



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

Diseño e industrialización de un soporte para carga de smartphones.

MEMORIA PRESENTADA POR:

Saul Insa Lucas

TUTOR/A:

Santiago Ferrándiz Bou

GRADO DE INGENIERIA MECANICA

Convocatoria de defensa: septiembre 2021

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría dar las gracias a mi familia ya que gracias a ellos he podido estudiar una carrera que me ha encantado y no solo estudiarla si no que he disfrutado cada momento en la universidad y finalmente poder dedicarte a un sector que disfrutas cada día haciendo lo que realmente te gusta.

En segundo lugar, dar las gracias a mi tutor Santiago Ferrándiz Bou por darme la oportunidad y aceptarme para realizar este trabajo, un trabajo que he disfrutado mucho ya que es un sector que me encantaría trabajar durante muchos años. Aparte de todo esto hay que recordar aquellas clases que nos explicaba todos estos procesos y que empezó a interesarme este sector de la ingeniería gracias a sus prácticas y explicaciones.

Por ultimo y no menos importante, dar las gracias a los compañeros que he tenido, aquellos que hemos pasado mil horas juntos estudiando y disfrutando de lo que en un futuro podremos demostrar. Estoy seguro que muchos llegarán les, pero sobre todo que disfrutaran de lo que hacen.

Resumen

En este trabajo final de grado se va a trazar el diseño de una pieza partiendo de unas necesidades que obtenemos mediante un estudio de mercado. Posteriormente se definirán varios procesos para industrializar esta pieza optimizando el diseño al máximo según su proceso de fabricación.

El trabajo empezará con un estudio de mercado para recopilar información sobre los componentes que se ensamblan con la pieza a diseñar y a partir de esta información se sacarán las necesidades para poder diseñar la pieza. Seguidamente se expondrá toda la fase de diseño de pieza con SOLIDWORKS.

Una vez completada la fase de diseño se presentarán varios procesos con los que se puede fabricar la pieza diseñada con nuevas tecnologías como la FDM o SLS o también con un proceso más habitual como la inyección de plástico. En cada proceso se hará un estudio del arte de ese proceso y un rediseño de pieza para optimizar la fabricación de la pieza. Finalmente se hará un cálculo de coste de pieza e inversión necesaria para cada proceso.

Para finalizar el proyecto se harán unas conclusiones sobre el diseño de pieza y también con los procesos ideales según el consumo que se pueda estimar.

Summary

In this TFG project, the design of a piece will be based on the needs that we obtain through a market study. Subsequently, several processes will be defined to industrialize this piece optimizing the design to the maximum according to its manufacturing process.

The work will begin with a market study to gather information on the components that they are assembled with the part to be designed and from this information the needs will be taken to be able to design the part. The design process has been explained with pictures of the 3d design program SOLIDWORKS.

Once the design is completed, the project introduces various processes and adapts the part design to these types of manufacturing, we can see new technologies such as FDM or SLS or also with a more common process such as plastic injection. In each process there will be a study of the art of that process and a redesign of piece to optimize the manufacture of the piece. In addition, a part cost calculation will be made and investment required for each process.

Finally, we can find some conclusions will be made about the design of the piece and also with the ideal processes according to the consumption that can be estimated.

Palabras Clave

1. Diseño de pieza
2. Industrialización
3. Prototipado rápido
4. Diseño de molde
5. Cargador Smartphone

Tabla de contenido

Índice de imágenes.....	9
Índice de tablas	9
1. Introducción.....	10
2. Análisis y diseño de la pieza.....	11
2.1. Estudio de mercado	11
2.2. Definición de necesidades de la pieza.	12
2.3. Diseño de la pieza	13
2.4. Prototipado de la pieza.....	17
2.5. Ajuste fino del diseño de la pieza.	17
2.6. Elección de materiales de la pieza.	19
3. Industrialización en bajo consumo mediante impresión 3D.	20
3.1. Estudio del arte al proceso de impresión 3D	20
3.2. Elección del material de la pieza.....	22
3.3. Optimización del proceso de impresión mediante el programa CURA.....	23
3.4. Estudio económico con impresión 3D.	24
4. Industrialización de bajo consumo mediante estereolitografía.	27
4.1. Estudio del arte al proceso de la tecnología SLA	27
4.2. Elección del material de la pieza.....	28
4.3. Adaptación del diseño al proceso SLA	28
4.4. Estudio económico con estereolitografía.	29
5. Industrialización de bajo consumo mediante Sintetizado selectivo por láser.....	30
5.1. Estudio del arte al proceso de la tecnología SLS.....	30
5.2. Elección del material de la pieza.....	31
5.3. Adaptación del diseño al proceso SLS.....	31
5.4. Estudio económico con sintetizado selectivo por láser.	32
6. Industrialización de alto consumo mediante inyección de plástico.	34
6.1. Estudio del arte al proceso de inyección de plástico.	34
6.2. Elección del material de la pieza.....	36
6.3. Adaptación del diseño a inyección de plástico.	38
6.4. Diseño de molde de inyección de plástico.....	40
6.5. Estudio económico con inyección de plástico.	43
7. Conclusiones.....	44
7.1. Conclusiones de diseño de pieza.	44
7.2. Conclusión de la industrialización de la pieza.....	44
7.3. Conclusiones finales.....	45

8.	Referencias Bibliográficas	46
9.	Anexos.	47
9.1.	Resultados elementos finitos según tipo de fabricación.	47
9.2.	Planos de la pieza para fabricación en FFF.	47
9.3.	Planos de la pieza para fabricación en SLA.	47
9.4.	Planos de la pieza para fabricación en SLS.	47
9.5.	Planos de la pieza para fabricación en moldeo por inyección.	47
9.6.	Sólido en formato STEP de la pieza para fabricación en FFF.	47
9.7.	Sólido en formato STEP de la pieza para fabricación en SLA.	47
9.8.	Sólido en formato STEP de la pieza para fabricación en SLS.	47
9.9.	Sólido en formato STEP de la pieza para fabricación en moldeo por inyección.	47
9.10.	Sólido diseño molde de inyección en formato STEP	47
9.11.	Presupuesto de fabricación del molde.	47

Índice de imágenes

Imagen 1 Cargador Smartphone dibujado en Solidworks	13
Imagen 2 Dibujo base de la pieza en Solidworks.....	13
Imagen 3 Cortar encaje con el cargador en SolidWorks.....	14
Imagen 4 Simulación ensamblaje completo SolidWorks.....	14
Imagen 5 Añadir apoyo lateral SoldWorks	15
Imagen 6 Refuerzo paredes inferiores SolidWorks	15
Imagen 7 Refuerzo envolvente con el cargador SolidWorks	16
Imagen 8 Radiar esquinas SolidWorks.....	16
Imagen 9 Diseño final previo a prototipo SolidWorks.....	17
Imagen 10 Eliminar zonas laterales envolvente SlidWorks	18
Imagen 11 Agregar agujero para conector SolidWorks.....	18
Imagen 12 Componentes impresora 3D.....	22
Imagen 13 Producción Prototipo con Ultimaer Cura	23
Imagen 14 Simulación Impresión 3D con un extrusor.....	25
Imagen 15 Simulación Impresión 3D con dos extrusores.....	26
Imagen 16 Partes Impresoras SLA Formlabs	27
Imagen 17 Especificaciones técnicas Resina Black Formlabs	28
Imagen 18 Hacer desagüe SLA SolidWorks	28
Imagen 19 Simulación fabricación mediante SLA con PreForm	29
Imagen 20 Imagen informativa componentes impresora SLS	30
Imagen 21 Añadir vaciado SLS SolidWorks.....	32
Imagen 22 Simulación fabricación mediante SLS con PreForm.....	33
Imagen 23 Componentes unidad de inyección	34
Imagen 24 Componentes unidad cierre y expulsión	35
Imagen 25 Componentes molde inyección	36
Imagen 26 Especificaciones ABS fabricante LANXESS	38
Imagen 27 Colocación línea partición SolidWorks	39
Imagen 28 Añadir desmoldemos SoldWorks.....	39
Imagen 29 Diseño final para fabricación por moldeo de inyección	40
Imagen 30 Orientación de la pieza en el molde	40
Imagen 31 Bloque base para el diseño del molde.....	41
Imagen 32 Prediseño cavidad fija y móvil.	41
Imagen 33 Prediseño Correderas	42
Imagen 34 Diseño Cavidad fija y móvil con componentes	42
Imagen 35 Diseño final del molde	43

Índice de tablas

Tabla 1 Tabla propia Comparativa Smartphones, datos obtenidos de PcComponentes	12
Tabla 2 Materiales más utilizados FDM.....	22
Tabla 3 Tabla propia datos calculo FDM con un extrusor	25
Tabla 4 Tabla propia datos calculo FDM con dos extrusores	25
Tabla 5 Tabla propia datos calculo SLA	29
Tabla 6 Tabla propia datos calculo SLS	33
Tabla 7 Índice contracción principales materiales moldeo por inyección.....	37
Tabla 8 Tabla propia comparativa procesos fabricación	45

1. Introducción

En la época actual estamos acostumbrados de que toda la gente adolescente, adulta, o de la tercera edad disponga de un teléfono de última generación (smartphone) que tiene muchísimas funciones además del poder llamar o mandar mensajes. Este tipo de móviles suelen tener una duración de batería de entre medio día y tres días según su uso, por esta razón nos vemos obligados a estar cargando nuestro teléfono muchas veces durante una semana.

En algunos casos es fácil tener alguna superficie donde poder dejar el teléfono mientras este completa el proceso de carga, pero muchas otras veces sobre todo en los enchufes de pared es más complicado y se suelen dejar los móviles colgando o apoyados de mala manera y esto puede hacer que la vida útil del teléfono sea menor a la esperada.

Por esta razón hemos encontrado la necesidad de poder solucionar este problema y en este proyecto final de grado vamos a diseñar un soporte universal para poder usarlo en aquellas situaciones que no tenemos una superficie ideal donde dejar el smartphone sin perjudicar su durabilidad. Una vez diseñada propondremos dos tipos de producción para poco consumo y mucho consumo.

Finalmente se expondrán las conclusiones para que se pueda utilizar cuando se requiera.

En este proyecto se desea cumplir los siguientes objetivos:

- Diseño de una pieza según sus necesidades.
- Conocimiento de programas CAD y cálculo de elementos finitos.
- Propuestas de fabricación según diferentes cantidades.
- Cálculos de presupuestos.

2. Análisis y diseño de la pieza.

2.1. Estudio de mercado

El soporte que se desea diseñar tiene que ensamblarse con el cargador de corriente que se entrega normalmente con el smartphone y también soportar el teléfono. Por esta razón antes de diseñar debemos hacer un estudio de mercado para conocer la máxima información sobre los cargadores y smartphones.

Los teléfonos móviles empezaron a utilizarse a finales del siglo 20 y su desarrollo ha sido exponencial ya que anualmente se presentan mejoras y nuevas funciones. Con la incorporación en las tarifas del internet los móviles pasaron a poder tener más funciones y así pasar a denominarse Smartphone (Teléfono Inteligente) ya que no solo tienen la opción de llamar o enviar mensajes, sino que se añaden opciones como el buscador, cámara, redes sociales, lectores QR, etc.

Actualmente hay 5 grandes empresas de telefonía que se diferencian de su competencia por la cantidad de modelos que producen y sus grandes porcentajes de venta. Estas empresas son las siguientes:

- Samsung: es una empresa fundada en 1938 en Corea del Sur, actualmente es la empresa líder del sector y la que más ventas obtiene. En su gama tiene muchos modelos diferentes según sus gamas para poder dar servicio a todo tipo de personas. Además de la telefonía también fabrica todo tipo de electrodomésticos.
- Xiaomi: es una empresa China fundada en 2010. Consiguió crecer rápidamente en sus ventas en China ya que ofrecía teléfonos de una gama media a precios más económicos. Ya en 2017 empezó a abrir tiendas en España y sus ventas también crecieron hasta ser unas de las más vendidas. Su modelo de negocio aún sigue siendo el mismo ya que sigue ofreciendo teléfonos muy buenos a precios realmente bajos.
- Apple: es una empresa estadounidense que fue fundada por el conocido Steve Jobs. Es una de las marcas más importantes del mercado y aunque su gama de mercado es alta consigue tener muchas ventas. Esta empresa sobresale de sus competidores por su seguridad y simplicidad que genera su propio sistema operativo. Además de smartphones también fabrican otros electrodomésticos.
- Huawei: es una empresa china que se fundó en 1987. Esta empresa creció mucho durante los 5 últimos años porque era la mejor alternativa a Samsung, pero con la aparición de Xiaomi ha perdido peso, aunque sigue siendo una de las 5 con más ventas.
- Oppo: es una empresa China que se fundó en el año 2004, junto a su filial One Plus fabricaba móviles con producción limitada. En los últimos años y viendo la mejoría que ha conseguido Xiaomi ha querido hacer el mismo camino y está entrando en España con precios similares, aunque su gama de modelos aun es menor que su gran competidor.

Estas son las marcas de telefonía más importantes, pero hay muchas más, para este trabajo se ponen de ejemplo ya que entre todas ellas sumaran la mayoría de venta así que si la pieza a diseñar se puede usar para estas marcas ya sería más que suficiente.

Para poder sacar unas características y poder diseñar la pieza se ha hecho una búsqueda de las características de 3 modelos con más venta de cada marca. Habrá un modelo de Alta gama, otro de gama media y finalmente uno de gama baja.

La búsqueda se ha realizado en la tienda virtual www.pccomponentes.com ya que es una tienda que posee todos los modelos de las marcas definidas anteriormente.

Podemos extraer la siguiente información:

Modelo	Precio	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (gr)
Iphone 11Pro	1.328,99 €	144	71,4	8,1	188
Iphone 11	655,33 €	150,9	75,7	8,3	194
Iphone SE	466,33 €	138,4	67,3	7,3	148
Samsung S20	648,99 €	159,8	74,5	8,4	193
Samsung A72	448,99 €	165	77,4	8,4	203
Samsung A20e	149,00 €	147,4	69,7	8,4	141
Huawei P30 PRO	923,00 €	158	73,4	8,41	192
Huawei P30 lite	271,94 €	153	73	7,4	159
Huawei P Smart	169,00 €	165,65	76,88	9,26	206
Xiomi Mi 10	595,98 €	162,6	74,8	8,96	208
Xiomi Mi Note 10	199,00 €	157,8	74,2	9,67	204
Xiomi Redmi Note 9	139,98 €	162,3	77,2	8,9	199
Oppo A72	198,94 €	162	75,5	8,9	192
Oppo Find X3 lite	469,00 €	159,1	73,4	7,9	172
Oppo Find X3 Pro	1.169,01 €	163,4	74	8,26	193

Tabla 1 Tabla propia Comparativa Smartphones, datos obtenidos de PcComponentes

Estos datos obtenidos pertenecen a solo 15 modelos, pero nos puede servir de orientación ya que son los modelos de las 5 grandes fabricantes y con distintas gamas que son de las más vendidas en sus mercados objetivos.

