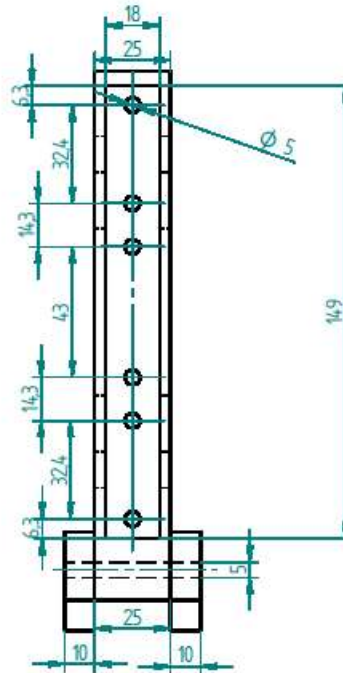
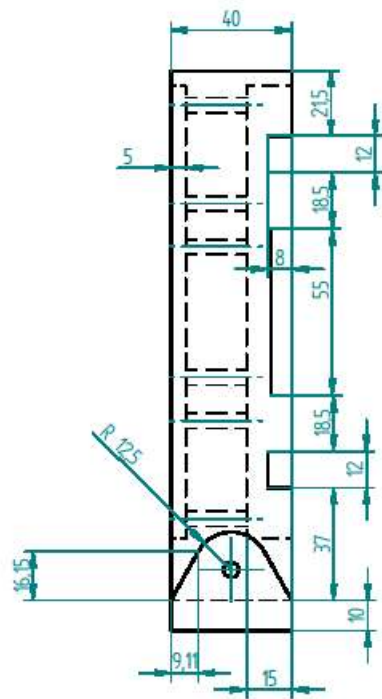
27. Ultimaker Cura [Internet]. Makershop.fr. [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.makershop.fr/logiciel-imprimante-3d/2377-ultimaker-cura.html>
28. All3dp.com. [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://all3dp.com/2/extrusion-multiplier-cura-ways-to-improve-your-prints/>
29. 2X GT2 Polea 20 Dientes Diámetro 5mm + 8ft 2.5 m 2GT GT2 Correa de Distribución y 2X 4X Tensor de Polea [Internet]. Electr3s.com. [citado el 7 de septiembre de 2021]. Disponible en: <http://electr3s.com/inicio/115-2x-gt2-polea-20-dientes-diametro-5mm-8ft-25-m-2gt-gt2-correa-de-distribucion-y-2x-4x-tensor-de-polea.html>
30. ¿Qué es el software de código abierto? [Internet]. Ibm.com. [citado el 8 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.ibm.com/es-es/topics/open-source>
31. Administrador. PWM - Modulación por Ancho de Pulso - Electrónica Unicrom [Internet]. Unicrom.com. 2019 [citado el 8 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://unicrom.com/pwm-modulacion-por-ancho-de-pulso/>
32. Sebastian. Mikrocontroller Archive • Sebastian Lang [Internet]. Sebastianlang.net. [citado el 8 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://sebastianlang.net/tag/mikrocontroller/>
33. ARDUINO UNO – TÁCTILPOS [Internet]. Tactilpos.com. [citado el 8 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.tactilpos.com/product/arduino-uno/>
34. Jecrespom. Motor Paso a Paso – Página 2 – Aprendiendo Arduino [Internet]. Wordpress.com. [citado el 8 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/motor-paso-a-paso/page/2/>
35. Garcia V. Motores Bipolares [Internet]. Hispavila.com. [citado el 8 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.hispavila.com/motores-bipolares/>
36. Motor paso a paso, Longrunner Nema 17 Bipolar de 42 mm (26 Ncm) 12 V, 0,4 A, para impresora 3D Hobby CNC 17HS13 0404S LQD06. [citado el 8 de septiembre de 2021]. Disponible en: https://www.amazon.es/Motor-Longrunner-Bipolar-impresora-17HS13/dp/B072LVXVKW/ref=sr_1_6?tag=15-toletienda-21
37. Twotrees Controlador de motor de paso (TB6600 4A40V 1PC). [citado el 8 de septiembre de 2021]. Disponible en: https://www.amazon.es/Twotrees-TB6600-Motor-paso-TB6600-4A40V/dp/B07SQPHHJM/ref=sr_1_9?_mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=37HLOWB41T2OE&dchild=1&keywords=tb6600&qid=1631095262&sprefix=tb6%2Caps%2C195&sr=8-9
38. Pambudi GW. Cara Kontrol Motor Stepper dengan Driver TB6600 / TB6500 Arduino [Internet]. Cronyos.com. 2020 [citado el 8 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.cronyos.com/cara-kontrol-motor-stepper-dengan-driver-tb6600-tb6500-arduino/>
39. D DOLITY universal switching converter, AC/DC power supply adapter transformer for LED strip lights, AC 220V to DC 12V 10A 120W power supply switching mode converter. [citado el 8 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.amazon.com/dp/B01E6S0JS4?tag=finallybest-20>

