



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

Diseño y desarrollo de un contador de largos electrónico realizando su prototipo mediante fabricación aditiva.

Design and development of an electronic lap counter making its prototype by additive manufacturing.

Autor

**Javier Sebastián Millán**

Directora

**Ana Cristina Majarena Bello**

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Año 2019



## Agradecimientos.

Quiero agradecer a mi tutora Ana Cristina Majarena Bello su tiempo y trabajo dedicados a ayudarme en la realización de este proyecto y todos los conocimientos que me ha transmitido; gracias por incentivar mi entusiasmo en la rama de Fabricación.

Agradecer también a mis padres, que han sido mi apoyo principal todo este tiempo, por darme esta oportunidad.

Por último, quiero agradecer a todas y cada una de las personas que he conocido durante estos años como estudiante y que me han aportado su granito de arena para ser quien soy hoy.

*“La invención que todos y cada uno admiraron, como él.*

*Es aquella en la que el inventor falló; tan fácil que parecía.*

*Una vez encontrada, la mayoría que todavía no la encontraba hubiera pensado:*

*Imposible.”*

*-John Milton-*

## Resumen.

### Diseño y desarrollo de un contador de largos electrónico realizando su prototipo mediante fabricación aditiva.

En el presente Trabajo de Fin de Grado se recoge el desarrollo del proceso de diseño del prototipo de un contador/cronómetro de largos para piscina. Se han tenido en cuenta para ello las quejas de los usuarios de productos similares, que están o han estado en el mercado, con el fin de alcanzar una solución para el máximo número de ellas; y así conseguir un producto lo más competente posible. Mediante un método iterativo de mejora continua se llega finalmente a la fabricación de su prototipo.

Para ello se han realizado varios diseños con la herramienta Solid Edge, llevándose a cabo diversas modificaciones hasta llegar al diseño final mediante el sistema de mejora continua. También se tienen en cuenta los posibles elementos comerciales que ayudan en su montaje o en su impermeabilización.

Una vez que el diseño fue revisado y verificado, se pasó a imprimirlo con impresora 3D modelo Creality CR-10S; porque se consideró la técnica de prototipado rápido mediante fabricación aditiva más rápida y accesible para el alumno. Y se contextualizaron dichas técnicas.

También se desarrolla la parte electrónica del contador, programándose el código de su controlador Arduino UNO.

Finalmente, se estudia su viabilidad, estimando un presupuesto, y la viabilidad técnica mediante un cálculo de elementos finitos. Para ello, también se dan varias líneas de trabajo e investigación futuras.

# Índice general.

Capítulo I. Introducción.....	1
1.1. Objetivo del documento.....	2
1.2. Alcance.....	2
1.3. Competidores.....	3
1.3.1. Antecedentes.....	3
1.3.2. Existentes.....	4
1.4. Programas de empleados.....	5
Capítulo II. Diseño: Análisis y soluciones.....	6
2.1. Requisitos técnicos.....	7
2.2. Requisitos económicos.....	10
2.3. Desarrollo de la carcasa.....	11
2.4. Desarrollo del <i>hardware</i> .....	23
Capítulo III. Desarrollo del <i>software</i> .....	27
3.1. Introducción a Arduino.....	27
3.2. Funcionalidades electrónicas.....	28
Capítulo IV. Elaboración del prototipo mediante fabricación aditiva.....	29
4.1. Introducción a las técnicas de PR y FA.....	29
4.2. Proceso de elaboración del Prototipo 3.0.....	36
4.3. Montaje final.....	45
Capítulo V. Estudio de viabilidad.....	48
5.1. Presupuesto.....	48
5.2. Viabilidad técnica de fabricación.....	51
Capítulo VI. Conclusiones y líneas de investigación futura.....	58
Bibliografía.....	59
ANEXOS.....	61

## Índice de figuras.

Figura 1: Contador analógico de mano.....	3
Figura 2: Cronómetro convencional .....	3
Figura 3: FINIS Lap Track[2].....	3
Figura 4: SportCount Finger Lap Counter Chrono .....	5
Figura 5: Iteraciones en las fases del proceso de diseño[4].....	6
Figura 6: Consideración de diseño ángulo de desmoldeo.....	8
Figura 7: Fuerzas de estanqueidad de una junta tórica con y sin presión del sistema.....	10
Figura 8: Oleveon FIT 1200 (Sección "estrecha") .....	11
Figura 9: Cajas estancas IP65-68.....	11
Figura 10: Prototipo 1 final .....	13
Figura 11: Detalle del metacrilato de la pantalla Prot. 1 .....	14
Figura 12: Detalle de la tapa para la pila Prot. 1 .....	14
Figura 13: Detalle mecanismo muelle-fuelle Prot. 1 .....	14
Figura 14: Montaje fuelle-muelle Prot. 1 en CAD .....	14
Figura 15: Dimensiones del fuelle Prot. 1 [12].....	15
Figura 16: Montaje pulsador Prot. 1 .....	15
Figura 17: Distribución soportes ventosas Prot 1.....	15
Figura 18: Posicionamiento del pulsador Prot. 1.1 .....	16
Figura 19: Posicionamiento del LCD Prot. 1.1 .....	16
Figura 20: Distribución en planta componentes Prot. 1.1.....	16
Figura 21: Mecanismo pulsador Prot. 1.1.....	17
Figura 22: Pasador del mecanismo de pulsación Prot. 1.1 .....	17
Figura 23: Desmoldeos Prot. 1.1.....	17
Figura 24: Prototipo 2.....	18
Figura 25: Tapa Prot. 2.0 .....	18
Figura 26: Tapa Prot. 2.1. ....	18
Figura 27: Detalle del pulsador inyectado .....	19
Figura 28: Soporte LCD .....	19
Figura 29: Integración del LCD en la tapa Prot. 2.1. ....	19
Figura 30: Pantalla de metacrilato sobre la tapa Prot. 2.1.....	19
Figura 31: Montaje de la pantalla Prot. 2.1.....	20
Figura 32: Distribución en planta Prot. 2.1. ....	20

Figura 33: Disposición display botón Prot. 2.1. ....	20
Figura 34: Disposición de la base Prot. 2.1. ....	21
Figura 35: Pasadores Prot. 2.1. ....	21
Figura 36: Círculo cromático .....	21
Figura 37: Prototipo final renderizado: .....	22
Figura 38: Esquema de la disposición del hardware .....	23
Figura 39: Arduino UNO en CAD .....	23
Figura 40: Arduino UNO usado en el prototipo .....	24
Figura 41: Display LCD usado en el prototipo .....	24
Figura 42: LCD en sus soportes.....	24
Figura 43: Montaje portapilas.....	25
Figura 44: Alimentación del Arduino UNO.....	25
Figura 45: Botón N/A.....	25
Figura 46: Placa base y botón N/A.....	26
Figura 47: Placa soldada.....	26
Figura 48: Distribución del hardware en el Prot.1 vs Prot.2 .....	26
Figura 49: Potenciómetro de 50 kΩ.....	26
Figura 50: Placa de Arduino UNO .....	27
Figura 51: Simulación del largo 0 y cómo se mostraría en la pantalla .....	28
Figura 52: Proceso básico de PR.....	30
Figura 53: Máquina de FDM simple .....	33
Figura 54: Máquina de FDM de doble boquilla.....	34
Figura 55: Los 8 pasos de un proceso de FA genérico [15].....	36
Figura 56: Parámetros iniciales en Ultimaker Cura .....	37
Figura 57: Parámetros de material y velocidad de impresión en Ultimaker Cura	37
Figura 58: Parámetros de desplazamiento en Ultimaker Cura.....	37
Figura 59: Parámetros de calidad y perímetro en Ultimaker Cura .....	38
Figura 60: Parámetros del relleno en Ultimaker Cura .....	38
Figura 61: Parámetros para los soportes en Ultimaker Cura .....	38
Figura 62: Parámetros de la tapa de la pila.....	39
Figura 63: Resultados finales de la tapa de la pila.....	39
Figura 64: Parámetros de adherencia a la placa de impresión .....	39
Figura 65: Parámetros de la primera impresión de los soportes .....	39
Figura 66: Parámetros de la segunda impresión de los soportes .....	40

Figura 67: Rotura del orificio para el tornillo.....	40
Figura 68: Rotura en el extremo de la unión .....	40
Figura 69: Baja resolución de capa.....	40
Figura 70: Errores de impresión en los soportes.....	41
Figura 71: Combadado de los soportes .....	41
Figura 72: Parámetros de impresión de la tapa de la carcasa .....	41
Figura 73: Diferencia entre el patrón de relleno y el de soporte.....	41
Figura 74: Aspecto final de la tapa tras su limpieza .....	42
Figura 75: Parámetros de impresión de la base.....	42
Figura 76: Aspecto final de la base del Prot. 2.....	42
Figura 77: Proceso de impresión del soporte del botón Prot. 2.....	43
Figura 78: Cambios en los soportes del botón Prot. 3 .....	43
Figura 79 : Cambios en los soportes de las ventosas Prot.3 .....	43
Figura 80: Cambios en los pasadores de la base Prot. 3.....	43
Figura 81: Desajuste en el encaje de la carcasa Prot. 2 .....	44
Figura 82: Combadado de la base, por separación de la placa de impresión.....	44
Figura 83: Diseño final de la base del Prot. 3.....	44
Figura 84: Base del Prot. 3 en Cura .....	44
Figura 85: Montaje de la tapa de la pila .....	45
Figura 86: Taladro de columna .....	45
Figura 87: Montaje del display LCD .....	45
Figura 88: Sierra mecánica .....	46
Figura 89: Montaje pantalla LCD en la tapa .....	46
Figura 90: Roscado de los pasadores de la tapa .....	46
Figura 91: Montaje final del pulsador .....	47
Figura 92: Ventosas en la base.....	47
Figura 93: Prototipo final montado .....	47
Figura 94: Detalle del pulsador embebido en la tapa .....	52
Figura 95: Métodos de inyección .....	52
Figura 96: Ventosas de la base del prototipo .....	53
Figura 97: Ciclo del análisis MEF .....	55
Figura 98: Imágenes del análisis MEF de Solid Edge.....	57
Figura 99: Iteraciones en las fases del proceso de diseño[4].....	61
Figura 100: Prueba IK de Resistencia Mecánica .....	70

Figura 101: Instalación axial estática [12] .....	72
Figura 102: Especificaciones de la ranura de alojamiento [12] .....	72
Figura 103: Diagrama de instalación [12].....	72
Figura 104: Intervalo de temperatura de diversos elastómeros .....	73
Figura 105: Pegamento de poliuretano para la junta de la carcasa[24] .....	76
Figura 106: Arduino UNO R3 .....	82
Figura 107: Clasificación de los procesos de fabricación según el modo de procesar el material para obtener la pieza .....	87
Figura 108: Gráfico coste/pieza en función del volumen de producción en varios métodos de FA[27].....	87
Figura 109: Clasificación de Pham de los procesos de fabricación por capas[28] .....	88
Figura 110: División según el estado del material de las tecnologías PR [31] ....	89
Figura 111: Conversión a archivo STL.....	90
Figura 112: Efecto del grosor de capas (Resolución) .....	91
Figura 113: Ejemplo de pieza que necesita soportes.....	92
Figura 114: importancia de la orientación en la fabricación de piezas .....	92
Figura 115: Impresora 3D Creality CR-10S.....	93
Figura 116: Rollos de PLA empleados.....	94
Figura 117: Secuencia de eventos durante el ciclo de moldeo por inyección ....	96
Figura 118: Máquina de inyección con sus componentes básicos.....	97

## Índice de tablas.

Tabla 1: Dimensiones del muelle Prot. 1 [13].....	15
Tabla 2: Análisis DAFO del prototipo .....	22
Tabla 3: Análisis DAFO del PR .....	32
Tabla 4: Comparativa de las tecnologías de base sólida más importantes.....	35
Tabla 5: Comparativa de las tecnologías de FA más usadas .....	36
Tabla 6: Coste mano de obra directa .....	48
Tabla 7: Coste materias primas .....	49
Tabla 8: Coste softwares.....	49
Tabla 9: Coste herramientas .....	50
Tabla 10: Coste mano de obra indirecta .....	50
Tabla 11: Coste total .....	50
Tabla 12: Factores de seguridad para ventosas .....	54
Tabla 13: Propiedades del ABS de alto impacto proporcionadas por Solid Edge .....	56
Tabla 14: Desinfectantes para piscinas .....	64
Tabla 15: Parámetros de temperatura y pH .....	64
Tabla 16: Normas ISO 2281 e ISO 6425.....	65
Tabla 17: Grados de protección indicados por la primera cifra característica ....	67
Tabla 18: Grados de protección indicados por la segunda cifra característica ..	68
Tabla 19: Descripción de la protección proporcionada por las letras adicionales .....	68
Tabla 20: Símbolos usados normalmente para los grados de protección.....	69
Tabla 21: Grados de protección IK.....	70
Tabla 22: Sistema de calificación del fabricante .....	74
Tabla 23: Calificación según el fluido acuoso de trabajo .....	74
Tabla 24: Calificación según el fluido de trabajo .....	74
Tabla 25: Catálogo juntas tóricas según sus dimensiones para elegir la de la base .....	75
Tabla 26: Catálogo juntas tóricas según sus dimensiones para elegir la de la tapa .....	75
Tabla 27: Dimensiones de la instalación.....	76
Tabla 28: Especificaciones de la Creality CR-10S [29].....	92

## Definición de los acrónimos más usados.

**CAD:** Diseño Asistido por Ordenador

**CAM:** Fabricación Asistida por Ordenador

**CAE:** Ingeniería Asistida por Ordenador

**3D:** 3 Dimensiones

**BOE:** Boletín Oficial del Estado

**ISO:** Organización Internacional de Estándares

**CEI:** Comisión Electrotécnica Internacional

**IP:** Protección a Intrusiones

**ASTM:** Sociedad Americana para Testado de Materiales

**FA:** Fabricación Aditiva

**PR:** Prototipado Rápido

**STL:** Formato de archivos CAD que define geometrías 3D mediante triángulos

**FDM:** Modelado por Deposición Fundida

**PLA:** Poliláctico o Ácido Poliláctico

**ABS:** Acrilonitrilo Butadieno Estireno

**N/A:** Normalmente Abierto

**IDE:** Entorno de Desarrollo Integrado

**DAFO:** análisis de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades

**MEF:** Método de Elementos Finitos



## Capítulo I. Introducción.

En el presente documento se ha desarrollado todo el proceso de diseño de un cronómetro contador de largos para piscina. En el contexto de mercado global en el que nos encontramos es cada día más difícil para las empresas ser competitivas con un producto, debido a las innumerables opciones de las que dispone el consumidor; es por esto que se busca un enfoque por el cual nuestro producto pueda mejorar económica y/o funcionalmente a los de la competencia.

El dispositivo se situará en la piscina y se accionará mediante la pulsación de este por parte del usuario, lo que ayudará a agilizar su uso. Además, facilitará el seguimiento del progreso de aprendizaje del nadador, ya que, habitualmente, se suele establecer un número concreto de largos como objetivo para cada sesión de entrenamiento, y es muy habitual perder la cuenta de los largos ya nadados, para esto se le ha incluido un microcontrolador Arduino UNO.

Primero se realiza un estudio de la historia del arte y de los productos similares en el mercado. Comprobando que existen muy pocos con las mismas características en el mercado. Luego se propuso un diseño que los mejore económica y/o funcionalmente, además debe ser posible producir sus carcasas con inyectoras de plástico, ser completamente estanco e impermeable y constar de batería intercambiable por el usuario.

Posteriormente se pasó a diseñar el cuerpo del contador con Solid Edge y se programó la parte electrónica con Arduino.

El archivo CAD se pasó a STL con la ayuda del *software* Solid Edge y así con Ultimaker Cura realizar el prototipo mediante fabricación aditiva con impresora 3D modelo Creality CR-10S. Todo ello se ha reflejado en la memoria paso por paso ya que sufrió numerosas modificaciones hasta llegar al diseño final.

Destacándose la importancia que han ganado actualmente las tecnologías de Fabricación Aditiva (FA) por las ventajas que ofrecen frente a las tradicionales. Concretamente, las impresoras 3D, son un tipo de tecnología con accesibilidad a nivel usuario, siendo por esto, por lo que fue la elegida.

Por último, se realizará un estudio de la viabilidad del producto estimando un presupuesto y con uno de los módulos de Solid Edge se realizará un estudio por el Método de Elementos Finitos del pulsador para comprobar su resistencia a las pulsaciones por parte del usuario. Llegándose a unas conclusiones finales y proponiéndose unas líneas de investigación y trabajo futuros.



## 1.1. Objetivo del documento.

La creación de un contador de largos electrónico con pulsador mecánico vino motivada por la falta de dispositivos de estas características. El usuario podrá contar y cronometrar sus largos con ayuda de este producto activándolo de forma manual, por lo que podrá ser empleado por nadadores de todas las edades debido a su sencillez de uso. Además, personalmente quería ampliar mis conocimientos y aprender más acerca del prototipado en 3D.

Los objetivos principales de la realización de este trabajo fueron los siguientes:

- Elaborar un contador de largos competente frente a los que ya hay en el mercado.
- Que sea completamente estanco e impermeable. Dado que trabajará en un medio acuoso y corrosivo debido al cloro, deberá garantizarse la resistencia del material de la carcasa; así como su total impermeabilización y estanqueidad, tanto para la protección de su electrónica como del usuario.
- Controlado por un procesador electrónico. Con baterías intercambiables.
- Que su funcionamiento sea entendible por el usuario.
- Resistente a las condiciones de una piscina. Con buena visibilidad.
- Debido a que su uso está destinado al deporte su diseño deberá ser resistente a golpes.
- Desde su fabricación hasta el final de su vida útil deberá ser respetuoso con el medio ambiente.

## 1.2. Alcance

La búsqueda de información se ha centrado más en la aclaración y explicación de conceptos como la aplicación de la fabricación aditiva para prototipado rápido o conceptos sobre diseño gráfico y mecánico.

El ámbito de aplicación de este proyecto es el diseño de un dispositivo contador de largos electrónico mecánico, con la posibilidad futura de su construcción. Para ello, se ha realizado un estudio previo de alternativas (prototipos), y se ha escogido y desarrollado una de ellas en función de su viabilidad técnica y económica.

Además, se ha fabricado dicho prototipo mediante impresión 3D. Y se ha desarrollado su *software*. Se ha intentado buscar siempre facilitar una futura fabricación en serie del producto mediante doble inyección.

Se han propuesto unas líneas de investigación y trabajo futuros.

Todo este trabajo engloba conocimientos adquiridos durante el estudio del Grado en Ingeniería Mecánica en, entre otras, las siguientes asignaturas:

- Tecnologías de fabricación
- Criterios de diseño de máquinas
- Dibujo industrial y diseño asistido por ordenador
- Tecnología de materiales
- Fundamentos de electrónica y electrotecnia
- Resistencia de materiales

## 1.3. Competidores.

### 1.3.1. Antecedentes.

Dado que nos encontramos ante un marco de estudio tan amplio ha sido muy difícil encontrar trabajos de autor relacionados. Pero se ha centrado todo en el estudio de los competidores.

En el mercado se dispone de una amplia gama de contadores analógicos y cronómetros como los que se pueden ver a continuación. El objetivo de nuestro contador es el de aunar las características principales de éstos y además servir en un ambiente corrosivo y húmedo como es el de una piscina.



Figura 1: Contador analógico de mano.



Figura 2: Cronómetro convencional

### **FINIS Lap Track [1]**

Se encontró en Amazon un modelo de contador cronómetro para piscinas que ya no se fabrica. Pero se van a usar todas las reseñas que le han puesto los usuarios, tanto positivas como negativas, para coger una idea de lo que los consumidores buscan.

Inicialmente se sacó con un precio de 80\$ para posteriormente bajarlo a 20\$ y acabar por su desaparición del mercado por las innumerables quejas y escasas ventas.



Figura 3: FINIS Lap Track[2]



### Quejas de los usuarios al respecto [2]:

- No se ve bien la pantalla en piscinas oscuras. Brillo de pantalla insuficiente
- Letra pequeña y poco visible.
- Manual de instrucciones con la letra muy pequeña y mal explicado.
- Inexactitud modo de contar calorías.
- Se requiere quitar la batería para restablecer el temporizador.
- No tiene una función para contar el tiempo de descanso.
- El sonido de pitido a veces se escucha mal.
- El fabricante reemplaza los defectuosos, pero no da la opción de reembolsar el dinero.
- No muy buena estanqueidad. Pone que lo es, pero en las instrucciones pone recomendable mantener fuera del agua.
- No crea un historial de datos descargable, solo en el modo de estadísticas. Y se pierde cuando se quitan las pilas.
- El botón para encender la luz solo lo enciende durante 1 o 2 segundos, demasiado corto para ver toda la información durante una sesión de natación nocturna. Hay que seguir presionando el botón.
- Pide los datos en unidades anglosajonas.
- Cuenta dos vueltas si toca el temporizador en el borde y no directamente en el centro, no tiene forma de volver atrás para corregir esta acción.
- Memoria de 50 vueltas.

### 1.3.2. Existentes.

#### **SportCount Finger Lap Counter Chrono [3]**

Tiene cinco modelos para elegir, y cada uno proporciona un nivel diferente de datos. Todos se pueden usar para nadar, andar en bicicleta, correr o cualquier otra cosa.

Este modelo de gama alta Chrono 100: recupera hasta 100 tiempos de vuelta individuales, incluidos los tiempos de vuelta totales más rápidos, más lentos, promedio y el número total de vueltas completadas. Muestra tiempos parciales y números de vueltas. Es resistente al agua a 50 metros de profundidad. Es muy simple se utiliza con un solo un botón y se puede hacer sobre la marcha con un solo dedo de la mano.

#### Características principales:

Pantalla a tiempo real: muestra el número de vuelta, el tiempo fraccionado y el tiempo transcurrido. Función de pausa incluida.

La pantalla Resumen Estadísticas muestra el total de vueltas completadas, el tiempo total transcurrido, los tiempos de vuelta más rápidos, más lentos y promedio.

La operabilidad con una mano supone que se pueda cronometrar las actividades fácilmente sin interferir con el flujo natural del ejercicio.

Es impermeable, liviano y duradero, además está garantizado por un año completo cuando se compra a un distribuidor autorizado de Amazon



Figura 4: SportCount Finger Lap Counter Chrono

Tiene un precio medio en Amazon de 41,29\$ lo que equivalen a 37,16€. Depende número máximo de vueltas que pueden contar y de contar con el modo pausa. Hasta un máximo de 200.

Su precio oscila entre 45,88\$ el más caro y 36,70\$ el más barato, es decir, 41,30€ y 33,03€.

#### 1.4. Programas empleados.

- Solid Edge: empleado para la realización de los planos y modelado 3D.
- Excel: empleado para realizar el presupuesto del prototipo y tablas.
- Ultimaker Cura: empleado en la impresión 3D del prototipo.
- Arduino IDE: Entorno de desarrollo del *software*.
- Mendeley: Referencias bibliográficas.

## Capítulo II. Diseño: Análisis y soluciones.

En la actualidad, la fabricación tradicional basada en utillaje (como el moldeado por inyección y a presión) exige que el diseñador siga un proceso de diseño para la fabricación, es decir, debe tener en cuenta las limitaciones del sistema con el cual trabajará; limitaciones que le imponen diseñar la forma de las piezas de manera que fabricarlas sea fácil y económico. Siendo necesario especificar y cumplir ciertos requisitos técnicos como los que se detallarán más adelante. También, en la medida de lo posible, deberá reducirse la complejidad de la pieza; esto influirá por su parte a la complejidad y el coste del molde necesario para elaborarla. Se tomarán indicaciones para el diseño mecánico y, por último, se van a tomar como referencia las reseñas puestas al producto del punto 1.3.1. para intentar igualar e incluso mejorar las capacidades de nuestro contador [4].

### El diseño [5].

Primero se va a abordar la naturaleza del diseño en general, luego el diseño en la ingeniería mecánica en particular. El diseño es un proceso iterativo de investigación, análisis, pensamiento, conceptualización, visualización, realización de modelos, prototipado, pruebas y perfeccionamiento.

Existen muchos recursos para apoyar al diseñador, entre los que se incluyen muchas fuentes de información y una gran abundancia de herramientas de diseño por ordenador. Se deben analizar las posibilidades de fabricación de la pieza, su geometría, su resistencia mecánica, el grosor de las paredes, etc. Con el fin de optimizar costes, y el tiempo de producción del molde. Este análisis es conocido como DFM (*Design For Manufacturing*) y destacará los aspectos de la pieza, que puedan causar problemas en su proceso de fabricación[6].

### El diseño en la ingeniería mecánica [4].

Algunos autores definen el diseño como la transformación de conceptos e ideas en maquinaria útil. Una máquina es una combinación de mecanismos y de otros componentes que transforma, transmite o emplea energía, carga o movimiento para un propósito específico. Una máquina comprende varios elementos diseñados apropiadamente y arreglados para trabajar en conjunto como una unidad. El objetivo será producir una máquina que no sólo sea resistente para trabajar durante un tiempo razonable, sino que también sea viable de fabricar económicamente.

### Fases e interacciones del proceso de diseño.

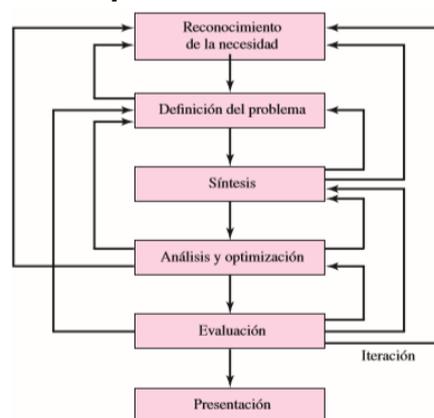


Figura 5: Iteraciones en las fases del proceso de diseño[4]



A lo largo del texto se elaborará este proceso para el caso de estudio de la elaboración de un cronómetro contador de largos para piscina. Todas las fases son explicadas en el Anexo 1.

## 2.1. Requisitos técnicos.

La propuesta de un sistema mecánico, como se explica en el Anexo 1, es solo el principio de la síntesis del proceso de diseño. El diseño adecuado de un elemento de máquina suele comprender los siguientes pasos:

1. Selección del tipo adecuado del elemento de máquina desde una consideración de su función.
2. Estimación del tamaño del elemento de máquina que sea probable para ser satisfactorio.
3. Evaluación del tamaño del elemento de máquina contra los requisitos a cumplir.
4. Y la modificación del diseño y de las dimensiones hasta que el desempeño esté cerca de cualquier punto óptimo considerado más importante.

A continuación, se van a exponer los principales problemas y consideraciones de diseño a tener en cuenta, que se pueden dar en piezas de inyección plástica junto con algunas de las directrices a seguir en su mayor medida en cuanto al diseño de piezas de moldeo por inyección, con el fin de obtener un acabado final que cumpla con los requisitos de calidad establecidos en el diseño[7].

- Material: el primer elemento a considerar es el material con el cual se va a realizar el llenado, si se va a añadir algún aditivo de refuerzo, etc. Las propiedades del material nos van a marcar los gradientes de temperatura admisibles, la densidad del fluido, importante para la velocidad de llenado y las propiedades mecánicas que tendrá la pieza final. En la fase de prototipado como se verá más adelante y específicamente en la impresión 3D se empleará PLA.

- Redondeos en aristas vivas, exceptuando la línea de partición. La finalidad de dichos redondeos es facilitar la fabricación del molde.

- Espesor uniforme: como se ha comentado anteriormente cualquier uniformidad en la pieza puede provocar tensiones internas, una solidificación no uniforme o contracciones no controladas en las piezas. Una pared más gruesa de lo recomendado para una familia de termoplásticos incorrecta, provocará alabeos o hundimientos y rechupes durante el enfriado. Por lo general, el grosor de las paredes deberá ser de 1 a 3,5 mm, aplicándose uniformemente por toda la pieza. Algunos plásticos son más sensibles al grosor de las paredes que otros: el Acetal y los plásticos ABS aceptan un espesor máximo de 3 mm; los acrílicos pueden alcanzar los 12 mm; el Poliuretano, 18 mm; y algunos plásticos reforzados con fibra, 25 mm o más.

- Nervios: al trabajar con piezas no sólidas y cuyo espesor ha de ser el mínimo posible, la colocación de nervios es fundamental para rigidizar la pieza, al colocar los nervios hay que tener en cuenta el efecto de “rechupe”, por lo que convendrá que el espesor de estos sea inferior al del resto de la pieza.

- Ángulos de salida: las caras situadas en la dirección de desmoldeo de la pieza no pueden ser coplanarias a esta, han de tener un pequeño ángulo de inclinación que variará en función del tamaño y forma de la pieza, para así facilitar el desmoldeo natural de esta. Además, las piezas moldeadas por inyección necesitan un ángulo de que facilite la expulsión del molde de la pieza. Una pieza bien diseñada tiene un ángulo de desmoldeo mínimo de 0,5 grados en todas las caras verticales, siendo estas superficies perpendiculares a la línea de apertura. Aunque es preferible dejar entre 2 y 3 grados si el diseño de la pieza lo permite. Se ha de tener en cuenta para ello, cómo va a estar orientada la pieza en el molde o en la plancha si es una impresión 3D.

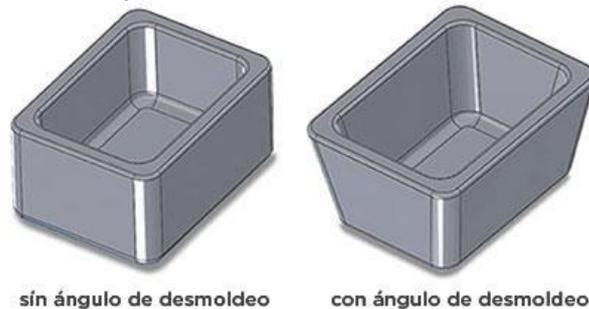


Figura 6: Consideración de diseño ángulo de desmoldeo

- Un error frecuente en las piezas moldeadas por inyección es la solicitud de un acabado superficial mejor del que la pieza necesita. Por ejemplo, un acabado muy liso, brillante, exige el pulido manual de las superficies del molde, lo que aumenta el coste de fabricación del molde y aumenta el tiempo de fabricación. Es más aconsejable un acabado de pieza sin finalidad estética.