Por otra parte, todos estos modelos vienen acompañados de un cargador que suele ser más o menos parecido, pero todos los usan de última generación.

Antiguamente cada teléfono tenía su cargador, es decir cada modelo de cada fabricante usaba un cargador único para ese teléfono, este cargador podía ser óptimo para modelo.

La tendencia evoluciono y empezó a utilizarse cargadores que pudiesen utilizarse para más modelos e incluso varios fabricantes usaron los mismos conectores. Esto provoco que los cargadores debían ser más complejos y poder cargar multitud de modelos con diferentes tipos de batería sin dañar su durabilidad.

Por último, en estos últimos años han aparecido los cargadores de carga rápida que tienen un voltaje superior que los de carga normal. Esto provoca que su tamaño se incremente un poco para poder absorber ese incremento de potencia.

2.2. Definición de necesidades de la pieza.

Antes de empezar a diseñar debemos definir que necesidades debe solucionar la pieza a diseñar, así como las compatibilidades que debe tener.

En este punto vamos a definir las siguientes necesidades:

- El soporte a diseñar debe ser lo más universal posible. Deben poderse utilizar con la mayoría los tipos de cargadores y smartphones que hay en el mercado.
- Debe poderse conectar a enchufes con los pins en dirección horizontal o vertical.
- Soporte del smartphone sin riesgo de caída.
- La pieza debe ser lo más simple posible.
- Resistir el peso del smartphone 210 gr

2.3. Diseño de la pieza

Para comenzar el diseño lo primero es colocar en el dibujo los elementos que se van a utilizar para poder ver si el montaje es correcto o necesitamos alguna modificación. Añadimos el sólido de uno de los cargadores ensamblaje los sólidos de cargadores y móviles que cogeremos de referencia.

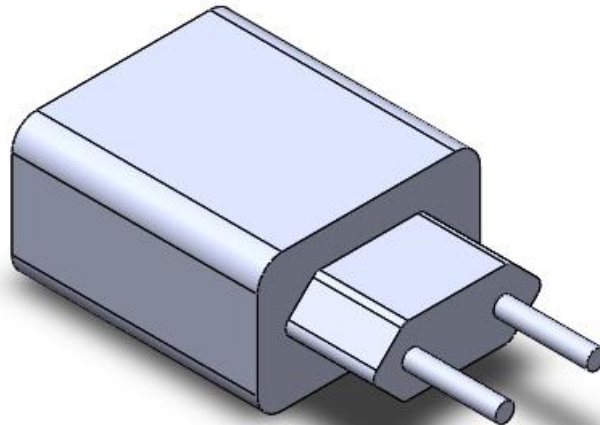


Imagen 1 Cargador Smartphone dibujado en Solidworks

Una vez insertado el cargador vamos a diseñar lo que sería la base de la pieza para ir moldeándola y comprobando su uso con los móviles de referencia. Se decide optar con un diseño de una zona plana que ajuste con el cortador y un voladizo que acompañe el largo de este mismo. Se dibujará en el plano Vista Lateral y se hará una operación de extrusión que sea más grande que el ancho del cargador.

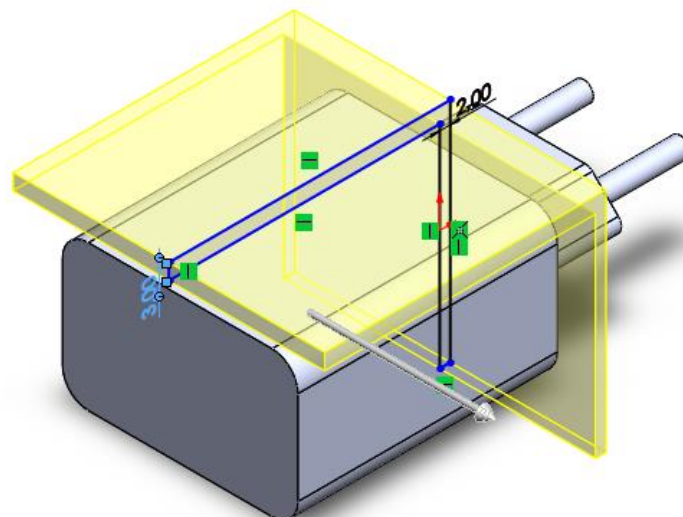


Imagen 2 Dibujo base de la pieza en Solidworks

Seguidamente observamos que hay una interferencia en la zona del enchufe ya que atraviesa nuestra pieza por lo tanto haremos un agujero que ajuste con la geometría del cargador. Dibujaremos un croquis

en la cara de interferencia y usaremos la equidistancia dándole 1 mm, de tolerancia a los lados para que se pueda colocar el cargador en el interior sin problemas.

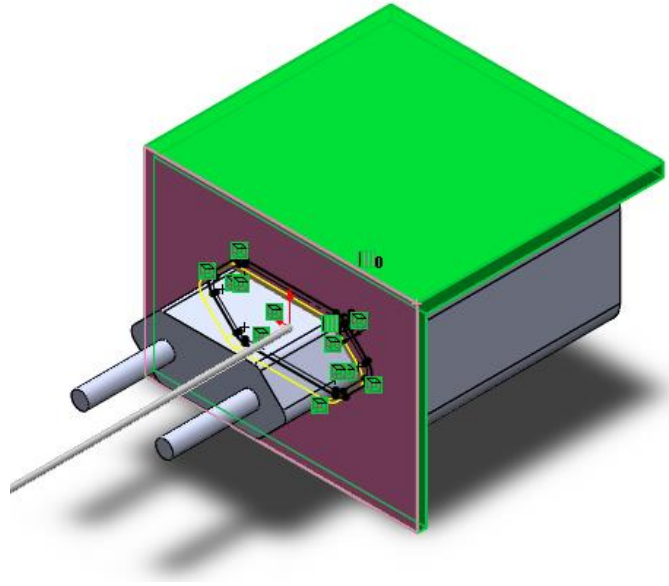


Imagen 3 Cortar encaje con el cargador en SolidWorks

Una vez ya tenemos la base diseñada ahora es el turno de dibujar la zona de sujeción del smartphone. Para ello insertaremos una pieza simulándolo en posición inclinada para que la fuerza este repartida entre toda la superficie. Hemos introducido el teléfono de tamaño medio como puede ser el HUAWEI P30 PRO. Posteriormente se hará un croquis con una geometría que una la base y la inclinación del teléfono para que lo sujete correctamente.

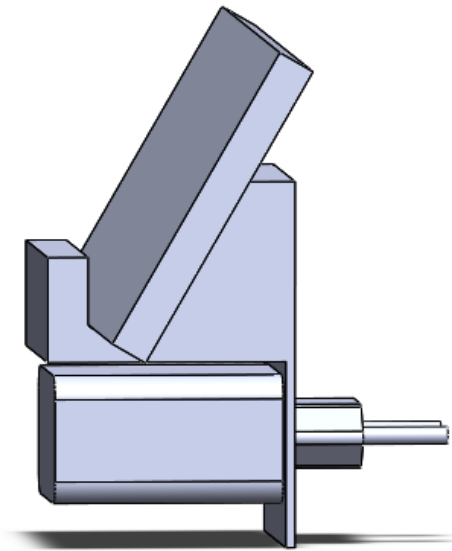


Imagen 4 Simulación ensamblaje completo SolidWorks

Observamos que el teléfono se queda muy libre por los lados y si lo ponemos en posición vertical podría caerse al suelo. Se decide ampliar el ancho del soporte y cerrar por un lado para que pueda hacer de tope y soportar el teléfono en posición vertical. Para ello modificaremos la primera operación de extruir y luego haremos un croquis en un lado para cerrar y que lo soporte correctamente.

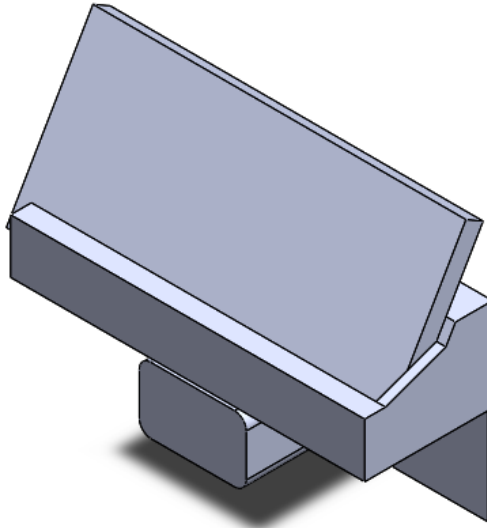


Imagen 5 Añadir apoyo lateral SolidWorks

Con la geometría actual es difícil que aguante todo el peso del teléfono sobre todo en posición horizontal ya que es donde más sufrirá el soporte. Para ello vamos a reforzar las paredes cercanas al cargador, primero dando espesor y luego añadiendo nervios que haga más resistente la pieza.

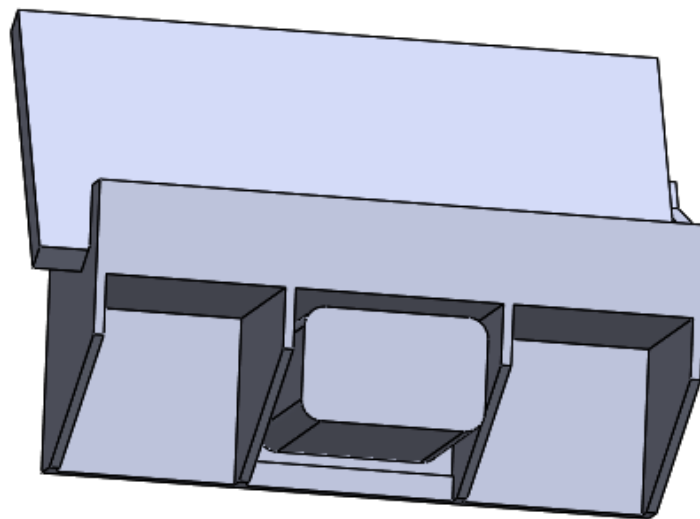


Imagen 6 Refuerzo paredes inferiores SolidWorks

También habría que reforzar la zona interior del enchufe para que la pieza tenga apoyo por lo tanto vamos a crear un saliente envolvente al cargador y le añadiremos nervios de refuerzo.

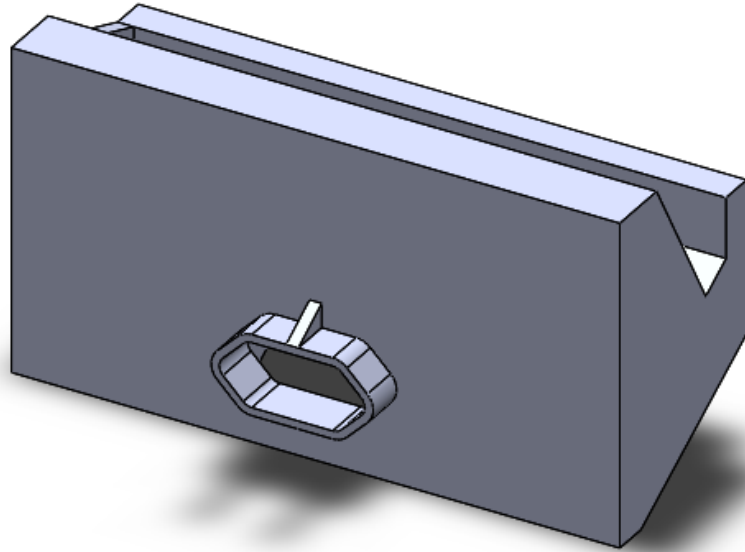


Imagen 7 Refuerzo envolvente con el cargador SolidWorks

Finalmente vamos a redondear todas las aristas a canto vivo ya que esto mejorara el aspecto visual de la pieza incluso también el montaje con los demás componentes. Para ello utilizaremos la operación redondeo que nos facilita el programa SolidWorks.

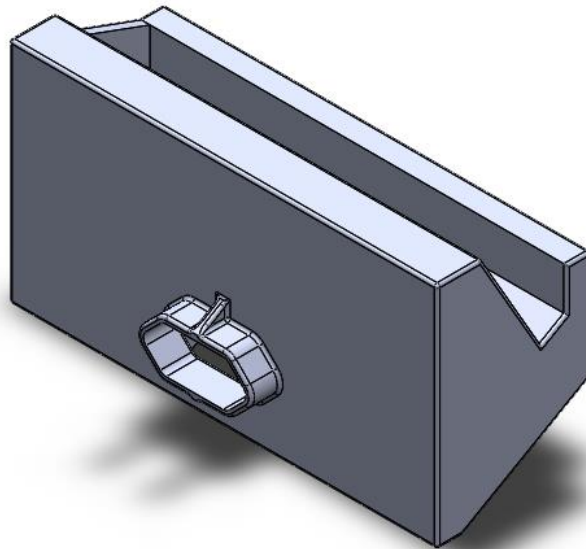


Imagen 8 Radiar esquinas SolidWorks

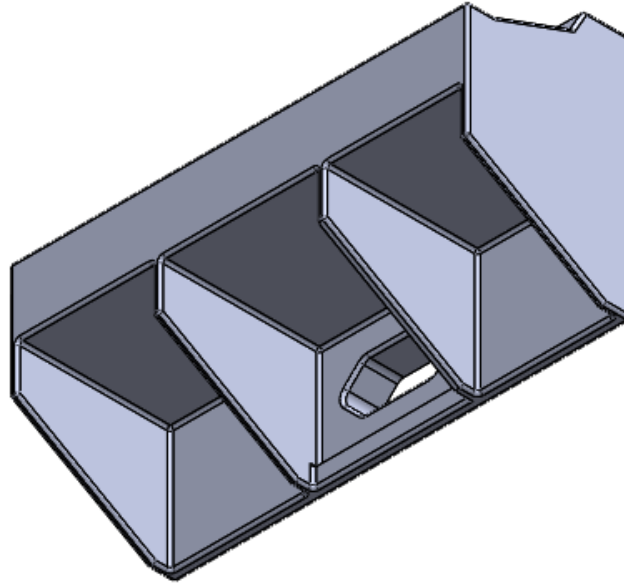


Imagen 9 Diseño final previo a prototipo SolidWorks

2.4. Prototipado de la pieza

Una vez terminado el diseño de la pieza vamos a realizar un prototipo conceptual para ver que el ensamblaje es correcto con el resto de piezas. Para ello utilizaremos una impresora de bajo coste, concretamente una Creality Ender 3 y lo imprimiremos con material PLA.

Para realizar el programa de impresión de esta pieza exportaremos el sólido a formato STL y posteriormente se usará el programa gratuito ULTIMAKER CURA, añadiendo el sólido y colocando los siguientes datos:

- Temperatura del material: 200º (indicado por el fabricante)
- Temperatura de la placa: 60º (indicado por el fabricante)
- Densidad de relleno 20º, suficiente para un prototipo conceptual.
- Altura de capa 0.2 mm, suficiente para un prototipo conceptual.
- Velocidad de impresión 70 mm/s para reducir el tiempo de impresión,

2.5. Ajuste fino del diseño de la pieza.

Comprobamos funcionalmente el prototipo fabricado y observamos las siguientes conclusiones,

Comprobaciones correctas:

- El cargador se introduce correctamente en la pieza y queda fijado.
- Se comprueba que los smartphones se introducen con correctamente en la zona de apoyo.