40. Yilong High Quality Free Customize Logo Pure Copper Tattoo Coil Tattoo Machines - Buy Tattoo Copper Machines, Tattoo Coil Machine, 2018 Tattoo Machines Product on Alibaba.Com [Internet]. Alibaba.com. [citado el 8 de septiembre de 2021]. Disponible en: https://www.alibaba.com/product-detail/YILONG-2018-High-Quality-Free-Customize_60813960405.html
41. 12V 22LB 10Kg Electric Lifting Magnet Electromagnet Solenoid Lift Holding 30mm 700724745187 [Internet]. Ebay.com. [citado el 8 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.ebay.com/itm/12V-22LB-10Kg-Electric-Lifting-Magnet-Electromagnet-Solenoid-Lift-Holding-30mm/312535715992>
42. Amazon.com. [citado el 8 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.amazon.com/SunFounder-Channel-Optocoupler-Expansion-Raspberry/dp/B00E0NTPP4>
43. Robotica3dcv. PROGRAMANDO EL RELÉ [Internet]. Blogspot.com. [citado el 8 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://roboticacvveso.blogspot.com/2017/04/programando-el-rele.html>

Anexo:

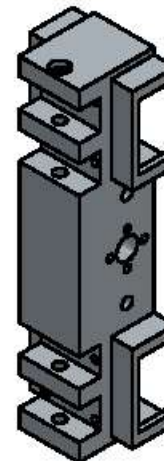
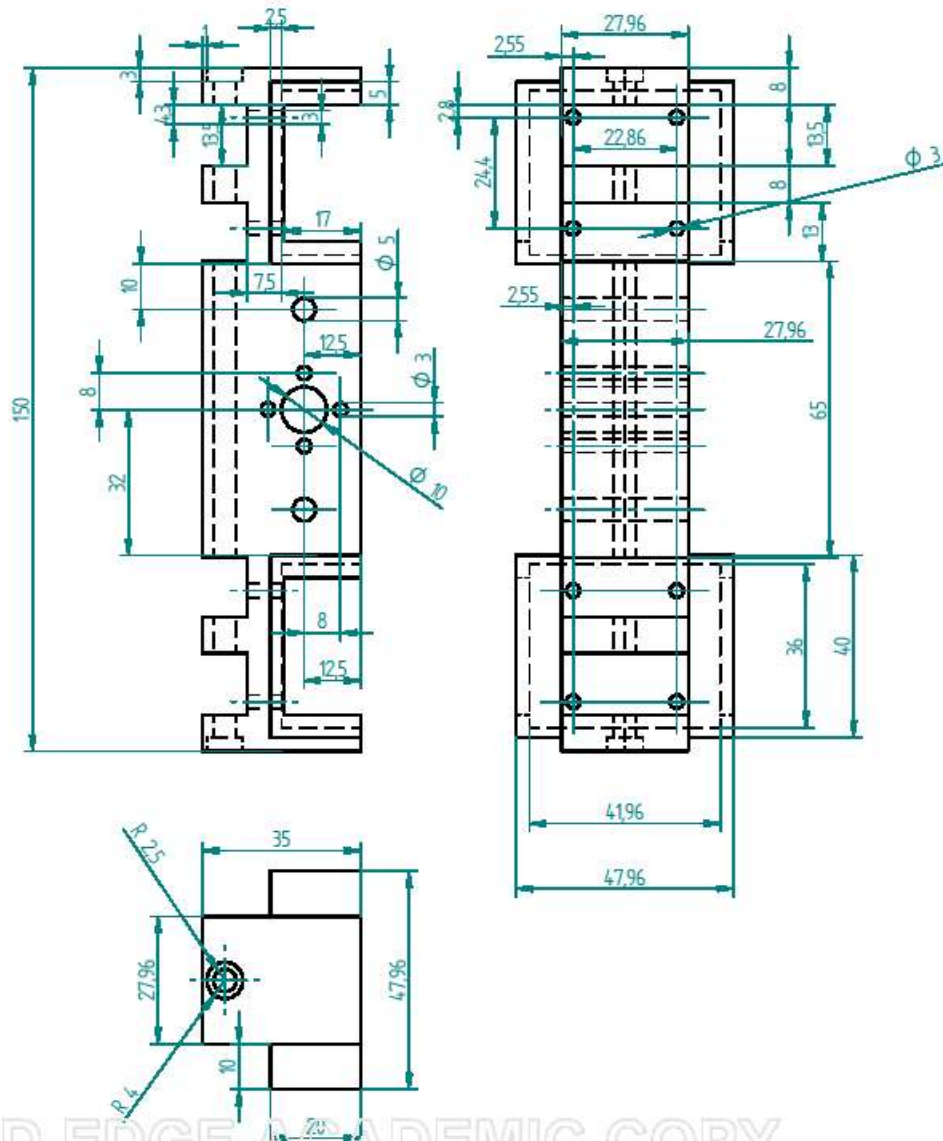
A lo largo de todo el proyecto únicamente se ha mostrado la geometría de las piezas sin hacer referencia a sus dimensiones. A continuación se adjunta una muestra de los planos de aquellas piezas más importantes que se han fabricado para el prototipo:

- Plano 1: Bisagra fija
- Plano 2: Bisagra móvil
- Plano 3: Guía circular
- Plano 4: Acoplamiento cajetín de la tinta
- Plano 5: Cajetín de la tinta
- Plano 6: Rueda dentada
- Plano 7: Guía para rueda dentada
- Plano 8: Soporte brazo
- Plano 9: Unión guía circular y rueda dentada
- Plano 10: Soporte para motor



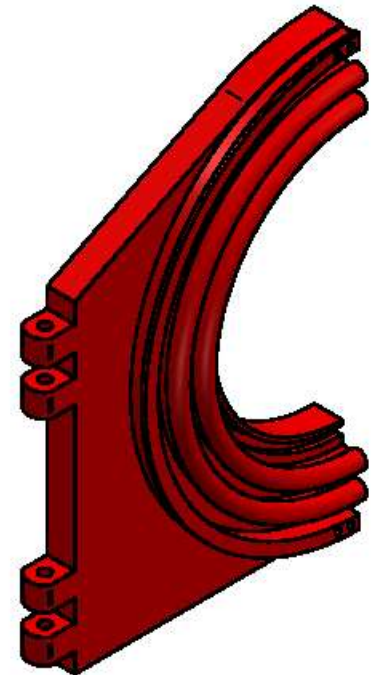
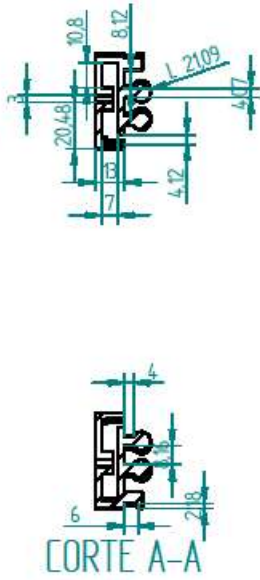
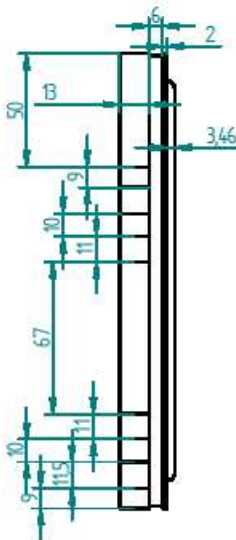
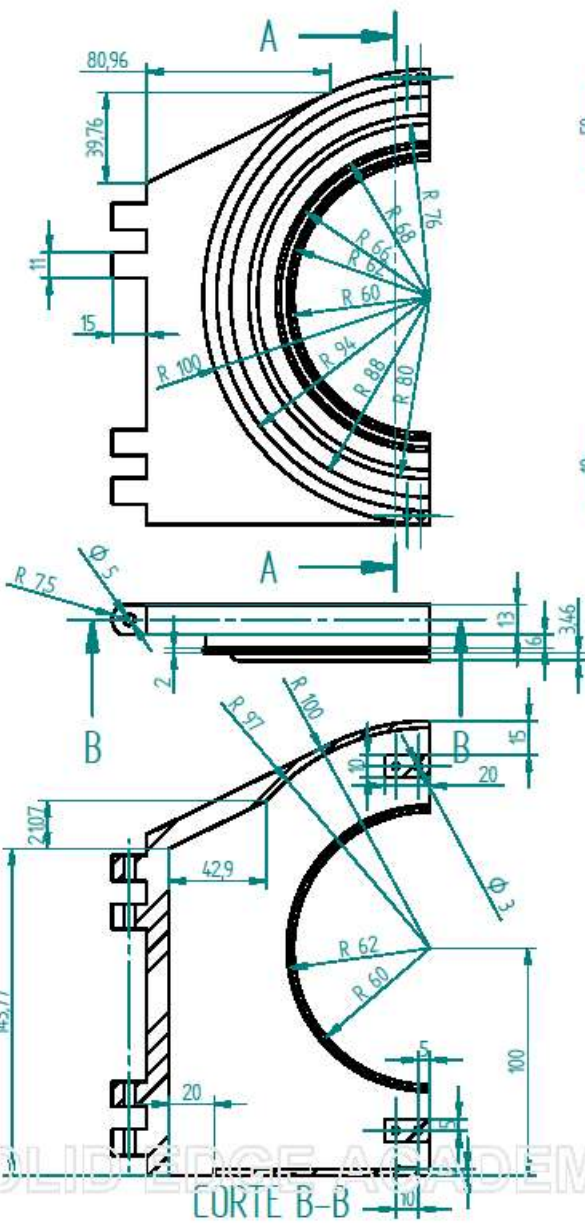
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	Nombre	Solid Edge
Dibujado	Antonio Moreno López	E.T.S.I Universidad de Sevilla
Comprobado	Aida Estevez Urna	Plano 1
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°	A3	Escala 1:1,5
		Archivo: 1 Bisagra fija.dft
		Pieza: Bisagra fija