- Hay que intentar evitar en la medida de lo posible roscas, elementos internos o salientes laterales que obliguen a hacer un molde articulado y encarezcan el proceso de un modo innecesario.

El estudio de viabilidad técnica tiene como principales objetivos en este proyecto la comprobación de:

- Ser de un material impermeable como PET o ABS. Y que resista las pulsaciones a las que va a ser sometido, así como a la corrosión del agua clorada de las piscinas y a temperaturas medias tal y como se recomienda en el BOE [8].
  - La viabilidad de la fabricación del producto por el método de inyección.
  - El dispositivo debe constar de 3 partes:
    - Accionamiento: el sistema debe ser accionado por el nadador al terminar un largo. Podrá emplearse cualquier tipo de sistema siempre que sea mecánico.
    - Conversor: parte del sistema MLC que convierte el accionamiento del nadador en un incremento de la cuenta de largos completados.
    - *Display*: parte del sistema que muestra al nadador el número de largos (o pares de largos) que lleva completados hasta el momento.
- El sistema debe tener suficiente originalidad y complejidad para justificar el volumen de recursos empleados y ser competitivo funcionalmente con los ya existentes en el mercado.
- Los elementos comerciales que garanticen una correcta estanqueidad.
- Caja de dimensiones 20x20x7 cm aprox.



- El producto estará fijado en uno de los bordes de la piscina, es decir, no debe ser portado por el usuario mientras realiza su actividad.
- Poseerá una correcta visibilidad tanto del objeto como de la pantalla.
- Su electrónica, además:
  - Tendrá modo PAUSA, RESET, ON/OFF.
  - Será capaz de calcular vuelta rápida y tiempo medio.
  - No es necesario que exista un dispositivo en cada uno de los extremos de la piscina, ya que el sistema electrónico está diseñado para que cuente pares de largos.
  - Permitirá cambio de pila por el propio usuario, único componente al que podrá acceder.

A continuación, se va a exponer y explicar el que se ha tomado como requisito técnico más importante: la estanqueidad. Para ello, se tomarán indicaciones de boletines técnicos como el BOE [8], normas como las ISO 6425 y la ISO 2281 [9] para definir las normas internacionales en cuanto a la impermeabilidad o sumergibilidad de los relojes y aparatos acuáticos. Y los sistemas de clasificación establecido por los códigos IP e IK [10]. Todo ello detallado en los Anexos 2,3 y 4.

Según el BOE, y como el producto va orientado a piscinas de tipo 1,2 y 3, los parámetros habrán de estar entre los valores estipulados: En cuanto a la temperatura del agua 24-30°C, de 7,2-8,0 el pH y 0,5 – 2,0mg/L de cloro 2 – 5 mg/L de bromo, dependiendo del desinfectante que se elija. Esto se tuvo en cuenta para la elección del material de la carcasa, las juntas y los tornillos del contador, es decir, todos los que estarán sumergidos total o parcialmente en la piscina. Teniendo en cuenta también el ambiente de humedad en el aire.

### **Concepto de estanqueidad**

Estanqueidad es la cualidad de ser estanco, y a su vez estanco es la incomunicación entre compartimentos. Se denomina junta de estanqueidad o junta mecánica a unos componentes de material adaptable, que sirven para sellar de forma correcta la unión de las caras de los elementos de cierre con el fin de evitar fugas o penetración de fluidos por algún pequeño defecto en el mecanizado o inyectado del material de las carcasas. Las juntas ahorran dinero en el mecanizado de superficies de unión, debido a que hace innecesario que el acoplamiento entre ambas sea totalmente exacto, ya que ésta se deforma adaptándose y corrigiendo los posibles fallos que existan en el mecanizado. El material de las juntas puede ser caucho, silicona, metal blando, corcho, fieltro, un polímero plástico, etc.

Este tipo de dispositivos emplean componentes de tipo electrónico, de forma que su habitáculo debe ser completamente estanco. Esta característica busca facilitar su correcto funcionamiento y que la electrónica no se deteriore.

## Tipos de juntas

Las juntas tóricas son elementos de estanqueidad de doble efecto. El apriete inicial, que actúa en dirección radial o axial, dependiendo de su instalación, confiere a la junta tórica su capacidad de estanqueidad inicial. Estas fuerzas se suman a la presión del sistema, originando una fuerza total que aumenta con el incremento de la presión del sistema.

A grandes rasgos se distinguen dos tipos de juntas, las juntas para garantizar el servicio estático y las juntas para servicio dinámico. Las primeras, son aquellas en las que el elemento sellador no está sometido a ningún tipo de rozamiento dinámico, fricción o movimiento con respecto a otra parte del equipo o maquinaria. Y las segundas, son aquellas que realizan su función durante algún tipo de movimiento de las partes a estanqueizar, ya sea rotativo, axial, etc.

De acuerdo con esto, el tipo de junta que atañe al objeto de estudio, estática con las juntas tóricas de la pantalla de metacrilato y la que irá junto con la tapa de la pila; y dinámica que será la que selle las dos carcasas del contador.

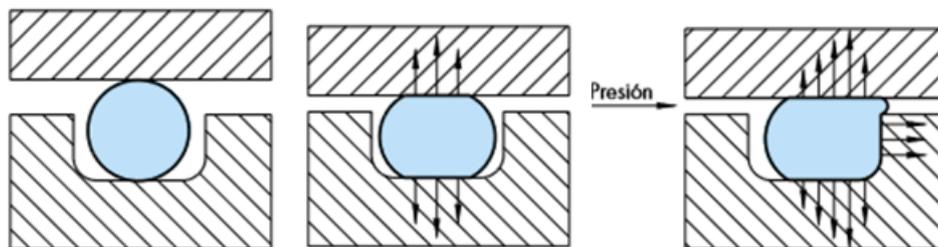


Figura 7: Fuerzas de estanqueidad de una junta tórica con y sin presión del sistema

El efecto hermetizante de la junta tórica se basa en la deformación axial o radial de su sección. Esta deformación se obtiene por un diseño adecuado del espacio de montaje. La fuerza de reacción producida, proporciona la presión de apriete necesaria para la estanqueización. La presión de apriete queda adicionalmente intensificada por la presión del fluido que se trata de estanqueizar, en este caso agua clorada.

## 2.2. Requisitos económicos.

El precio de venta del dispositivo se estipulará después de ser ya inyectado y montado con todos sus componentes definitivos. Pero su precio final de venta debería estar entre 30 y 70€ para ser realmente competitivo.

El coste total unitario del producto deberá incluir el coste de fabricación (mano de obra, materiales y costes fijos relativos a la línea de producción) y de montaje.

El estudio de viabilidad económica estudia la conveniencia de llevar a cabo un proyecto o no, en función de la rentabilidad que se obtenga de los recursos asociados a dicho proyecto. El criterio económico suele ser el objetivo principal de las empresas, y es por ello por lo que este estudio tiene tanta importancia. El concepto de rentabilidad está asociado a la relación entre beneficios obtenidos e inversión necesaria para conseguir dichos beneficios. En este proyecto sólo se estimará un presupuesto para el prototipo incluyendo los elementos comerciales y electrónicos y la cantidad de material empleado.

### 2.3. Desarrollo de la carcasa.

Partiendo de unas medidas similares a las de las luminarias estudiadas en el trabajo [11], que son las empleadas por la empresa Zalux, en concreto similares a las de su modelo Oleveon 2x18. Las conclusiones del mismo comprueban que para lograr la mayor estanqueidad en el interior conviene que el espesor del difusor sea bastante, así como su altura o su módulo elástico buscando el punto óptimo. Esto se tomó de referencia para la junta entre carcasas.

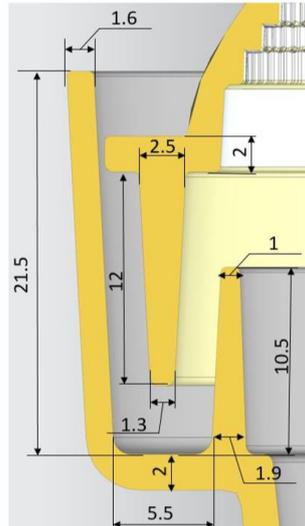


Figura 8: Oleveon FIT 1200 (Sección "estrecha")

Para el tamaño y las dimensiones del contador se han tomado de referencia las de las cajas típicas para conexiones eléctricas, cajas estancas IP65-68. Así como su material, la mayoría están hechas de ABS. Ya que se trata de un material ligero, dotado de alta resistencia a los choques, no absorbe el agua, es difícilmente inflamable y es un aislante eléctrico eficaz.

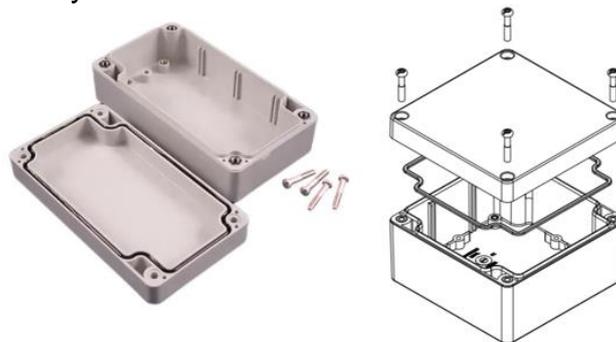


Figura 9: Cajas estancas IP65-68

A la hora de diseñar se dispone de herramientas y recursos como son las herramientas computacionales y la información técnica (de la cual ya se ha hablado previamente al final del punto 2.1.)

Para la confección inicial del prototipo se ha empleado Solid Edge, una herramienta de diseño asistido por ordenador, la cual se pone un poco más en contexto en los párrafos siguientes.



## Diseño asistido por ordenador

El diseño asistido por ordenador o CAD consiste en el uso de programas de ordenador especializados para crear modelos virtuales tridimensionales de dibujos en dos dimensiones de los productos. Existen diversos tipos de programas CAD para una amplia gama de aplicaciones y en diversos sectores industriales. Gracias al uso combinado del ordenador y el dibujo en papel, los diseñadores de productos pueden desarrollar sus ideas de forma más rápida, explorar alternativas y, utilizando el prototipado rápido, crear prototipos exactos.

El CAD permite explorar múltiples conceptos en 3D de forma más rápida, visualizarlos de forma más precisa y suprimir errores de los planos técnicos. Los diseñadores pueden comprobar si los diferentes componentes de un diseño encajan como se espera y luego crear imágenes muy realistas y animaciones de montaje.

En la actualidad el CAD y el prototipado rápido impregnan el diseño, la ingeniería y la fabricación de los productos. Estas tecnologías han mejorado muchísimo la productividad al permitir explorar y llevar más lejos los límites de la forma y de la complejidad visual del producto, evaluar mejor y probar con más precisión sus diseños de maneras hasta la fecha imposibles, y diseñar los productos dentro de unos plazos de fabricación cada vez más cortos. Ambos son empleados por los diseñadores para desarrollar productos desde el concepto inicial hasta la manufactura final.

Una amplia variedad de industrias usa programas CAD 3D para crear modelos:

- La industria médica, para realizar modelos detallados de órganos.
- La industria cinematográfica, para crear y manejar objetos, personajes y entornos en la producción de animaciones y películas.
- La industria de los videojuegos, para elaborar objetos, personajes y entornos.
- El sector científico, para crear modelos de compuestos químicos y biológicos.
- Los arquitectos y los paisajistas, para crear modelos de edificios y paisajes.
- Los ingenieros civiles, para diseñar nuevas estructuras.
- Los ingenieros electrotécnicos, para diseñar circuitos eléctricos y tarjetas de circuitos impresos.
- Los ingenieros mecánicos, para diseñar máquinas y motores.
- Los ingenieros de automoción, en cooperación con ingenieros mecánicos y electrotécnicos, para diseñar coches y dispositivos.

Incluso poseen librerías de componentes corrientes o estandarizados en la industria que pueden usarse en los modelos de ensamblado del producto, evitando así tener que modelar repetidas veces piezas de uso frecuente. Además de realizar estudios mecánicos sobre los ensamblajes o las piezas por separado.

Cada consultoría de diseño y cada fabricante tienen sus preferencias por un programa determinado o por cierta combinación de ellos. Los programas más usados son: Alias Design e Inventor (Autodesk), Xenon (Ashlar-Vellum), CATIA (PTC), Rhinoceros 3D (Robert McNeel & Associates), Solid Edge y NX 8 (Siemens) [5].

## Ingeniería asistida por ordenador

Una de las principales ventajas de utilizar un diseño basado en *software* es la capacidad de implementar cambios de manera fácil y económica. Si se mantiene el diseño principalmente en un formato de *software* para una mayor proporción del ciclo de desarrollo del producto, se asegura que cualquier cambio de diseño que se realice virtualmente en el propio *software* en lugar de físicamente en el producto en sí. Si los problemas solo se detectan después de que las piezas se fabrican físicamente, esto puede ser muy costoso. El CAD 3D se usa en FA para ayudar a visualizar y realizar pruebas básicas en diseños candidatos antes del compromiso a gran escala con la fabricación.

El CAD 3D también está comúnmente vinculado a otros paquetes de *software*, a menudo utilizando técnicas como el método de elementos finitos (MEF) para calcular las propiedades mecánicas de un diseño, conocido colectivamente como *software* de ingeniería asistida por ordenador (CAE). Se pueden calcular las fuerzas, la dinámica, las tensiones, el flujo y otras propiedades para determinar cómo se desempeñará un diseño en ciertas condiciones. Si bien dicho *software* no puede predecir fácilmente el comportamiento exacto de una pieza, para el análisis de partes críticas se usará una combinación de CAE, respaldada con análisis experimental basado en FA.

También existe la posibilidad de uso de CAD con dispositivos táctiles o *Haptic-Based CAD* [5].

Aunque aquí se vaya a empezar hablando del diseño de la carcasa, hay que tener presente que para el diseño final se ha tenido en cuenta la integración del *hardware* en ella a la hora de elegir dimensiones, juntas, etc. Los anclajes de los componentes del *hardware*, o de las ventosas, por ejemplo, la posición de los agujeros y el diámetro de estos, zonas roscadas etc., ya que suelen definir automáticamente ciertas zonas de las nuevas piezas, estas interacciones son fijas y estandarizadas, por tanto, rara vez pueden ser modificables y se toman como uno de los puntos de partida del diseño.

## PROTOTIPO 1



Figura 10: Prototipo 1 final

El prototipo inicial o prototipo 0 simplemente fue una ligera idea o croquis. Ambos consistían en integrar todos los componentes electrónicos en una especie de caja mezcla de luminaria y caja IP68. Con un pulsador que activara la electrónica mecánicamente. Se tuvo en cuenta su perfecta estanqueidad. Para ello se eligieron las juntas que mejor se ajustaban al diseño original, como se

explica en el Anexo 5. Y se diseñaron sus ranuras normalizadas. Otros dos elementos a añadir a la carcasa, serán el metacrilato de la pantalla protectora del LCD y la tapa removible de acceso a la pila.

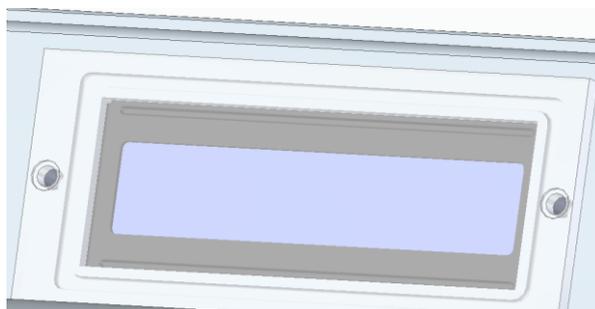


Figura 11: Detalle del metacrilato de la pantalla Prot. 1

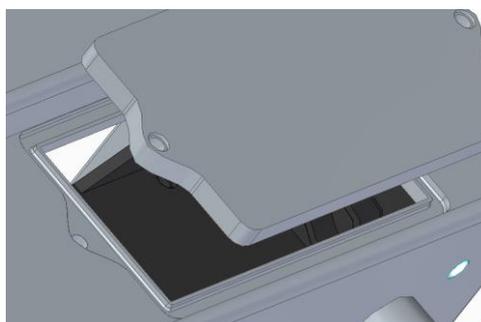


Figura 12: Detalle de la tapa para la pila Prot. 1

El pulsador transmitiría la acción del nadador a través de un pasador protegido por un fuelle [12], y recuperaría su posición gracias a un muelle [13], uniéndose mediante el fuelle el pasador y la tapa. También se podrían añadir, por recomendación del fabricante, abrazaderas a ambos lados. No obstante, es importante redondear todos los bordes de piezas en contacto con el mismo para evitar que se rompa. Las dimensiones de ambos se detallan en las siguientes Figuras:

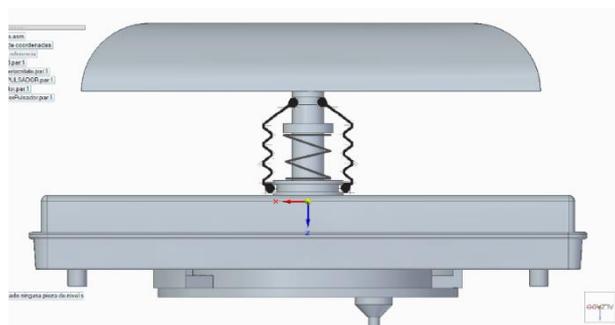


Figura 13: Detalle mecanismo muelle-fuelle Prot. 1

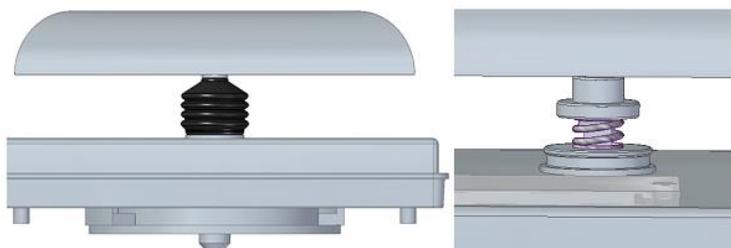


Figura 14: Montaje fuelle-muelle Prot. 1 en CAD

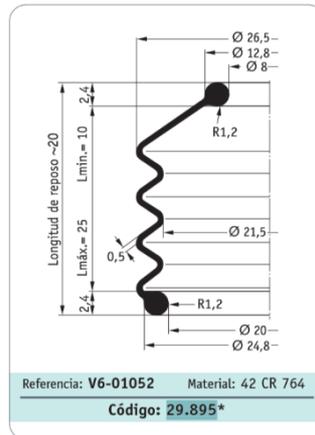


Figura 15: Dimensiones del fuelle Prot. 1 [12]

Ref.	Cantidad expositor	Medidas (mm)
		De × h
MA-44	2	12 × 1
MA-07	3	12 × 1,2
MA-09	2	12 × 1,5
MA-45	2	12 × 2
MA-10	2	13 × 1,5
MA-46	2	13 × 2
MA-47	2	14 × 1,5

Tabla 1: Dimensiones del muelle Prot. 1 [13]

El pulsador está unido a un pasador que atraviesa la tapa y posee un disco en su extremo, sujetado a la tapa por unos soportes en forma de F que a la vez hacen de tope, y que posee el pivote que pulsa el botón.

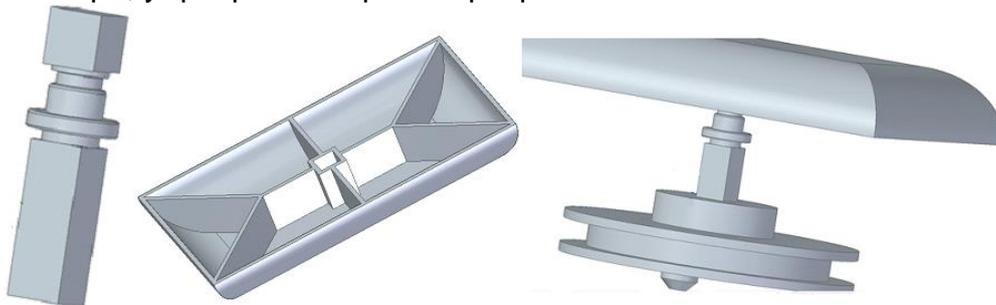


Figura 16: Montaje pulsador Prot. 1

También se dispondrán en la base los soportes para las ventosas que sujetarán el contador a la superficie de la piscina.

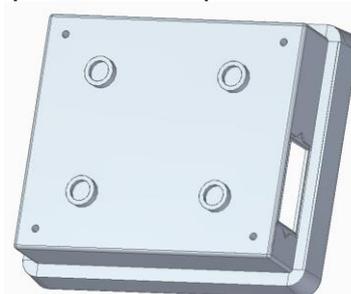


Figura 17: Distribución soportes ventosas Prot 1.

Se realizó un análisis de este prototipo y se realizaron los siguientes cambios para alcanzar lo que se denominó como:

### PROTOTIPO 1.1.

- Se pasó de 3 soportes con forma de F a 2. Con el fin de facilitar el montaje.

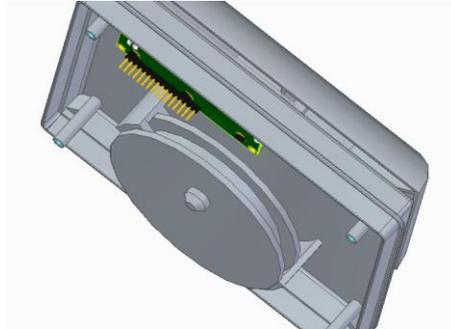


Figura 18: Posicionamiento del pulsador Prot. 1.1

- Se subió el LCD a la tapa mediante sujeciones a la misma, con el fin de facilitar la visibilidad al usuario. Que inicialmente estaba sobre la placa base.



Figura 19: Posicionamiento del LCD Prot. 1.1

- Se centró el *display* del botón para que estuviera lo más próximo a la vertical del pulsador.

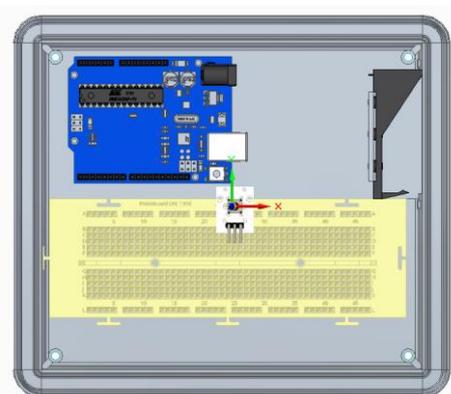


Figura 20: Distribución en planta componentes Prot. 1.1

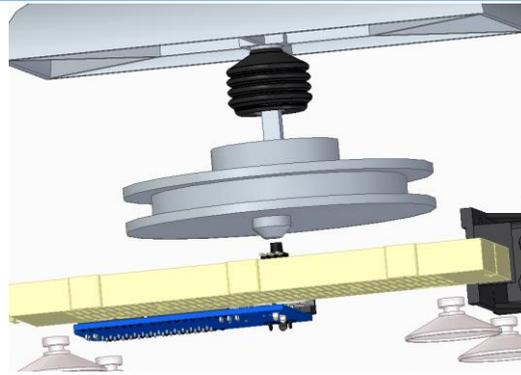


Figura 21: Mecanismo pulsador Prot. 1.1

- Se eliminaron las roscas y se hizo cuadrado el pasador del pulsador, para garantizar su correcto posicionamiento. Además, un roscado encarece el proceso de fabricación.

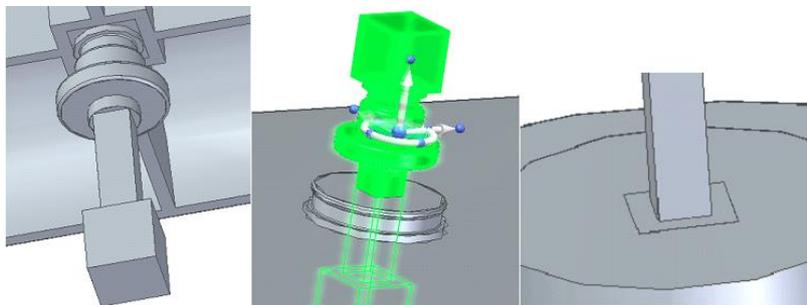


Figura 22: Pasador del mecanismo de pulsación Prot. 1.1

- Se tuvieron en cuenta los ángulos de desmoldeo en las paredes de las carcasas y en los pasadores.

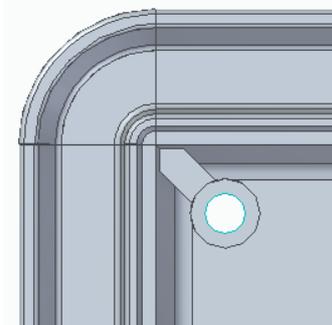


Figura 23: Desmoldeos Prot. 1.1.

## PROTOTIPO 2

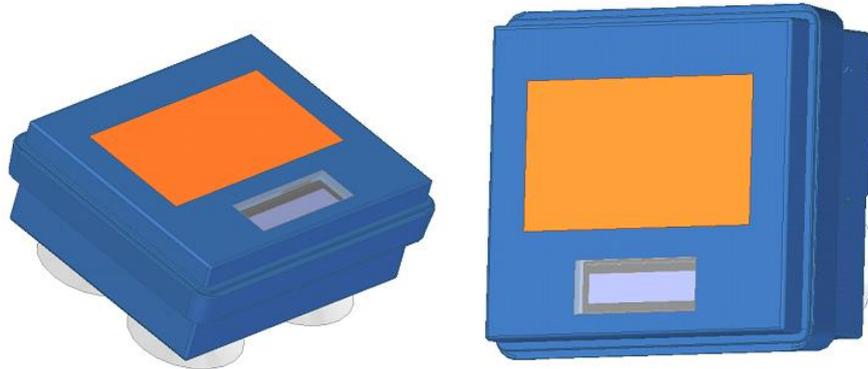


Figura 24: Prototipo 2

En el segundo prototipo se cambió la forma de fabricación de la tapa, ya que se integró el pulsador en ella mediante una doble inyección, de la que se hablará en el Capítulo IV.

- Se sustituyó todo el mecanismo de pulsado por un pulsador que irá integrado a la tapa mediante doble inyección o inyección multicomponente. Para ello se hicieron dos rebajes en ambos lados de la tapa, para alojar el polímero de la segunda inyección, lo que hace más efectiva la estanqueidad. Al ir embebido junto con una capa de grosor de 1 mm de la tapa se consigue que al pulsar sobre el primero la tapa baje, asemejándose a una viga biempotrada, su flecha máxima dependerá del material de la tapa y proporciona el juego con el *display* del botón. Esto ya se verá con más profundidad en el Capítulo V. Por eso, es muy importante que tanto el pulsador como el botón estén centrados para que toda la fuerza que realice el usuario se concentre y haya una distribución tensional correcta, para garantizar que el botón es pulsado correctamente. Esto se comprobará en el estudio de viabilidad técnica del Capítulo V. Para ayudar también al aliviado de tensiones las esquinas de las ranuras se redondearon.

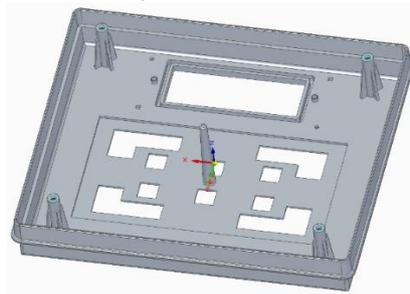


Figura 25: Tapa Prot. 2.0

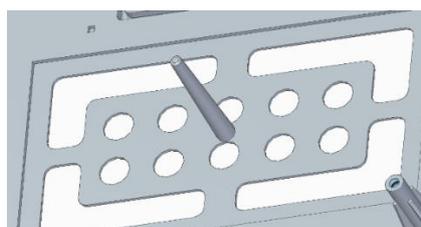


Figura 26: Tapa Prot. 2.1.

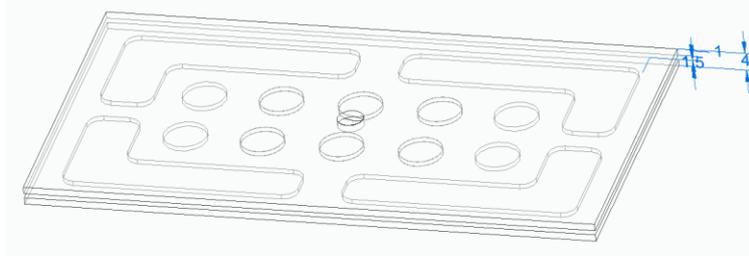


Figura 27: Detalle del pulsador inyectado

- Se centró el *display* del LCD en la longitud de la tapa, se le creó un soporte personalizado que lo fija a la tapa mediante pasadores de diferente forma, garantizando la correcta orientación de la pantalla y la estanqueidad ya que no se perfora por completo la tapa. Esta pieza no debe formar parte de la tapa, sino que se monta después de encajar la tapa de metacrilato de la pantalla, facilitando, de esta forma, el montaje de esta última. Es muy importante aquí la tolerancia entre el soporte y la tapa, la recomendable para piezas encajadas hechas por impresión 3D es de 0,15mm.



Figura 28: Soporte LCD



Figura 29: Integración del LCD en la tapa Prot. 2.1.

- Se montó la pantalla de metacrilato desde el interior para que quedara enrasada por fuera. Se puso también dentro la cavidad para la junta tórica de estanqueidad. Como también se puede observar en la siguiente Figura los orificios de la tapa para el soporte del LCD son de diferente forma y alternos para garantizar el correcto montaje.

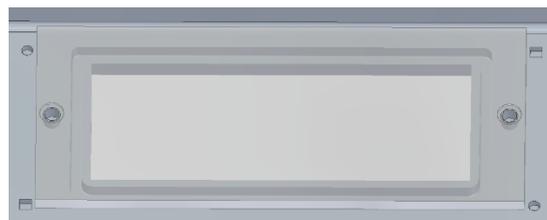


Figura 30: Pantalla de metacrilato sobre la tapa Prot. 2.1.

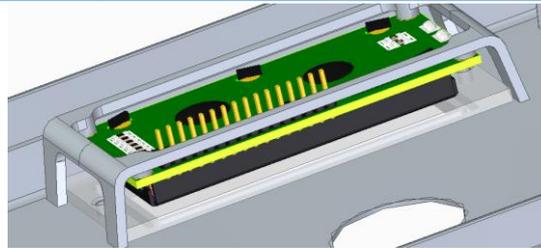


Figura 31: Montaje de la pantalla Prot. 2.1.