Correcciones a realizar:

- No se puede introducir totalmente en el enchufe porque hay una colisión en la zona envolvente, para solucionar este problema hay que dejar abierto ellas dos zonas laterales.
- Cuando se utiliza este soporte en posición vertical, hay riesgo de que el smartphone se escape y caiga al suelo por lo tanto hay que mejorar la sujeción del teléfono.

Procedemos a modificar el diseño para implementar estos cambios en el diseño.

Trabajo final de Grado en Ingeniería Mecánica

El primer cambio será eliminar las zonas laterales de la envolvente para ello vamos a hacer un croquis en la cara perpendicular a la envolvente donde dibujaremos dos rectángulos que recorten la pieza para poder evitar el choque con el enchufe.

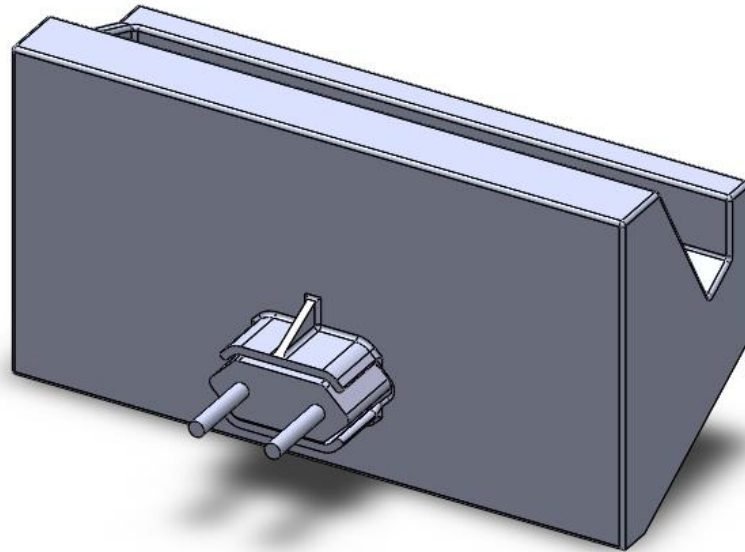


Imagen 10 Eliminar zonas laterales envolvente SolidWorks

Finalmente mejoraremos la zona que apoya el smartphone para hacerla más grande y que puede mantener el teléfono cuando este en posición vertical. También haremos un cajeadado en el centro para que pueda colocarse el conector del móvil para que el teléfono pueda apoyar en plano.

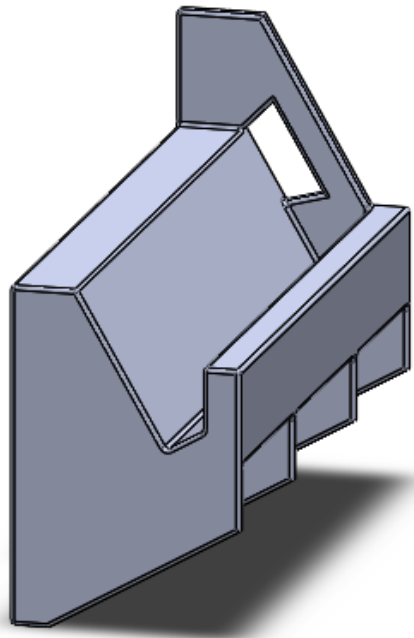


Imagen 11 Agregar agujero para conector SolidWorks

Con estos cambios volvemos a fabricar otro prototipo para comprobar el funcionamiento.

2.6. Elección de materiales de la pieza.

Para la elección del material lo primero es saber las necesidades ya que solo tiene que aguantar como mucho 200 gramos por lo tanto podemos descartar los materiales reforzados con fibra ya que son más caros y difíciles de gestionar.

Para poder hacer una elección del material vamos a hacer una tabla con las principales

3. Industrialización en bajo consumo mediante impresión 3D.

3.1. Estudio del arte al proceso de impresión 3D

Esta es una de las tecnologías más utilizadas de la fabricación aditiva. Ahora mismo es conocida como tecnología FFF (Fused Filament Fabrication) pero realmente es una evolución de la tecnología FDM (Fused Deposition Modeling) que fue una tecnología patentada por la compañía Stratasys en el año 1992 pero en 2009 se terminó la patente y surgieron otras compañías para fabricar impresoras de FFF.

En el proceso de modelado por deposición fundida se basa en el la fusión de un material plástico que es introducido mediante un sistema mecánico a un extrusor que es capaz de emitir un calor por encima de la temperatura de fusión del material. El extrusor tiene un mecanismo que permite controlar el flujo de material que vierte con la ayuda de motores y elementos mecánicos controlados electrónicamente, que producen los desplazamientos en los ejes X, Y, Z.

Los movimientos del extrusor son definidos por programas slycer que segmenta los diseños y crea estructuras de soporte para las geometrías, ya que el material fundido se solidifica una vez depositado en la cama y deformándose por el efecto de la gravedad. Estas estructuras son llamadas soportes y deben ser diseñados con una geometría que utilice poco material y que sea fácil de eliminar una vez se termine la impresión. Posteriormente las piezas deben tener un proceso de postprocesado de pulidos y lijados para mejorar el acabado superficial.

Los puntos fuertes de la tecnología de FDM es la variedad de materiales plásticos que pueden utilizarse y su resistencia mecánica según el diseño de la pieza. Esta tecnología suele ser de las más comunes y económicas para realizar prototipos conceptuales e incluso piezas mecánicas con materiales ya más especiales.

Los puntos menos fuertes de esa tecnología es la velocidad de impresión que suele ser bastante lenta y algunos problemas de la impresión que son difíciles de controlar como por ejemplo el warping o el cracking. Por último, hay que destacar que la resistencia a la tracción de estas piezas es bastante limitada.

Respecto a la variedad de materiales que se pueden usar una gran variedad de materiales según la función que va a desarrollar el objeto que se desee imprimir. También se dispone de una gran variedad de colore y diámetros de filamento según el extrusor que se use.

Los materiales más utilizados son el PLA (ácido poliláctico) y el ABS(acrilonitrilo butadieno estireno) que definimos a continuación con la información obtenida del libro “

ABS: un termoplástico derivado del petróleo muy común en todo tipo de productos, por ejemplo, las piezas de LEGO. Sus principales características son:

- Resistencia al calor: comienza a fundirse a partir de 190 °C. La temperatura de extrusión recomendada es de entre 220 y 250 °C. Temperatura de cama: 100 °C.
- Rigidez: el ABS es resistente y fuerte. Aun así, tiene cierta flexibilidad, lo que permite un buen acabado y lo vuelve apropiado para realizar encastres.
- Colores y opacidad: variedad de colores e incluso alternativas transparentes.
- Adecuado para: productos o piezas que se sometan a altas temperaturas o que requieran tratamiento posterior (pintura, lijado, pulido, etcétera).
-

PLA: un plástico biodegradable derivado del almidón que está ganando popularidad en el mercado doméstico gracias a algunas características que lo diferencian del tradicional

plástico ABS:

- **Emisión de olores:** no emite olores tan fuertes como el ABS, lo que lo hace ideal para espacios cerrados o poco ventilados.
- **Temperatura de cama:** alrededor de 60 °C. Se recomienda 70 °C para piezas finas.
- **Temperatura del extrusor:** 180-230 °C.
- **Ecológico:** el PLA es un plástico biodegradable.
- 39
- **Rapidez:** la impresión con este material es más rápida y consume hasta un treinta por ciento menos de electricidad que si se utiliza ABS (debido a su menor temperatura de fusión).
- **Resistencia al calor:** escasa, comienza a fundirse a partir de 60 °C.
- **Rigidez:** el PLA no tiene la flexibilidad del ABS. Sufre menos deformación en la impresión de piezas grandes, pero no se puede lijar o taladrar sin que se quiebre.
- **Colores y opacidad:** el PLA tiene una gama de colores más diversa que el ABS, existen variantes traslúcidas o que brillan en la oscuridad. Los colores son algo más apagados que en el plástico ABS.
- **Adecuado para:** todo tipo de productos o piezas, especialmente aquellas que requieran una gran dureza pero que no vayan a estar sometidas a altas temperaturas.

Existen, además, otros filamentos menos populares que pueden brindar una solución para aplicaciones específicas:

Material	Características
HIPS: polímero termo plástico muy utilizado. Es similar al ABS, por lo que algunos lo emplean como soporte.	Temperatura de impresión: 210-260 °C Ventajas: firme y resistente al calor. Se puede lijar y pintar con acrílico. Desventajas: la exposición a la luz UV vuelve frágiles las estructuras impresas con este material. No es soluble en vapor de acetona.
PVA: alcohol polivinílico, una gran opción para usar como material de soporte ya que es soluble en agua tibia, acilitando su remoción.	Temperatura de impresión: 170-195 °C Ventajas: soluble al agua, buena adherencia a materiales como el ABS y el PLA. Desventajas: se recomienda no superar los 200 °C.
PET: tereftalato de polietileno, comúnmente usado	Temperatura de impresión: 210-220 °C Ventajas: gran capacidad de cristalización, puede generar piezas transparentes, es

<p>en botellas y recipientes plásticos.</p>	<p>fuer te y resistente a los impactos. Desventajas: para que sea transparente hay que extruirlo a más de 245 °C, pero los extrusores comunes no funcionan correctamente a esa temperatura.</p>
---	--

Tabla 2 Materiales más utilizados FDM

Una impresora 3D de FDM está formada por elementos mecánicos y electrónicos que su misión es transformar un diseño digital en un objeto físico. Se necesita software para diseñar los objetos y transformarlos en instrucciones que pueda entender la impresora con un programa que lo segmente y divida en diferentes capas; la impresora tiene un firmware que interprete estas instrucciones en movimientos y acciones que los elementos electrónicos se encargan de ejecutar y controlar. Por último, se necesita una estructura que pueda asumir las acciones a realizar y también resista al esfuerzo de todos los componentes. En la siguiente imagen podemos encontrar un ejemplo de componentes de una impresora 3D.

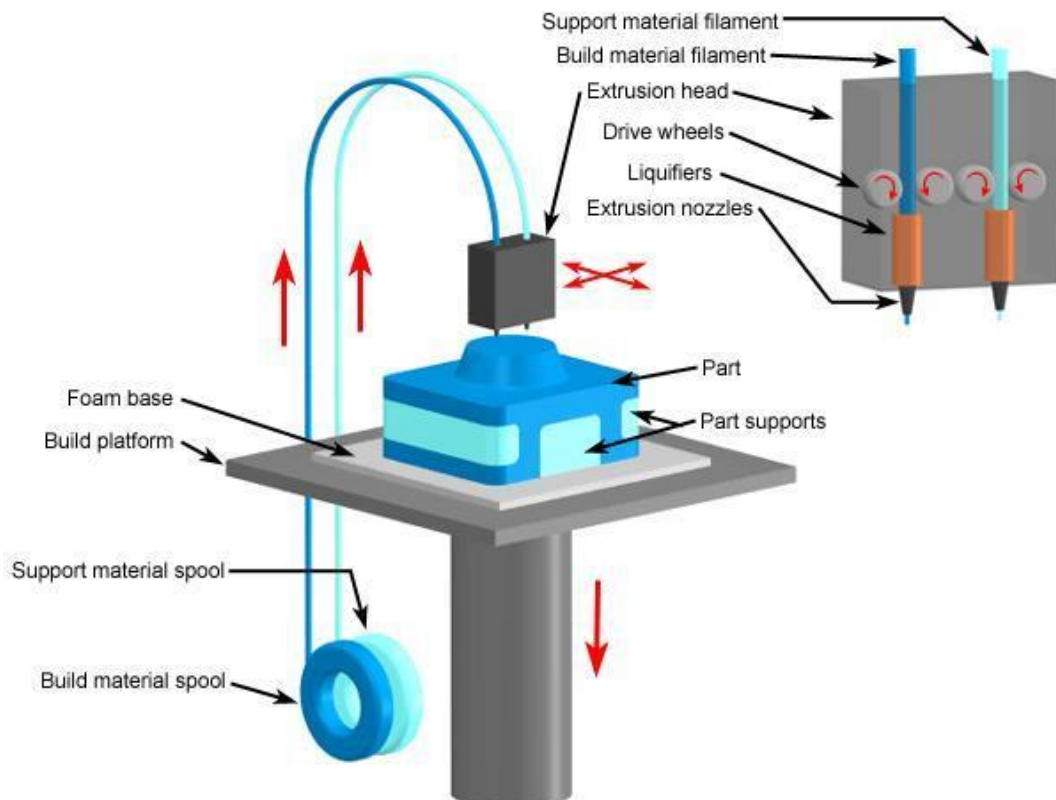


Imagen 12 Componentes impresora 3D

3.2. Elección del material de la pieza

La resistencia de esta pieza es suficiente por el diseño por lo tanto no hay que utilizar un material técnico que nos encarezca el producto si no que con un material común lo podríamos conseguir.

Los materiales más utilizados en la impresión 3D son tanto el PLA como el ABS. Para esta pieza podríamos usar los dos, pero nos decantamos por el ABS ya que es más resistente a la hora de realizar el acabado porque para la producción de esta pieza vamos a necesitar colocar soporte en unas zonas que posteriormente habrá que eliminar y acabar con una lija para que la superficie quede lo más perfecta posible.

3.3. Optimización del proceso de impresión mediante el programa CURA.

Para la impresión 3D es muy importante ajustar en el programa todos los parámetros ya que esto nos hará tener un mejor acabado y que la pieza salga lo mejor posible.

A continuación, comentamos los principales parámetros de los que tenemos que vamos a utilizar.

- Orientación de la pieza:

Es importante buscar la mejor orientación para que el programa coloque el menor soporte posible para que luego haya que retrabajar menos, pero sin hacer peligrar la estabilidad de la pieza porque puede deformarse. Estos soportes se pueden generar cuando la geometría tiene más de 45º-60º.