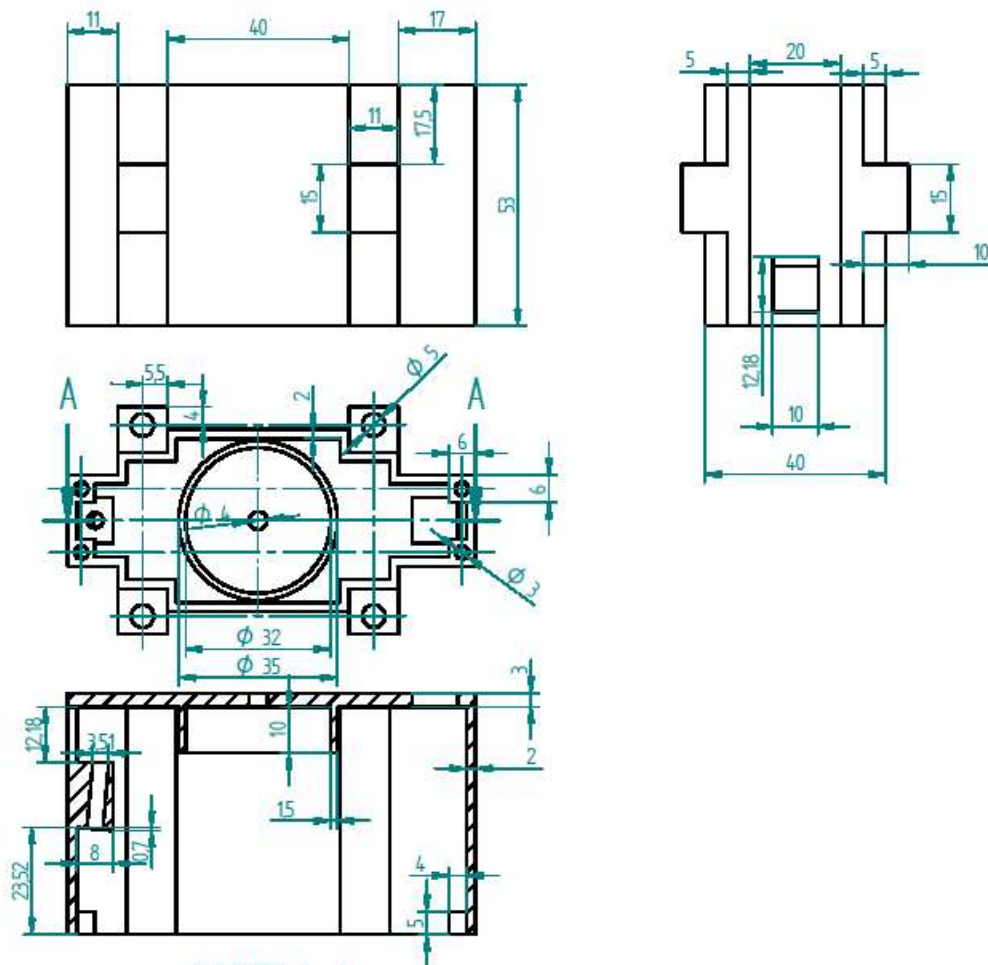
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	Nombre	Solid Edge
Dibujado	Antonio Moreno López	E.T.S.I Universidad de Sevilla
Comprobado	Aida Estevez Urna	Plano 2
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	A3	Escala 1:1
		Archivo: 2 Bisagra móvil.dft
		Pieza: Bisagra móvil

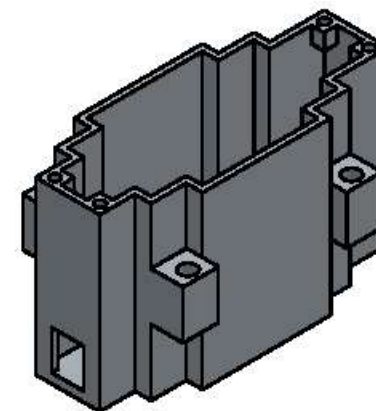


SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	Nombre	Solid Edge
Dibujado	Antonio Moreno López	E.T.S.I Universidad de Sevilla
Comprobado	Aida Estevez Urrea	Plano 3
	Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	A3 Escala 1:2
		Archivo: 3 Guía circular.dft
		Pieza: Guía circular