- Se hizo un soporte en el que el *display* del botón va encajado y que ayuda a elevarlo por encima del resto de componentes electrónicos y a centrarlo para favorecer su pulsado. Esto entró en conflicto con la posición original del Arduino, por lo que se cambió su orientación y finalmente, por comodidad y estética se desplazó hacia el centro la placa de soldar, junto con sus respectivos apoyos de sujeción. Así se favoreció la línea de desarrollo futura de abrir un puerto USB por el lateral, para que el usuario pueda programarle más funciones al Arduino.

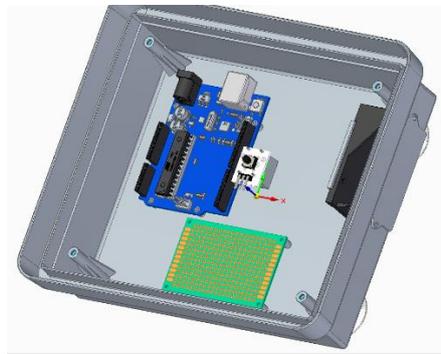


Figura 32: Distribución en planta Prot. 2.1.

- Finalmente, este soporte se sustituyó por 4 pasadores dos de ellos perforados para unir el botón mediante tornillos. Se ganó así estabilidad en el mismo y se evitó acumulación de material a la hora de la inyección del plástico, que como se ha visto con anterioridad, perjudica mucho el enfriamiento regular del polímero. Inicialmente se pusieron muy finos distribuidos para evitar el pandeo, pero se desechó esta opción.

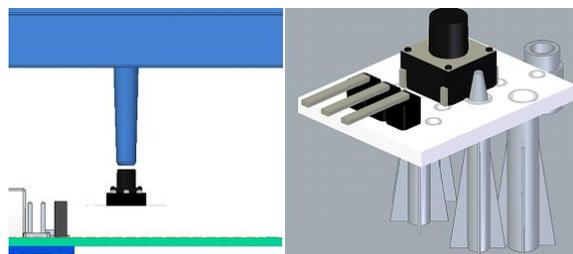


Figura 33: Disposición display botón Prot. 2.1.

- Se sustituyó la protoboard por una placa de soldar, para reducir el peso, el espacio interno ocupado y el precio del prototipo. Ya que una placa perforada común podría situarse en la línea del tiempo entre un montaje de un prototipo en una breadboard y un montaje en una placa con circuitos impresos profesional.

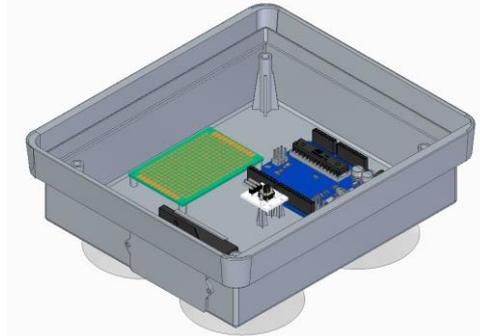


Figura 34: Disposición de la base Prot. 2.1.

- Se hicieron nuevos desmoldeos de los pasadores de unión tapa-base. Siendo roscados los de la tapa y pasantes los de la base, favoreciendo la fabricación.

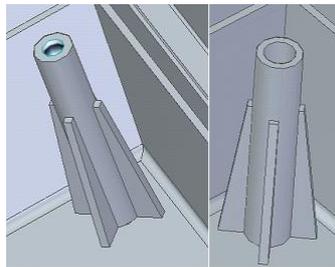


Figura 35: Pasadores Prot. 2.1.

### Colores de los materiales de la carcasa.

El color es un aspecto fundamental dentro del diseño, por lo que la tonalidad de los materiales empleados en el exterior del contador no se eligió aleatoriamente. Se tomaron dos colores complementarios. Los colores complementarios u opuestos son aquellos que están enfrentados directamente en el círculo cromático. Si se superpone uno de estos colores sobre un fondo de su opuesto, se completará el espectro visible con lo que se consigue un contraste máximo. Este tipo de armonía de combinación de colores se utiliza mucho si se quiere conseguir fijar la atención o un fuerte contraste.

También se tuvo en cuenta la reducida visibilidad dentro del agua, dependiendo de este factor el color tendrá una visibilidad u otra: cuanto más luz natural mejor.

Finalmente se eligieron: el naranja para el plástico de sellado del pulsador y el azul para el armazón exterior del contador. El azul a su vez es el color predominante en casi todas las piscinas, así se favorece el camuflado de la carcasa y se centra toda la atención en el pulsador. Como se puede comprobar en la siguiente Figura son opuestos en el círculo cromático.

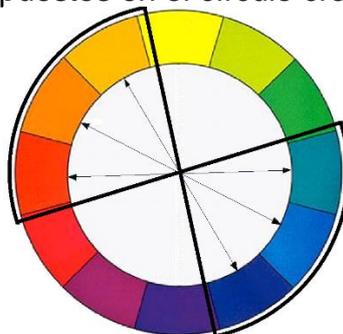


Figura 36: Círculo cromático

Se decidió hacer un análisis DAFO para elegir el mejor prototipo partiendo del segundo y de una futura comercialización. Es una herramienta de estudio de la situación real de una empresa, proyecto o persona, analizando sus características propias (**D**ebilidades y **F**ortalezas) y su entorno (**A**menazas y **O**portunidades) en una matriz cuadrada, y así y planear una estrategia y/o tomar una decisión de futuro.

Fortalezas	Debilidades
Fácil de usar por el usuario. Diseño más compacto y robusto. Menos elementos comerciales. Fabricación más sencilla. Menor peso.	Antecesoros con escaso éxito en el mercado. Ambiente corrosivo de trabajo. No se añade al precio total el de las baterías.
Oportunidades	Amenazas
Grandes posibilidades de programación del <i>software</i> . No hay gran competencia en el mercado. Precio competitivo y reducible aún más. Se pueden reducir sus dimensiones aún más.	No está suficientemente desarrollado. No ha sido testado en piscinas. Aún no se puede conectar a dispositivos inalámbricos.

Tabla 2: Análisis DAFO del prototipo

## PROTOTIPO FINAL



Figura 37: Prototipo final renderizado:

Los planos de todos los componentes realizados se han adjuntado en el Anexo 6.

## 2.4. Desarrollo del *hardware*.

El objetivo del *hardware* es el de dar apoyo físico al *software*, permite realizar las funciones implementadas en este caso el Arduino UNO. La distribución de todos los componentes físicos ha sido una de las bases del desarrollo de todo el contador. Por ejemplo, el giro del Arduino en el segundo prototipo abrió una línea de investigación futura, como es la posibilidad de que el usuario acceda a programarlo o a sus datos, a través de un lateral como en el caso de la pila.

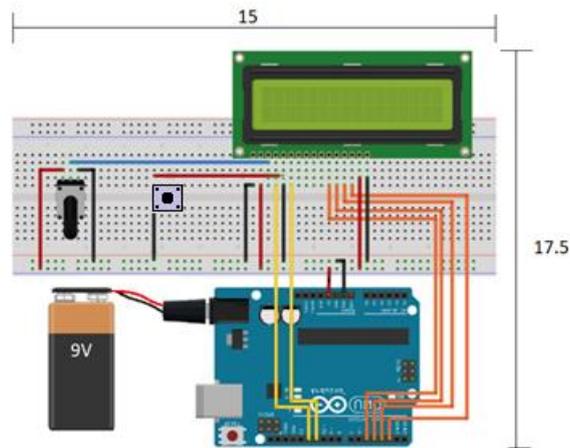


Figura 38: Esquema de la disposición del hardware

Se partió de estas dimensiones, muy básicas, pero útiles para una primera aproximación. Es por eso que en futuras investigaciones el tamaño de la caja pueda ser mucho menor, tanto cambiando el Arduino UNO por Arduino NANO como la placa perforada por un circuito impreso. Igualmente sucederá con el precio.

A continuación, se va a explicar un poco cada elemento del *hardware*, su función y su distribución:

**Arduino UNO** alimentado con una pila de 9V, dimensiones 8x5.5x2.5 cm, peso 40.8g, (también dispone de conexiones para 3.3 V, 5V y 12V).

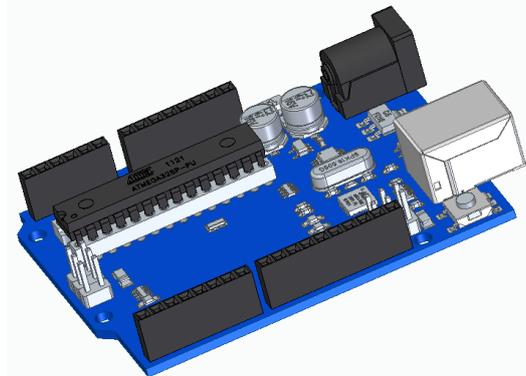


Figura 39: Arduino UNO en CAD

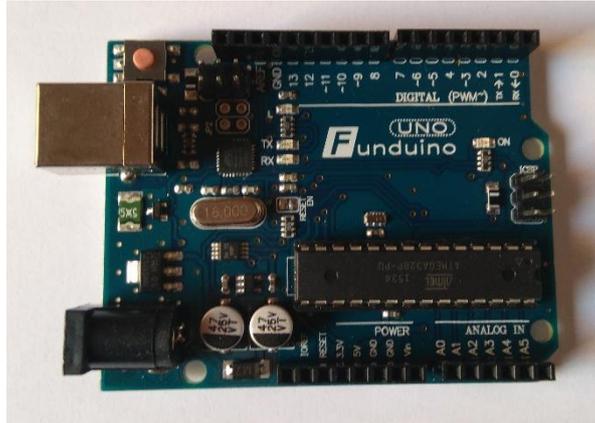


Figura 40: Arduino UNO usado en el prototipo

Se eligió Arduino UNO como controlador ya que es ideal para iniciarse en el mundo de la programación, es decir, su modo de empleo es sencillo, y es uno de los modelos principales usado en tutoriales y trabajos de este tipo. Posee una amplia biblioteca y acceso directo a otros componentes en la página web [www.prometec.net](http://www.prometec.net). No obstante, se hablará más ampliamente de él, así como de sus funciones, en el Capítulo III.

El **display LCD 16x2** será donde el usuario vea el tiempo de los dos últimos largos y de su vuelta más rápida. La pantalla LCD será alimentada con la pila de 9V, sus dimensiones son 8x3.5cm, su peso 30g, muestra 2 líneas de 16 caracteres, opera con 5V y su consumo máximo es de 25mA. Además, Arduino permite ajustar el brillo y la intensidad luminosa de la pantalla LCD. Irá atornillada al soporte que encaja en la tapa; y estará protegida por una placa de metacrilato atornillada y una junta tórica introducida en la ranura de la tapa.

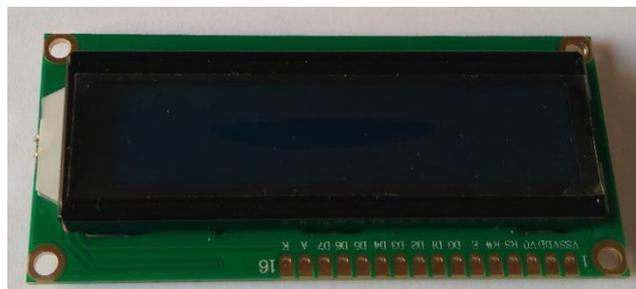


Figura 41: Display LCD usado en el prototipo

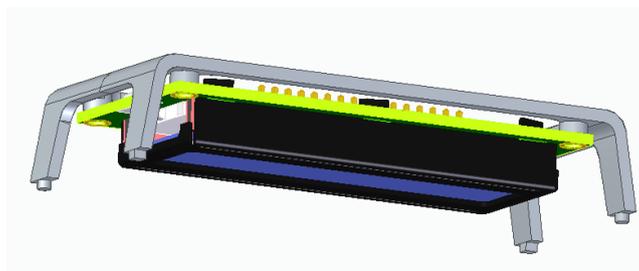


Figura 42: LCD en sus soportes

Para alimentar ambos componentes era necesario una fuente de electricidad y al tratarse de un entorno de trabajo con agua conectarlo a la red era inviable. Se optó por una **pila de 9V**, dimensiones 48.5x26.5x17.5 mm y peso 30 g. Alojada en un **portapilas** con un conector *Jack*. Ambos estarán protegidos de la humedad

y el agua por una tapa atornillada en el lateral de la base y que hará de tope para una junta tórica. La pila como se ha dicho anteriormente la tendrá que poner el usuario.

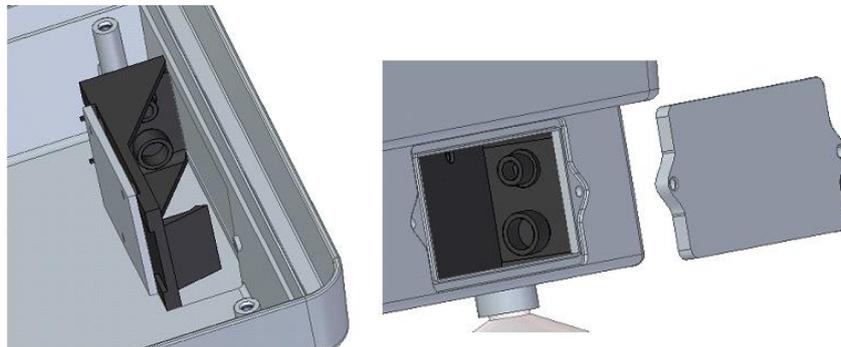


Figura 43: Montaje portapilas



Figura 44: Alimentación del Arduino UNO

Todo el circuito será activado por un **botón N/A** o normalmente abierto, atornillado a la base y accionado por el pulsador de la tapa.

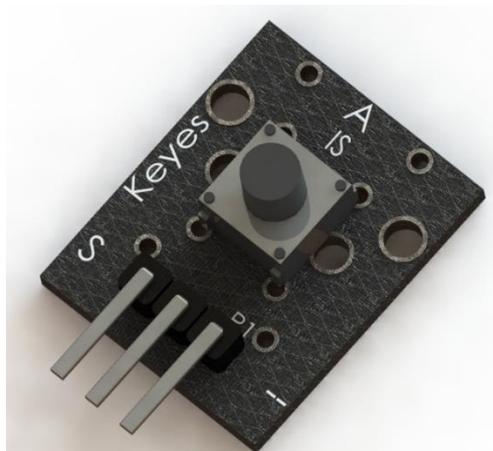


Figura 45: Botón N/A

El montaje del circuito se realizará con cables enganchados en una **placa perforada**, aunque inicialmente se pensó en una **protoboard**. La primera sería como el paso intermedio antes de pasar a los circuitos impresos. En principio tanto el LCD como el botón estaban unidos a ella, pero se decidió separarlos y cambiar de placa, para que el LCD se viera mejor al ir pegado a la tapa y el botón estuviera centrado; además de la reducción de peso y espacio.

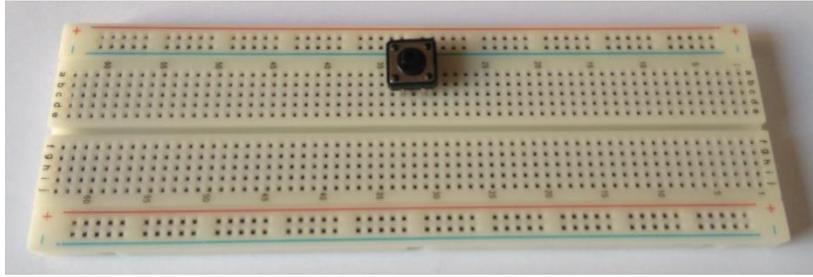


Figura 46: Placa base y botón N/A

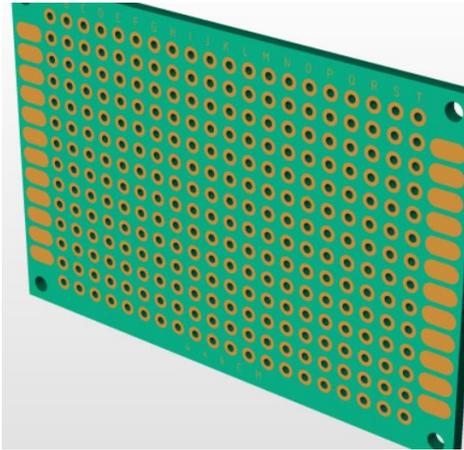


Figura 47: Placa soldada

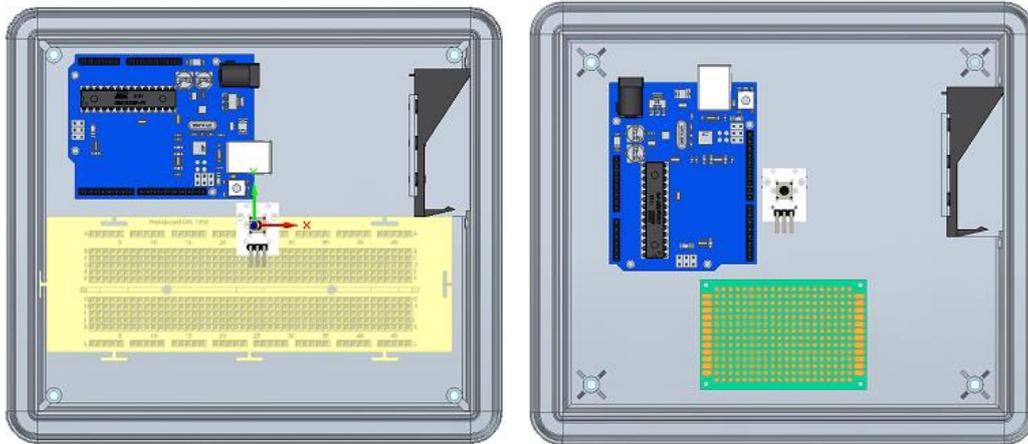


Figura 48: Distribución del hardware en el Prot.1 vs Prot.2

Por último, estaría el elemento de “seguridad” dentro del propio circuito que será el **potenciómetro de 50k $\Omega$** .

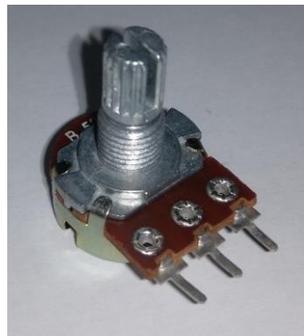


Figura 49: Potenciómetro de 50 k $\Omega$

## Capítulo III. Desarrollo del *software*.

En este capítulo se va a hablar íntegramente de la placa de Arduino UNO y las funciones que realizará en el prototipo. Además de por qué se eligió para el proyecto.

### 3.1. Introducción a Arduino.

Arduino es una plataforma que aúna *hardware* y *software* libre, fácil de usar y flexible. Además, alrededor de Arduino gira una comunidad de desarrolladores muy extensa en continuo movimiento, que desarrollan librerías y demás recursos que todo el mundo puede utilizar.



Figura 50: Placa de Arduino UNO

El objetivo de Arduino es simplificar el uso de electrónica y programación de microcontroladores para hacerla accesible a un mayor número de personas. Todos los productos, tanto de *hardware* como de *software*, son liberados con licencia de código abierto, lo que permite su uso, copia y modificación gratuita.

El *hardware* en sus placas de desarrollo se compone de una PCB con un microcontrolador, pines para acceder fácilmente a los puertos de entrada y salida (tanto digitales como analógicos), los cuales se utilizan para conectarse con otros circuitos, e incluso se pueden conectar a placas de expansión (*shields*), que amplían las características de funcionamiento de la placa Arduino. Además, posee un puerto de conexión USB por donde se puede alimentar la placa y comunicarse con un ordenador para programar el microcontrolador.

Las características principales de este componente se pueden consultar en el Anexo 7.

Se estudió la posibilidad de utilizar un Arduino UNO, para ello se tuvieron en cuenta varios factores. Por un lado, el número de pines de entrada y salida en la placa, limita mucho las opciones y periféricos que se pueden añadir al contador. Se estimaron suficientes para este caso.

Por otro lado, el Arduino UNO es de los más accesibles en cuanto a precio, y sus dimensiones y su peso no se consideraron excesivos. Esto ayuda a reducir las dimensiones del contador y por tanto del material empleado y de su precio final. Por todas estas razones se consideró como más recomendable la opción del Arduino UNO.

### 3.2. Funcionalidades electrónicas.

Cuando se habla de entorno de desarrollo, se refiere a una aplicación o programa que facilita al desarrollador o programador el desarrollo de un *software* determinado. El entorno de desarrollo facilita la edición, compilación y carga a la placa determinada del código o programa que se suele denominar “*sketch*”. Como ya se ha comentado anteriormente, una de las grandes ventajas de la plataforma Arduino es que trabaja con licencias libres, por tanto, ofrece su propio entorno de desarrollo integrado (IDE) de forma totalmente gratuita y facilita su descarga a través de la propia página web oficial. Fue en esta aplicación en la que se desarrolló el código; el cual se encuentra en el Anexo 8, así como las explicaciones precisadas del mismo.

La principal función del Arduino es la de controlar y que trabajen a unísono todos los componentes del *hardware*. La disposición de éste sería similar a la de la Figura 38. A parte de esa función también:

1. Tiene la función de cronómetro.
2. Memoriza el largo actual y el más rápido, y los muestra en la pantalla.

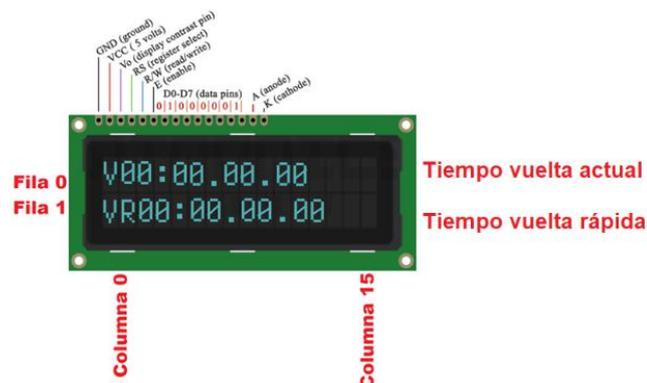


Figura 51: Simulación del largo 0 y cómo se mostraría en la pantalla

3. Memoriza y muestra el número de largos totales.
4. Pulsando 4 segundos seguidos el pulsador entra en el modo de bajo consumo y apaga la pantalla.
5. Al volverlo a encender resetea los tiempos y el número de largos.



## Capítulo IV. Elaboración del prototipo mediante fabricación aditiva.

En este capítulo se recogen los aspectos más destacables de la FA y el PR, se explican los conceptos fundamentales para entender esta tecnología, se describen las ventajas frente a procesos convencionales de fabricación; y centrándolo en el modelado deposición por hilo fundido ya que fue la tecnología escogida para la elaboración del prototipo del contador de largos.

La FA (Fabricación Aditiva) ha revolucionado el sistema de fabricación tradicional usado en la actualidad suprimiendo las restricciones de diseño (ya no se usan utillajes). Las piezas podrán ser tan complejas como el diseñador desee, sin que ello incida en el precio del producto. Pero este documento se va a centrar en las futuras limitaciones que puedan surgir en su posterior fabricación mediante inyección de plástico. Para ello es fundamental apoyarse en tecnologías o herramientas de diseño asistido por ordenador (CAD/CAM/CAE), tanto para el diseño como para el desarrollo de estos productos. Las fases de identificación de la necesidad, diseño, fabricación y prueba de un producto deberán estar correctamente planificadas [14].

Por último, se detallarán los procesos de fabricación y montaje del prototipo.

### 4.1. Introducción a las técnicas de PR y FA.

El término Prototipado Rápido (PR) se usa en la industria para describir un proceso por el cual se crea rápidamente un sistema o una representación parcial antes del lanzamiento o comercialización final. En otras palabras, el énfasis está en crear algo rápidamente y que el resultado sea un prototipo o modelo base del cual se derivarán otros modelos y, finalmente, el producto final. Entre los beneficios del PR se encuentra el ahorro de tiempo y dinero durante el desarrollo del producto, la reducción de cambios en la producción de utillaje e incluso, para ciertos materiales y aplicaciones, la posibilidad de eliminar por completo la necesidad de utillaje [15].

Existen diversas definiciones:

“El prototipado rápido, podemos definirlo como la manera más rápida de obtener una réplica exacta tridimensional de un diseño generado mediante aplicación CAD en 3D. Estos modelos físicos pueden ser únicamente estéticos y útiles para el estudio del mercado potencial al que van dirigidos, o pueden cumplir con algunas o buena parte de los requerimientos mecánicos que tendría la pieza definitiva, ofreciendo en este caso la posibilidad de realizar pruebas funcionales y de homologación antes de que existan ni siquiera los moldes preliminares.” [16].

“El prototipado rápido es una tecnología impulsada por el diseño por ordenadores que producen partes por medio de archivos de descripción geométrica en horas e incluso minutos. El PR ha sido de gran ayuda especialmente en el diseño de la visualización y en la detección rápida de errores de diseño. Por ejemplo, una pieza fundida con una pared excesivamente delgada se detecta fácilmente cuando se sostiene en la mano su modelo sólido, una sutileza difícil de reconocer cuando se observa el dibujo de una parte en la pantalla bidimensional del ordenador.” [4].

“El término prototipado rápido (PR) se refiere a diversos procesos empleados para fabricar modelos y componentes de productos a partir de datos CAD de modelos realizados por ordenador. Normalmente se entiende por PR la creación de piezas tridimensionales de prototipos, pero el término también puede aludir a la creación de prototipos hechos con materiales laminados mediante sistemas automatizados que utilizan datos CAD 3D.” [5].

#### THE BASIC PROCESS

- STEP 1 - Create a CAD model;
- STEP 2 - Converting the CAD data to STL format;
- STEP 3 - Slicing the STL file into thin cross-sectional layers. Generation of a support structure;
- STEP 4 - Producing the model layer-by-layer. Postprocessing.

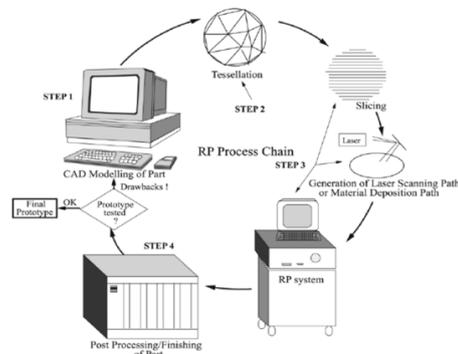


Figura 52: Proceso básico de PR

A finales de los años 80 aparecieron las primeras tecnologías capaces de fabricar piezas añadiendo el material por capas partiendo de un fichero CAD 3D del modelo geométrico. El objetivo de estas tecnologías era fabricar rápidamente y de forma automática un modelo geométrico del producto para su validación en las primeras etapas del diseño, es decir un prototipo. Dada su aplicación y como herramienta de marketing para vender equipos, al conjunto de estas tecnologías se las denominó *Rapid Prototyping* (Prototipado Rápido).

En los siguientes años se realizaron desarrollos en distintos ámbitos, se mejoró la precisión de los equipos y se aumentaron las potencias de las fuentes de energía, mejorando la resolución, acabados superficiales y tolerancias. También fueron apareciendo nuevos materiales y nuevas tecnologías que seguían el mismo principio de fabricación capa a capa. Al ofrecer más posibilidades se empezaron a fabricar piezas, productos y utillajes totalmente funcionales. A partir de ese momento, estas tecnologías no solo se utilizaban en la fabricación de prototipos sino en otras aplicaciones, debido a esto, se acuñaron los nombres de *Rapid Manufacturing* (Fabricación Rápida) y *Rapid Tooling* (Utillaje Rápido) junto al de Prototipado Rápido. Es decir, existían tres grupos de tecnologías con el mismo principio de fabricación, clasificadas en función de su aplicación:

- *Rapid Prototyping*: conjunto de tecnologías que normalmente fabrican capa a capa prototipos. Por ejemplo: Esterolitografía, SLS (Sinterizado Láser Selectivo), etc.
- *Rapid Manufacturing*: conjunto de tecnologías que normalmente fabrican capa a capa piezas. Por ejemplo: FDM, SLM ó EBM.
- *Rapid Tooling*: conjunto de tecnologías que normalmente fabrican capa a capa moldes y utillajes. Por ejemplo: SLM para fabricar moldes con canales de refrigeración adaptados a la huella de la pieza.

En 2009 se formó un comité científico ASTM para normalizar la designación de estos procesos de fabricación. Se denominó con Fabricación Aditiva al conjunto de las tecnologías que fabrican geometrías solidas (productos, utillajes,



prototipos, etc.) añadiendo el material en capas a partir de información electrónica.

De esta forma las anteriores designaciones y clasificaciones de las tecnologías según su aplicación son incorrectas, aunque se debe remarcar que existe aún cierta tendencia, para los que no están familiarizados con las tecnologías, a denominar a estas tecnologías como Prototipado Rápido.

También según la ASTM Standard F2792 12a, 2012 “Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies,” la Fabricación Aditiva o *Additive Manufacturing* (AM), como se conoce internacionalmente, consiste básicamente en manipular material a escala micrométrica y depositarlo de forma muy precisa para construir un sólido. Definiéndola como el proceso de unir materiales para hacer objetos a partir de datos del modelo 3D, generalmente capa tras capa, en oposición a las metodologías de fabricación sustractivas [17].

La tecnología de FA surgió como resultado de desarrollos en una variedad de diferentes sectores tecnológicos. Las mejoras en el poder de procesamiento de datos y la reducción en los costos de almacenamiento masivo allanaron el camino para procesar las grandes cantidades de datos típicos de los modelos modernos de CAD 3D dentro de plazos razonables. La FA aprovecha al máximo muchas de las características importantes de la tecnología informática, tanto directamente (en las propias máquinas FA) como indirectamente (dentro de la tecnología de soporte), que incluyen: Potencia de procesamiento, capacidad gráfica e Internet.