En nuestro caso para que genere la menor cantidad de soporte y se estabilice bien la pieza la orientación que se ha decidido es que sea la zona que se inserta en el enchufe la que se apoye en la cama. Se puede observar en la siguiente imagen:

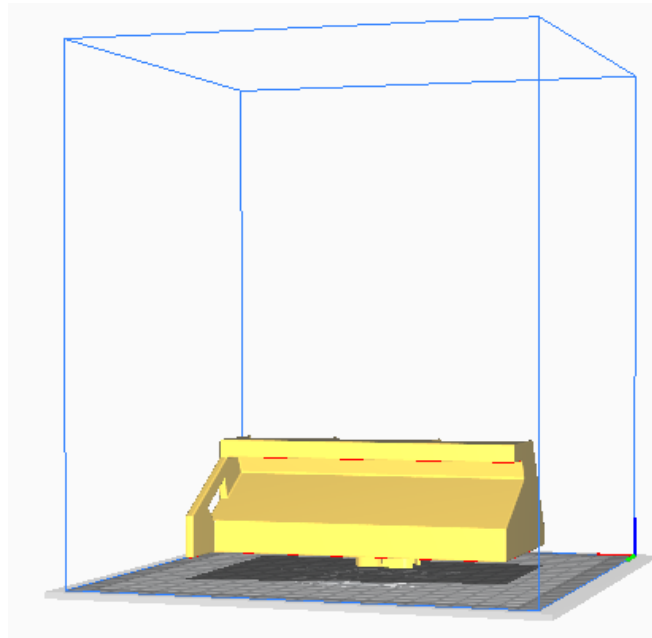


Imagen 13 Producción Prototipo con Ultimae Cura

- Temperatura de la cama:

La temperatura es muy importante ya que es la más importante para que las primeras capas se generen correctamente y no se desprege la pieza generando el conocido "warping". La temperatura del ABS es superior a la del PLA, normalmente está en un intervalo de entre 80º-90º. Nosotros vamos a colocar una temperatura de 85º ya que es una pieza bastante grande y el material depositado debe estar más caliente para que cuando cree la nueva capa este en su posición correcta.

También es muy importante que la impresora se mantenga lo más hermética posible para que la temperatura se mantenga y favorezca a la impresión.

- Temperatura de extrusión:

La temperatura de extrusión del ABS suele estar en un rango entre 220º-260º dependiendo de la geometría de la pieza. Como se ha comentado anteriormente nuestra pieza tiene un gran

tamaño por lo que necesitamos una temperatura alta para que cuando empiece la siguiente capa este aun sin solidificar y se unan correctamente.

- Altura de capa:

Como es una pieza que se quiere dar al cliente final directamente el acabado es importante por ello intentaremos que la capa sea lo menor posible para que el acabado sea más uniforme. El ABS se puede imprimir en capas desde 0.1 mm hasta 0.4 mm si se quiere un acabado más basto. En nuestro caso elegiremos una altura de capa de 0.1 mm ya que queremos que tenga un acabado fino y uniforme

- Velocidad del extrusor:

La velocidad del extrusor es un parámetro crucial para la impresión 3D aunque se suele usar entre 40 mm/s-70mm/S. Si el extrusor va rápido, el tiempo de impresión es menor, pero pueden aparecer muchos problemas de impresión como por ejemplo despegue de las capas por no unirse correctamente. En cambio, si la velocidad es lenta puede ampliarse muchísimo el tiempo de impresión y esto hace que las capas se puedan solidificar y no unirse con las siguientes En nuestro caso vamos a elegir una velocidad de 60 mm/s ya que al ser una pieza grande el recorrido es mayor y si no lo hacemos rápido tendremos problemas con la unión de las capas.

- Relleno de la pieza:

El relleno de la pieza es el parámetro que hace que la resistencia de la pieza varié, a mayor porcentaje de relleno mayor será la resistencia, pero se incrementará el tiempo de impresión. Normalmente se usan rellenos entre 10%-20% para modelos conceptuales y 20%50% para piezas resistentes. El relleno se crea creando estructuras dentro de la pieza para ahorrar material. Nosotros tratándose de una pieza que tiene que resistir, pero tampoco tiene una gran sollicitación vamos a usar un relleno del 30%.

3.4. Estudio económico con impresión 3D.

Para sacar los costes de la pieza hay que tener en cuenta que podemos imprimir de dos formas según sea la impresora. En caso de tener un único cabezal el soporte tiene que ser el mismo material y en el caso contrario si tiene doble cabezal puede utilizar un material soluble para hacer la pieza y que no tengamos que retrabajar la pieza posteriormente.

Para las estimaciones de estos procesos se han estimado los siguientes precios:

- Coste de material ABS SmartMaterials en tienda SICNOVA: 15,95 €/Kg
- Coste medio eléctrico España junio 2021: 0,16767 €/kWh
- Consumo eléctrico impresora 3D: 0,225 kW
- Coste material Hidrosoluble en tienda SICNOVA: 71,6 €/Kg
- Tarifa horaria España Contrato temporal a horas: 7,50 €/hora

Impresión 3D con un solo cabezal:

- Tiempo de impresión: 1 día, 13 horas y 53 minutos
- Material ABS: 162 gr.
- Tiempo de retrabajo: 30 minutos

Con estos datos obtenemos los siguientes datos:

Tipo de Coste	Calculo	Importe
Coste eléctrico	$0.16767 \text{ €/kWh} \times 0.225 \text{ kW} \times 37,89, \text{ horas}$	1,4294 €
Coste material ABS	$15,95 \text{ €/Kg} \times 0,162 \text{ Kg}$	2,5839 €

Coste retrabajo	7,5 €/hora * 0,5 horas	3,7500 €
-----------------	------------------------	----------

Tabla 3 Tabla propia datos calculo FDM con un extrusor

Coste total de la pieza con un extrusor: 7,7633 €

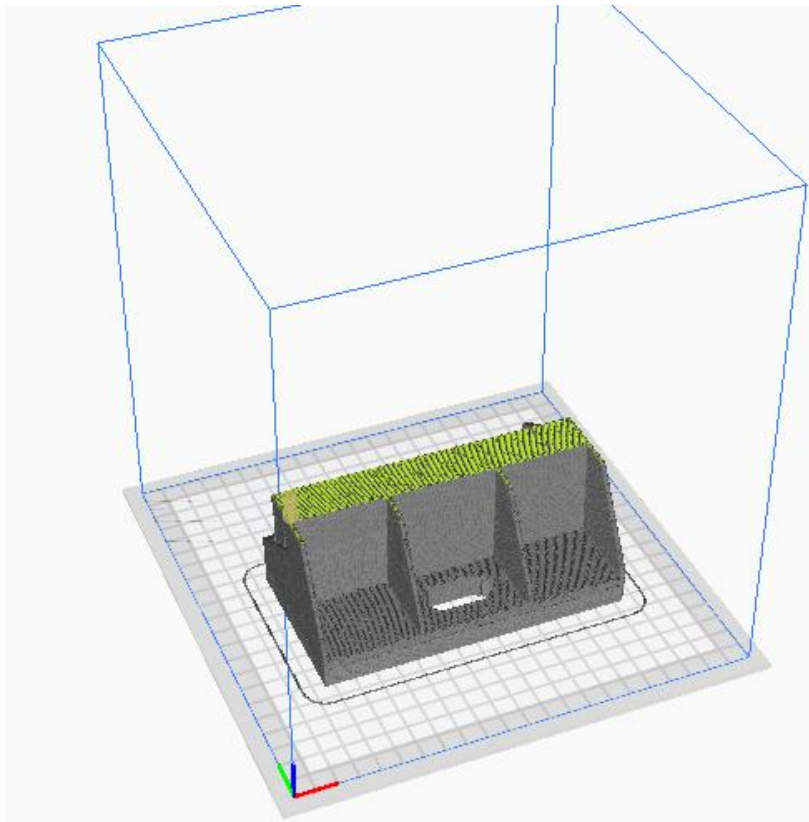


Imagen 14 Simulación Impresión 3D con un extrusor

Impresión 3D con dos cabezales:

- Tiempo de impresión: 1 día, 20 horas y 8 minutos
- Material ABS: 135 gr.
- Material Hidrosoluble: 60 gr

Con estos datos obtenemos los siguientes datos:

Tipo de Coste	Calculo	Importe
Coste eléctrico	$0.16767 \text{ €/kWh} \times 0.225 \text{ kW} \times 44,14 \text{ horas}$	1,6652 €
Coste material ABS	$15,95\text{€/Kg} \times 0,135 \text{ Kg}$	2,1533 €
Coste material Hidrosoluble	$71,6 \text{ €/Kg} \times 0.060 \text{ Kg}$	4,2960 €

Tabla 4 Tabla propia datos calculo FDM con dos extrusores

Coste total de la pieza con un extrusor: 8,1145 €

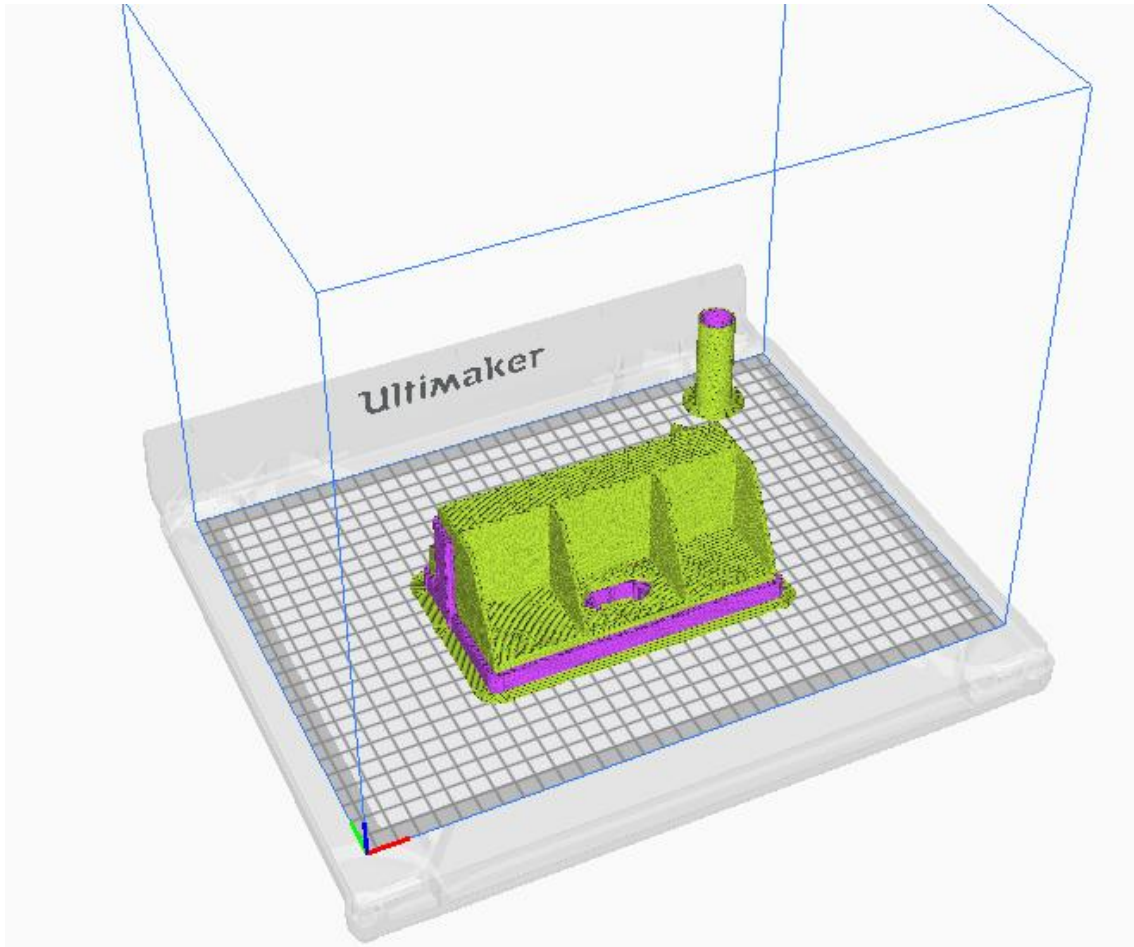


Imagen 15 Simulación Impresión 3D con dos extrusores

4. Industrialización de bajo consumo mediante estereolitografía.

4.1. Estudio del arte al proceso de la tecnología SLA

El método de la estereolitografía conocida con las siglas SLA es la similar al comentado anteriormente de la FFF. En este caso también necesitamos una impresora que se encarga de transformar el material en un sólido previamente diseñado y gestionada con un slicer que realiza el programa de impresión.

El proceso de impresión consiste en que el material que en este caso es líquido se va solidificando mediante la fusión del propio con un láser UV que sigue las instrucciones que le marca el programa realizado, al igual que en la FFF el movimiento del láser se gestiona en el XY y el movimiento del eje Z va definido por el número de capas que necesita el prototipo, según se completa la capa la base avanza en el eje Z y se empieza la siguiente.

De la misma forma que la impresión 3D se necesita que la pieza tenga soportes ya que si no se pueden producir deformaciones o imperfecciones en la pieza, estos soportes se suelen situar en las zonas necesarias y que luego se puedan eliminar en un postproceso que sea diferente.

A continuación vamos a explicar brevemente las partes de la impresora de estereolitografía:

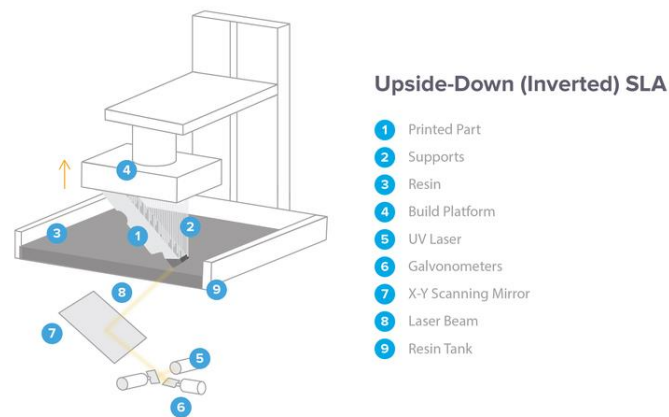


Imagen 16 Partes Impresoras SLA Formlabs

- Plataforma de construcción: Es la base donde se construye el prototipo, se sitúa en el eje Z que se mueve cuando termina de solidificar la capa.
- Láser UV: Es el encargado de solidificar el material en forma de resina, el láser apunta a al espejo que es movido por los galvanómetros mediante las coordenadas que le marca el programa de impresión.
- Galvanómetros y espejo escáner eje X/Y: son los encargados de dirigir el láser para ir produciendo el prototipo correctamente.
- Recorrido Láser: es el recorrido que se hace capa a capa para que se genere el prototipo, este recorrido viene marcado por el programa realizado por el Slicer.
- Tanque de resina: es la cuba donde se almacena todo el material líquido, también coincide con el área máxima de impresión.

Respecto a los materiales utilizados en esta tecnología hay que destacar que no hay materiales normalizados, cada fabricante produce sus propias resinas que se parecen a materiales estándares, pero no lo son. Nos hemos fijado en el fabricante Formlabs y en su catálogo se pueden encontrar resinas de todo tipo de sectores industriales como prototipos de aplicación normal, rígidos, flexible, médicos, estructurales, etc.

4.2. Elección del material de la pieza

Para la elección del material de la estereolitografía nos hemos fijado en los materiales que nos puede suministrar el fabricante formlabs ya que la impresora que disponemos es de este fabricante y el funcionamiento es más óptimo.