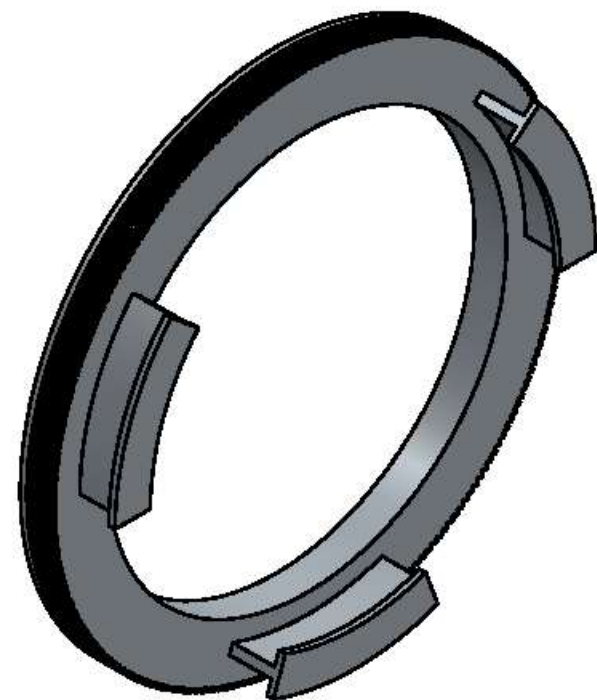
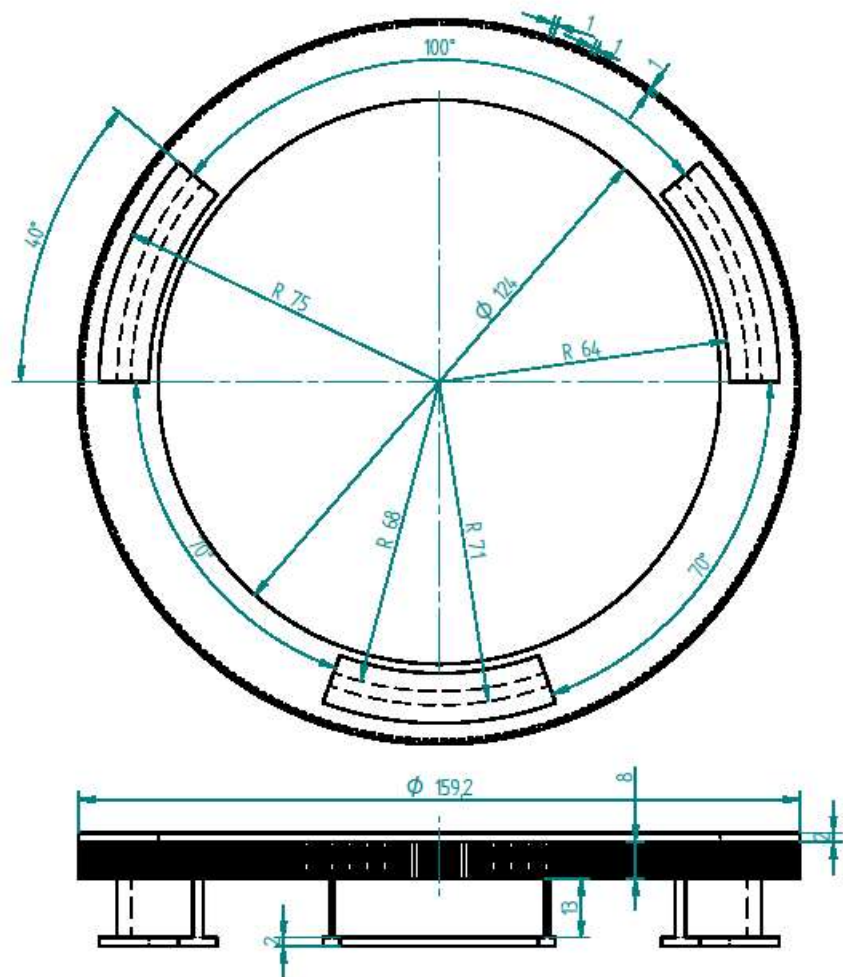