### **Usos del PR**

El PR permite a los diseñadores la creación rápida de representaciones físicas exactas de los conceptos de diseño, de modo que pueden verlos y tocarlos como objetos del mundo real. Los diseñadores pueden comprobar la apariencia, el encaje y el funcionamiento correctos de estos objetos antes de que el cliente o el fabricante emprenda el costoso proceso de elaborar el utillaje y los moldes para la producción en masa. Estas comprobaciones también evitan retrasos en el lanzamiento de venta al público previsto de los productos, los prototipos rápidos tienen distintos usos [5]:

- Evaluaciones internas de los diseños.
- Pruebas físicas del encaje/montaje, funcionamiento y ergonomía del diseño.
- Esclarecimiento de los cambios del diseño.
- Presentaciones a clientes.
- Sondeos de la reacción del mercado ante los nuevos productos mediante grupos de discusión.
- Evaluación de la demanda entre los clientes en ferias comerciales antes de elaborar el utillaje para la producción.
- Obtención de presupuestos de los fabricantes.
- Creación de los modelos para la producción de los moldes de silicona.
- Creación de los modelos de fundición a la cera perdida y a la arena.
- Utillaje de moldeo por inyección.
- Como guía visual para los que fabrican el utillaje.
- Como piezas de sustitución mientras que no se dispone de las piezas reales.



Fortalezas	Debilidades
Libertad de diseño. Proceso muy automatizado. Uso relativamente sencillo. Modelos físicos que hacen fácil la detección de errores. Creación de prototipos en poco tiempo y con bajo coste. No necesita moldes u otras herramientas. Producción de residuos casi nula.	Rango limitado de materiales disponibles. Precisión moderada en la mayoría de procesos. Pobres calidades superficiales. Los productos pueden resultar frágiles. Se puede producir efecto de escalonamiento en paredes verticales. Los sistemas de alta precisión son caros.
Oportunidades	Amenazas
Impulsará la innovación y el desarrollo de productos en las industrias médica, aeroespacial y automotriz. Las regiones tendrán acceso a productos que no se puedan producir con sus tecnologías existentes. Las compañías nacionales pueden competir con compañías globales en diseño y producción. Menor impacto ambiental al reducir el transporte. Una opción para el diseño dirigido por el consumidor.	Depende mucho del rendimiento de la industria de fabricación. Las recesiones en ésta le afectarán gravemente. Fuerte poder de los proveedores de materiales. Avances en tecnología CNC. El avance en la simulación 3D puede afectar la necesidad de PR. El bajo costo de las impresoras 3D puede suponer una amenaza para las fábricas.

Tabla 3: Análisis DAFO del PR

### Ventajas de la fabricación aditiva

Además de permitir volúmenes de fabricación bajos a precios económicos, la FA hace posible combinar en una pieza partes que tradicionalmente se harían por separado. Bisagras y engranajes que se realizaban uniendo piezas separadas pueden también elaborarse en un solo proceso.

Una de las principales ventajas de la FA sobre los procesos tradicionales es que el diseño tiene muy pocas restricciones. Puesto que la complejidad de las partes no afecta al coste de la producción y el proceso no requiere moldes ni fundición, las imposiciones son muy pocas, aparte de la necesidad de garantizar que la cantidad de material empleado para crear una pieza sea la mejor para el funcionamiento de la misma, y que el diseño se optimice de acuerdo con el sistema de FA empleado. No es preciso tener en cuenta la posición de las líneas de junta que presentan las superficies de las piezas de moldeo y fundición allí donde se unen los componentes creados por las herramientas o moldes. La libertad de diseñar según los requisitos del cliente y no en función de las limitaciones de la fabricación, también implica que el diseño de componentes funcionales puede optimizarse para evitar el uso de material innecesario, reduciendo así el peso de producto. Éste es un aspecto clave, por ejemplo, en la industria aeroespacial, en la que ahorrar unos kilos de peso puede traducirse en reducciones significativas del consumo de combustible [18].

Para resumir, se destacan entre las ventajas que ofrece frente a otras tecnologías:

- La posibilidad de obtener geometrías más complejas y personalizadas.
- La relativa independencia entre formas geométricas.
- Diseño aligerado de las piezas.
- Método de fabricación bajo demanda.

- Impacto ambiental reducido por la menor demanda de transporte y embalaje.

Entre las desventajas destacan:

- El alto coste para series grandes en comparación con otros métodos.
- Reducido abanico de materiales colores y acabado superficiales.
- Menor precisión que otras tecnologías.
- Características mecánicas y térmicas limitadas.
- Dimensiones de productos obtenidos limitadas.

En el Anexo 9 se realiza una clasificación de los procesos de FA atendiendo a varios criterios. A continuación, se detallará la usada para fabricar el prototipo de este trabajo, el FDM.

### Modelado por Deposición Fundida (FDM)

Nació en los años 90 como un proceso PR basado en la extrusión de un material para formar un producto capa por capa. El primer sistema comercial fue introducido en 1991 por Stratasys Inc., EE. UU, está basado en hacer pasar un filamento de material de aporte, por una boquilla. El filamento es empujado hacia ella por una rueda y este empuje es el que genera la presión de extrusión. El material se funde y se extruye a través de dicha boquilla. Ya enfriado se solidifica completamente, sobre la capa anterior en la que se apoya, para que pueda resultar una estructura sólida. Una vez que se completa una capa, la máquina reorienta la boquilla para producir una nueva capa.

La boquilla debe ir recorriendo en trayectorias más o menos complejas toda el área que en cada capa corresponde a material sólido. Si la presión permanece constante, el material extruido resultante fluirá a una velocidad constante y seguirá teniendo una sección transversal de diámetro constante. Este diámetro permanecerá constante si el recorrido de la boquilla también se mantiene a una velocidad constante que corresponde a la velocidad de flujo. El espesor de cada capa se debe encontrar entre 0,05 – 0,75mm. Siendo el primero la tolerancia mínima de este tipo de tecnología. En este caso es suficiente ya que lo mínimo serían los 0,15mm de tolerancia necesarios en las piezas encajadas.

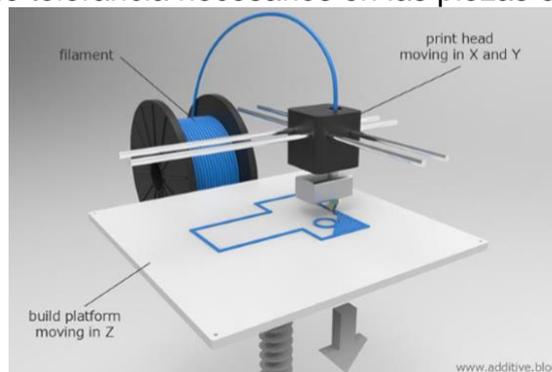


Figura 53: Máquina de FDM simple

Esta tecnología necesita soportes que se realizan en el mismo material y por tanto son tan resistentes como la propia pieza, que a posteriori serán eliminados, dejando marcas visibles.

Hay máquinas que disponen de varias boquillas y varios cargadores de carretes de hilo, con lo que pueden fabricar piezas de distintos colores, aunque no pueden mezclarlos.

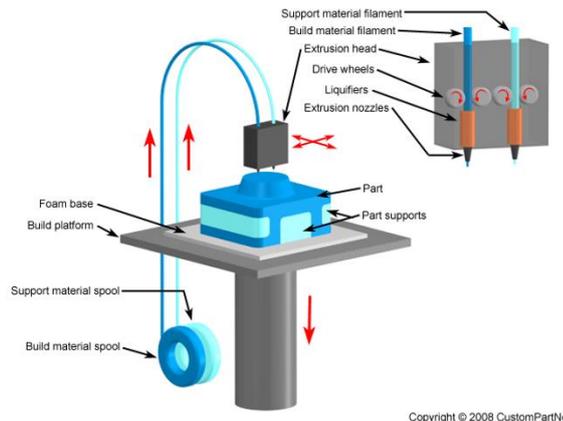


Figura 54: Máquina de FDM de doble boquilla

Los sistemas que se comercializan no requieren personal altamente cualificado, son bastante autónomos y necesitan un escaso mantenimiento. Son por otro lado procesos lentos, lo que penaliza mucho su productividad, y la calidad superficial de los modelos es muy baja en comparación con otros procesos de FA.

Entre los fabricantes de tecnologías de FDM podemos encontrar a *Stratasys*, *Dimension Printing*, *Beijing Yinhua Co. Ltd*, *BQ*, *Creality*

Los materiales usados para este tipo de procesos suelen ser termoplásticos como el ABS, elastómeros, cera de fundición, PLA. Aunque también se pueden destacar otras posibles aplicaciones de FDM:

En procesos de fabricación de piezas cerámicas. En particular, FDM puede usarse para extruir pastas cerámicas que pueden solidificarse rápidamente. Las piezas resultantes se pueden calentar usando un horno de alta temperatura para fusionar y densificar las partículas cerámicas. Las piezas resultantes pueden tener muy buenas propiedades con las características de complejidad geométrica de los procesos de FA.

Y la bioextrusión, que es el proceso de creación de componentes biocompatibles y/o biodegradables que se utilizan para generar marcos, comúnmente conocidos como "andamios", que actúan como anfitriones de las células animales para la formación de tejidos (ingeniería de tejidos). Tales andamios deben ser porosos, con microporos que permitan la adhesión celular y macroporos que brinden espacio para que las células crezcan. Sin embargo, la mayoría de la ingeniería de tejidos todavía está en fase de investigación y sobretodo su efectividad dentro de escenarios clínicos [19].

A modo de resumen, las principales virtudes e inconvenientes son:

- Resulta muy rápido para artículos pequeños y delgados, pero para artículos grandes y de gran grosor es lento.
- Las propiedades mecánicas efectivas de las piezas hechas con esta tecnología; se encuentran entre las más fuertes para cualquier proceso de FA a base de polímeros.
- Se pueden usar para conceptualización y prototipos funcionales para pruebas.



- Permite usar múltiples colores del mismo tipo de termoplástico en el mismo modelo.
- Pobre acabado superficial ya que con los sistemas de soporte hechos del mismo material que el material de construcción, se producirán daños en la superficie donde se unieron estos soportes al separarlos.
- Materiales y volumen de impresión limitados.
- En términos de velocidad de construcción, precisión y densidad de material, tienen una opción de espesor de capa de 0.078 mm, pero esto solo está disponible con la máquina de mayor costo y el uso de este nivel de precisión conducirá a tiempos de construcción más largos.
- Baja precisión, es imposible dibujar esquinas externas afiladas ya que todas las boquillas son circulares; habrá un radio equivalente al de la boquilla en cualquier esquina o borde.
- La forma de los bordes depende de la boquilla, las características de aceleración y desaceleración, y el comportamiento del material a medida que se solidifica.
- La velocidad de un sistema FDM depende de la velocidad de alimentación y la velocidad de trazado. La velocidad de alimentación también depende de la capacidad de suministrar el material y la velocidad a la que la máquina puede derretir el material y alimentarlo a través de la boquilla.
- El sistema de trazado normalmente se construye utilizando una disposición de tornillo de avance para garantizar un movimiento preciso. Los sistemas de menor costo pueden usar transmisiones por correa, pero la flexión en las correas lo hace menos preciso.

En la siguiente Tabla se puede ver una comparativa de la tecnología FDM con otras tecnologías de base sólida:

	LOM	FDM	MJM	JPM Systems 5
Láser	SI	NO	NO	NO
Espesor de capa	0,05 - 0,5mm	0,05 - 0,75mm	0,013 - 0,099mm	1mm máx.
Materiales	Papel, celulosa, materiales de fibra reforzada, plástico.	Termoplásticos, elastómeros, ABS	Termoplásticos.	Papel adhesivo.
Rapidez	Buena	Regular	Muy buena	Regular
Ventajas	Los materiales son relativamente baratos, además de ser artículos con gran precisión.	Alta durabilidad y el material es muy barato.	Alta durabilidad, alta productividad, modelos con alta calidad superficial, producción de piezas complejas.	La tecnología más barata de prototipado rápido.
Desventajas	Forma intensiva de cómo es retirado el producto de la plataforma, contamina.	Proceso muy lento.	Modelos imprecisos.	Es muy imprecisa, no permite la creación de modelos a gran escala ni muy complejos.
Aplicaciones	Industria aeroespacial, automotriz, médica.	Modelos para conceptualización y prototipos funcionales para pruebas.	Modelos conceptuales, joyería.	Diseños preliminares, investigaciones y proyectos educativos.

Tabla 4: Comparativa de las tecnologías de base sólida más importantes

En la siguiente Tabla se compara la tecnología FDM unas de las tecnologías aditivas más usadas:

	SLA	SGC	SLS	LOM	FDM
<b>Tecnología</b>	Polimerización	Polimerización	Sinterización	Corte Laminado	Deposición de hilo
<b>Láser</b>	SI	NO	SI	SI	NO
<b>Tamaño máximo de las piezas (cm)</b>	19x19x25 25,5x25,5x25,5 51x51x60	35,5x51x51	diámetro 30x38	25,4x33x38	30,5x30,5x30,5
<b>Precio (€)</b>	95.000 185.000 385.000	490.000	350.000 a 400.000	75.000	180.000
<b>Materiales</b>	Fotopolímeros	Fotopolímeros	PVC, policarbonatos, nylon y ceras	papel, poliester y nylon-celulosa	ceras, ABS y plástico tipo nylon
<b>Ventajas</b>	Tecnología más madura; rápido; precisión del 2%	Mayor precisión; mejores propiedades mecánicas; no hacen falta soportes	Material más barato; más variedad de materiales; no hacen falta soportes	Precisión hasta 0,1%; de 5 a 10 veces más rápido que otros métodos; material más barato	Material más barato, no huele, no hacen falta soportes; más rápido que el SLA
<b>Desventajas</b>	Los modelos son traslúcidos y quebradizos, algunas partes requieren soportes	Es el equipo más caro, complejo y de mayor tamaño	Tolerancias del 5%; el proceso es más nuevo; salvo el PVC todas las piezas tienen un aspecto laminado	Deformaciones en las láminas	Apariencia granulada.

Tabla 5: Comparativa de las tecnologías de FA más usadas

#### 4.2. Proceso de elaboración del Prototipo 3.0.

La mayoría de los procesos de FA implican, al menos, los siguientes ocho pasos, como se ilustra en la Figura 55 [15]. Todos ellos se explican detalladamente en el Anexo 10.



Figura 55: Los 8 pasos de un proceso de FA genérico [15]

### PROCESO DE FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO 3.0

Se implementa la impresora CR-10S desde la base de datos del programa del programa Ultimaker Cura, sus especificaciones se recogen en el Anexo 10 Tabla 28.

Se selecciona el material PLA de 1,75mm de diámetro con una temperatura recomendada de impresión por el fabricante de 205 °C. Y resolución estándar, explicada en el Anexo 10.



Figura 56: Parámetros iniciales en Ultimaker Cura

Se carga la pieza deseada al espacio gráfico de la aplicación gratuita Ultimaker Cura.



Figura 57: Parámetros de material y velocidad de impresión en Ultimaker Cura

La cama caliente, es un elemento imprescindible si se quiere imprimir con una gran variedad de plásticos, ya que, al depositar el filamento fundido, si la superficie sobre la que se hace está fría, este no tendrá una buena adherencia y terminará despegándose, además de combarse por la gran diferencia de temperatura entre su extremo caliente y la cama.

Tan solo se va a poder imprimir PLA sin utilizar la cama caliente, para el resto de los filamentos es algo casi indispensable. En cuanto al material, como es PLA se considera la temperatura de 205°C como óptima y se habilita la opción de retracción, es decir, que la impresora retraerá el filamento de la tobera cuando ésta pase por un área no impresa. También se subió a 70 mm/s la velocidad de impresión para reducir el tiempo total.

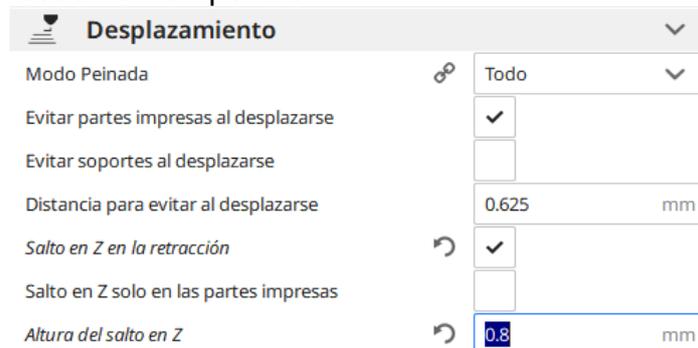


Figura 58: Parámetros de desplazamiento en Ultimaker Cura

Se activó la opción de salto en Z en la retracción para que baje la placa de impresión cada vez que la tobera se desplaza, por lo que se crea una holgura entre ellas, lo que reduce las posibilidades de que la tobera y la impresión se toquen.

## Impresión de las piezas

Como en la base no hay piezas encajadas unas en otras la altura de capa no tiene por qué ser tan fina como la ponen por defecto, es por eso que se aumentará hasta 0,25 mm, en el caso de la tapa en la que se encaja el soporte del *display* LCD la calidad superficial recomendada en la literatura es de 0,15mm. Luego el grosor de la pared que la propia impresora hace para delimitar el perímetro se ha bajado a 0,9mm.

Calidad	
Altura de capa	0.25 mm
Perímetro	
Grosor de la pared	0.9 mm
Recuento de líneas de pared	2
Grosor superior/inferior	0.8 mm
Grosor superior	0.8 mm
Capas superiores	4
Grosor inferior	0.8 mm

Figura 59: Parámetros de calidad y perímetro en Ultimaker Cura

La densidad de relleno es muy importante en este caso de la base ya que llevará tornillos y éstos necesitarán material donde agarrar, aparte de que toda la carcasa de contador estará sometida a pulsaciones y precisa de ser robusta.

Relleno	
Densidad de relleno	70 %
Patrón de relleno	Triángulos

Figura 60: Parámetros del relleno en Ultimaker Cura

Se activó la casilla de generación de soportes, muy útiles en superficies horizontales y huecos, se bajó su densidad ya que ese material al final se retirará. Y se aumentó el ángulo de voladizo para que la máquina no los realice en sitios innecesarios.

Soporte	
Generar soporte	<input checked="" type="checkbox"/>
Colocación del soporte	Tocando la placa de...
Ángulo de voladizo del soporte	60 °
Patrón del soporte	Zigzag
Densidad del soporte	5 %

Figura 61: Parámetros para los soportes en Ultimaker Cura

## Tapa pila

Se imprimió la tapa de la pila en primer lugar.



Figura 62: Parámetros de la tapa de la pila



Figura 63: Resultados finales de la tapa de la pila

Para los soportes del LCD se vuelve a poner una calidad superior, es decir, se disminuye el alto de capa a 0,15mm. Es por esto que no se ha imprimido al mismo tiempo que la tapa de la pila, porque estos llevarán mejor calidad.

Se redujo la anchura de capa de adherencia a la paca de impresión ya que en la primera prueba se observó que era excesiva y así también se redujo el tiempo de impresión.



Figura 64: Parámetros de adherencia a la placa de impresión

## Soportes para el LCD:

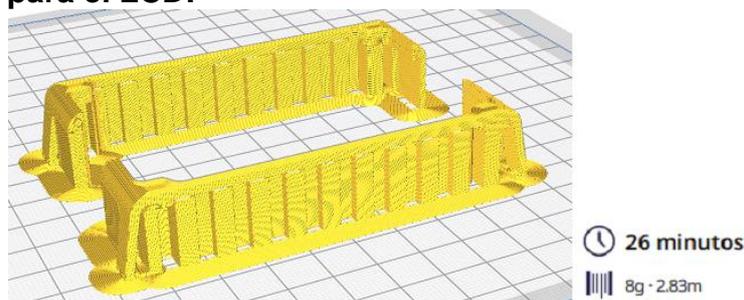


Figura 65: Parámetros de la primera impresión de los soportes

Se quiere mejorar la calidad de la impresión. Ya que da muchos fallos de acabado, y es muy frágil hasta para quitar los soportes en el post acabado como se puede ver en las Figuras de la 66 a la 70. Por lo que se optó por cambiar su orientación a la hora de apoyarse sobre la placa, lo que redujo el número de soportes y mejoró la calidad de la pieza. Y además se redujo el material necesario.

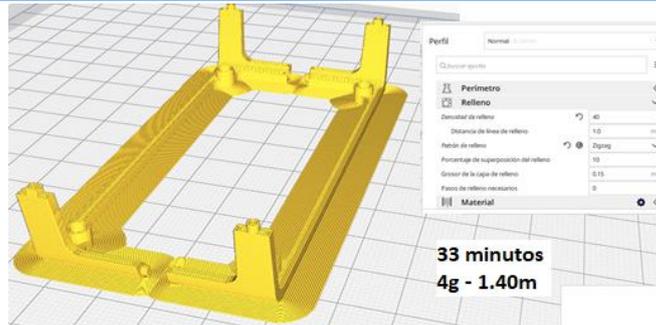


Figura 66: Parámetros de la segunda impresión de los soportes

### Errores en los soportes:



Figura 67: Rotura del orificio para el tornillo

Rotura del orificio para el tornillo, mal acabado de los extremos de las juntas, mala fusión de las capas.



Figura 68: Rotura en el extremo de la unión

Rotura en el extremo de la junta, debido a la unión pieza-soporte poco definida.



Figura 69: Baja resolución de capa

Poca definición o nula forma de los orificios, mejor detalle de la no unión de capas, excesivo grosor de las mismas.

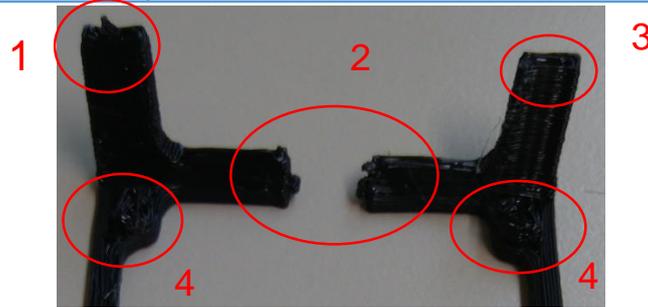


Figura 70: Errores de impresión en los soportes

- 1: Mal acabado del extremo de la junta soporte-tapa.
- 2: Simetría mal realizada.
- 3: Rotura del extremo de la junta soporte-tapa, por no diferenciarse el soporte con la cama y la pieza.
- 4: Nulo o inexistente acabado superficial en los orificios.



Figura 71: Combado de los soportes

Comparación de la curvatura del pórtico de la primera impresión, respecto del soporte definitivo.

#### Tapa:

Dado que la tapa recibirá las pulsaciones se aumentó la densidad de relleno y se puso en patrón triangular que le otorga mayor resistencia mecánica, lo opuesto al de los soportes, en zigzag para favorecer su retirada.

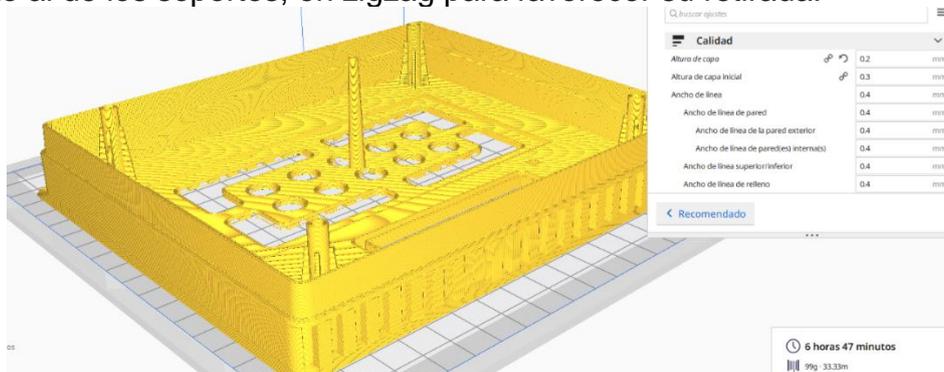


Figura 72: Parámetros de impresión de la tapa de la carcasa

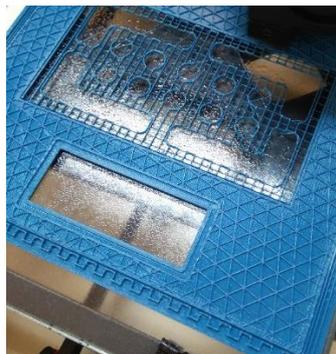


Figura 73: Diferencia entre el patrón de relleno y el de soporte

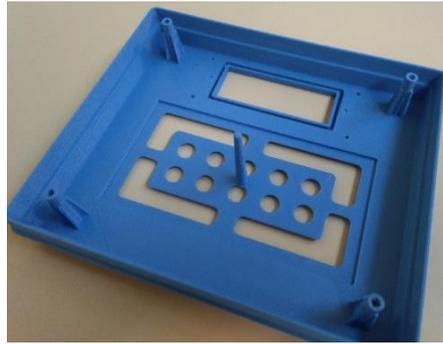


Figura 74: Aspecto final de la tapa tras su limpieza

## Base:

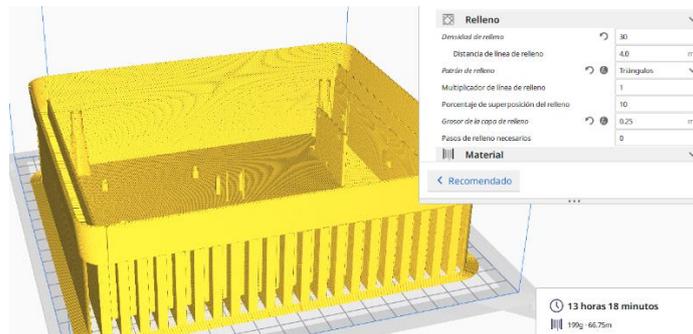


Figura 75: Parámetros de impresión de la base

Del mismo modo que antes, se le puso mayor densidad de relleno a la base, el relleno en forma triangular le dio más resistencia y robustez.

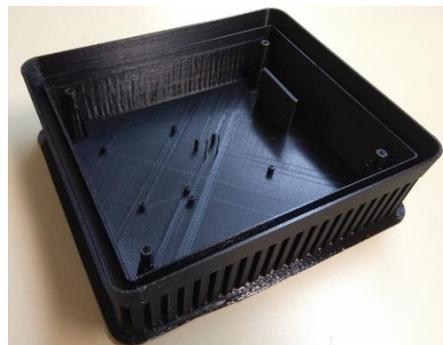


Figura 76: Aspecto final de la base del Prot. 2

## Cambios de diseño necesarios (Prototipo 3.0):

Los segundos pasadores de apoyo del *display* del botón eran demasiado delgados de grosor para la impresora así que el resultado final fueron unos hilos de PLA muy frágiles e incluso salieron torcidos y sin los triángulos que facilitan el desmoldeo en inyección. Por esto, se decidió cambiar de orificio los pasadores que al ser más gruesos compensarían el posible balanceo del *display* o el pandeo al estar más próximos a los dos que van con tornillo.

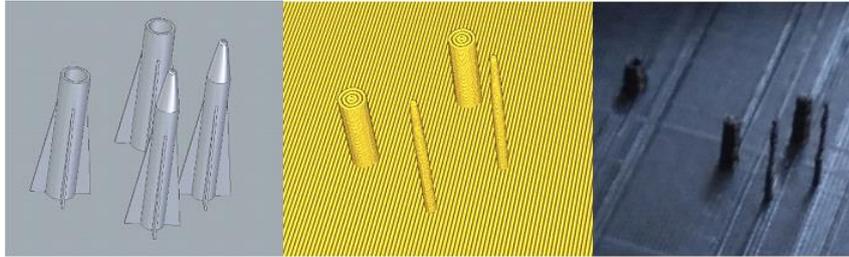


Figura 77: Proceso de impresión del soporte del botón Prot. 2

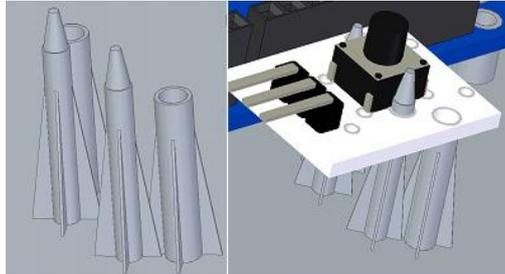


Figura 78: Cambios en los soportes del botón Prot. 3

Se amplió el tamaño de los soportes para las ventosas y se centraron más. También se suprimió la métrica del pasador para ampliar su tamaño, ya que su acabado tras la impresión no fue el correcto, Figuras 78-79, se preferirá realizar las roscas con un punzón macho; y se acortó su longitud casi 2mm, tanto para evitar deformaciones en su impresión como para favorecer el ajuste en la junta tapa-base.

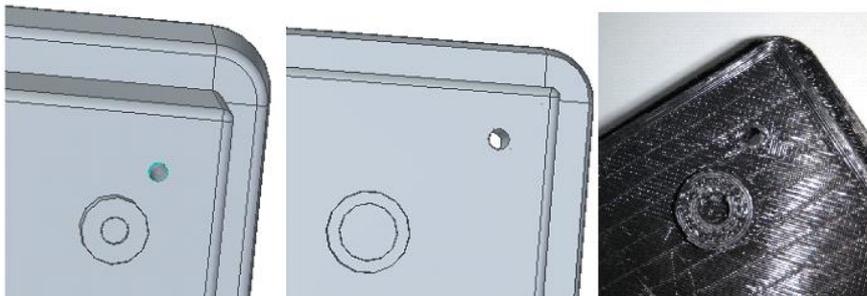


Figura 79 : Cambios en los soportes de las ventosas Prot.3

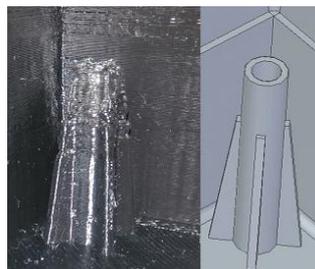


Figura 80: Cambios en los pasadores de la base Prot. 3

En la foto de la izquierda se puede apreciar la mala calidad de la estructura y de su superficie, así como que le falta un trozo porque en el manejo del prototipo se depredió el extremo superior.

Los fallos de impresión no sólo se obtuvieron en elementos pequeños sino también en la propia carcasa. Como se puede observar a continuación el ajuste entre ambas no es el correcto para una estructura estanca, y están desviadas. Y la base presenta una deformación en una esquina porque la pieza no se adhirió bien a la placa de la impresora ya que no consta de cama caliente. Todo esto

puede ser debido a la contracción del polímero en su secado o algún escalonamiento superficial.