En nuestro caso se trata de una resina para uso habitual ya que no debe ser rígida, ni flexible, ni muy especial. Elegimos la resina normal de color negro ya que es la más económica y sus características son las siguientes:

	METRIC ¹		IMPERIAL ¹		METHOD
	Green ²	Post-Cured ³	Green ²	Post-Cured ³	
Tensile Properties					
Ultimate Tensile Strength	38 MPa	65 MPa	5510 psi	9380 psi	ASTM D 638-10
Tensile Modulus	1.6 GPa	2.8 GPa	234 ksi	402 ksi	ASTM D 638-10
Elongation at Failure	12 %	6.2 %	12 %	6.2 %	ASTM D 638-10
Flexural Properties					
Flexural Modulus	1.25 GPa	2.2 GPa	181 ksi	320 ksi	ASTM C 790-10
Impact Properties					
Notched IZOD	16 J/m	25 J/m	0.3 ft-lbf/in	0.46 ft-lbf/in	ASTM D 256-10
Temperature Properties					
Heat Deflection Temp. @ 264 psi	42.7 °C	58.4 °C	108.9 °F	137.1 °F	ASTM D 648-07
Heat Deflection Temp. @ 66 psi	49.7 °C	73.1 °C	121.5 °F	163.6 °F	ASTM D 648-07

Imagen 17 Especificaciones técnicas Resina Black Formlabs

4.3. Adaptación del diseño al proceso SLA

Para la fabricación mediante el SLA se podría usar el mismo diseño que la pieza que se fabrica con FDM ya que los soportes que genera son muy similares. En este caso solo le vamos a añadir un agujero que nos pueda servir de un pequeño desagüe del nervado interior ya que si no se nos quedaría resina dentro de la pieza, con un peso extra.

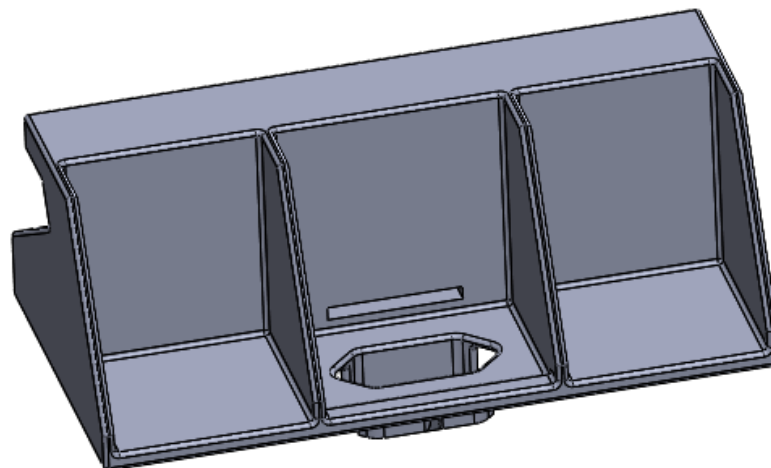


Imagen 18 Hacer desagüe SLA SolidWorks

4.4. Estudio económico con estereolitografía.

Para poder estimar el coste según esta tecnología hemos de tener en cuenta las diferentes operaciones ya que estas piezas deben pasar por un proceso de postproceso para poder limpiar todo el polvo.

Para la estimación de costes de este proceso vamos a usar los siguientes datos:

- Coste de material Blay FORMLABS en tienda Sicnova: 135€/Litro
- Coste medio eléctrico España junio 2021: 0,16767 €/kWh
- Consumo eléctrico impresora 3D: 0,225 kW
- Tarifa horaria España Contrato temporal a horas: 7,50 €/hora

Impresión mediante FORMLABS 3.

- Tiempo de impresión: 17 horas y 30 minutos.
- Volumen resina total: 240 ml = 0.24 Litros
- Tiempo de retrabajo: 30 minutos por pieza

Con estos datos obtenemos los siguientes datos:

Tipo de Coste	Calculo	Importe
Coste eléctrico impresión	$0.16767 \text{ €/kWh} \times 0,225\text{kW} \times 17,5 \text{ horas}$	0,66 €
Coste material total polvo	$135 \text{ €/Litro} \times 0.24 \text{ Litro}$	32,4 €
Coste retrabajo	$7,5 \text{ €/hora} \times 0,5 \text{ horas}$	3,75 €

Tabla 5 Tabla propia datos calculo SLA

Coste total de la pieza con SLA: 36,81 €

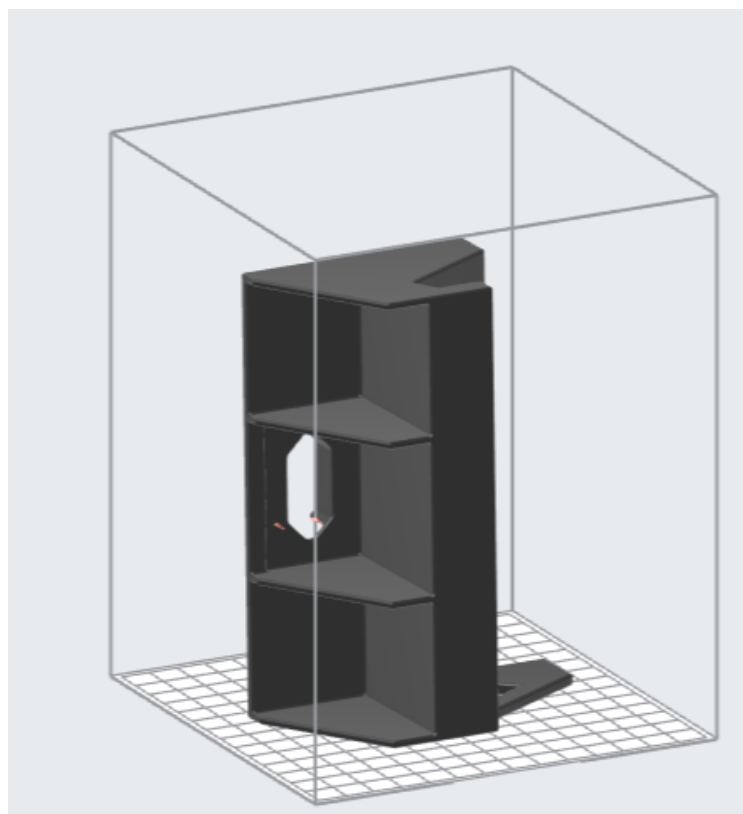


Imagen 19 Simulación fabricación mediante SLA con PreForm

5. Industrialización de bajo consumo mediante Sintetizado selectivo por láser.

5.1. Estudio del arte al proceso de la tecnología SLS

El proceso de sintetizado selectivo por láser (SLS) es una tecnología desarrollada por la Universidad de Texas durante la década de 1980. Esta tecnología fue desarrollada para la fabricación de piezas de plástico, pero posteriormente evolucionó y adaptó su sistema para fabricar materiales metálicos y cerámicos.

El proceso consiste en fusionar capas de polvos con un láser de CO₂ que realiza la geometría deseada. Las capas se crean con un rodillo nivelador que esparce el polvo homogéneo por toda el área de fusión. Toda esta fusión se realiza en una cámara cerrada llena de nitrógeno para minimizar los efectos de la oxidación y la degradación del material. El material en polvo se mantiene a una temperatura elevada por debajo de su punto de fusión que es producida por unos calentadores de infrarrojos o resistivos. Esta temperatura se genera en el área de construcción y en los depósitos del material en polvo para que se caliente antes de esparcirse por dicha área.

Es necesaria una correcta temperatura uniforme dentro de la máquina ya que se ahorra potencia excesiva del láser y disminuye las imperfecciones en la pieza. Una vez la temperatura es la adecuada es el rayo láser el que se dirige sobre el polo formando una sección transversal de la pieza. El resto de material se queda en polvo y sirve de soporte para las capas superiores evitando usar material de soporte, este material al finalizar el proceso puede reutilizarse o desecharse. Finalmente, la cuba baja a una posición y el rodillo nivelador esparce el polvo para la nueva capa y así se produce continuamente hasta la finalización de la pieza.

A continuación, podemos ver una imagen extraída del libro "Additive Manufacturing Technologies" donde podemos ver un esquema de los componentes comentados anteriormente.

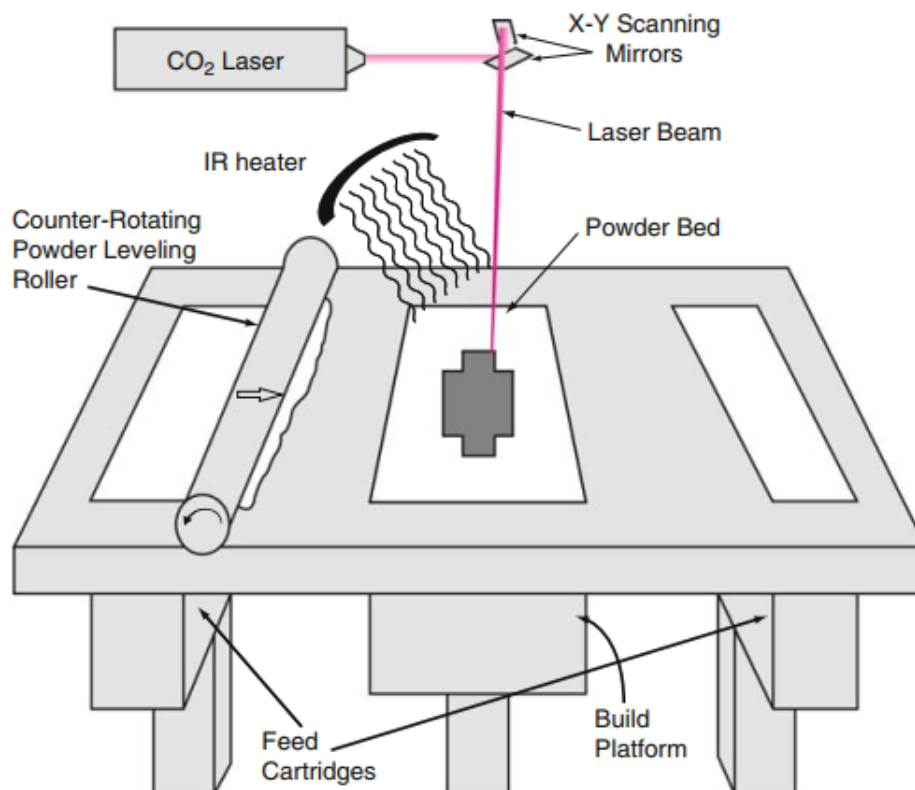


Imagen 20 Imagen informativa componentes impresora SLS

Las piezas fabricadas en SLS que han sido terminadas necesitan unos procesos posteriores para poder obtener un buen acabado superficial por eso es muy normal que se complete la máquina con una estación de postprocesado donde limpiar el polvo restante de la pieza ya sea con pinceles, aspiradoras o aire a presión. Una vez ya limpia el material sobrante se puede volver a usar si se prepara correctamente.

Respecto a los materiales plásticos que se pueden usar destacan las poliamidas especiales como la PA11 o la PA12 y también una mezcla de poliamidas con carga de fibra de vidrio o de carbono. La tecnología evoluciona con los materiales metálicos como el acero, titanio, aluminio... o también con materiales cerámicos como, por ejemplo, el yeso.

Pasamos a describir algunos de los materiales más empleados en esta tecnología:

- PA11
- PA12
- PA+30%FV
- TPU

Al igual que la tecnología de FDM con el paso de los años el coste de estas maquinarias ha bajado bastante, aunque sigue siendo mucho más elevado que las impresoras 3D. El rango de precios de estas máquinas está entre 150.000-400.000 € destacando fabricantes como EOS o 3DSystems pero actualmente fabricantes más pequeños y menos conocidos (Formlabs) están lanzando máquinas de esta tecnología a un precio menor (36.000 €) que pueden permitirse muchas empresas. Estos lanzamientos harán que la tecnología SLS sea más utilizada en el sector industrial ya sea para la fabricación de prototipos o de producciones bajas.

Las ventajas de esta tecnología son que no son necesarios los soportes para la fabricación de la pieza y esto favorece a poder fabricar piezas muy complejas incluso con vaciados interiores cosa que no podremos conseguir con otras tecnologías como la FDM o la SLA. También es muy importante que se pueden fabricar piezas funcionales para todo tipo de sectores industriales.

Las desventajas son su alto precio de materiales ya que son muy técnicos y también la alta inversión que es necesario para esta maquinaria. Finalmente se trata de una tecnología lenta, aunque pueda ser más productiva por el aprovechamiento del espacio.

5.2. Elección del material de la pieza

Los materiales más utilizados en el SLS son las poliamidas PA11 y PA12. Estas son poliamidas técnicas que prácticamente se diseñaron para este tipo de fabricación. También hay alguna fibra reforzada con fibra de vidrio o de carbono, pero como solo tiene que aguantar los 200 gramos del teléfono con la PA12 es suficiente según los cálculos por elementos finitos que podemos ver en el anexo correspondiente.

5.3. Adaptación del diseño al proceso SLS

La geometría de la pieza se podría utilizar, pero dado el funcionamiento de la tecnología SLS es conveniente añadir alguna zona para poder sacar el polvo ya que nuestra se fabricará con un espesor constante y si el material se queda dentro no lo puedes reaprovechar y le cargas un peso extra a la pieza.

Para que el vaciado sea más fácil lo vamos a hacer en la dirección de colocación del móvil dejaremos una pared de espesor de 4 mm. En la siguiente imagen podemos observar el resultado tras este resultado.

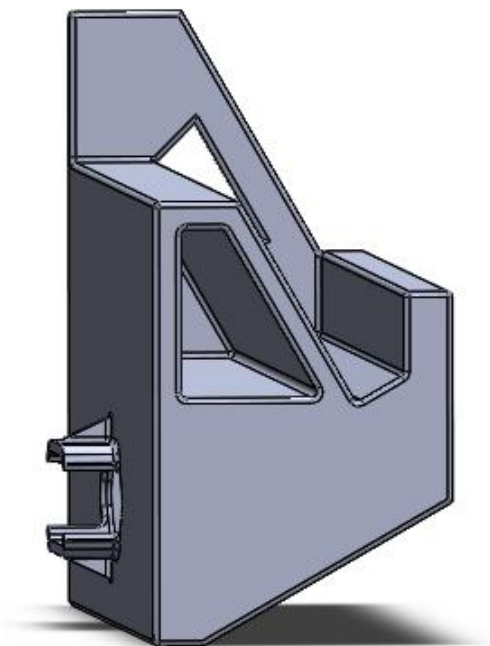


Imagen 21 Añadir vaciado SLS SolidWorks

5.4. Estudio económico con sintetizado selectivo por láser.

Para poder estimar el coste según esta tecnología hemos de tener en cuenta las diferentes operaciones ya que estas piezas deben pasar por un proceso de postproceso para poder limpiar todo el polvo.

Para la estimación de costes de este proceso vamos a usar los siguientes datos:

- Coste de material FORMLABS3D PA12 en tienda Solitium: 93.17€/Kg
- Coste medio eléctrico España junio 2021: 0,16767 €/kWh
- Consumo eléctrico impresora SLS: 4 kW (calentamiento) 6 kW (impresión) 2 kW (enfriamiento)
- Consumo eléctrico impresora Estación Postproceso: 0,400 kW
- Reutilización del polvo restante del 40%
- Tarifa horaria España Contrato temporal a horas: 7,50 €/hora

Impresión mediante FUSE 1 FORMLABS para 4 piezas que es el procesamiento óptimo.