CORTE A-A



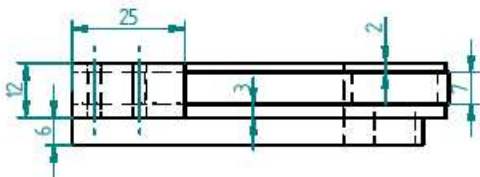
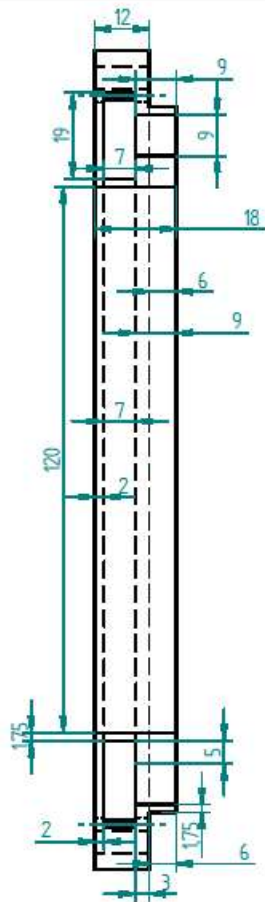
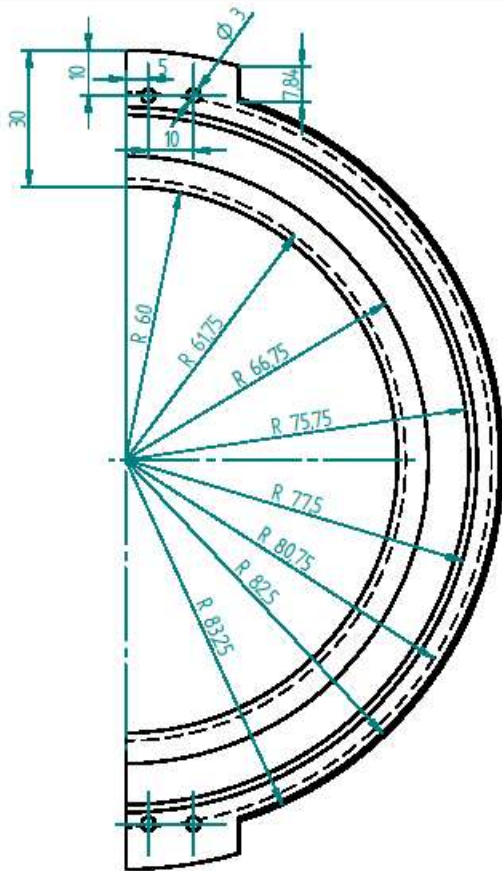
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	Nombre	Solid Edge
Dibujado	Antonio Moreno López	E.T.S.I Universidad de Sevilla
Comprobado	Aida Estevez Urna	Plano 5
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	A3	Escala 1:1
		Archivo: 5 Cajetín de la tinta.dft
		Pieza: Cajetín de la tinta



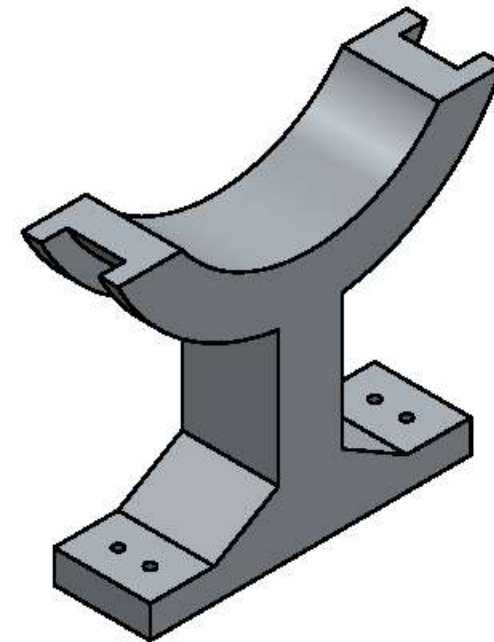
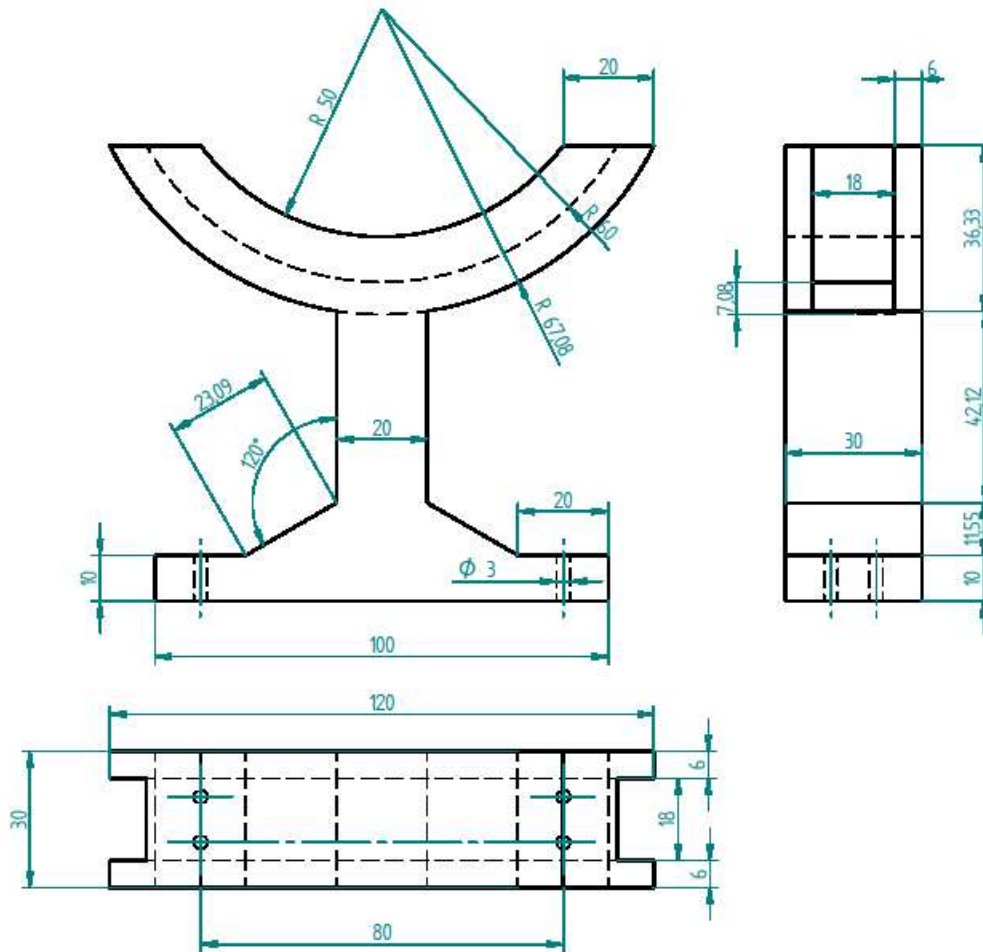
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	Nombre	Solid Edge
Dibujado	Antonio Moreno López	E.T.S.I Universidad de Sevilla
Comprobado	Aida Estevez Urna	Plano 6
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	A3	Escala 1:1
		Archivo: 6 Rueda dentada.dft
		Pieza: Rueda dentada