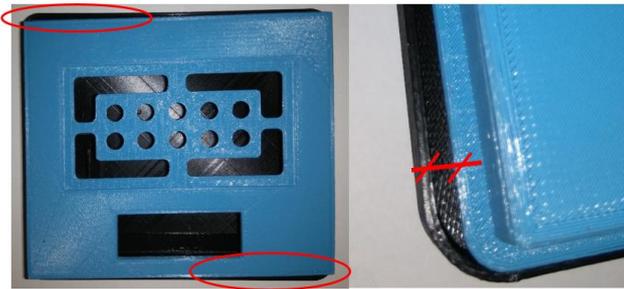


Figura 81: Desajuste en el encaje de la carcasa Prot. 2

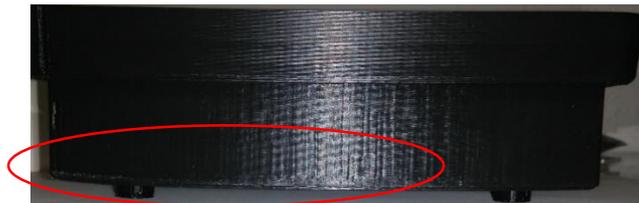


Figura 82: Comado de la base, por separación de la placa de impresión

Dado que el resultado final del ajuste entre la tapa y la base del prototipo no fue la correcta se optó por rediseñar la base y por imprimirla de nuevo. Con los cambios que se han enumerado en las líneas anteriores. Se engrosaron también los bordes de la junta para crear un mejor encaje.



Figura 83: Diseño final de la base del Prot. 3

También se ajustaron de nuevo varios parámetros de impresión y se volvió a imprimir la base.

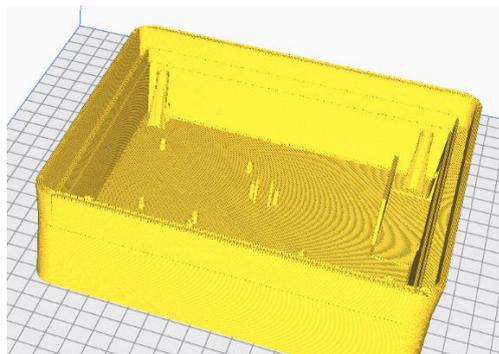


Figura 84: Base del Prot. 3 en Cura

Tardó 17 horas y 30 minutos.

Se consumieron 178 gramos de material.

**Material PLA total empleado:**  $99+6+8+4+199+178 = 494\text{g}$

**Material PLA total prototipo:**  $99+6+4+178 = 287\text{g}$

### 4.3. Montaje final.

Tras eliminar todos los soportes de apoyo de todas las piezas se pasó a montar todo. Se empezó por la base, a la que se atornillaron la placa de Arduino Uno y el porta-pilas, también su tapa; la cual al rellenar el hueco para la junta tórica con pegamento termofusible quedó completamente sellada. Este tipo de cola por lo general, no sirve para conseguir uniones estéticas, pero es muy útil para prototipos y zonas que no se ven. El PLA se puede pegar con cola termofusible, lo único que se debe tener en cuenta es que a partir de los 60-70°C se empieza a ablandar la barra de pegamento, así que hay que tener cuidado con no derretir las zonas de las piezas a unir.

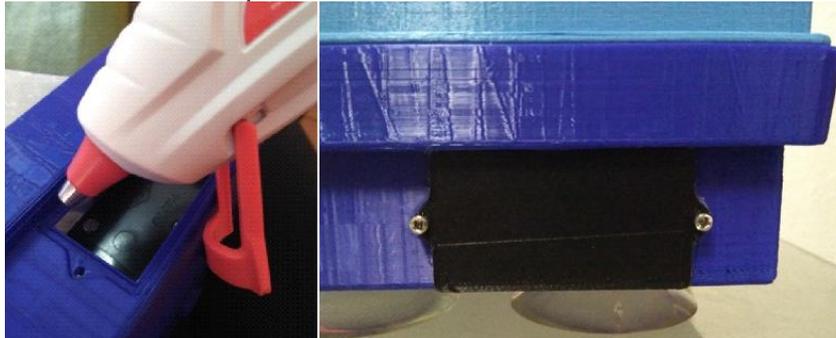


Figura 85: Montaje de la tapa de la pila

Seguidamente, para la tapa, se atornilló el LCD en sus soportes, los cuales se unieron por el sistema de pasadores que se les proporcionó. Y se taladraron los orificios con un taladro de columna para facilitar que los tornillos penetrase sin romper las piezas.



Figura 86: Taladro de columna



Figura 87: Montaje del display LCD



Se cortaron las dos piezas de metacrilato para la pantalla y se limaron porque el corte de la sierra mecánica de la Figura 88 no fue muy preciso.



Figura 88: Sierra mecánica

El más pequeño se colocó encajado en el hueco de la pantalla; el grande se pegó al primero y se sujetó a la tapa del mismo modo que en la otra ranura, con pegamento termofusible. También se podrían haber taladrado y atornillado a la tapa, pero se prefirió esta opción por la debilidad mostrada por el metacrilato. Encima de ellos irá por último el montaje del LCD encajado en los huecos dispuestos para ello.

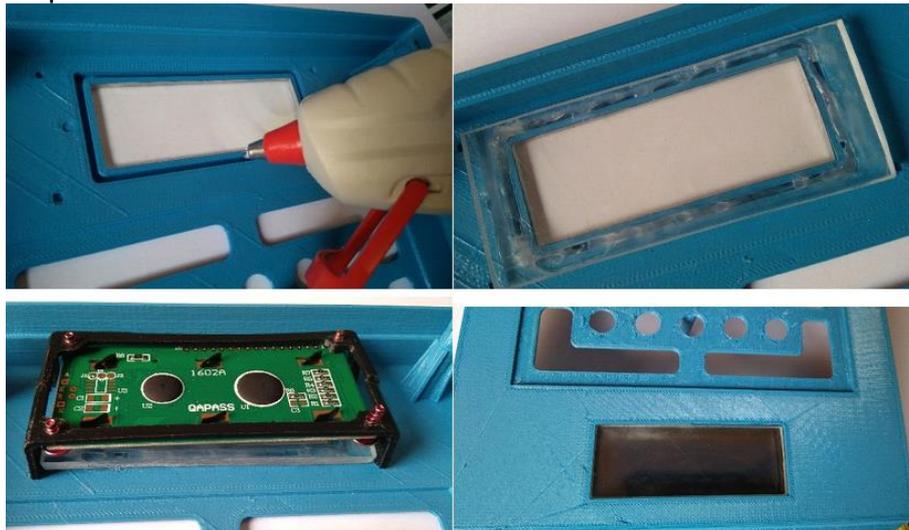


Figura 89: Montaje pantalla LCD en la tapa

Se roscaron los extremos de la tapa donde enroscarán los pasadores con varios machos de roscar métrica 4.



Figura 90: Roscado de los pasadores de la tapa

Se recortaron y pegaron dos rectángulos de unas láminas de silicona a modo de simulación del caucho inyectado en la doble inyección para el pulsador.

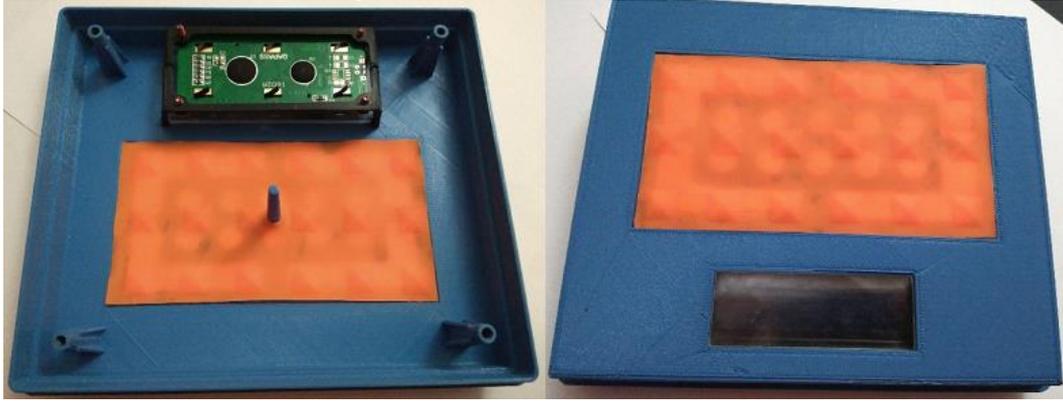


Figura 91: Montaje final del pulsador

Por último, se unieron las dos carcasas con los pasadores roscados de 45mm y se colocaron las ventosas en sus soportes.

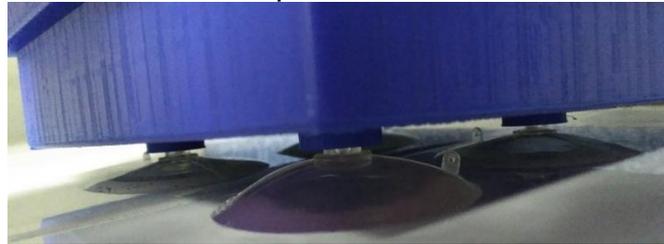


Figura 92: Ventosas en la base

Resultado final:



Figura 93: Prototipo final montado



## Capítulo V. Estudio de viabilidad.

Como ya se ha ido exponiendo, uno de los objetivos futuros era el de que el producto final pudiera ser fabricado por medio de inyección. Posteriormente se concluyó una mejora; que la base fuese por inyección normal y la tapa junto al pulsador por doble inyección. Sin descuidarse su precio de cara al público.

Para ello en este capítulo se van a realizar dos estudios de viabilidad de forma estimativa.

El primero económico, que simplemente expondrá un presupuesto con los elementos usados para el montaje del contador y estimará si mediante la fabricación en serie, puede ser un producto competitivo en el mercado.

El segundo, será un estudio de viabilidad técnica; se explicarán el proceso de inyección y el de doble inyección y los requisitos necesarios de una pieza para ser fabricada por estos métodos. Se comprobará que las ventosas soportan el peso del contador a la pared de una piscina y que su número es el correcto, y por último, se hará un análisis por el método de elementos finitos (MEF) del pulsador para comprobar que el material y su rigidez son las correctas; y así confirmar que el botón puede ser pulsado.

### 5.1. Presupuesto.

#### **Costes directos**

Mano de obra directa:

Los costes de mano de obra directa corresponden al salario de todas las personas relacionadas directamente con el proceso de elaboración del proyecto. Contando en este caso los meses de trabajo equivalentes, estimando las horas empleadas y un salario medio.

Descripción	Coste Total
Ingeniero junior	11.550 €
<b>Coste total de la mano de obra directa</b>	<b>11.550,00 €</b>

Tabla 6: Coste mano de obra directa

Materias primas:

Las materias primas y componentes empleados en la fabricación del prototipo se van a recoger en la siguiente Tabla. Sus precios no obstante se cree que serían inferiores si fueran comprados al por mayor.



	Componente	Cantidad	Precio (€)	
Electrónica	Arduino UNO	1	8,90	8,90
	Placa soldada	1	0,41	0,41
	LCD	1	7,62	7,62
	Potenciómetro	1	1,03	1,03
	Resistencias	2	0,09	0,18
	Botón	1	0,73	0,73
	Cables	1	0,92	0,92
	Porta-Pilas	1	1,29	1,29
Elementos de estanqueidad	Junta tórica PILA Ø50	1	0,383	0,383
	Junta tórica metacrilato Ø65	1	0,447	0,447
	Junta carcasas (pegamento de PUR)	1	6,45	6,45
Elementos de unión	Tornillos tapa-pila	2	0,056	0,113
	Tornillos botón	2	0,056	0,113
	Tornillos porta-pilas	3	0,056	0,169
	Tornillos Arduino	4	0,056	0,225
	Tornillos pasantes unión	4	0,124	0,498
	Tornillos Pantalla	4	0,056	0,225
	Tornillos placa soldar	4	0,056	0,225
Fijación	Ventosas	4	0,2	0,8
Materiales de fabricación	PLA (g)	287	0,0179	5,137
	Láminas de silicona	2	1,5	3
	Metacrilato (38x90x4)	2	0,171	0,342
<b>Coste total de las materias primas</b>			<b>39,21 €</b>	

Tabla 7: Coste materias primas

#### Puesto de trabajo:

Son los costes asociados al espacio y al entorno de trabajo donde se realizan las diferentes actividades necesarias para llevar a cabo el proyecto.

En el caso de la licencia del software de Solid Edge se ha tenido en cuenta su parte proporcional de los meses de trabajo.

Software	Coste
Solid Edge	1.709,17 €
Ultimake Cura	0,00 €
Arduino IDE	0,00 €
<b>Coste</b>	<b>1.709,17 €</b>

Tabla 8: Coste softwares



Herramientas	Coste
Impresora 3D	399,99 €
Sierra mecánica	579,59 €
Taladro de columna	119,99 €
Macho de roscar	35 €
Tijeras	6 €
Alicates	12 €
Destornillador	4 €
Lima	4 €
Pistola de cola	9 €
<b>Coste</b>	<b>1.169,57 €</b>

Tabla 9: Coste herramientas

Se estima que la vida útil del proyecto son 18 meses, y que el tiempo de uso del puesto de trabajo fue de 7 meses, por lo que el valor de la amortización resulta:

$$\text{Coste de amortización} = (1709,17 + 1169,57) \times \frac{7 \text{ meses}}{18 \text{ meses}} = 1119,51€$$

### Costes indirectos

Mano de obra indirecta:

Los costes de la mano de obra indirecta corresponden al trabajo en las áreas administrativas. Llevado a cabo por el personal que no participa directamente en la transformación de la materia prima y que sirve de apoyo a la producción.

Se considera un coste del 3% respecto del de la mano de obra directa.

Descripción	Total
Mano de obra indirecta	346,50 €
<b>Coste total de la mano de obra directa</b>	<b>346,50 €</b>

Tabla 10: Coste mano de obra indirecta

### Coste total del proyecto

Costes	
<b>Costes Directos</b>	<b>12.708,72 €</b>
Mano de obra directa	11.550 €
Materias primas	39,21 €
Puesto de trabajo	1.119,51 €
<b>Costes indirectos</b>	<b>346,50 €</b>
Mano de obra indirecta	346,50 €
<b>COSTE TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>13.055,22 €</b>

Tabla 11: Coste total

Los costes totales de proyecto ascenderán a la suma de los costes directos e indirectos y supondrán una cifra de **trece mil cincuenta y cinco euros con veintidós céntimos.**



Se observa también, en la Tabla 7, la gran variedad de diámetros en la tornillería se debe a la variedad en los componentes de *hardware*. En una línea de desarrollo futura, sería recomendable unificar estos parámetros lo máximo posible, para conseguir un abaratamiento del producto al poder comprar el mismo tipo de tornillo al por mayor.

## 5.2. Viabilidad técnica de fabricación.

### **Futura fabricación de las carcasas por inyección**

A la hora de diseñar un nuevo producto se debe prestar especial atención tanto al material del que se va a realizar el producto como a la técnica de fabricación a utilizar, pues las características geométricas, mecánicas y de acabado dependerán en gran medida de ello.

Se eligió el ABS por ser un polímero muy resistente al impacto, a la abrasión y a los elementos químicos. Es un material muy utilizado en automoción y otras aplicaciones tanto industriales como domésticas en impresoras 3D. Algunos ejemplos de aplicación son los siguientes [20]:

- Piezas de automóviles: ya que el ABS se caracteriza por ser un material muy fuerte y liviano, es muy utilizado en la fabricación de piezas para automóviles, tanto del exterior como del interior.
- Electrodomésticos: Piezas para el recubrimiento interior y exterior de puertas, carcasas, etc.
- Dispositivos eléctricos y electrónicos: Con el ABS se puede crear variadas combinaciones de colores e incluso acabados cromados, estampados o metalizados, para ordenadores, teléfonos móviles, etc.

No se tendrá en cuenta al material del pulsador ya que será elástico y muy blando y en caso de rotura, rompería antes el ABS.

El ABS se presenta como un termoplástico amorfo. Los termoplásticos son polímeros que al calentarse a determinadas temperaturas se convierten en fluidos, permitiendo su moldeo en la forma deseada, que quedará preservada al enfriarse. Constituyen el grupo más importante y de mayor uso comercial de polímeros sintéticos.

Su estructura molecular puede ser lineal o ramificada, lo que le facilita fluir con aportación de calor. Es por esto que se dividen en dos clases; amorfos y semicristalinos.

Los termoplásticos solidifican por un proceso de curado químico. Tras esto permiten un segundo moldeo si se le aplica calor.

Será necesario atender a los principales problemas y consideraciones de diseño, junto con algunas de las directrices a seguir según lo expuesto en el punto 2.1. *Requisitos técnicos de piezas de moldeo por inyección plástica*; con el fin de obtener un acabado final que cumpla con los requisitos de calidad establecidos.

Es imprescindible tener en cuenta las consideraciones de diseño para la fabricación de piezas de inyección plástica, éstas se sacarán principalmente del tipo de material y del proceso. En aquellas técnicas de fabricación donde se produce una reacción química, las consideraciones de diseño son muy

importantes porque el material es calentado hasta convertirse en líquido y posteriormente es inyectado en un molde donde solidificará obteniendo la pieza final y sufrirá una contracción. Si esto se obvia, es posible diseñar una pieza y que con la posterior contracción del material se obtenga una longitud mucho menor que la deseada.

En este proyecto se ha elegido el método de inyección de plásticos, más concretamente la multicomponente. Denominada sobremoldeo o sobreinyección de 2 componentes. Se inyectarán el polímero fundido de ABS y el caucho para la tapa. Y la base se fabricaría mediante una inyección estándar.

El caucho de la doble inyección quedará al ras con el rebaje de las dos caras de la tapa e integrado en ella, gracias a las ranuras.

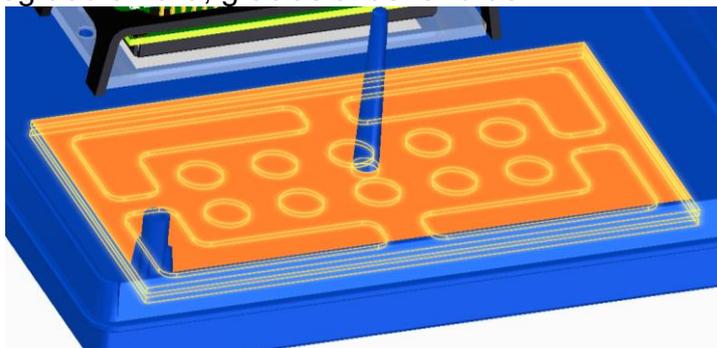


Figura 94: Detalle del pulsador embebido en la tapa

En el Anexo 11 se va a explicar el método de fabricación de la base. Para el de la tapa, sí se ha considerado más interesante explicarlo aquí. El moldeo por inyección es, quizás, el método de moldeo más característico de la industria de plásticos. Consiste básicamente en fundir un material plástico en condiciones adecuadas e introducirlo a presión en las cavidades de un molde en el que se enfría hasta una temperatura apta para que las piezas puedan ser extraídas sin deformarse [14].

La inyección ha desarrollado diferentes métodos empleando una gran variedad de técnicas, como se observa en la Figura 95.

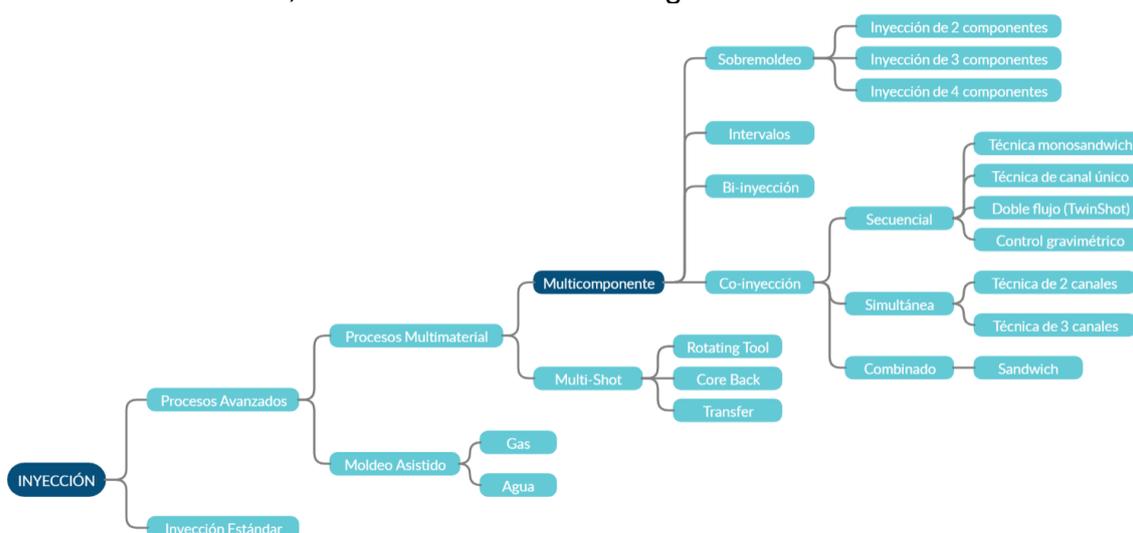


Figura 95: Métodos de inyección

La tecnología de multicomponentes combina varios colores o materiales en un molde y permite una mejora del diseño y la funcionalidad mecánica y estética de las piezas plásticas.

La tecnología multicomponente en todas sus variantes está ya muy arraigada en la mayoría de los sectores industriales. Una de las aplicaciones más comunes consiste en la combinación de materiales iguales, pero con diferente colorimetría, lo que aporta al producto un alto valor añadido a nivel estético y funcional.

Una pequeña muestra de la capacidad de la inyección bimaternal, por ejemplo, es la combinación de materiales termoplásticos químicamente incompatibles con la intención de conseguir piezas inyectadas con movilidad mecánica funcional, lo que permite eliminación de costes derivados de montajes, reduce los pasos de ensamble evitando soldaduras o adhesivos. El sentido táctil también se puede desarrollar con la combinación de materiales blandos o *soft-touch*, tanto para piezas en forma de asidero como para efectos estéticos. Básicamente consiste en inyectar dos tipos de materiales en un mismo molde: un esqueleto en plástico y una pieza suave al tacto en caucho o silicona.

En procesos de fabricación multicomponente es habitual mecanizar o inyectar una pieza y, posteriormente, volver a inyectar un material diferente. Mediante el proceso de sobreinyección se aplica un polímero duro o blando sobre un material de base (sustrato) que puede ser un componente metálico o plástico, obteniendo un enlace sólido entre el polímero sobreinyectado y el sustrato plástico o metálico. Lo interesante de esta tecnología es que se obtiene un material híbrido a través de un único proceso de fabricación [21].

Sus principales ventajas son:

- Incremento de la producción y del valor del producto
- Innovación y mejora del diseño estético y del producto
- Incremento de las prestaciones mecánicas
- Reducción del ensamblaje entre piezas, lo que abarata el producto
- Gran personalización del resultado final

### **Soporte de ventosas.**

Se quiso también comprobar si la distribución de 4 ventosas, en la parte trasera del contador, era suficiente para sujetar su peso.

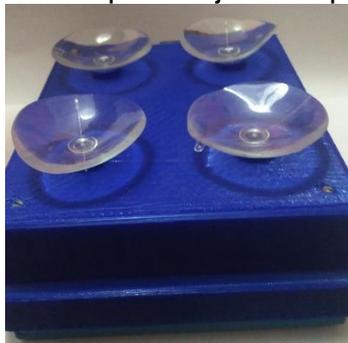


Figura 96: Ventosas de la base del prototipo

Se estimó el peso total del contador, con la ayuda de Cura Ultimaker que da los gramos de material empleados y el peso de los elementos comerciales por sus catálogos.

**PESO TOTAL:**  $287+40.8+22+20+10+45+25+20+30+20 = 520g$

Correspondientes a: PLA + Arduino + LCD + metacrilato + tornillos + pila + portapila + placa soldada + pulsador + complementos electrónicos

Se eligieron unas ventosas estándar de 57mm de diámetro, y se va a comprobar con las indicaciones del catálogo de ventosas de Epidor el cual proporciona fórmulas para su dimensionamiento [12].

Por lo tanto, esos 520g equivalen a que cada ventosa deberá soportar una fuerza de 0,52 Kg /4 lo que resultan 0,13Kg ó 1,3N. La fuerza de cada ventosa depende de su superficie de aspiración activa según la fórmula:

$$F = A \times P/100$$

Donde:

F: Fuerza de aspiración de la ventosa en Kg.

A: Superficie de aspiración activa en  $cm^2$ .

P: Vacío en %

Se tomará un valor de vacío disponible P estándar del 50% y el factor de seguridad según la Tabla 12 será 4.

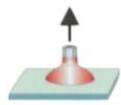
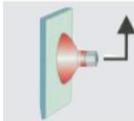
Disposición ventosa	Factor de seguridad
	min. 2
	min. 4

Tabla 12: Factores de seguridad para ventosas

La superficie de aspiración A será igual a:  $A = \pi \times 5,7^2 / 4 = 25,52cm^2$

Por lo que queda:

$$F = \frac{25,52 \times 50}{100} = 12,76Kg = 127,6N$$

Aplicando el factor de seguridad de 4 se obtiene que cada ventosa puede soportar 3,19Kg lo que es igual a 31,9N.

Se observa que con esta distribución casi se triplica el peso mínimo que se necesita sujetar. Haciendo el cálculo de forma inversa se puede calcular el diámetro mínimo de las ventosas:

$$1,3N \times 4 = \frac{\pi D^2}{4} \times 50 \rightarrow D_{\min} = 3,64mm$$

### Análisis elementos finitos

Se va a evaluar el rendimiento que se obtendrá (resistencia mecánica) en la tapa del contador final mediante un modelo numérico (análisis por Elementos Finitos) el cual es más barato y rápido de obtener que un modelo físico.

Mediante un cálculo de elementos finitos previo se comprende la función de los componentes, las zonas de la pieza tensionadas y por lo tanto donde sobra material y donde hay que reforzar. Y así comprobar si su diseño ha sido el correcto. Tiene una función semejante a la de fabricar su prototipo. Pero con el inconveniente de que la simulación se realiza en determinadas condiciones ambientales que se pueden no ajustar a las de trabajo.

Lo que se busca con este tipo de análisis es diseñar o rediseñar un componente de forma óptima, es decir, que tenga el mínimo material para soportar las condiciones de funcionamiento y sea fabricable mediante inyección. De esta forma se obtendrá un componente mecánico más ligero y optimizado para su función con el menor coste y tiempo posibles [22].

Tras seguir las recomendaciones y directrices sobre el diseño de piezas mediante inyección, especificaciones y documentación técnica: el diseñador tendrá en cuenta los requerimientos y función del componente y el tipo de interacción del componente mecánico a otros componentes adyacentes, tornillos, tuercas, ejes, engranajes, etc.

Al realizar el análisis MEF se hace la comprobación nivel de tensiones, desplazamientos, deformaciones, etc. En esta etapa mediante *software* CAE (Solid Edge) se realiza un mallado de la geometría de la tapa, se editan las propiedades mecánicas del material, en este caso ABS, nombradas anteriormente. Finalmente se aplican los esfuerzos y las condiciones de contorno de trabajo sobre la geometría del componente y se resuelve el cálculo computacional mediante el MEF.

El análisis de la distribución de tensiones a lo largo de la geometría de la pieza nos indicará que zonas están más tensionadas (zonas a reforzar en su diseño) y que zonas están menos (zonas donde es posible aligerarla). El objetivo debe ser obtener un diseño con un nivel de tensiones similar a lo largo de toda la geometría del componente, lo que ofrecerá un Factor de Seguridad uniforme a lo largo de la pieza, es decir no habrá zonas excesivamente reforzadas y otras débiles, por donde previsiblemente romperá el componente. Es importante analizar también la distribución de desplazamientos y deformaciones para evitar valores excesivos. Mediante la información obtenida se realizan cambios en el diseño y se vuelve a realizar el cálculo MEF, tras varias iteraciones el diseño estará prácticamente optimizado.

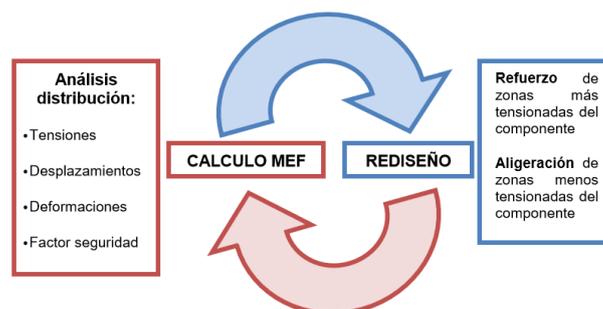


Figura 97: Ciclo del análisis MEF

Posteriormente se pasaría a la fabricación del diseño final del contador optimizado. La geometría optimizada sería ya utilizable para los procesos requeridos por la fabricación por inyección.

## PROCESO

### 1. Cálculo estático estructural por MEF

Con el objetivo de analizar si el diseño del pulsador ha sido el correcto, se ha realizado un cálculo estático por el MEF. Con este método se comprobará tanto si la tapa va a soportar las pulsaciones como si se van a transmitir al botón. Para ello se han aplicado las siguientes cargas y condiciones de contorno:

#### Cargas

Se ha aplicado una fuerza constante en la superficie del pulsador de valor = 5,1N. Este valor se ha obtenido de una media ponderada de las fuerzas de actuación, es decir, la mínima fuerza con las que hay que pulsar el botón, que dan en sus catálogos los fabricantes de pulsadores *switch* N/A y que comprenden entre los valores de 1,6N y 3,5N. Esto da una fuerza media de 2,55N y se la ha multiplicado por un coeficiente de seguridad de 2.

#### Condiciones de contorno

Se ha puesto la cara inferior de la tapa, la que contacta con la junta con la base, como empotrada. Se puede distinguir con unas esferas azules en la Figura 98.

#### Material

Es muy importante seleccionar las cualidades de la pieza eligiendo el material de la que estará hecha. En la librería de materiales que ofrece Solid Edge, se ha seleccionado el termoplástico ABS de alto impacto, del que ya se habló. Pero principalmente por su buena estabilidad dimensional y su resistencia química y a la fatiga. Tendrán bastante importancia el valor de Límite Elástico o Tensión Máxima de Rotura.

Mostrando propiedades de: ABS, alto impacto (Materials\No metales\Plásticos)

Estilo de cara: Dash (Administrar estilos...)