- Tiempo de calentamiento: 1 hora
- Tiempo de impresión: 1 día, 5 horas y 53 minutos.
- Tiempo de enfriamiento: 13 horas y 53 minutos.
- Peso polvo total: 5,17 Kg
- Material PA12 por pieza: 334,84 gr.
- Polvo sobrante: $5,170 - 4 \times 0,334,84 = 5,170 - 1,3396 = 3,8304$ Kg
- Tiempo de retrabajo: 30 minutos por pieza

Con estos datos obtenemos los siguientes datos:

Tipo de Coste	Calculo	Importe
Coste eléctrico calentamiento	$0.16767 \text{ €/kWh} \times 4 \text{ kW} \times 1 \text{ hora}$	0,67 €
Coste eléctrico impresión	$0.16767 \text{ €/kWh} \times 6\text{kW} \times 29,84 \text{ horas}$	25,02 €

Trabajo final de Grado en Ingeniería Mecánica

Coste eléctrico enfriamiento	$0.16767 \text{ €/kWh} \times 2 \text{ kW} \times 13,84 \text{ horas}$	5,80 €
,Coste eléctrico estación de retrabajo	$0.16767 \text{ €/kWh} \times 4 \text{ kW} \times 1,33 \text{ horas}$	0,89 €
Coste material total polvo PA12	$93.17 \text{ €/Kg} \times 5,17 \text{ Kg}$	481,68 €
Ahorro polvo sobrante PA12	$93.17 \text{ €/Kg} \times 3,8304 \text{ Kg} \times 0,5$	-178,44 €
Coste retrabajo	$7,5 \text{ €/hora} \times 0,5 \text{ horas}$	3,75 €

Tabla 6 Tabla propia datos calculo SLS

Coste total de la bandeja: 339,37

Coste total de la pieza con SLS: 169,69 €

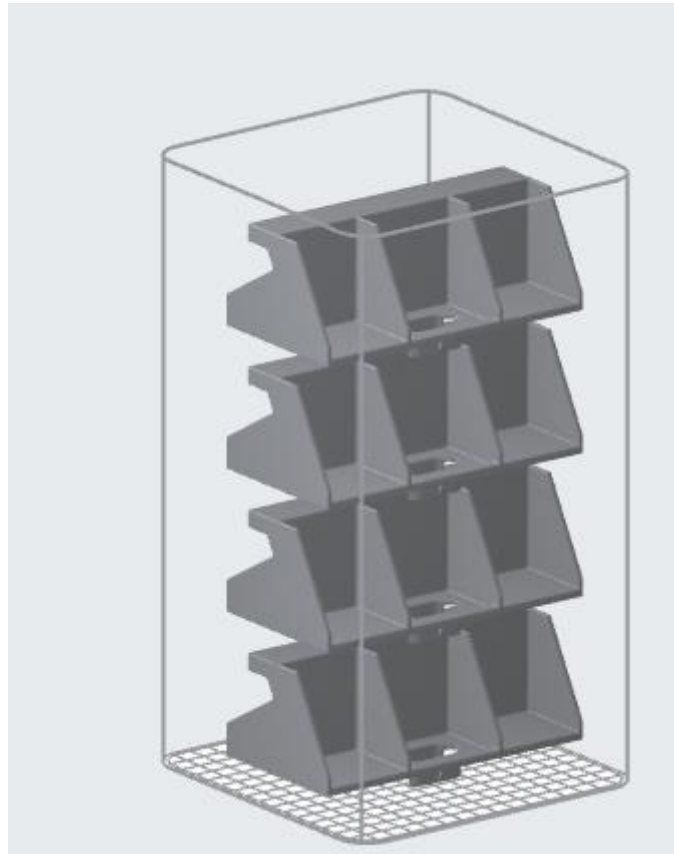


Imagen 22 Simulación fabricación mediante SLS con PreForm

6. Industrialización de alto consumo mediante inyección de plástico.

6.1. Estudio del arte al proceso de inyección de plástico.

El moldeo por inyección es el proceso productivo más habitual para la producción de piezas en la industria mundial ya que permite obtener piezas a un bajo coste y en un tiempo minimizado, para ello se necesitará una inversión en un utillaje.

El proceso de la fabricación mediante inyección de plástico consiste en fundir e introducir mediante una presión a una temperatura de fusión un plástico que se almacena en forma de granza en un molde con la geometría de la pieza. El plástico se solidifica dentro de la pieza obteniendo la forma que contraria a la que tiene el molde.

Lo primera patente de una máquina de inyección la consiguió una empresa alemana a principios del siglo que las comercializo, a partir de ahí empezó a evolucionar las maquinas y los moldes hasta la actualidad que se consigue reducir los costes y aumentar el rendimiento de estas máquinas.

En este proceso es prioritario tener dos útiles para conseguir la pieza, la máquina de inyección y el molde.

La máquina de inyección es la que se encarga de inyectar el plástico a una alta temperatura en el molde, en ella podemos encontrar dos partes muy diferenciadas que son:

- Unidad de inyección: Es la parte en la que se introduce el plástico en el molde, el plástico se suele almacenar en forma de granza en una tolva, esta misma se encarga de introducir en un husillo el material que necesite y este es el encargado de introducirlo dentro del molde. El usillo eta accionado mediante un motor que produce en giro rotativo y un pistón hidráulico o neumático que se encarga del desplazamiento para introducir el material a presión. El husillo también tiene en su exterior un sistema térmico de resistencias que consigue fundir el material que se usa.

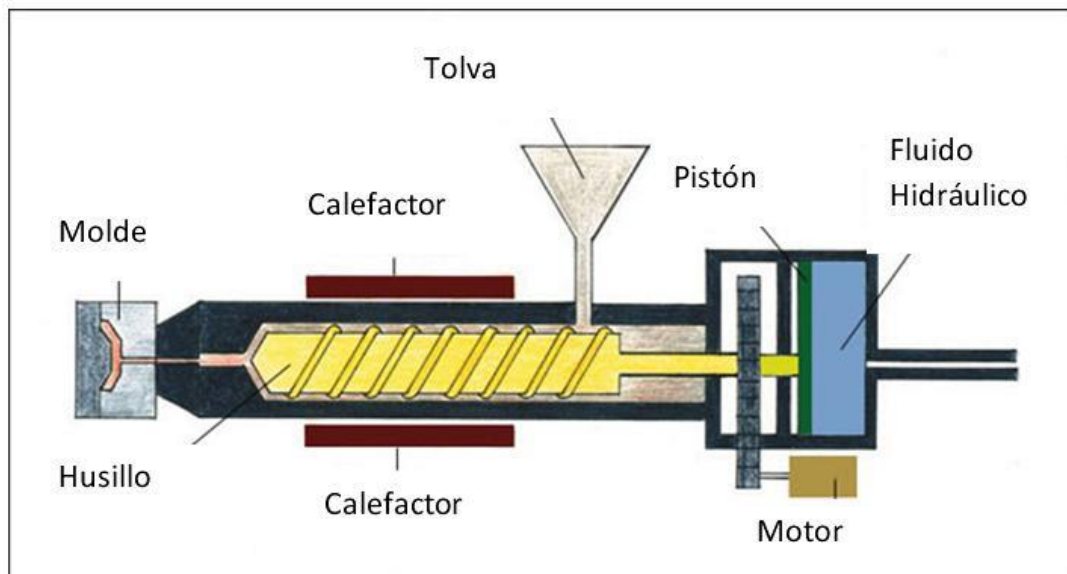


Imagen 23 Componentes unidad de inyección

- Unidad de cierre y expulsión: Esta es la parte de la máquina contraria a la inyección, esta parte es la encargada de mantener el molde cerrado para que no se escape el material y también tiene un segundo mecanismo que se encarga de expulsar la pieza

Trabajo final de Grado en Ingeniería Mecánica

del molde una vez se haya solidificado. En esta parte podemos encontrar las columnas por donde se mueven guados los platos de máquina. Estos platos son movidos por un sistema mecánico de rodilleras que se encarga de avanzar o retroceder el plato. Por último esta parte de la máquina tiene unos cilindros que son los encargados de mover hacia delante o hacia atrás la expulsión del molde que se suele acoplar con unos casquillos de métrica estándar.

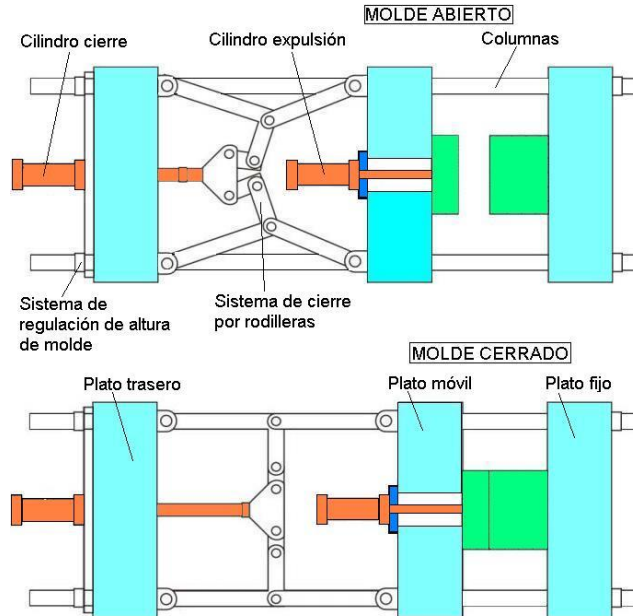


Imagen 24 Componentes unidad cierre y expulsión

El otro utillaje que se necesita para la inyección de plástico es el propio molde. Este molde es construido para una pieza en concreto y según ese tipo de pieza se decide cual es el mejor sistema para fabricar el molde.

El molde consta de las siguientes partes:

- Placas base de sujeción: Son las placas que se sujetean mediante garras mecánicas a los platos de las máquinas para mantener el molde en su posición durante todo el tiempo que este trabajando.
- Placas Expulsoras: Son las placas que se mueven con el desplazamiento del cilindro de la máquina de inyección. Es la encargada de expulsar la pieza mediante unas barras largas que llegan hasta la cavidad. El movimiento de estas placas viene limitado por las paralelas y las placas base del molde.
- Placas Cavidad. Estas placas suelen ser las intermedias y son las que sujetan los postizos de las figuras o en algunos casos son mecanizadas directamente, Son las encargadas de aguantar el cierre del molde.
- Boquilla y aro centrador: Son los dos componentes que se unen a la parte de inyección de la máquina. El aro centrador es el encargado de que el molde este en la posición correcta y más centrada posible para la inyección. La boquilla es el componente por donde se introduce el material dentro del molde, se suele situar entre la placa de empuje y la placa cavidad. En algunos casos se sustituye por sistemas de cámara caliente más complejos.
- Guías y casquillos: Son los encargados de que al abrir y cerrar el molde se ajuste correctamente para que la pieza no salga con defectos de posición, son componentes que sufren mucho desgaste igual que los expulsores y se suelen cambiar cuando hay una mínima holgura ya que puede producir piezas defectuosas.
- Postizos cavidad o cavidad: Es la zona donde se introduce el material a presión y se amolda al negativo de esta parte. Esta zona es la zona más importante del molde ya

que es la que genera la pieza. Suele utilizarse aceros de buena calidad que ofrezcan una buena duración y un rendimiento correcto. Esta parte se fabrica según la geometría de la pieza y se pueden usar muchas técnicas diferentes como por ejemplo mecanizado convencionales con fresadoras, tornos, etc, también se pueden utilizar centros de mecanizado, procesos de electroerosión de cobre o grafito, etc. Es la parte más complicada de fabricar y diseñar.

- Refrigeración: Son unos conductos que se mecanizan por todo el molde para que este se mantenga a una temperatura determinada para que el proceso sea lo más homogéneo posible.

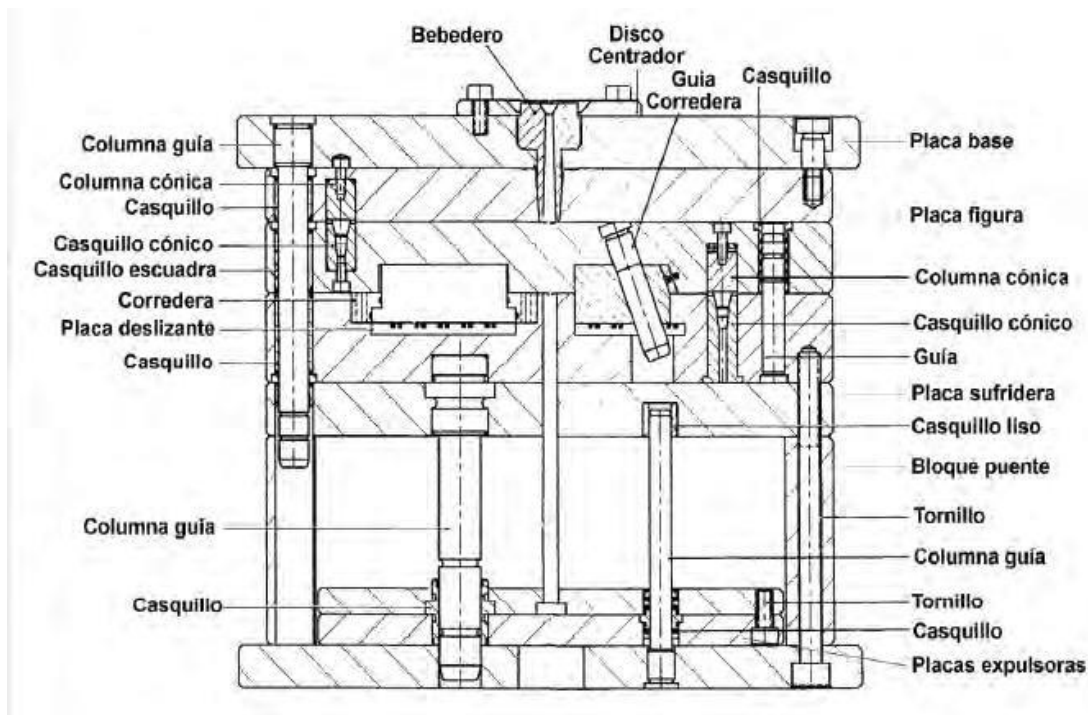


Imagen 25 Componentes molde inyección

En ocasiones que se fabrican piezas complicadas con geometría contraria a la expulsión se suelen utilizar postizos de cavidad y guías inclinadas para poder obtener ese tipo de geometría, pero se intenta evitar ya que encarece el coste del molde y necesita más mantenimiento.

6.2. Elección del material de la pieza.

En la inyección de plástico la elección del material es muy importante ya que según el tipo de material tiene un índice de contracción diferente por lo tanto hay que diseñar el molde con el coeficiente correcto para que la pieza salga en medidas dimensionales correctas.