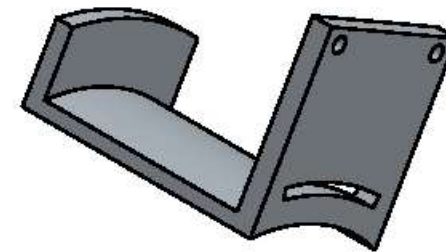
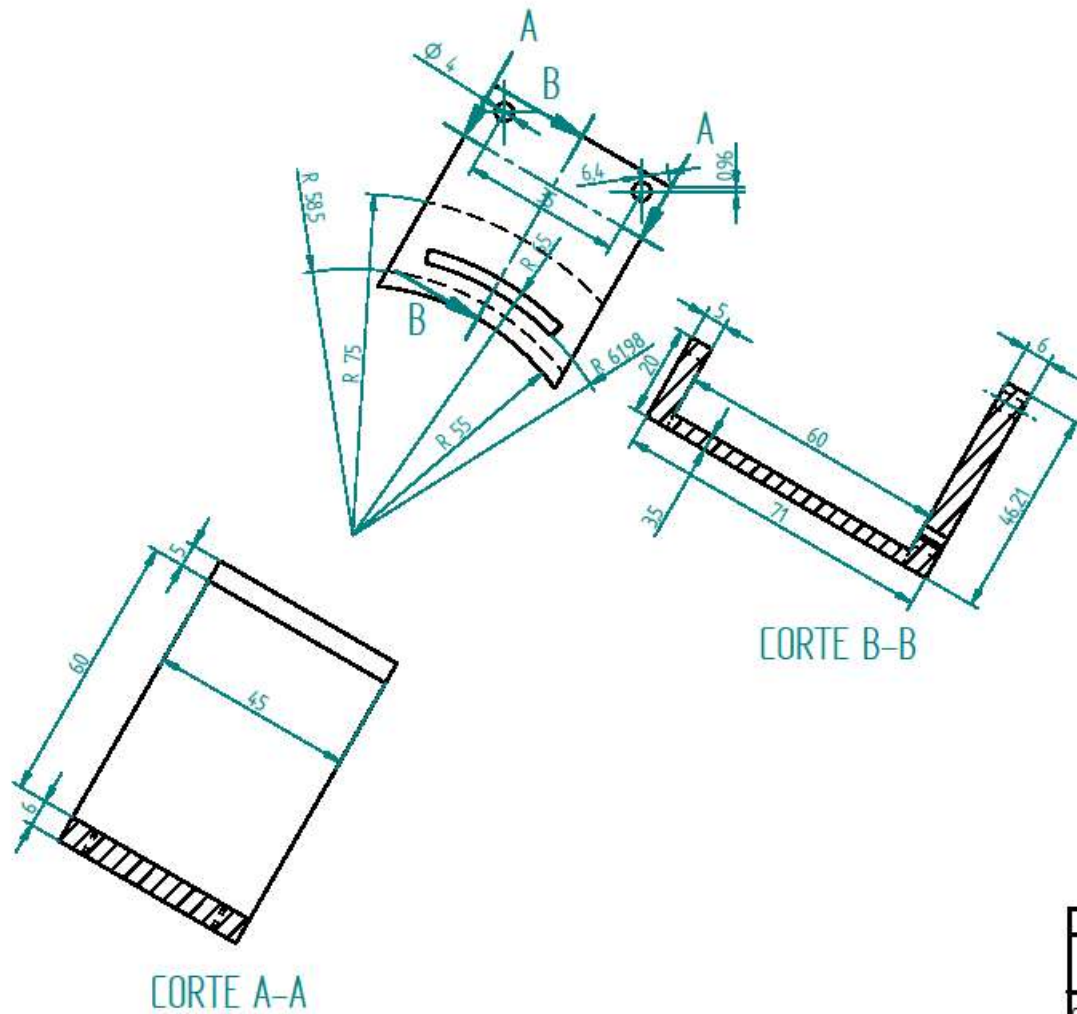
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	Nombre	Solid Edge
Dibujado	Antonio Moreno López	E.T.S.I Universidad de Sevilla
Comprobado	Aida Estevez Urna	Plano 7
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	A3	Escala 1:1
		Archivo: 7 Guía para rueda dentada.dft
		Pieza: Guía para rueda dentada