Estilo de relleno: ANSI34(Plástico) (Administrar estilos...)

Nombre de propiedad	Valor	Eliminar...	Editar
Densidad	1024,000 kg/m <sup>3</sup>		
Coefficiente de expansión térmica	0,0001 /C		
Conductividad térmica	0,000 kW/m-C		
Calor específico	0,000 J/kg-C		
Módulo de elasticidad	1378,951 MPa		
Coefficiente de Poisson	0,400		
Límite elástico	31,026 MPa		
Tensión de rotura	0,000 MPa		
Elongación %	0,000		

Tabla 13: Propiedades del ABS de alto impacto proporcionadas por Solid Edge

Una vez, se han aplicado las cargas, condiciones de contorno y las propiedades del material, se ha mallado la geometría 3D y el programa ha resuelto el análisis.

## 2. Resultados

Tras la resolución del cálculo MEF con la malla y condiciones anteriores se han obtenido los siguientes resultados para los valores límite:

Distribución de tensiones de Von Mises: 3,99MPa

Distribución de tensiones cortantes máximas: 2,15MPa

Distribución de desplazamientos: 1,09mm

Distribución del Factor de Seguridad: 7,77

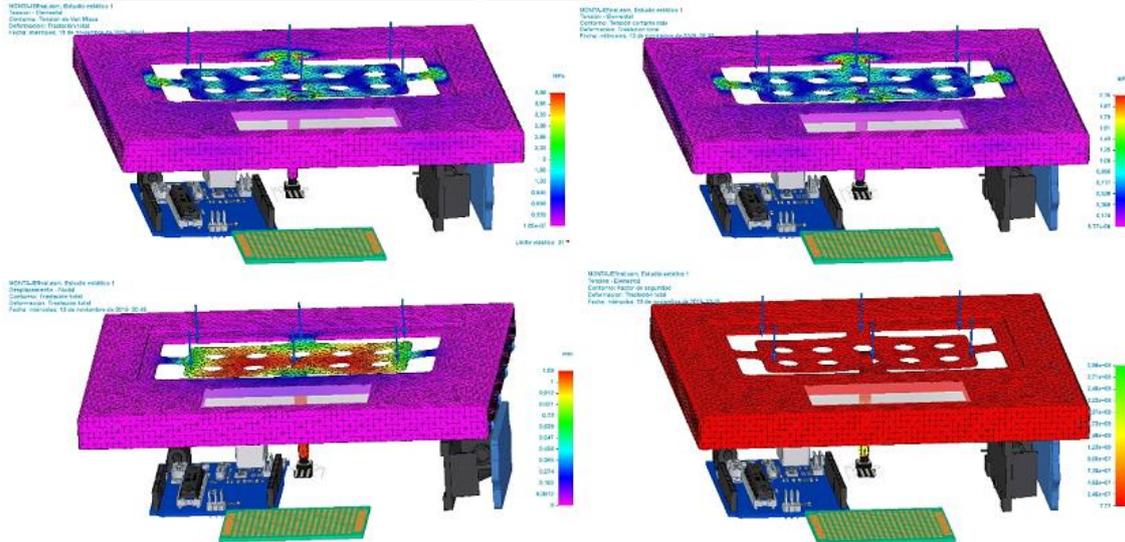


Figura 98: Imágenes del análisis MEF de Solid Edge

Todos los resultados detallados fueron extraídos en un informe realizado por el propio programa y que se encuentra en el Anexo 12.

## 3. Observaciones

En la distribución de tensiones de Von Mises puede observarse que este diseño soporta de forma holgada las solicitaciones a las que se encuentra sometido. Prácticamente toda la pieza se encuentra sometida a una tensión similar a 1MPa (en azul), lo que indica que la mayoría del material no está solicitado y por tanto el espesor está bien calculado y no sería necesario engrosarlo. Teniendo en cuenta, además, que el límite elástico del material es igual a 31 MPa, muy superior también a la tensión por cortante máxima.

La distribución del Factor de Seguridad a lo largo del componente corrobora la anterior conclusión, puesto que el mínimo valor es de 7,77, es decir el material en ese punto de la pieza tendría que soportar casi 8 veces más tensión para que se produzca la fluencia. Lo que equivaldría a unos 40N ó 4 kgf.

Se observa también cómo el redondeo de las ranuras ha ayudado a aliviar dichas tensiones.

Por último, se ha realizado una simulación de cómo actuaría el pulsador en el aspecto de desplazamientos, adquiriendo un valor máximo de 1,09mm distancia suficiente para alcanzar el botón, como se observa en la Figura 98.

No se considera, por lo tanto, necesario realizar modificaciones en el diseño de la tapa.



## Capítulo VI. Conclusiones y líneas de investigación futura.

En este capítulo se han recogido las conclusiones obtenidas tras el trabajo de investigación y aplicación sobre caso práctico realizado.

Finalmente se ha cumplido con los objetivos prioritarios propuestos desde el principio: se ha conseguido proyectar un cronómetro/contador de largos funcional, estanco y resistente.

Para ello se han estudiado a fondo las tecnologías aditivas y sus capacidades actuales de aplicación. Se ha podido comprobar que la combinación de las herramientas de MEF y las posibilidades de estas tecnologías permite llevar la optimización del diseño de componentes a un nivel cercano al de trabajo y les otorga un alto valor añadido; lo útiles que resultan los programas de diseño asistido por ordenador (CAD/CAM/CAE) y la gran cantidad y la importancia de los parámetros de impresión en la tecnología FDM.

Personalmente creo que se ha realizado un buen trabajo, muy completo e interesante. También, me hubiera gustado realizar más comprobaciones y pruebas sobre el prototipo, pero se encontraron algunas limitaciones tanto de *software* como materiales. Mis conocimientos sobre programación electrónica también eran limitados, aunque gracias a este trabajo mucho menos.

Tras la realización de este trabajo he podido apreciar el enorme trabajo que lleva un producto detrás hasta que es comercializado. Es por eso que propongo una serie de comprobaciones y mejoras que se podrían realizar sobre el contador:

- Hay *softwares* que simulan el proceso de inyección del producto final, así como el tipo de molde necesario.
- La actual orientación de la placa de Arduino permite realizar otra apertura a la caja, para que el propio usuario pueda configurarlo a su gusto a través de una conexión USB.
  - Esto permitiría implementar un modo PAUSA, para que el nadador descanse, o que al meter sus datos calcule el consumo calórico.
  - Podría traspasar sus tiempos a una tabla Excel y realizar estudios sobre ellos.
- Se podría sustituir la placa soldada por un circuito impreso.
- Sustituir el Arduino UNO por un procesador inalámbrico que ahorrara en baterías o que le permitiera al usuario controlarlo por *Bluetooth*.



## Bibliografía.

- [1] “Tienda online para comprar material de natación.” [Online]. Available: <https://www.swiminn.com/natacion>. [Accessed: 16-Nov-2019].
- [2] “Amazon.com: FINIS Lap Track: Sports & Outdoors.” [Online]. Available: <https://www.amazon.com/FINIS-1-05-027-Lap-Trackx/dp/B001GQ2BL8#customerReviews>. [Accessed: 16-Nov-2019].
- [3] “Amazon.com: SportCount LapCounter and Timer: Sports & Outdoors.” [Online]. Available: [https://www.amazon.com/SportCount-Inc-90010-LapCounter-Timer/dp/B00SSK39JI?ref\\_=fsclp\\_pl\\_dp\\_2](https://www.amazon.com/SportCount-Inc-90010-LapCounter-Timer/dp/B00SSK39JI?ref_=fsclp_pl_dp_2). [Accessed: 16-Nov-2019].
- [4] R. Budynas and J. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica.*, Octava Edi. Ed. McGraw Hill, 1990.
- [5] D. Bryden, *Diseño de producto: CAD y prototipado rápido*. Promopress, 2014.
- [6] “Centro Español de Plásticos | Primer Clúster Español de Plásticos y Composites.” [Online]. Available: <https://cep-plasticos.com/es/>. [Accessed: 16-Nov-2019].
- [7] D. Gardel, “Análisis del proceso de diseño y optimización de piezas para el conformado por inyección de plástico con herramientas PLM aplicado al sector de automoción,” Universidad Politécnica de Valencia, 2016.
- [8] R. D. 742/2013, “por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de las piscinas,” BOE núm. 244, de 11 de octubre de 2013, 83123-83134, 2013.
- [9] “ISO - International Organization for Standardization.” [Online]. Available: <https://www.iso.org/home.html>. [Accessed: 16-Nov-2019].
- [10] M. de C. y Tecnología, “Significado y explicación de los códigos IP, IK,” no. GUIA-BT-ANEXO 1, pp. 1–5, 2003.
- [11] P. R. Trasobares, “Metodología para el diseño de uniones estancas (difusor-junta-carcasa) en luminarias,” Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza, 2018.
- [12] “EPIDOR Technical Distribution - Epidor.” [Online]. Available: <https://webcatalog.epidor.com/es>. [Accessed: 16-Nov-2019].
- [13] “Muelles de compresión.” [Online]. Available: <https://www.muelles.es/catalogo.pdf>. [Accessed: 16-Nov-2019].
- [14] I. Campos and R. Medina, “Proceso de diseño, fabricación y pruebas de funcionalidad de un molde de inyección para un producto plástico,” U.A. México; Tianguistenco, 2014.
- [15] I. Gibson, D. W. Rosen, and B. Stucker, *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing.* 2010.
- [16] F. J. Jiménez Sánchez, A. Fernández de la Fuente, and J. Llorente Geniz, “Técnicas de prototipado rápido,” in *Xvi Congreso Internacional De Ingeniería Gráfica*, 2004.
- [17] ASTM Standard, *Standard Terminology for Additive Manufacturing*



- Technologies*, West Conshohocken, PA, 2012.
- [18] J. A. Oriozabala-Brit, M. Domínguez, and M. M. Espinosa, "Additive Manufacturing Opportunities to Optimize Product Design II Oportunidades de la fabricación aditiva para optimizar el diseño de productos," *Dyna*, vol. 91, no. 3. pp. 263–271, 2016.
- [19] Fundación COTEC, *Fabricación Aditiva*, vol. 30. 2011.
- [20] "Materiales de impresión 3D (II): ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) | HXX." [Online]. Available: <http://hxx.es/2015/03/23/materiales-de-impresion-3d-ii-abs-acrilonitrilo-butadieno-estireno/>. [Accessed: 16-Nov-2019].
- [21] "En inyección doble, innovación de la mano del diseño." [Online]. Available: <http://www.plastico.com/temas/En-inyeccion-doble,-innovacion-de-la-mano-del-diseno+3065067>. [Accessed: 16-Nov-2019].
- [22] J. Ródenas García and J. Haro González, "Desarrollo de un procedimiento de diseño óptimo para fabricación de componentes mediante tecnologías asditivas.," Universidad Politécnica de Valencia, 2012.
- [23] "Sellador 300 ml SIKAFLEX · LEROY MERLIN." [Online]. Available: <https://www.leroymerlin.es/fp/339080/masilla-de-sellado-y-pegado-sikaflex-11fc>. [Accessed: 16-Nov-2019].
- [24] "Carcasa RS PRO, IP67, , Apantallada Poliuretano, 81.95 x 79.95 x 55mm | RS Components." [Online]. Available: <https://es.rs-online.com/web/p/cajas-de-uso-general/1862270/>. [Accessed: 16-Nov-2019].
- [25] "Arduino - Home." [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/>. [Accessed: 16-Nov-2019].
- [26] G. Reyes Pozo, "Fabricación Aditiva: Tecnologías," 2017.
- [27] D. Pham and R. Gault, *A comparison of rapid prototyping technologies*. Int. J Mach Tools Manufact., 1998.
- [28] "Ultimaker Cura: Powerful, easy-to-use 3D printing software." [Online]. Available: <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura>. [Accessed: 16-Nov-2019].
- [29] "Creality Official | Large 3D Printer Manufacturer." [Online]. Available: <https://creality.com/>. [Accessed: 16-Nov-2019].
- [30] "Materiales de impresión 3D (I): PLA (ácido poliláctico) | HXX." [Online]. Available: <http://hxx.es/2015/03/12/materiales-de-impresion-3d-i-pla-acido-polilactico/>. [Accessed: 16-Nov-2019].

## ANEXOS

### ANEXO 1: Fases del proceso de diseño



Figura 99: Iteraciones en las fases del proceso de diseño[4]

El proceso completo, como se muestra en la Figura 99, comienza con la identificación de una necesidad y la decisión de hacer algo al respecto. Y acabará después de muchas iteraciones, con la presentación de los planes para satisfacer la necesidad. De acuerdo con la naturaleza de la tarea de diseño, algunas fases de este pueden repetirse durante la vida del producto, desde la concepción hasta la finalización. Por lo general, el proceso de diseño comienza con la identificación de una necesidad.

Deben proponerse varios esquemas que conecten los elementos posibles del sistema, investigarse y cuantificarse en términos de medidas establecidas. Este es el primer y más importante paso en la tarea de la síntesis. A medida que el desarrollo del esquema progresa, se deben realizar análisis para evaluar si el desempeño del sistema es satisfactorio y si lo es, si funcionará correctamente. Los esquemas del sistema que no sobreviven al análisis se revisan, se mejoran o se desechan.

En la Figura 99 se muestra que la síntesis, el análisis y la optimización están relacionados de forma íntima e iterativa. De esta manera es posible sintetizar varios componentes de un sistema, analizar y optimizarlos y regresar a la síntesis para ver qué efectos tiene sobre las partes restantes del sistema.

Deberán hacerse las estimaciones necesarias para poder avanzar, refinando e iterando hasta que se obtenga un diseño final que sea satisfactorio para cada componente individual así como para las especificaciones de diseño generales.

La evaluación representa la prueba final de un diseño exitoso y por lo general implica la prueba del prototipo en el laboratorio. Aquí se desea descubrir si el diseño realmente satisface la necesidad o las necesidades multidisciplinares de las que consta el proceso de diseño, a pesar de ser ajenas a la ingeniería:

- Diseño medio ambiental: Este tema considera si los productos que se pueden producir son menos dañinos para el ecosistema. Los materiales biodegradables o de fácil reciclado deben priorizar sobre el resto.



- Economía: La decisión sobre si un producto conducirá a ganancias corporativas importa mucho a los directivos de las mismas.
- Consideraciones legales: La violación de patentes y la colocación de productos peligrosos en el mercado no sólo atentan contra la ética personal sino contra las leyes.
- Comercialización: Las cualidades de un producto que atraen a los consumidores y cómo se presenta el producto en el mercado desempeñan un importante papel en el éxito del mismo. Se suele encargar el departamento de *marketing*.
- Utilidad: Ante la rotura o fallo de un componente la reparación debe ser inmediata o fácil por parte del cliente, ya que el regreso al fabricante supone un gasto excesivo y compromete la lealtad de los consumidores.
- Calidad: Los enfoques como la ingeniería de calidad total y los métodos de Taguchi suelen emplearse para el envío de productos sin defectos.



## ANEXO 2: BOE. [8]

Según el BOE, y como el producto va orientado a piscinas de tipo 1,2 y 3, los parámetros habrán de estar entre los valores estipulados: En cuanto a la temperatura del agua 24-30°C, de 7,2-8,0 el pH y 0,5 – 2,0mg/L de cloro 2 – 5 mg/L de bromo, dependiendo del desinfectante que se elija. Esto se tuvo en cuenta para la elección del material de la carcasa, las juntas y los tornillos del contador, es decir, todos los que estarán sumergidos total o parcialmente en la piscina. Teniendo en cuenta también el ambiente de humedad en el aire.

Real Decreto 742/2013, de 27 de septiembre, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de las piscinas.

Los criterios básicos que describe este real decreto, se aplicarán a todas las piscinas que no estén incluidas en el ámbito del Real Decreto 1341/2007, de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño.

Se fijan parámetros, valores paramétricos a cumplir en el agua de los vasos de estas piscinas y su frecuencia mínima de muestreo. Estos valores se basan principalmente en motivos de salud pública y en las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud.

Objeto. Este real decreto tiene por objeto establecer los criterios básicos técnico-sanitarios de la calidad del agua y del aire de las piscinas con la finalidad de proteger la salud de los usuarios de posibles riesgos físicos, químicos o microbiológicos derivados del uso de las mismas.

Definiciones. A efectos de este real decreto se establecen las siguientes definiciones:

1. Piscina: Instalación formada por un vaso o un conjunto de vasos destinados al baño, al uso recreativo, entrenamiento deportivo o terapéutico, así como las construcciones complementarias y servicios necesarios para garantizar su funcionamiento. Pueden ser descubiertas, cubiertas o mixtas.

2. Piscina de uso público: Aquellas piscinas abiertas al público o a un grupo definido de usuarios, no destinada únicamente a la familia e invitados del propietario u ocupante, con independencia del pago de un precio de entrada.

Podrán ser: a) Tipo 1. Piscinas donde la actividad relacionada con el agua es el objetivo principal, como en el caso de piscinas públicas, de ocio, parques acuáticos o spas.

b) Tipo 2. Piscinas que actúan como servicio suplementario al objetivo principal, como en el caso de piscinas de hoteles, alojamientos turísticos, camping o terapéuticas en centros sanitarios, entre otras.

3. Piscinas de uso privado: Aquellas piscinas destinadas únicamente a la familia e invitados del propietario, u ocupante, incluyendo el uso relacionado con el alquiler de casas para uso familiar.



Las sustancias biocidas utilizadas en el tratamiento del agua del vaso, serán:

Desinfectante residual:

Cloro libre residual	0,5 – 2,0 Cl <sub>2</sub>	mg/L	Se controlará cuando se utilice cloro o derivados del cloro como desinfectante.
Cloro combinado residual	≤ 0,6 Cl <sub>2</sub>	mg/L	Se controlará cuando se utilice cloro o derivados del cloro como desinfectante.
Bromo total	2 - 5 mg/L Br <sub>2</sub>	mg/L	Se controlará cuando se utilice bromo como desinfectante.

Tabla 14: Desinfectantes para piscinas

### ANEXO I Parámetros indicadores de calidad del agua

Los parámetros de temperatura y pH del agua deberán estar comprendidos entre los parámetros que se muestran en la siguiente Tabla:

Parámetro	Valor paramétrico	Unidades
pH	7,2 – 8,0	
Temperatura	24-30 °C > 36 en hidromasaje	°C

Tabla 15: Parámetros de temperatura y pH



### ANEXO 3: Normas ISO. [9]

Para definir las normas internacionales en cuanto a la impermeabilidad o sumergibilidad de los relojes se crearon las ISO 2281 e ISO 6425

Organización Internacional de Normalización – ISO (*International Standards Organisation*).

		ISO 2281		ISO 6425			
Capacidad/ Profundidad	Water Resistant	30 m	50 m	100 m	150 m	200 m	1000 m
		100 ft	160 ft	300 ft	500 ft	660 ft	3.300 ft
		3 atm	5 atm	10 atm	15 atm	20 atm	100 atm
		5 bar	5 bar	10 bar	15 bar	20 bar	100 bar
Usos	Salpicaduras accidentales	Natación recreacional	Natación Buceo con tubo	Buceo con escafandra	Submarinismo de profundidad profesional		
	Lluvia	Pesca	Deportes náuticos Navegación	Diving			

Tabla 16: Normas ISO 2281 e ISO 6425

#### Abstract de la norma ISO 6425

Este documento especifica los requisitos y los métodos de prueba para los relojes de buceo y para los relojes de buceo de saturación para su uso en buceo profundo.

Se aplica a los relojes de buceo diseñados para resistir el buceo en el agua a profundidades de al menos 100 m equipados con un sistema de medición seguro para indicar el tiempo de buceo, que es visible en la oscuridad.

Además, indica la marca que el fabricante está autorizado a aplicarles.

#### Abstract de la norma ISO 2281

Especifica la designación, los requisitos, los métodos de prueba y el marcado de dichos relojes con o sin indicación adicional de sobrepresión. Impermeable significa para uso diario ordinario durante ejercicios bajo el agua por un período corto en condiciones donde la presión del agua y la temperatura varían.

No se aplica a los relojes de buceo (sobre esto ver ISO 6425).



## ANEXO 4: Clasificaciones IP e IK. [10]

A continuación, se pretende dar una explicación acerca del significado del sistema de clasificación establecido por los grados de Protección IP e IK.

Cada uno de estos códigos se encuentran descritos en una norma, en las que además se indican la forma de realizar los ensayos para su verificación:

- Código IP: UNE 20324, que es equivalente a la norma europea EN 60529.
- Código IK: UNE-EN 50102.

### Código IP

*“Los grados de protección IP hacen referencia a una normativa internacional, que indica el nivel de protección de los equipos eléctricos o electrónicos frente a la entrada de agentes externos: polvo o agua.”*

La CEI o Comisión Electrotécnica Internacional, (también conocida como IEC por sus siglas en inglés), establece una normativa para clasificar los diferentes grados de protección de las envolventes de equipos eléctricos y electrónicos frente a agentes externos, especialmente factor humano o agentes medioambientales. O lo que es lo mismo: el grado de protección que tiene el recubrimiento exterior del equipo o dispositivo, frente a la entrada de cuerpos sólidos y líquidos (fundamentalmente polvo o agua).

Este grado de protección se regula bajo el estándar internacional IEC 60529, que se utiliza en la mayoría de países del mundo. Es obligatorio que los productos lleven indicado el grado de protección IP para de este modo saber si ese producto es apto para instalarse en un entorno determinado.

Grado de protección: El nivel de protección proporcionado por una envolvente contra el acceso a las partes peligrosas, contra la penetración de cuerpos sólidos extraños, contra la penetración de agua o contra los impactos mecánicos exteriores, y que además se verifica mediante métodos de ensayo normalizados.

La envolvente: proporciona la protección del material contra las influencias externas y en cualquier dirección, la protección contra los contactos indirectos, es decir, la penetración de cuerpos sólidos y la penetración de agua.

Las envolventes proporcionan también la protección de las personas contra el acceso a partes peligrosas y la protección del material contra los efectos nocivos de los impactos mecánicos. Se considerará parte de dicha envolvente, todo accesorio o tapa que sea solidario con o forme parte de ella y que impida o limite la penetración de objetos en la envolvente, salvo que sea posible quitar las tapas sin la ayuda de una herramienta o llave.

Esta definición se ha extraído del Vocabulario Electrotécnico Internacional (VEI 826-03-12).

La interpretación del grado de protección IP es el siguiente:

- Las letras “IP” hacen referencia a *Ingress Protection* y aparecen siempre. Inmediatamente después las dos cifras características.
- La primera cifra indica la protección de las personas contra el acceso a partes peligrosas (típicamente partes bajo tensión o piezas en movimiento que no sean ejes rotativos y análogos), limitando o impidiendo la penetración de una parte del cuerpo humano o de un objeto cogido por una persona y, garantizando simultáneamente, la protección del equipo contra la penetración de cuerpos sólidos extraños. Tabla 17.



CIFRA	Grado de protección	
	Descripción abreviada	Indicación breve sobre los objetos que no deben penetrar en la envolvente
0	No protegida	Sin protección particular
1	Protegida contra los cuerpos sólidos de más de 50mm	Cuerpos sólidos con un diámetro superior a 50mm
2	Protegida contra los cuerpos sólidos de más de 12mm	Cuerpos sólidos con un diámetro superior a 12mm
3	Protegida contra cuerpos sólidos de más de 2.5mm	Cuerpos sólidos con un diámetro superior a 2.5mm
4	Protegida contra cuerpos sólidos de más de 1mm	Cuerpos sólidos con un diámetro superior a 1mm
5	Protegida contra la penetración de polvo	No se impide totalmente la entrada de polvo, pero sin que el polvo entre en cantidad suficiente que llegue a perjudicar el funcionamiento satisfactorio del equipo.
6	Totalmente estanco al polvo	Ninguna entrada de polvo

Tabla 17: Grados de protección indicados por la primera cifra característica

- La segunda cifra indica la protección del equipo en el interior de la envolvente contra los efectos perjudiciales debidos a la penetración de agua. A medida que aumenta su valor, la cantidad de agua que penetra en el interior de la envolvente es mayor y también se proyecta en más direcciones. Tabla 18.
- Adicionalmente, de forma opcional, y con objeto de proporcionar información suplementaria sobre el grado de protección de las personas contra el acceso a partes peligrosas, puede complementarse el código IP con una letra colocada inmediatamente después de las dos cifras características. Estas letras adicionales, (A, B, C o D), a diferencia que la primera cifra característica que proporciona información de cómo la envolvente previene la penetración de cuerpos sólidos, proporcionan información sobre la accesibilidad de determinados objetos o partes del cuerpo a las partes peligrosas en el interior de la envolvente. Tabla 19.



CIFRA	Grado de protección	
	Descripción abreviada	Indicación breve sobre los objetos que no deben penetrar en la envolvente
0	No protegida	Sin protección particular
1	Protegida contra la caída vertical de gotas de agua	La caída vertical de gotas de agua no deberán tener efectos perjudiciales
2	Protegida contra la caída de gotas de agua con una inclinación de 15°	Las caídas verticales de gotas de agua no deberán tener efectos perjudiciales cuando la envolvente esta inclinada hasta 15° con respecto a la posición normal
3	Protegida contra la lluvia fina (pulverizada)	El agua pulverizada de lluvia que cae en una dirección que forma un ángulo de hasta 60° con la vertical, no deberá tener efectos perjudiciales
4	Protegida contra las proyecciones de agua	El agua proyectada en todas las direcciones sobre la envolvente no deberá tener efectos perjudiciales
5	Protegida contra los chorros de agua	El agua proyectada con la ayuda de una boquilla, en todas las direcciones, sobre la envolvente, no deberá tener efectos perjudiciales.
6	Protegida contra fuertes chorros de agua o contra la mar gruesa	Bajo los efectos de fuertes chorros con mar gruesa, el agua no deberá penetrar en la envolvente en cantidades perjudiciales
7	Protegida contra los efectos de la inmersión	Cuando se sumerge la envolvente en agua en unas condiciones de presión y con una duración determinada, no deberá ser posible la penetración de agua en el interior de la envolvente en cantidades perjudiciales
8	Protegida contra la inmersión prolongada	El equipo es adecuado para la inmersión prolongada en agua bajo las condiciones específicas por el fabricante.  NOTA- Esto significa normalmente que el equipo es rigurosamente estanco. No obstante, para ciertos tipos de equipos, esto puede significar que el agua pueda penetrar pero solo de manera que no produzca efectos perjudiciales.

Tabla 18: Grados de protección indicados por la segunda cifra característica

Letra	La envolvente impide la accesibilidad a partes peligrosas con:
A	Una gran superficie del cuerpo humano tal como la mano (pero no impide una penetración deliberada). Prueba con: Esfera de 50mm.
B	Los dedos u objetos análogos que no excedan en una longitud de 80mm. Prueba con: Dedo de D=12mm y L=80mm
C	Herramientas, alambres, etc., con diámetro o espesor superior a 2.5mm Prueba con: Varilla de D=2.5mm y L=100mm
D	Alambres o cintas con un espesor superior a 1mm, Prueba con: Varilla de D= 1mm y L= 100mm

Tabla 19: Descripción de la protección proporcionada por las letras adicionales

### Notas:

- En ocasiones, algunas envolventes no tienen especificada una cifra característica, bien porque no es necesaria para una aplicación concreta, o bien porque no ha sido ensayada en ese aspecto. En este caso, la cifra característica correspondiente se sustituye por una "X", por ejemplo, IP2X,

que indica que la envolvente proporciona una determinada protección contra la penetración del agua. Puede darse el caso que una determinada envolvente proporcione dos grados de protección diferentes en función de la posición de montaje de la misma. Si este fuera el caso, siempre deberá indicarse este aspecto en las instrucciones que suministre el fabricante. El marcado del grado de protección IP en las envolventes suele adoptar la forma de las mismas cifras, por ejemplo "IP 54". No obstante, en algunas ocasiones las cifras características pueden sustituirse por símbolos como se indica en la Tabla 20.

Primera cifra	IP5X		Malla sin recuadro
	IP6X		Malla con recuadro
Segunda cifra	IPX1		Una gota
	IPX3		Una gota dentro de un cuadrado
	IPX4		Una gota dentro de un triángulo
	IPX5		Dos gotas, cada una dentro de un triángulo
	IPX7		Dos gotas
	IPX8		Dos gotas seguidas de una indicación de la profundidad máxima de inmersión en metros
NOTA: Los grados de protección no incluidos en esta tabla no tienen símbolo para su representación.			

Tabla 20: Símbolos usados normalmente para los grados de protección

- La protección IP contra líquidos, específicamente se refiere al ingreso de agua y no de otros líquidos.
- Una protección IP68 no es precisamente mejor que una protección IP65. En el caso de equipos diseñados para trabajar constantemente bajo agua, pueden utilizar un sistema de enfriamiento utilizando el líquido, por lo que cambiar de ambiente puede provocar que el equipo falle.
- La protección de un equipo es generalmente especificada tanto para el lugar de instalación como también para su posición de funcionamiento. Por ejemplo, un determinado equipo puede tener un IP para la parte frontal y otro distinto para la trasera. Dependiendo de qué tipo de contacto con líquidos posean cada una.
- Tener una protección IP elevada no asegura que su tratamiento exterior sea suficiente para resistir radiación UV o químicos.

## Código IK

“Este sistema de codificación indica el grado de protección proporcionado por la envolvente contra los impactos mecánicos nocivos, salvaguardando así los materiales o equipos de su interior.”

A pesar de que este es un sistema que puede usarse para la mayoría de los tipos de equipos eléctricos, no se puede suponer que todos los grados de protección posibles les sean aplicables a todos los equipos eléctricos.

Generalmente, el grado de protección se aplica a la envolvente en su totalidad. Si alguna parte de esta envolvente tiene un grado de protección diferente, debe indicarse por separado en las instrucciones o documentación del fabricante de la envolvente.

El código IK se designa con estas dos letras seguidas de un número graduado de 00 a 10; a medida que este número aumenta indica que la energía del impacto mecánico sobre la envolvente es mayor.