A continuación, podemos observar una tabla con los principales materiales utilizados y su coeficiente de contracción a utilizar en el diseño de molde.

Polymer Name	Min Value (%)	Max Value (%)
<u>ABS - Acrylonitrile Butadiene Styrene</u>	0.70	1.60
ABS High Impact	0.40	0.90
<u>ASA - Acrylonitrile Styrene Acrylate</u>	0.40	0.70
<u>HDPE - High Density Polyethylene</u>	1.50	4.00
<u>HIPS - High Impact Polystyrene</u>	0.20	0.80

<u>LDPE - Low Density Polyethylene</u>	2.00	4.00
<u>PA 11 - (Polyamide 11) 30% Glass fiber reinforced</u>	0.50	0.50
PA 11, Conductive	0.70	2.00
PA 11, Flexible	1.40	1.80
PA 11, Rigid	0.70	2.00
<u>PA 12 (Polyamide 12), Conductive</u>	0.70	2.00
PA 12, Fiber-reinforced	0.70	2.00
PA 12, Flexible	0.70	2.00
PA 12, Glass Filled	0.70	2.00
PA 12, Rigid	0.70	2.00
<u>PA 6 - Polyamide 6</u>	0.50	1.50
<u>PA 6-10 - Polyamide 6-10</u>	1.00	1.30
<u>PA 66 - Polyamide 6-6</u>	0.70	3.00
PA 66, 30% Glass Fiber	0.50	0.50
PA 66, 30% Mineral filled	0.60	1.00
PA 66, Impact Modified, 15-30% Glass Fiber	0.20	0.60
<u>PA 66, Impact Modified</u>	1.20	3.00
<u>PBT - Polybutylene Terephthalate</u>	0.50	2.20
PBT, 30% Glass Fiber	0.20	1.00
PC (Polycarbonate) 20-40% Glass Fiber	0.10	0.50
PC (Polycarbonate) 20-40% Glass Fiber Flame Retardant	0.10	0.50
<u>PC - Polycarbonate, high heat</u>	0.70	1.00
<u>PE - Polyethylene 30% Glass Fiber</u>	0.20	0.60
<u>PET - Polyethylene Terephthalate</u>	0.20	3.00
PET, 30% Glass Fiber-reinforced	0.20	1.00
PET, 30/35% Glass Fiber-reinforced, Impact Modified	0.20	0.90
<u>PETG - Polyethylene Terephthalate Glycol</u>	0.20	1.00
PLA, injection molding	0.30	0.50
Polyamide 66 (Nylon 66)/Carbon Fiber, Long, 30 % Filler by Weight	0.30	0.30
Polyamide 66 (Nylon 66)/Glass Fiber, Long, 50 % Filler by Weight	0.30	0.30
PP Homopolymer, Long Glass Fiber, 30% Filler by Weight	0.40	0.40
PP Homopolymer, Long Glass Fiber, 50% Filler by Weight	0.30	0.30
<u>POM - Polyoxymethylene (Acetal)</u>	1.80	2.50
<u>POM (Acetal) Impact Modified</u>	1.00	2.50
POM (Acetal) Low Friction	1.80	3.00
<u>PP (Polypropylene) Copolymer</u>	2.00	3.00
<u>PP (Polypropylene) Homopolymer</u>	1.00	3.00
PS (Polystyrene) 30% glass fiber	0.20	0.20
PS (Polystyrene) Crystal	0.10	0.70
<u>PVC, Plasticized</u>	0.20	4.00
PVC, Plasticized Filled	0.80	5.00
<u>PVC Rigid</u>	0.10	0.60

Tabla 7 Índice contracción principales materiales moldeo por inyección

Se puede observar que hay variaciones muy importantes al usar materiales flexibles, rígidos, con fibras reforzadas, mezclados, etc.

En nuestro caso es una pieza que va a soportar el peso del teléfono, pero no es necesario que sea un material especial de alto impacto o reforzado de fibras. Podríamos elegir un plástico habitual como puede ser la poliamida 6 que es un poco más flexible, el ABS que puede ser un material más rígido, pero con buena resistencia o incluso algunos un poco más extraños con el HDPE o un polipropileno con fibra.

Por estandarizar con la resta de procesos y tratándose de un material intermedio finalmente nos decidiremos por utilizar el ABS que tiene las siguientes características técnicas.

Injection molding grades / General purpose grades		high Impact strength, high gloss, contains antistatic additive		
ISO Shortname		ISO 2580-1 -ABS 0, MGZ, 095-30-16-20		
Property	Test Condition	Unit	Standard	Value
Rheological properties				
C Melt volume-flow rate	220 °C; 10 kg	cm ³ (10 min)	ISO 1133	22
C Molding shrinkage, parallel	60x60x2	%	ISO 294-4	0.4 - 0.7
C Molding shrinkage, normal	60x60x2	%	ISO 294-4	0.4 - 0.7
Mechanical properties (23 °C/50 % r. h.)				
C Tensile modulus	1 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	2300
C Yield stress	50 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	39
C Yield strain	50 mm/min	%	ISO 527-1,-2	2.1
C Strain at break	50 mm/min	%	acc. ISO 527-1,-2	> 15
C Charpy impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eU	180
C Charpy impact strength	-30 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eU	120
C Charpy notched impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eA	22
C Charpy notched impact strength	-30 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eA	11
C Izod notched impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 180-1A	23
C Izod notched impact strength	-30 °C	kJ/m ²	ISO 180-1A	11
C Flexural modulus	2 mm/min	MPa	ISO 178	2100
C Flexural strength	2 mm/min	MPa	ISO 178	62
C Ball indentation hardness		N/mm ²	ISO 2039-1	95
Thermal properties				
C Temperature of deflection under load	1.80 MPa	°C	ISO 75-1,-2	93
C Temperature of deflection under load	0.45 MPa	°C	ISO 75-1,-2	97
C Vicat softening temperature	50 N; 50 °C/h	°C	ISO 306	98
C Coefficient of linear thermal expansion, parallel	23 to 55 °C	10 ⁻⁶ /K	ISO 11359-1,-2	1.0
C Burning behavior UL 94 (1.6 mm)	1.6 mm	Class	UL 94	H0
C Burning rate (USB-FM/SS)	2.0 mm	mm/min	ISO 3795	55
Electrical properties (23 °C/50 % r. h.)				
C Relative permittivity	100 Hz	-	IEC 60250	3.1
C Relative permittivity	1 MHz	-	IEC 60250	3.0
C Dissipation factor	100 Hz	10 ⁻⁴	IEC 60250	60
C Dissipation factor	1 MHz	10 ⁻⁴	IEC 60250	60
C Volume resistivity		Ohm·m	IEC 60093	1E13
C Surface resistivity		Ohm	IEC 60093	1E15
C Electric strength	1 mm	kV/mm	IEC 60243-1	33
C Comparative tracking index CTI	Solution A	Rating	IEC 60112	600
Other properties (23 °C)				
C Density		g/cm ³	ISO 1183	1040
Processing conditions for test specimens				
C Injection molding-Melt temperature		°C	ISO 294	240
C Injection molding-Mold temperature		°C	ISO 294	70
C Injection molding-Injection velocity		mm/s	ISO 294	240

Imagen 26 Especificaciones ABS fabricante LANXESS

6.3. Adaptación del diseño a inyección de plástico.

Para la inyección de plástico observamos que el macizo tiene demasiado espesor que nos va a provocar deformaciones que puedan impedir el funcionamiento de la pieza. Lo primero que debemos añadirle es un vaciado que elimine este material. Este vaciado es muy similar al del SLS que ya hemos visto anteriormente.

El siguiente paso sería colocar la línea de partición donde mejor venga para desmoldear la pieza. Como tiene bastante geometría que impide expulsar la pieza habrá que añadir dos correderas por lo tanto haremos la línea de partición en la cara donde apoya el smartphone.

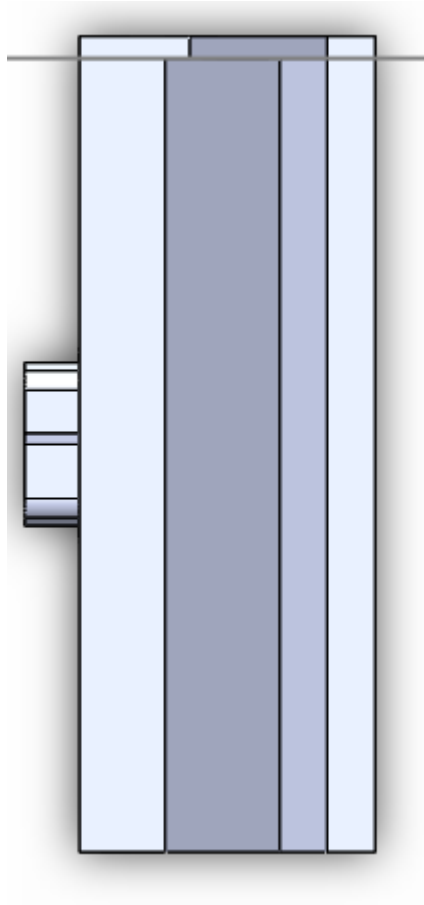


Imagen 27 Colocación línea partición SolidWorks

A partir de esta posición le daremos desmoldeo en ambas direcciones es de expulsión para que ayude en la extracción de la pieza. Como es una pieza muy alta se usara un ángulo de 0.25° - 0.5° para que se para dejar espesores correctos en el fondo.

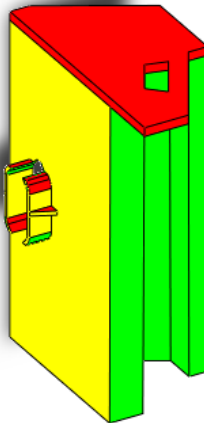


Imagen 28 Añadir desmoldeos SoldWorks

Finalmente pasaremos a radiar todas las zonas que podamos ya que los cantos vivos hacen que haya más riesgo que la pieza se pueda agarrar en el molde provocando piezas malas o con defectos.

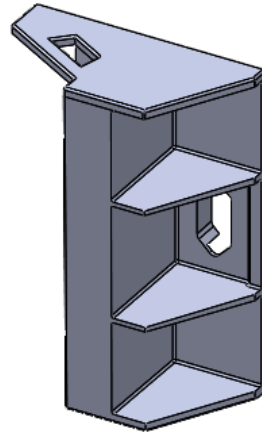


Imagen 29 Diseño final para fabricación por moldeo de inyección

6.4. Diseño de molde de inyección de plástico.

Para el diseño de molde lo primero que hay que hacer es escalar el sólido según el índice de contracción del material elegido, en este caso el ABS se le aplica un 0.5%. Una vez tengamos el sólido hay que identificar como se va a desmoldear por lo tanto vemos que nuestra pieza además de la cavidad fija y móvil va a necesitar 2 correderas más para poder extraer la geometría en contra al desmoldeo, de esta forma en la siguiente imagen podemos ver como hemos definido el desmoldeo.

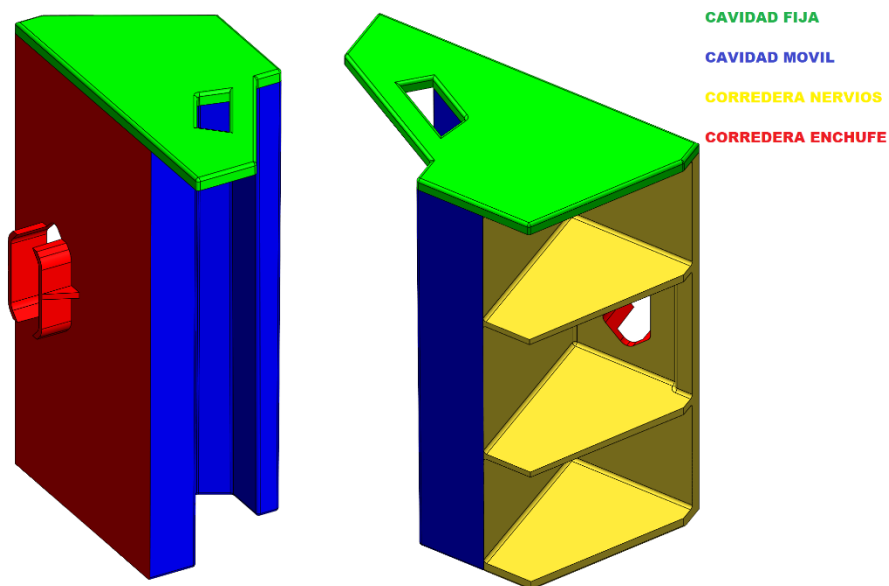


Imagen 30 Orientación de la pieza en el molde

Una vez tengamos las orientaciones definidas vamos a hacer un prisma envolvente a la pieza y eliminar de su interior lo que sería la cavidad del molde. Posteriormente haremos con operación partir que nos divida las piezas en dos partes y mediante la operación núcleo crearemos las dos correderas.

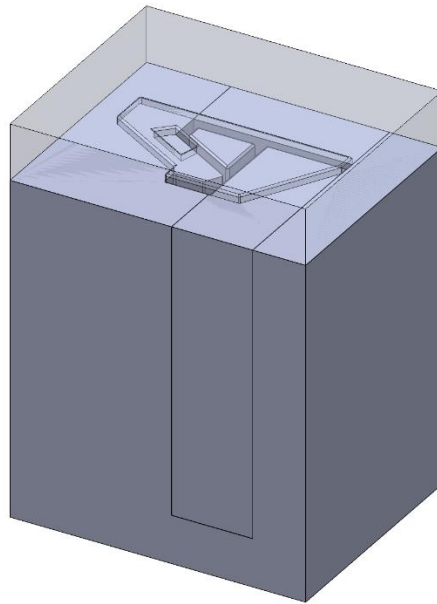
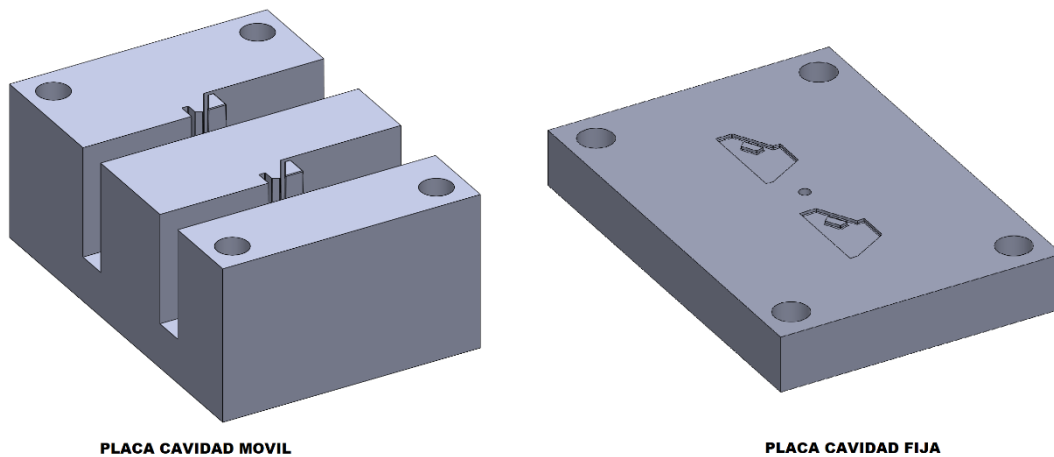


Imagen 31 Bloque base para el diseño del molde

Una vez tenemos definido ya como desmoldear la pieza pasaremos a diseñar las placas que generaran la figura, con una operación de matriz se añadir otra cavidad a una distancia de 140 mm aproximadamente ya que el molde tendrá 2 cavidades. Una vez tengamos las cavidades hay que añadir el resto de la placa y las dimensiones máximas las sacaremos según el catálogo del fabricante BRU Y RUBIO ya que así siendo medidas estándares conseguiremos abaratar el coste del molde. Se elige una placa de 346x496 que completaremos con los agujeros de las guías y los tornillos de sujeción según las indicaciones del fabricante. Para la cavidad móvil no tenemos estándares ya que es muy alta y hay que pedirla, pero para la placa cavidad fija sí que usaremos una estándar con referencia 346x396x66-PC con material 1.2311.