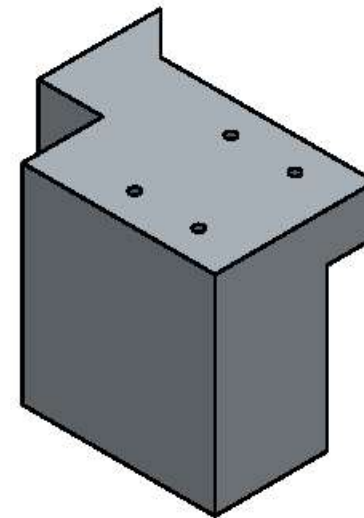
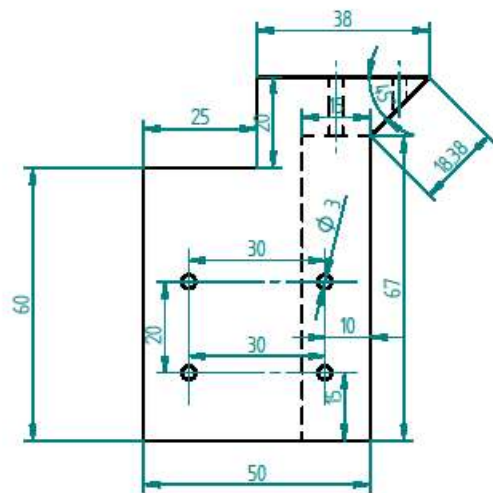
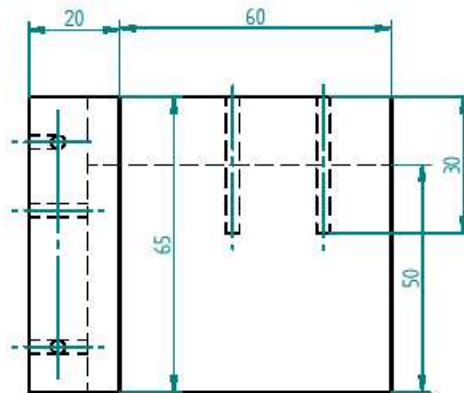
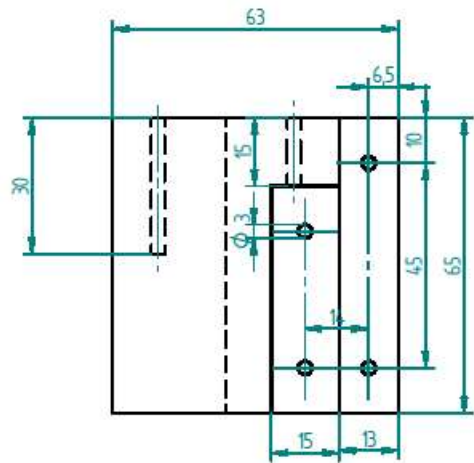
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	Nombre	Solid Edge
Dibujado	Antonio Moreno López	E.T.S.I Universidad de Sevilla
Comprobado	Aida Estevez Urna	Plano 8
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°	A3	Escala 1:1
		Archivo: 8 Soporte brazo.dft
		Pieza: Soporte brazo



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	Nombre	Solid Edge
Dibujado	Antonio Moreno López	E.T.S.I Universidad de Sevilla
Comprobado	Aida Estevez Urna	Plano 9
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		A3 Escala 1:1
		Archivo: 9 Unión guía circular y rueda dentada.dft
		Pieza: Unión guía y rueda dentada



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	Nombre	Solid Edge
Dibujado	Antonio Moreno López	E.T.S.I Universidad de Sevilla
Comprobado	Aida Estevez Urna	Plano 10
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	A3	Escala 1:1
		Archivo: 10 Soporte para motor.dft
		Pieza: Soporte para motor