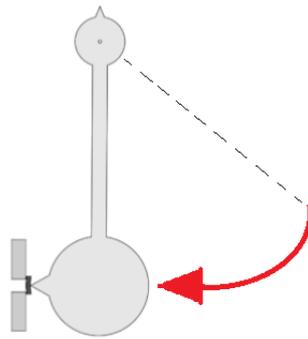


Figura 100: Prueba IK de Resistencia Mecánica

En la Tabla 21 se indican los diferentes grados de protección IK con la energía de impacto asociada a cada uno. También se indica la equivalencia en peso y altura de caída de la pieza de golpeo sobre la envolvente.

Grado IK	IK 00	IK 01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09	IK10
Energía (J)	--	0,15	0,2	0,35	0,5	0,7	1	2	5	10	20
Masa y altura de la pieza de golpeo	–	0,2 kg 70 mm	0,2 kg 100 mm	0,2 kg 175 mm	0,2 kg 250 mm	0,2 kg 350 mm	0,5 kg 200 mm	0,5 kg 400 mm	1,7 kg 295 mm	5 kg 200 mm	5 kg 400 mm

Tabla 21: Grados de protección IK



## ANEXO 5: Estanqueidad (juntas).

Las juntas tóricas ofrecen a los diseñadores un elemento de estanqueidad eficaz y económico, apto para una amplia gama de aplicaciones estáticas y dinámicas. Los métodos poco costosos de fabricación y su facilidad de uso, han convertido a la junta tórica en el tipo de junta de uso más generalizado. Catálogo de EPIDOR de juntas tóricas [12].

### Ventajas

Comparadas con otros elementos de estanqueidad, las juntas tóricas presentan muchas ventajas:

- Sencilla, el diseño del alojamiento de una pieza reduce los costes de mecanizado y de diseño.
- Su diseño compacto permite alojamientos más reducidos.
- Su sencilla instalación manual.
- Aplicable a una amplia gama de problemas de estanqueidad, estática, dinámica, de simple o de doble efecto.
- Amplia selección de compuestos, compatibles con la mayoría de los fluidos.
- Disponibilidad inmediata en todo el mundo, para facilitar el mantenimiento y las reparaciones.

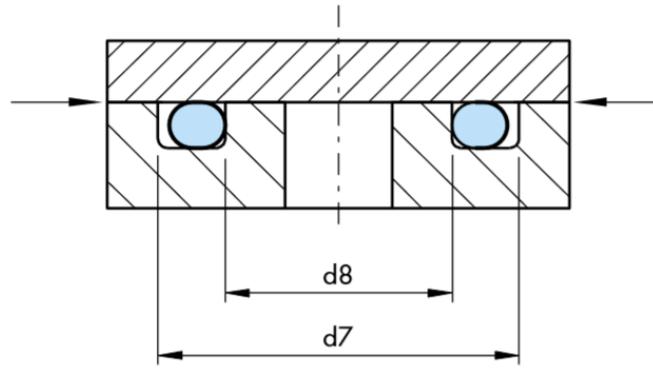
### Recomendaciones de instalación proporcionadas en el catálogo

Antes de iniciar la instalación se debe verificar:

- Que los chaflanes de entrada se hayan fabricado siguiendo los planos.
- Que los orificios no tengan rebabas y presenten los bordes redondeados.
- Que hayan desaparecido todos los residuos de mecanizado, es decir, las virutas, la suciedad o partículas extrañas.
- Que estén cubiertas las puntas de las roscas.
- Que se hayan engrasado o lubricado las juntas y sus componentes. Compruebe la compatibilidad del fluido con el material de elastómero. Trelleborg Sealing Solutions recomienda utilizar para ello el fluido de estanqueidad.
- No haber utilizado lubricantes que contengan aditivos sólidos, como disulfuro de molibdeno o sulfuro de cinc.

### Instalación axial (estática)

En una instalación axial estática se debe tener en cuenta la dirección de la presión de servicio a la hora de elegir el tamaño de la junta tórica Figura 101. Si la presión de servicio es interna, el diámetro exterior de la junta tórica debe ser entre un 1% y un 2% más grande que el diámetro exterior del alojamiento  $d_7$ . < Si la presión de servicio es externa, la junta tórica se seleccionará con un diámetro entre un 1% y un 3% más pequeño que el diámetro interior del alojamiento  $d_8$ .



Presión desde el exterior

Figura 101: Instalación axial estática [12]

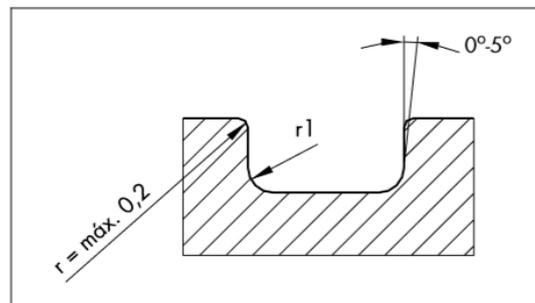


Figura 102: Especificaciones de la ranura de alojamiento [12]

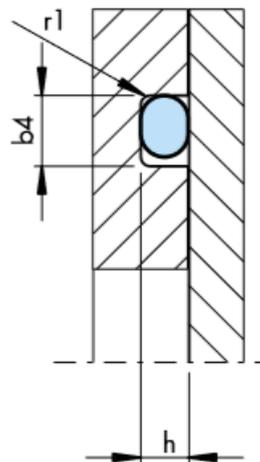


Figura 103: Diagrama de instalación [12]

El alojamiento rectangular es el recomendado para todos los diseños nuevos. Se admiten alojamientos con laterales biselados de hasta  $5^{\circ}$ . Cuando se utilicen aros de apoyo o sujeciones con tornillos, los flancos del alojamiento serán rectos.

### Selección de juntas tóricas para la tapa de la pila y la pantalla de metacrilato

Lo primero de todo es elegir el material del que estará hecho la junta del proveedor SOLMETAL en el catálogo de Trelleborg en este caso vamos a tomar dos con unas propiedades bastantes buenas para las condiciones de trabajo a las que va a ser sometido el contador, y son:

#### EPDM (caucho de etileno propileno dieno)

El EPDM presenta una buena resistencia térmica, al ozono y al envejecimiento. Además, presenta un alto grado de elasticidad, un buen comportamiento a baja temperatura, así como un buen poder aislante. La temperatura de funcionamiento para las aplicaciones del EPDM oscila entre  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$  (durante cortos periodos de tiempo se pueden alcanzar los  $+175\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). En el caso de los tipos vulcanizados por azufre, el intervalo se reduce hasta quedar comprendido entre  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El EPDM se utiliza a menudo en aplicaciones con líquido de frenos y agua caliente.

#### FKM (caucho de fluorocarbono)

Dependiendo de su estructura y su contenido en flúor, los cauchos FKM pueden presentar diferencias en lo que respecta a su resistencia química y flexibilidad en frío. El FKM es especialmente conocido por su ininflamabilidad, baja permeabilidad a los gases y excelente resistencia al ozono, a la intemperie y al envejecimiento. La temperatura de funcionamiento del caucho de fluorocarbono oscila entre  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$  (durante cortos periodos de tiempo se pueden alcanzar los  $+230\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Un FKM con formulación especial puede utilizarse hasta a  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El FKM se utiliza mayoritariamente con aceites y grasas de origen mineral a altas temperaturas.

Para decidir sobre cuál de los dos era el mejor, se observó el rango de temperaturas de trabajo óptimo. Partiendo del que se nos da en el BOE [8] y se obtuvo un rango de a  $24\text{-}30\text{ }^{\circ}\text{C}$  para piscinas. El cual en los dos casos es muy similar como se puede observar en la Figura 104.

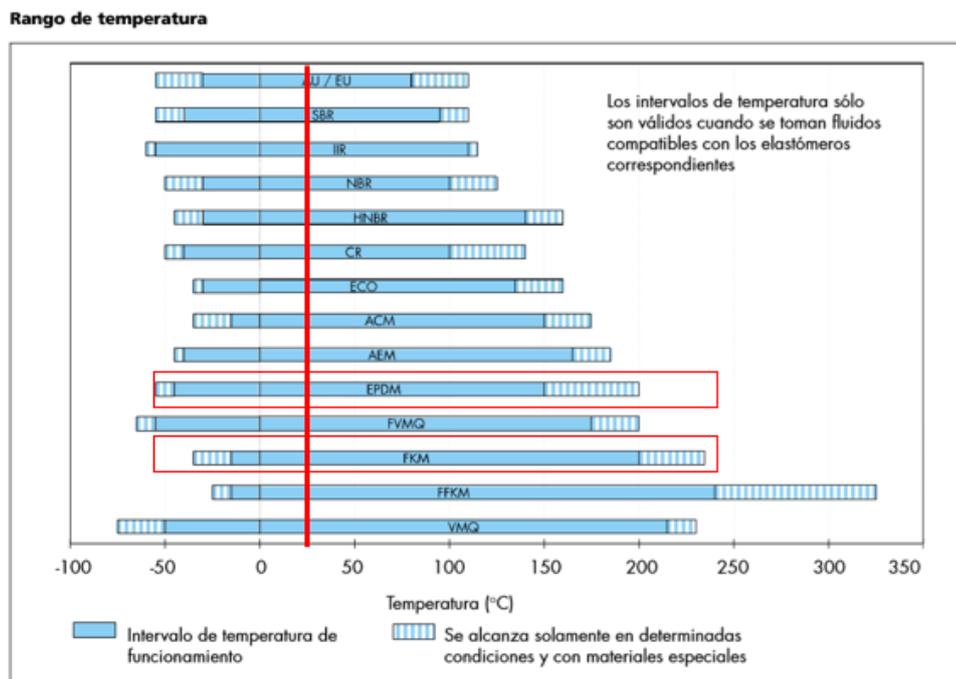


Figura 104: Intervalo de temperatura de diversos elastómeros

Por lo que lo siguiente fue observar la calificación que nos da en fabricante, para el trabajo de cada elastómero ante los diferentes fluidos.

A	Muy buena adecuación. El elastómero presenta poca o ninguna afectación frente a la exposición. Escaso efecto en sus prestaciones y propiedades físicas. Muy buena resistencia.
B	Buena adecuación. Muestra algún efecto achacable a la exposición, con cierta merma de sus propiedades físicas. Ligero aumento de volumen.
C	Adecuación limitada. Significativo aumento de volumen y merma en las propiedades físicas tras la exposición. Se deberán efectuar ensayos adicionales.
U	El elastómero no es adecuado para su utilización en el fluido en cuestión.
--	No se dispone de suficiente información sobre la aplicación en este fluido.

Tabla 22: Sistema de calificación del fabricante

Y su calificación en diferentes fluidos acuosos.

	ACM	AU	CR	EPDM	FKM	FVMQ	HNBR	NBR	VMQ
Agua a 135 °C	U	U	C	A	C	A	C	U	U
Agua a 80 °C	U	U	B	A	B	A	A	B	B
Agua de alimentación de calderas	U	U	C	A	B	B	B	B	C
Agua de mar	U	U	B	A	B	A	A	A	B
Agua jabonosa	B	B	B	A	A	A	A	A	A
Cloro (solución acuosa de)	U	U	U	B	A	U	U	U	U

Tabla 23: Calificación según el fluido acuoso de trabajo

	ACM	AU	CR	EPDM	FKM	FVMQ	HNBR	NBR	VMQ
Bórico (ácido)	U	B	B	A	A	A	A	A	A
Bromhídrico (ácido)	U	U	U	A	A	C	U	U	U
Bromo	U	U	U	U	B	B	U	U	U
Bromo (solución en agua de)	U	U	U	U	A	B	U	U	U

Tabla 24: Calificación según el fluido de trabajo

Se puede observar que lo más importante en este caso, como es el comportamiento en agua clorada y por si hubiera en el cloro comercial trazas de bromo, es mejor el del FKM. Por lo que se optó por el material FKM para las juntas tóricas.

Acto seguido se ha estimado como redondas las ranuras en las que irán alojadas las juntas, para elegir las en las Tablas 25 y 26 a partir de sus diámetros



interiores. Igualando los perímetros de las ranuras rectangulares al perímetro de la junta:

$$2 \times (a + b) = 2 \times \pi \times (d_1 / 2)$$

Siendo los diámetros interiores de las ranuras:

BASE Tapa pila:  $d_1 = 48,3\text{mm} \rightarrow$  se tomó la medida estandarizada de  $d_1 \approx 48\text{mm}$

TAPA Metacrilato:  $d_1 = 63,1\text{mm} \rightarrow$  se tomó la medida estandarizada de  $d_1 \approx 63\text{mm}$

Diámetro interior $d_1$	Diámetro sección radial $d_2$	N.º Pieza TSS	Norma										
			N.º referencia AS 568 B	AS 568 B / BS 1806	ISO 3601	SMS 1586	JIS B 2401	NFT47 - 501	Recomendación francesa	ISO 6149 - 2	BS4518		
47,60	2,40	OR2404760											
47,60	5,70	OR5704760						P48A					x
47,70	3,50	OR3504770						P47					
48,00	1,00	OR1004800											
48,00	1,50	OR1504800											
48,00	2,00	OR2004800											
48,00	2,50	OR2504800											
48,00	3,00	OR3004800											
48,00	4,00	OR4004800											
48,00	4,50	OR4504800											
48,00	5,00	OR5004800											
48,00	6,00	OR6004800											

Tabla 25: Catálogo juntas tóricas según sus dimensiones para elegir la de la base

Diámetro interior $d_1$	Diámetro sección radial $d_2$	N.º Pieza TSS	Norma										
			N.º referencia AS 568 B	AS 568 B / BS 1806	ISO 3601	SMS 1586	JIS B 2401	NFT47 - 501	Recomendación francesa	ISO 6149 - 2	BS4518		
60,00	6,00	OR6006000											
60,00	7,00	ORIE06000											
60,05	1,78	ORAR00036	036	x									
62,00	6,00	OR6006200											
62,20	3,00	OR3006220											x
62,20	5,70	OR5706220											
62,30	5,70	OR5706230											x
62,60	2,40	OR2406260											x
62,60	5,70	OR5706260						P63					
62,87	5,33	ORAR00033	333	x						R36			
63,00	1,50	OR1506300											
63,00	2,00	OR2006300											
63,00	2,50	OR2506300											

Tabla 26: Catálogo juntas tóricas según sus dimensiones para elegir la de la tapa

Y esa misma tabla da el diámetro de la sección de la junta, que como se trata de una instalación axial las Tablas 25 y 26 nos dan las juntas definitivas:

Tapa pila (en el lateral de la base)  $\rightarrow$  OR1504800

Pantalla de metacrilato (en el interior de la tapa)  $\rightarrow$  OR1506300

A partir del diámetro de la sección de la junta se obtienen el resto de parámetros en la siguiente Tabla:

Diámetro sección radial  d2	Instalación axial		Radio <sup>2)</sup>
	Profundidad del alojamiento	Anchura del alojamiento	
	h +0,05	b4 +0,2	r1± 0,2
0,50	0,35	0,80	0,20
0,74	0,50	1,00	0,20
1,00	0,70	1,40	0,20
1,02	0,70	1,40	0,20
1,20	0,85	1,70	0,20
1,25	0,90	1,80	0,20
1,27	0,90	1,80	0,20
1,30	0,95	1,80	0,20
1,42	1,05	2,00	0,30
1,50	1,10	2,10	0,30
1,52	1,10	2,10	0,30
1,60	1,20	2,20	0,30

Tabla 27: Dimensiones de la instalación

2) Si se utiliza un aro de apoyo, el radio r1 recomendado deberá ser siempre  $r1=0,25 \pm 0,2\text{mm}$ .

Finalmente, en ambos casos la profundidad de alojamiento será  $h + 0,05 = 1,10\text{mm}$  y la anchura del alojamiento  $b4 + 0,2 = 2,10\text{mm}$  en el diseño. Y también, en ambos casos  $r1 \pm 0,2 = 0,3 \text{ mm}$ .

### Selección de la junta selladora entre la tapa y la base de la carcasa.

Se tuvo en cuenta que, en este caso de estudio, el poliuretano tiene la función de sellado más que de unión. Por lo tanto, primaron su impermeabilidad y su buen comportamiento en juntas. Y finalmente se optó por la masilla de sellado y pegado SIKAFLEX 11FC que distribuye LeroyMerlin [23]. Además de ser el más presente en cajas selladas para electrónica de ABS [24].



Figura 105: Pegamento de poliuretano para la junta de la carcasa[24]

### Pegamento de poliuretano

El pegamento de poliuretano es una cadena molecular que contiene uretano y grupos isocianato, con alta reactividad, lo que le permite curar a temperatura ambiente. Debido a la fuerte polaridad entre el isocianato y el carbamato, es capaz de pegar metal, goma, vidrio, cerámica, plástico, madera, tela, cuero... La cadena principal de poliuretano posee una excelente flexibilidad, lo que le aporta resistencia al impacto por vibración y a la fatiga a flexión.



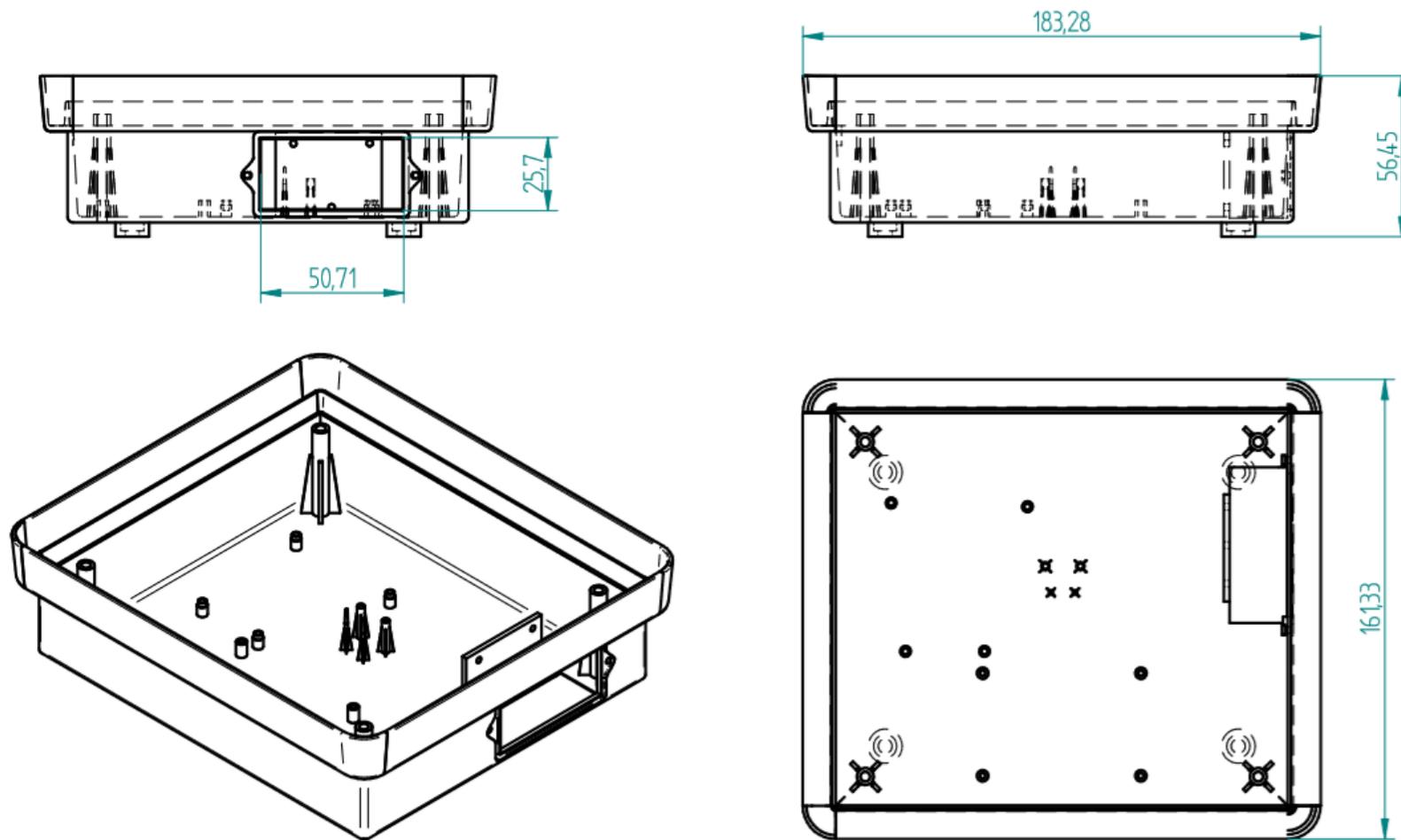
Destaca especialmente por su excelente rendimiento a bajas temperaturas. Pudiendo curar a temperatura ambiente en diversos campos gracias a la resistencia al estrés térmico.

Cabe destacar su buena resistencia al agua, rayos ultravioletas, ozono y ambientes corrosivos, pero posee una mala resistencia a la exposición a temperaturas muy altas. Además, el adhesivo de poliuretano también tiene una dureza ajustable, un fácil proceso de aplicación con buena adherencia sin imprimación en la mayoría de superficies, pintable y fácil de alisar. Después de dejarlo secar se obtiene una excelente fuerza de unión, resistencia a los arañazos. Posee una alta elasticidad y además permanente, así como un módulo bajo. Que le permite ser blanda para un mejor ajuste en juntas.

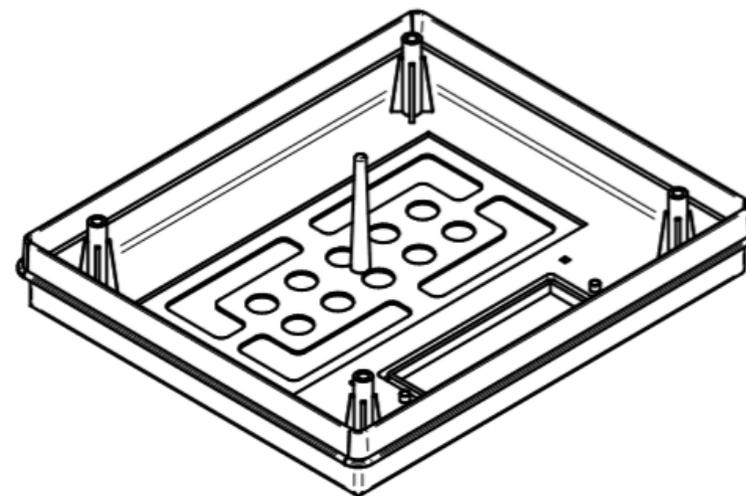
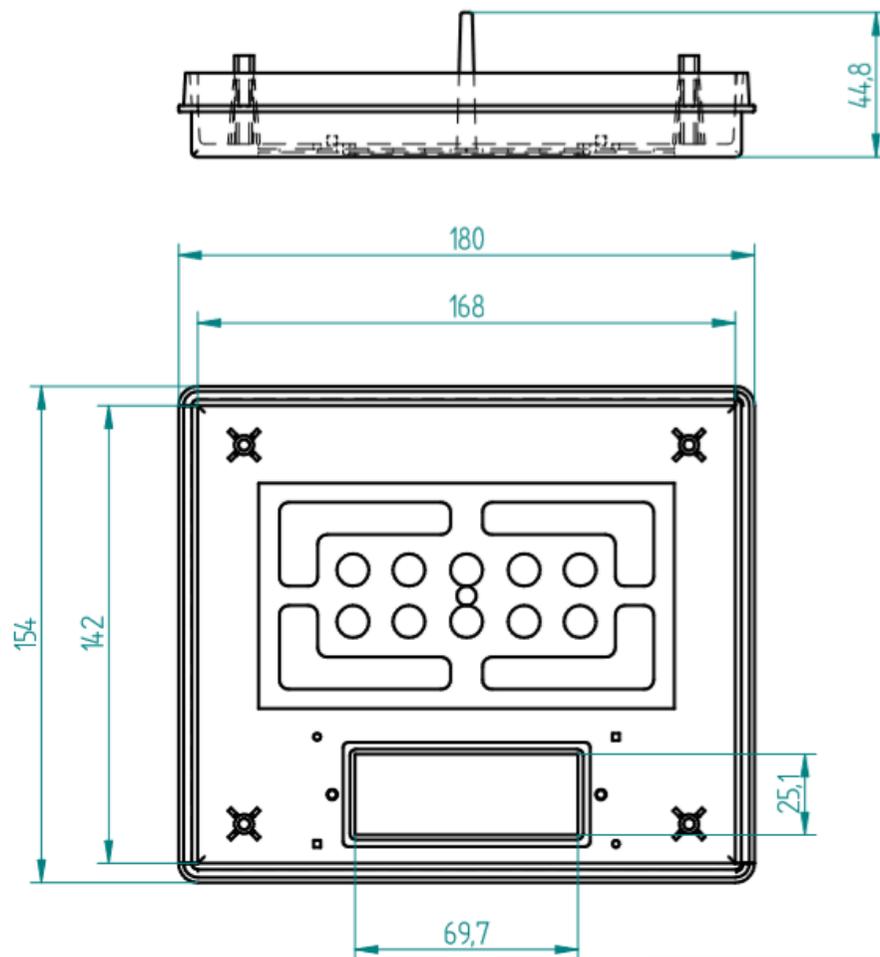
Tal y como aparece en su ficha técnica [23] sus posibles usos son: Sellador de juntas tanto verticales como horizontales, amortiguador acústico entre hormigón y perforaciones de tuberías. También es adecuado como sellador de juntas de construcciones de metal y de madera, conductos de ventilación, etc. Por último, se puede utilizar también como adhesivo multiusos tanto en interior como en exterior. Técnicamente está certificado para uso en áreas alimentarias. Resiste a agua, agua de mar, álcalis diluidos, cementos y detergentes en dispersión acuosa. También a la intemperie y al envejecimiento. Si se necesitara pintarlo, se debería usar pintura elástica, ya que no es resistente a alcoholes, ácidos orgánicos ni ácidos concentrados. Aunque está disponible en varios colores como blanco, gris hormigón, marrón y negro. En este caso de estudio se optó por el negro.



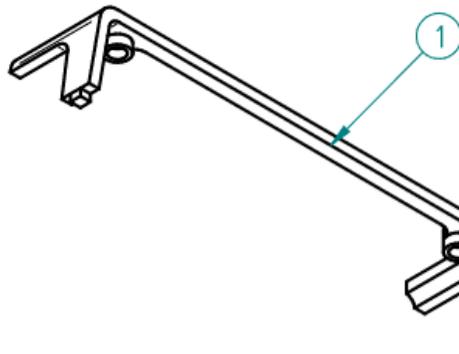
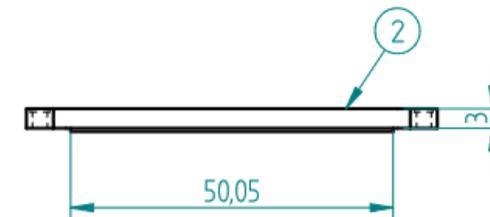
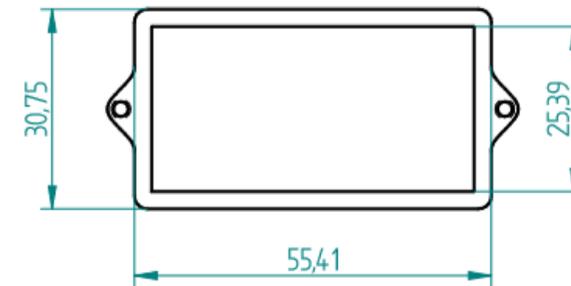
## **ANEXO 6: PLANOS (Base, Tapa, Soportes).**



	Nombre	Fecha	Universidad de Zaragoza: Escuela de Ingeniería y Arquitectura	
Dibujado	Javier Sebastián	07/11/2019	Título: Contador de largos para piscina	
Comprobado			Escala: 1 : 2	Plano: BASE
Aprobado 1			A4	Hoja 1 de 3
Aprobado 2				



	Nombre	Fecha	Universidad de Zaragoza: Escuela de Ingeniería y Arquitectura	
Dibujado	Javier Sebastián	07/11/2019	Título: Contador de largos para piscina	
Comprobado			Escala: 1 : 2	Plano: TAPA
Aprobado 1			A4	Hoja 2 de 3
Aprobado 2				



1	Soporte de pantalla LCD	2	PLA
2	Tapa para la pila	1	PLA
Nº de piezas	Denominación y observaciones	Marca	Material
	Nombre	Fecha	Universidad de Zaragoza: Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Dibujado	Javier Sebastián	07/11/2019	Título: Contador de largos para piscina
Comprobado			Escala: 1:1
Aprobado 1			Plano: SOPORTES Y TAPA PILA
Aprobado 2			A4
			Hoja 3 de 3



## ANEXO 7: Introducción a Arduino y características.

Según la página web de Arduino[25] es definido como la suma de 3 cosas:

“**Una placa *hardware* libre** que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines-hembra (los cuales están unidos internamente a las patillas de E/S del microcontrolador) que permiten conectar allí de forma muy sencilla y cómoda diferentes sensores y actuadores.”

“**Un *software* gratis, libre y multiplataforma** (ya que funciona en Linux, MacOS y Windows) que se debe instalar en nuestro ordenador y que permite escribir, verificar y guardar en la memoria del microcontrolador de la placa Arduino el conjunto de instrucciones que se desea que este empiece a ejecutar. Es decir, permite programarlo. La manera estándar de conectar nuestro computador con la placa Arduino para poder enviarle y grabarle dichas instrucciones es mediante un simple cable USB, gracias a que la mayoría de placas Arduino incorporan un conector de este tipo.”

Los proyectos Arduino pueden ser autónomos o no. En el primer caso, una vez programado su microcontrolador, la placa no necesita estar conectada a ningún computador y puede funcionar autónomamente si dispone de alguna fuente de alimentación.

“**Un lenguaje de programación libre.** Por “lenguaje de programación” se entiende cualquier idioma artificial diseñado para expresar instrucciones (siguiendo unas determinadas reglas sintácticas) que pueden ser llevadas a cabo por máquinas. Concretamente dentro del lenguaje Arduino, se encuentran elementos parecidos a muchos otros lenguajes de programación existentes (como los bloques condicionales, los bloques repetitivos, las variables, etc.), así como también diferentes comandos llamados “órdenes” o “funciones” que permiten especificar de una forma coherente y sin errores las instrucciones exactas para programar en el microcontrolador de la placa. Estos comandos se escriben mediante el ~~Existen de desarrollo~~ **Entorno de desarrollo** de diferentes fabricantes que, aunque incorporan diferentes modelos de microcontroladores, son comparables y ofrecen una funcionalidad más o menos similar a la de las placas Arduino. No obstante, la plataforma Arduino (*hardware* + *software*) ofrece una serie de ventajas:

Arduino es libre y extensible, es decir, que cualquiera que desee ampliar y mejorar tanto el diseño *hardware* de las placas como el entorno de desarrollo *software* y el propio lenguaje de programación, puede hacerlo sin problemas. Esto permite que exista un rico “ecosistema” de extensiones, que pueden adaptarse mejor a nuestras necesidades concretas.