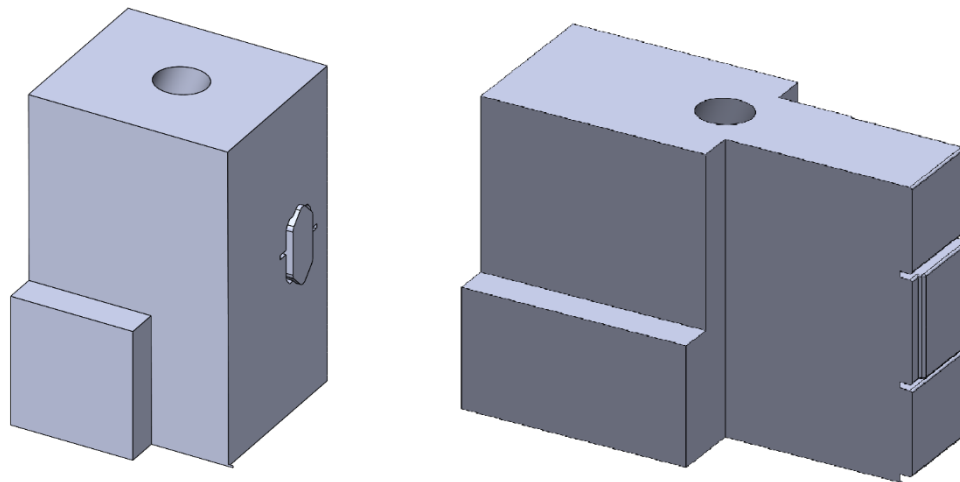
PLACA CAVIDAD MOVIL

PLACA CAVIDAD FIJA

Imagen 32 Prediseño cavidad fija y movil.

Una vez tenemos estos prediseños nos tocara ajustar el diseño entre la cavidad móvil y correderas ya que tienen que moverse fácilmente, pero sin desajuntar mucho. Para hacer esto vemos que la corredera de los nervios tiene un recorrido de 55 mm y la del enchufe tiene un recorrido de 15 mm. Con estos datos dibujaremos los agujeros donde se introducirán las guías inclinadas para poder realizar el movimiento correcto. Una vez terminados estos agujeros pasamos a reforzar la corredera de los nervios ya que se queda demasiado débil y finalmente a ambas correderas añadiremos unos salientes en forma

de T para que guien con las correderas por dentro de la cavidad móvil. Al hacer estos salientes habría que hacer los vaciados contrarios en la cavidad móvil.



CORREDERA ENCHUFE

CORREDERA NERVIOS

Imagen 33 Prediseño Correderas

Una vez tenemos claros estos componentes hay que ajustar los ajustes entre ellos y añadir todo lo necesario para que el movimiento sea el correcto. Para poder tener un ajuste bueno cuando habrá y cierre el molde vamos a utilizar guías y casquillos normalizados que escogeremos del catálogo de BRUYRUBIO seleccionando las referencias BR11/ 30 x 66 y BR03/ 30 x 156 x 115. Para las guías inclinadas usaremos las BR01/22x200.

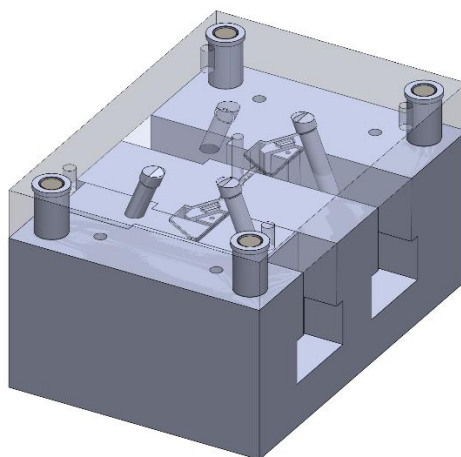


Imagen 34 Diseño Cavity fija y móvil con componentes

Con el bloque principal completo añadiremos el resto de componentes desde el catálogo del mismo fabricante. Elegiremos las placas de amarre que sobresalgan por los lados de la referencia 346x396x36-PBA y para la expulsión elegiremos las paralelas con referencia 346X396x116-ESP-P y las placas expulsoras con referencia 346x396-1.1730CPE. Destacar que como el molde es bastante alto vamos a

añadir una placa sufridera que mejorará el apoyo del molde con la presión del cierre, esta sufridera tiene referencia 346x396x46-PS.

Finalmente, para terminar el diseño colocaremos la posición de expulsores de la pieza y los recuperadores, se usarán de diámetro 4mm y 6 mm para la pieza y luego ya algunos más grande para el bebedero y para usarlo de recuperadores de posición de la placa expulsora.

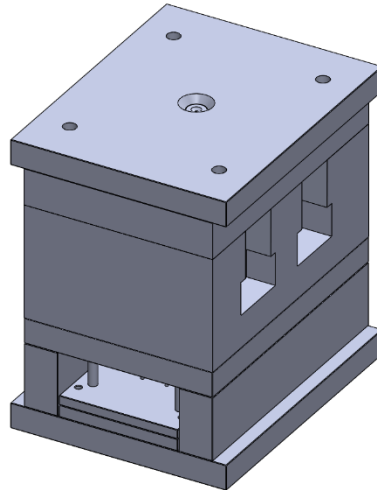


Imagen 35 Diseño final del molde

Para finalizar el diseño hemos realizado un presupuesto preguntando las tasas y tiempos estimados con ayuda de un taller de moldes llamado Tecnología aplicada al calzado ubicado en Elda. El coste final sería de aproximadamente 13.041 €. Se puede consultar el presupuesto en los anexos del documento.

6.5. Estudio económico con inyección de plástico.

Para poder obtener un coste de pieza real es necesario conocer tres datos muy importantes.

- Tasa horaria de la máquina a elegir: Es el coste por hora que tiene de gasto la máquina de inyección, normalmente se incrementa o disminuye según el tonelaje y la máquina usada. Nuestro molde se ha diseñado para poderse inyectar en una máquina de mínimo 200 Tn que su tasa horaria es de 24€/hora.
- El ciclo de inyección del molde: Cuando se diseña un molde se suele simular con programas de simulación de fluidos para comprobar que el material no tenga problemas e identificar las posibles zonas conflictivas. En esta simulación también se puede estimar el ciclo teórico al que se podría inyectar el molde. Con nuestro diseño se estima un ciclo de 37 segundos por inyectada.
- Numero de figuras del molde: Es el número de cavidades que tiene el molde y es importante ya que si la inyectada consigue sacar más piezas disminuye el coste de la pieza aunque incrementará el coste del molde. En nuestro caso se ha diseñado un molde de 2 figuras.
- El precio del material a inyectar: Es el precio de coste de la materia prima que usaremos durante la inyección. El material de ABS junto con los demás ha sufrido un incremento por la crisis del coronavirus, actualmente se puede comprar ABS por unos 2,5 € Kg.

Con estos datos podremos obtener el coste de fabricación y el coste de materia prima que se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Coste fabricación} &= \frac{\text{Tasa horaria}}{\text{Piezas por hora} \times \text{n}^{\circ} \text{ figuras}} = \frac{24}{\frac{3600}{37} \times 2} = \frac{24}{97,3 \times 2} = \frac{24}{194,6} \\ &= 0,123 \text{ €/pieza} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Coste materia Prima} &= \text{Peso pieza} \times \text{Precio de material} = \frac{340}{1000} \times 2,5 = 0,340 \times 2,5 \\ &= 0,85 \text{ €/pieza} \end{aligned}$$

$$\text{Coste total} = \text{Coste fabricación} \times \text{Coste materia Prima} = 0,123 + 0,85 = \mathbf{0,973 \text{ €/pieza}}$$

7. Conclusiones

7.1. Conclusiones de diseño de pieza.

Para obtener un correcto diseño de la pieza es muy importante hacer un estudio de mercado o de las piezas que van a usarse con la pieza deseada, este estudio te puede ayudar mucho a crear una lista de requisitos necesarios que debe tener la pieza y que nos ayudará a buscar una opción que solucione buena.

A la hora de diseñar una pieza se tiene que dejar fluir la imaginación de la persona, pero sobre todo ir comprobando que los bocetos y prediseños cumplen las expectativas y quedarnos con los puntos fuertes de cada uno. Muchas veces no podemos obtener todos los puntos fuertes, pero debemos elegir aquello que nos decidamos más importante.

Por último, es muy conveniente hacer piezas prototipos de los bocetos para comprobar el ensamblaje con otras piezas o si verdaderamente funciona como pensamos.

En nuestro caso se han realizado varios conceptos y se ha decidido explicar y completar el más idóneo de todos, aunque ha habido ajustes posteriores al prototipo ya que se han visto problemas que no se habían tenido en cuenta. Es una fase muy importante ya que se esta a tiempo de arreglar el diseño sin haber empezado a fabricar un molde para la inyección ya que en los casos de prototipado rápido es más sencillo hacer cambios.

Se ha conseguido diseñar una pieza resistente y funcional, aunque hay que decir que en sus contras se puede observar que es una pieza grande y pesada que son algunos aspectos que habría que mejorar, pero cumple con todas las necesidades y es correcto el diseño.

7.2. Conclusión de la industrialización de la pieza

Hay muchos tipos de fabricación para construir una pieza y en nuestro caso hemos propuesto algunas de prototipado rápido como tecnologías FDM o SLS y también se han explicado procesos de alta producción como puede ser la inyección de plástico.

Lógicamente la industrialización va muy ligada al número de piezas que se requiere fabricar ya que en algunos de estos procesos es el factor limitante aparte lógicamente del coste de la pieza. Para poder entender estas diferencias se crea una tabla comparativa con los aspectos más importantes a la hora de

Proceso	Coste de pieza	Tiempo fabricación	Producción mínima
Impresión 3D	7,76 €	1 día, 13 horas y 53 minutos	1 pieza
Impresión con Resina	36,81 €	17 horas y 30 minutos	1 pieza
Sintetizado con láser	169,69 €	1 día, 5 horas y 53 minutos	4 piezas

Inyección de plástico	0,97 €	37 segundos	1.500 piezas
-----------------------	--------	-------------	--------------

Tabla 8 Tabla propia comparativa procesos fabricación

Observando los datos está bastante claro por qué la inyección de plástico es la más utilizada comúnmente, aunque es cierto que hay que contar la inversión del molde que es necesaria pero el tiempo productivo es muy rápido y lógicamente el coste es muy competitivo.

Pero no hay que dejar atrás las tecnologías de prototipado rápido ya que cada vez más los costes son más reducidos y las inversiones en maquinarias son más económicas por lo que si hay que hacer una producción baja es mucha más recomendable que fabricar un molde que tiene un tiempo y un plazo ya que en estos procesos es el tiempo de fabricación. Por ejemplo, en la FFF ya que se están diseñando impresoras muy económicas que consiguen tener un muy buen acabado, además que lógicamente el mercado de materiales se está ampliando incluso algunas se atreven a introducir fibras o metales en los materiales plásticos.

En todos los procesos comentados vemos que la pieza es funcional y resiste a lo especificado por lo tanto el diseño es válido si se adapta un poco al proceso productivo.

7.3. Conclusiones finales.

Como hemos visto anteriormente todos los procesos cumplen con la función de fabricar unas piezas funcionales, pero lógicamente la elección depende del enfoque que queramos para esta pieza.

Si queremos fabricar pocas cantidades y ocasionalmente podemos utilizar las tecnologías de procesado rápido y yo personalmente elegiría el proceso de impresión mediante FFF ya que el coste de la pieza es el menor de todas las otras tecnologías y también se puede producir en máquinas más económicas que se están perfeccionando cada vez más produciendo unos acabados realmente sorprendentes. En caso de tener que fabricar varias piezas puedes utilizar diferentes impresoras al mismo tiempo mientras que en otras tecnologías lo puedes hacer, pero hay menos máquinas.

En caso de intentar hacer una venta al por mayor, en muchos países o mediante una compañía lógicamente elegiría el moldeo por inyección ya que la producción es rápida y si no es de esta forma no se podría cumplir con grandes cantidades de ventas. También al tener un precio muy económico puedes tener más opciones de venta y expansión por lo tanto sería una visión ideal en un sector industrial de la actualidad. Por supuesto habría que calcular un retorno de la inversión ya que el molde se presupuestó en 13.000 € y esto habría que incluirlo en el precio de pieza hasta que quede completamente amortizado. Estos moldes se suelen amortizar entre 3 o 5 años dependiendo de el margen que se quiera añadir y las cantidades de venta previstas.

8. Referencias Bibliográficas

1. Ian Gibson, David W. Rosen, Brent Stucker. (2010), Additive Manufacturing Technologies, Rapid. New York Heidelberg Dordrecht London. Springer
2. Fernando Bordignon, Alejandro A. Iglesias y Ángela Hahn, UNIPE: Editorial Universitaria. (2018). Diseño e impresión de objetos 3D: una guía de apoyo a escuelas. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. UNIPE: Editorial Universitaria
3. <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/>
4. <https://bruyrubio.com/>
5. <https://www.pccomponentes.com/>
6. <https://sicnova3d.com/>
7. <https://www.3dnatives.com/>
8. <https://3dnewworld.com/>

9. Anexos.

- 9.1. Resultados elementos finitos según tipo de fabricación.
- 9.2. Planos de la pieza para fabricación en FFF.
- 9.3. Planos de la pieza para fabricación en SLA.
- 9.4. Planos de la pieza para fabricación en SLS.
- 9.5. Planos de la pieza para fabricación en moldeo por inyección.
- 9.6. Sólido en formato STEP de la pieza para fabricación en FFF.
- 9.7. Sólido en formato STEP de la pieza para fabricación en SLA.
- 9.8. Sólido en formato STEP de la pieza para fabricación en SLS.
- 9.9. Sólido en formato STEP de la pieza para fabricación en moldeo por inyección.
- 9.10. Sólido diseño molde de inyección en formato STEP
- 9.11. Presupuesto de fabricación del molde.