Arduino posee una gran comunidad. Muchas personas lo utilizan, enriquecen la documentación existente relacionada y comparten continuamente sus ideas. Ampliamente visto en la asignatura de Fundamentos de Electrónica.

Su entorno de programación es multiplataforma; se puede instalar y ejecutar en sistemas Windows, Mac OS X y Linux. Esto no es muy común en el resto de placas de otros fabricantes.



Su entorno y el lenguaje de programación son simples y claros: son muy fáciles de aprender y de utilizar, a la vez que flexibles y completos para que los usuarios avanzados puedan aprovechar al máximo todas las posibilidades que ofrece el *hardware*, todo ello perfectamente documentado, con ejemplos detallados y gran cantidad de proyectos publicados en diferentes formatos.

Las placas Arduino son baratas: la placa Arduino estándar (llamada Arduino UNO) ya preensamblada y lista para funcionar cuesta alrededor de 13€. Incluso, uno mismo se la podría construir adquiriendo los componentes del *hardware* por separado, con lo que el precio total de la placa resultante sería incluso menor.

Las placas Arduino son reutilizables y versátiles: reutilizables porque se puede aprovechar la misma placa para varios proyectos (ya que es muy fácil de desconectarla, reconectarla y reprogramarla), y versátiles porque las placas Arduino proveen varios tipos diferentes de entradas y salidas de datos, los cuales permiten capturar información de sensores y enviar señales a actuadores de múltiples formas. No obstante, cuando se habla de una “placa Arduino”, se debe especificar el modelo concreto, ya que existen varias placas Arduino oficiales, cada una con diferentes características (como el tamaño físico, el número de pines-hembra ofrecidos, el modelo de microcontrolador incorporado, la cantidad de memoria utilizable, etc.). Conviene conocer estas características para identificar qué placa Arduino es la que conviene más en cada proyecto. Aunque el funcionamiento de cada placa es bastante parecido debido a los microcontroladores que poseen.

Arduino actualmente ofrece una amplia gama de productos con diferentes características dependiendo de las necesidades. Todos estas variantes están especializadas en trabajar dentro de condiciones específicas donde la placa UNO estándar no ofrece soluciones a las necesidades que surjan. Unos de los ejemplos más conocidos es el usado aquí Arduino UNO, pero destacan también el MEGA, NANO, MINI, ETHERNET MICRO FIO, PRO,...

Por último, si se desea obtener información más detallada y completa de ellas, lo mejor es consultar la página web oficial [30], donde se especifican todos sus datos técnicos.

#### Características:

Dentro de todos los productos ofertados, la placa elegida para desarrollar este proyecto es la Arduino UNO R3. Algunas de las características fundamentales de esta placa son:

- Microcontrolador: ATmega328P de la marca Atmel
- Puede ser alimentado por un cable USB o por una batería externa de 9 voltios, aunque acepta voltajes entre 7 y 20 voltios.

- La placa tiene 14 pines digitales Figura 105 (1), 6 pines analógicos Figura 105 (2) y programables con el Arduino IDE a través de un cable USB.

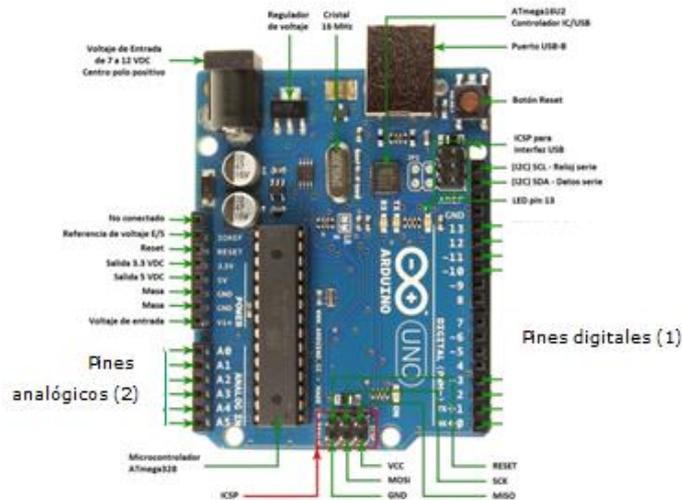


Figura 106: Arduino UNO R3

- Como actuadores digitales podemos encontrar: luces, alarmas, sirenas, desbloqueo de puertas, etc.
- Como sensores digitales podemos encontrar botones y pulsadores, finales de carrera, desbordamiento de nivel, sensores de llamas, humo o gases tóxicos.
- Los pines digitales de Arduino pueden ser usados tanto de entrada como de salida.
- Tensión de funcionamiento de los pines de E/S: 5V
- Corriente soportada en los pines de E/S: 40mA
- Memoria flash: 32 kB de los cuales 0.5 kB son usados por el *bootloader* o gestor de arranque
- Memoria SRAM: 2 kB
- Memoria EEPROM: 1 kB
- Frecuencia del reloj: 16 MHz
- Largo: 68.6mm
- Ancho: 53.4mm
- Peso: 25 g



## ANEXO 8: Código fuente.

```
//Cronómetro que se muestra en una pantalla LCD 16x2 activado con un botón,  
//que enciende el cronómetro, realiza el conteo y manteniéndolo pulsado lo apaga.  
  
#include <LiquidCrystal.h> // Se incluye la Libreria LiquidCrystal  
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);  
  
#include <avr/sleep.h> // Se incluye el modo SLEEP en el que se reduce el consumo al mínimo  
  
int contador1 = 0; //cuenta el tiempo que está pulsado el botón  
int minutos = 0;  
int segundos = 0;  
int decimas = 0;  
  
unsigned long milisegundos = 0;  
unsigned long tiempoAnterior = 0;  
unsigned long tiempoVueltaRapida = 9999999; //Al iniciar no hay registro de VR => se pone un valor cualquiera  
  
int boton = 2;  
int NumeroDeVuelta = 0;  
int NumeroDeVueltaRapida = 0;  
  
boolean estado_actual = false; // estado del boton: no está pulsado  
boolean estado_anterior= false;  
  
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
  pinMode(boton, INPUT);  
  digitalWrite(boton, LOW);  
  
  lcd.begin(16, 2); // Inicializa la interface para el LCD screen, y determina sus dimensiones (ancho y alto)  
  lcd.clear();  
}  
  
void wakeUp() //controlador para la interrupción del Modo Sleep.  
{  
  sleep_disable();  
  detachInterrupt(0);  
  lcd.display();  
}  
  
void loop() {  
estado_anterior = estado_actual;  
  
  if (digitalRead(boton) == HIGH){ // Se pulsa el botón  
    estado_actual=true;  
  
    if (contador1 >= 80) { //Se mantiene 4 segundos o más => apagar el dispositivo  
      sleep_enable(); // Se habilita el modo Sleep  
      attachInterrupt(0, boton, LOW);  
      set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);  
      lcd.noDisplay();  
    }  
    else {  
      contador1 += 1; //contador1 = contador1 + 1  
    }  
  }  
}
```



```
}
else {

    estado_actual = false;           //El usuario pulsa para la primera vuelta
    contador1 = 0;
    if (estado_anterior == true) {

        minutos = 0;
        segundos = 0;
        decimas = 0;
        NumeroDeVuelta = NumeroDeVuelta + 1;
        tiempoAnterior = milisegundos;           //comprueba la vuelta rápida
        if (tiempoAnterior < tiempoVueltaRapida ) {
            tiempoVueltaRapida = tiempoAnterior;
            NumeroDeVueltaRapida = NumeroDeVuelta;
        }
    }
}

milisegundos = millis() - tiempoAnterior;           //Calcula el tiempo de la vuelta en milisegundos
minutos=(milisegundos/1000)/60;                     //Calcula los minutos
segundos=(milisegundos/1000)%60;                   //Calcula los segundos
decimas=(milisegundos%1000);                       //Calcula las décimas de segundo

//Impresión en la pantalla de la vuelta reciente
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("V");

lcd.setCursor(1, 0);

    if (NumeroDeVuelta < 10) { //si aún no se llevan 10 vueltas poner las decenas como 0
        lcd.print("0");
    }
    lcd.print(NumeroDeVuelta);
    lcd.print(":");
    lcd.setCursor(4, 0);
    if (minutos < 10) {
        lcd.print("0");
    }
    lcd.print(minutos);
    lcd.print(".");
    lcd.setCursor(7, 0);
    if (segundos < 10) {
        lcd.print("0");
    }
    lcd.print(segundos);
    lcd.print(".");
    lcd.print(decimas);

minutos=(tiempoVueltaRapida/1000)/60;           //Calcula los minutos de la VR
segundos=(tiempoVueltaRapida/1000)%60;         //Calcula los segundos de la VR
decimas=(tiempoVueltaRapida%1000);             //Calcula las decimas de segundo de la VR
```



```
//Impresión en la pantalla de la VR
lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("VR");
lcd.setCursor(2, 1);

  if (NumeroDeVueltaRapida < 10) {
    lcd.print("0");
  }
lcd.print(NumeroDeVueltaRapida);
lcd.print(":");
lcd.setCursor(5, 1);
if (minutos < 10) {
  lcd.print("0");
}
lcd.print(minutos);
lcd.print(":");
lcd.setCursor(8, 1);
if (segundos < 10) {
  lcd.print("0");
}
lcd.print(segundos);
lcd.print(":");
lcd.print(decimas);

delay(50);
}
```



## ANEXO 9: Clasificación de la FA.

Se puede hacer una primera división de los métodos usados en sustractivos, conformativos y aditivos en función del modo en que el material es procesado Figura 106 para la obtención de la pieza física deseada, (productos, utillaje, modelos, etc.). A continuación, se presenta una breve descripción de cada tipo de proceso:

Fabricación Sustractiva: se parte de un bloque de material de dimensiones mayores que la geometría final a obtener. Mediante sucesivas operaciones de arranque de material se elimina selectivamente el material creando la pieza deseada. Algunos ejemplos:

- Mecanizado: proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante la eliminación de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión.
- Electroerosión. consiste en la generación de un arco eléctrico entre una pieza y un electrodo en un medio dieléctrico para arrancar partículas de la pieza hasta conseguir reproducir en ella las formas del electrodo.
- Corte por agua, laser, sierra, etc.

Fabricación Conformativa: el material se introduce en una matriz con la cavidad de la pieza que se desea obtener. El material de partida se adapta a la forma de la matriz, se procesa con esta forma, finalmente la pieza es extraída de la matriz. Ejemplos:

- Moldeo por Inyección: El material fundido es inyectado en la cavidad del molde, la cavidad es el negativo de la pieza, el material solidifica con la forma de la pieza.
- Forja, embutición: El material se deforma plásticamente para que se adapte a la cavidad de la matriz.
- Termo conformado: una plancha o lámina de semielaborado termoplástico se calienta de forma que al reblandecerse puede adaptarse a la forma de un molde por acción de presión vacío o mediante un contramolde.
- Pulvimetallurgia convencional (Sinterización, MIM, CIM): La cavidad del molde es rellenada con material en formato polvo, tras un proceso de compactación y sinterización se extrae la pieza.

Fabricación Aditiva: la pieza se fabrica, directamente a partir de un fichero 3D, añadiendo el material por capas. Ejemplos:

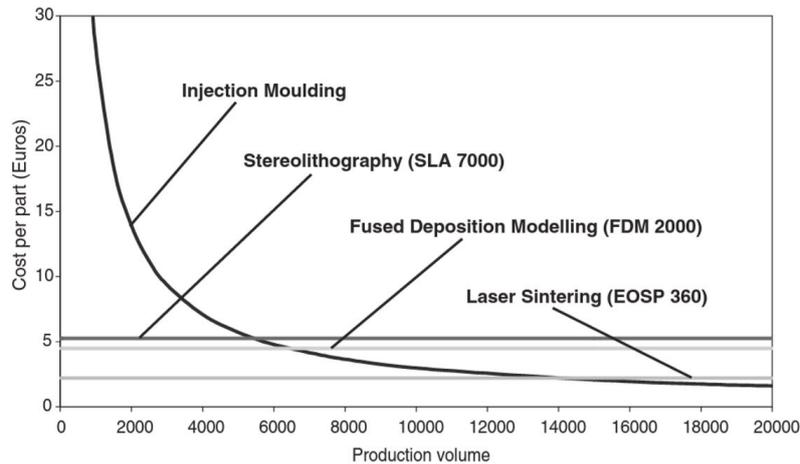
- Sinterizado Selectivo Láser (SLS): Se deposita una capa de polvo, de unas décimas de mm, en una cuba que se ha calentado a una temperatura ligeramente inferior al punto de fusión del polvo. Seguidamente un láser CO2 sinteriza el polvo en los puntos seleccionados.
- Deposición por hilo fundido (FDM): un cabezal deposita hilo polimérico en capas siguiendo la sección de la pieza en cada capa. El hilo polimérico es fundido y extruido mediante la boquilla-cabezal. Se hablará más extensamente de ella después.
- SLM: Fusión selectiva por láser de polvo metálico en atmosfera inerte (N2, Ar) siguiendo la geometría de la pieza capa a capa hasta fabricar el objeto 3D.

- EBM: Fusión por haz de electrones de polvo metálico en vacío siguiendo la geometría de la pieza capa a capa hasta fabricar el objeto 3D.



Figura 107: Clasificación de los procesos de fabricación según el modo de procesar el material para obtener la pieza

Como es sabido, el coste/pieza es un factor fundamental a la hora de decidirse por un proceso de fabricación determinado; y, por tanto, el tamaño de las series es un parámetro decisivo, pero la decisión puede ser errónea si se fija exclusivamente en la cuantía de los costes. En este momento es cuando se debe entrar a valorar otros aspectos como la libertad que puede suponer no depender de un costoso y rígido molde, los posibles cambios de diseño durante la vida del producto, la posibilidad de ajustar los lotes al número exacto que demanda el mercado (en lugar de tirar grandes lotes para justificar los costes de tiempo de cambio en la inyectora)[26].



Fuente: Rapid Manufacturing. And industrial revolution for the digital age  
Neil Hopkinson (AMRG, Loughborough. UK)

Figura 108: Gráfico coste/pieza en función del volumen de producción en varios métodos de FA[27]

## Clasificación de los procesos de FA

Existen numerosas formas de clasificar las tecnologías de FA. Un enfoque popular es clasificar según la tecnología de línea de base, como si el proceso utiliza láser, tecnología de impresora, de extrusión, etc. Otro enfoque es recopilar los procesos juntos de acuerdo con el tipo de entrada de materia prima (Figura 109). El problema con estos métodos de clasificación es que algunos procesos se agrupan en lo que parecen ser combinaciones extrañas (como la sinterización selectiva por láser que se agrupa con la impresión 3D) o que algunos procesos que parecen producir resultados similares terminan siendo separados (como la estereolitografía). Las tecnologías de Fabricación Aditiva no deben ser clasificadas en función de su aplicación puesto que con la misma tecnología podemos fabricar prototipos, productos y utillajes. Estas tecnologías sin embargo pueden ser clasificadas de muchas maneras, en función del tipo de energía que procesa el material: haz laser, haz de electrones, mascara de luz... También pueden clasificarse en función del espesor de la capa y su resolución[22].

Probablemente sea inapropiado, por lo tanto, utilizar un único enfoque de clasificación. Pham [27] describe un método de clasificación excelente y completo, que utiliza un método de clasificación bidimensional como se muestra en la Figura 108. La primera división se refiere al método por el cual se construyen las capas. Las tecnologías anteriores usaban una fuente de punto único para dibujar a través de la superficie del material base. Los sistemas posteriores aumentaron el número de fuentes para aumentar el rendimiento, lo que fue posible con el uso de la tecnología de deposición de gotas, por ejemplo. Sin embargo, el solo uso de esta clasificación da como resultado las anomalías mencionadas anteriormente en las que se agrupan numerosos procesos diferentes. Esto se resuelve introduciendo una segunda división de materia prima en la clasificación. Pham usa cuatro clasificaciones de material separadas; polímero líquido, partículas discretas, material fundido y láminas sólidas. Los cuadros vacíos en esta matriz pueden servir como guía para investigadores y desarrolladores para futuros avances tecnológicos.

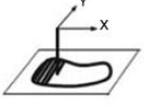
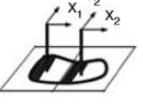
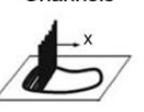
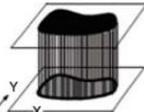
	1D Channel	2x1D Channels	Array of 1D Channels	2D Channel
Liquid Polymer	 SLA (3D Sys)	 Dual beam SLA (3D Sys)	 Objet	 Envisiontech MicroTEC
Discrete Particles	SLS (3D Sys), LST (EOS), LENS Phenix, SDM	LST (EOS)	3D Printing	DPS
Molten Mat.	FDM, Solidscape		ThermoJet	
Solid Sheets	Solido PLT (KIRA)			

Figura 109: Clasificación de Pham de los procesos de fabricación por capas[28]

Siendo la de modelado por deposición fundida la que se usó en este trabajo y la que se va a desarrollar más ampliamente.

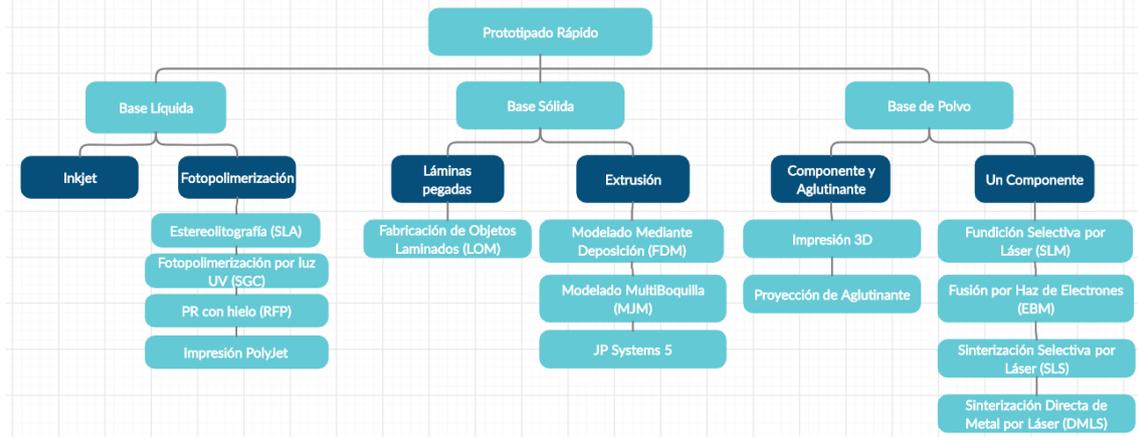


Figura 110: División según el estado del material de las tecnologías PR [31]

**BASE LÍQUIDA:** son aquellas tecnologías que parten de un material en estado líquido para la construcción del prototipo.

- Estereolitografía (SLA)
- Fotopolimerización por Luz U.V. (SGC)
- Prototipado Rápido con Hielo (RFP)
- Impresión Polyjet

**BASE DE POLVO:** son aquellas tecnologías que parten de un material en polvo para la construcción del prototipo.

- Sinterización Selectiva por Láser (SLM)
- Impresión 3D
- Fusión por Haz de Electrones (EBM)
- Proyección Aglutinante
- Fundición Selectiva por láser (SLS)

**BASE SÓLIDA:** son aquellas tecnologías que parten de un material en estado sólido para la construcción del prototipo.

- Fabricación de Objetos Laminados (LOM)
- Modelado por Deposición Fundida (FDM)
- Modelado MultiBoquilla (MJM)
- JP Systems 5

### Tecnologías más extendidas

- SLA (Estereolitografía): Emplea un láser UV que se proyecta sobre un baño de resina fotosensible líquida para polimerizarla. También la podemos encontrar con la denominación de STL.
- SGC. Fotopolimerización por luz UV: Al igual que en la estereolitografía, esta tecnología se basa en la solidificación de un fotopolímero o resina fotosensible. En la fotopolimerización, sin embargo, se irradia con una lámpara de UV de gran potencia todos los puntos de la sección simultáneamente.
- LOM. Fabricación por corte y laminado: Una hoja de papel encolado se posiciona automáticamente sobre una plataforma y se prensa con un rodillo caliente que la adhiere a la hoja precedente.
- DSPC. Proyección aglutinante: Esta tecnología trabaja mediante la deposición de material en polvo en capas y la ligazón selectiva del mismo mediante la impresión de "chorro de tinta" de un material aglutinante.

## ANEXO 10: Pasos generales de los procesos de FA.

### Paso 1: CAD.

En el Capítulo II ya se ha remarcado la importancia de las herramientas CAD en este caso Solid Edge. Todas las piezas de FA deben comenzar desde un modelo de *software* que describa completamente su geometría externa. Esto puede implicar el uso de casi cualquier *software* profesional de modelado de sólidos CAD. Un equipo de ingeniería inversa (escaneo láser) también se puede utilizar para crear esta representación.

### Paso 2: Conversión a STL.

Casi todas las máquinas FA aceptan el formato de archivo STL, que se ha convertido en estándar, y casi todos los sistemas CAD pueden generar dicho formato de archivo. Este archivo describe las superficies externas cerradas del modelo CAD original y forma la base para el cálculo del capeado. El formato STL representa aproximadamente la geometría mediante una malla cerrada de triángulos. Esta exportación se puede hacer variando la resolución de acuerdo a las necesidades, alta o baja resolución. A mayor densidad de triángulos (resolución) mejor aproximación entre el fichero STL y el CAD de la pieza. Si las superficies curvas se encuentran facetadas debido a la baja cantidad de triángulos la geometría final no quedará como debería.

Es un formato tradicional para la impresión de archivos CAD, creado por la empresa *3D Systems*, estos archivos son básicamente triángulos sin representación de color o textura como los que presenta el CAD; estos triángulos deben ser tan perfectos que no admiten superposiciones de unos con otros, cuanto más finos sean, más pesado será el archivo.



Figura 111: Conversión a archivo STL

En los ajustes avanzados de impresión se van a cambiar varios parámetros para ahorrar material y tiempo, pero sin descuidar la calidad del producto final.

### Paso 3: Manipulación de archivos STL y capeado para transferir a la impresora.

El archivo STL que describe la pieza debe transferirse a la máquina FA en este caso la CR-10S. Por eso es necesario la conversión del archivo a la extensión gcode para que pueda ser reconocido por la impresora. Aquí, puede haber algún cambio del archivo para que tenga el tamaño, la posición y la orientación correctos para la construcción. Para ello se ha empleado el programa Ultimaker Cura que le realiza un capeado a la pieza; esta etapa divide virtualmente en finas capas el modelo 3D (formato STL), con la orientación adecuada de fabricación y con los soportes necesarios.

“Ultimaker Cura está diseñado para la experiencia de impresión 3D más fácil y confiable cuando se usa con nuestras impresoras 3D. Desde los perfiles preconfigurados hasta la configuración automatizada, vea cómo nuestra integración perfecta podría ahorrarle tiempo y lograr un ROI más rápido.” [28]

Es una aplicación desarrollada para impresoras 3D, en la que se pueden modificar los parámetros de impresión y después transformarlos a código G. Este *software* de código abierto es compatible con la mayoría de las impresoras 3D que puedan trabajar con archivos en los formatos de 3D más comunes como STL, OBJ, X3D, 3MF, entre otros. También pueden trabajar formatos de imagen como BMP, GIF, JPG y PNG.

Además, Cura permite calcular los gramos de material empleado, para así calcular su volumen y el precio de las carcasas del prototipo.

El rango de espesor de las capas está comprendido entre 15 y 200 $\mu\text{m}$  para la mayoría de tecnologías. El espesor de capa depende de la tecnología utilizada y las resoluciones disponibles suelen ser:

- Baja Resolución: ofrece una alta productividad con baja calidad de detalle, este es el caso de espesores de capa mayor, por ejemplo, 200 $\mu\text{m}$ , donde resulta apreciable un efecto de escalonado en la superficie de la pieza fabricada.
- Estándar: ofrece un buen compromiso entre productividad y nivel de detalle, espesor de capa intermedio, unos 100 $\mu\text{m}$ .
- Alta resolución: posibilita un alto nivel de detalle, pero con una productividad menor. El espesor es, en este caso de 15 a 70 $\mu\text{m}$ . Con esta resolución de fabricación no resulta apreciable el efecto de escalonado entre capas en las superficies de la pieza obtenida.



Figura 112: Efecto del grosor de capas (Resolución)

Los modelos STL de las piezas son colocadas en una plataforma virtual, específica para cada impresora, donde las modelos STL son dispuestos con la orientación de fabricación más favorable. Existen zonas geométricas de la pieza que no pueden ser fabricadas directamente de forma aditiva y es necesario añadir “soportes” para asegurar la correcta fabricación de la pieza. Estos soportes son finas columnas o entramados que sustentan zonas de la pieza demasiado esbeltas, voladizos o superficies con ángulos de fabricación muy bajos, normalmente a partir de ángulos mayores a 45° respecto a la horizontal los soportes no son necesarios. Estos soportes son generados automáticamente por Cura, durante el proceso de fabricación, se fabrican al mismo tiempo que la pieza y con el mismo material que esta. Los soportes se fabrican capa a capa desde la plataforma de fabricación y terminan en las caras de la pieza a soportar, para asegurar su correcta fabricación. Cuando la fabricación de las piezas ha terminado los soportes serán eliminados de forma manual (Paso 7: postprocesado), debido a este post-proceso el objetivo del paso actual, suele ser orientar las piezas de forma que sea necesaria la mínima cantidad de soportes y emplear el mínimo de material posible.

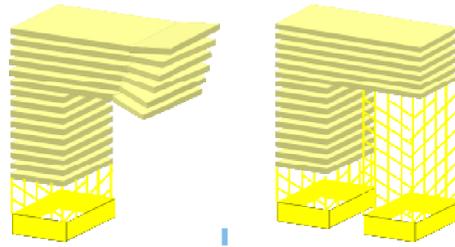


Figura 113: Ejemplo de pieza que necesita soportes

Se observa en la Figura 112 una geometría en voladizo fabricada por capas, al no existir soportes esa parte será generada en el “aire” y caerá.



Figura 114: importancia de la orientación en la fabricación de piezas

En la Figura 113 la orientación de la izquierda emplea más soportes lo que supone más gasto de material, más dificultad al retirarlos y peor acabado superficial. Por eso es muy importante elegir una correcta orientación en esta fase. La orientación de la pieza dentro de la máquina determinará la cantidad de estructura de sujeción y los lugares donde ésta se coloca.

#### Paso 4: Configuración de la máquina.

La máquina FA debe estar configurada correctamente antes del proceso de construcción. Dichas configuraciones están relacionadas con los parámetros de fabricación, como las restricciones de material, la fuente de energía, el grosor de la capa, los tiempos, etc. La impresora 3D usada fue la CR-10S del fabricante Creality [29].

Creality CR-10S		
Dimensiones	Volumen de impresión	300 x 300 x 400 mm
	Boquilla	0,4 mm para filamento de 1,75 mm
	Tamaño base	300 x 300 x 3 mm
Especificaciones	Velocidad de impresión	Hasta 200 mm/s
	Velocidad recomendada	30-100 mm/s
	Resolución	De 50 a 400 micras
	Temperatura del extrusor	Hasta 250 °C
	Plataforma calefactada	Hasta 80 °C
	Materiales	PLA, HIPS, FilaFlex, ABS entre otros.
	Conectividad	Lector de tarjetas SD Puerto USB tipo B
Software	Archivos admitidos	.gcode/OBJ/STL/JPG
	Entorno recomendado	Cura, Slic3r, Repetier, Kisslicer
	S.O. compatibles	Windows 7 y superiores

Tabla 28: Especificaciones de la Creality CR-10S [29]

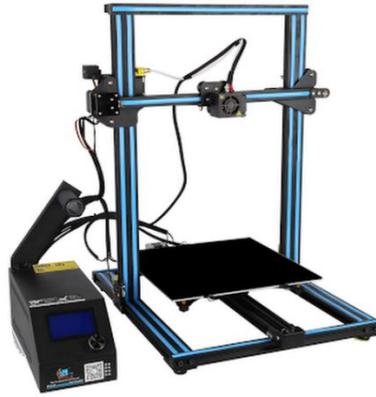


Figura 115: Impresora 3D Creality CR-10S

La deposición por hilo fundido o “impresión 3D” requiere un control preciso de la extrusión, que depende de un número significativo de parámetros que ayudan a controlar mejor el flujo de material de la boquilla y la precisión correspondiente de la pieza final:

- Presión de entrada: esta variable se cambia regularmente durante una construcción, ya que está estrechamente acoplada con otros parámetros de control de entrada. Cambiar la presión de entrada (o la fuerza aplicada al material) da como resultado un cambio correspondiente en la velocidad de flujo de salida.

- Temperatura: Mantener una temperatura constante dentro de la masa fundida dentro de la cámara sería la situación ideal. Sin embargo, las fluctuaciones pequeñas son inevitables y causarán cambios en las características del flujo. La detección de temperatura debe realizarse en algún lugar dentro de la máquina y, por lo tanto, se puede incluir un parámetro en el modelo de control que la relaciona con la presión de alimentación para compensar las variaciones térmicas. A medida que se acumula el calor, la presión debería caer ligeramente para mantener la misma velocidad de flujo.

- Diámetro de la boquilla: esto será constante, pero muchos sistemas basados en extrusión permiten boquillas intercambiables que pueden usarse para compensar la velocidad contra la precisión. La boquilla de extrusión determina la forma y el tamaño del filamento extruido. Un diámetro de boquilla más grande permitirá que el material fluya más rápidamente, pero resultaría en una pieza con menor precisión en comparación con el dibujo CAD original.

- Características del material: Los modelos de control deberían incluir información sobre los materiales utilizados. Esto incluiría información de viscosidad que ayudaría a comprender el flujo de material a través de la boquilla. Aunque el flujo viscoso, la fluencia, etc. son muy difíciles de predecir.

- Aumento de la temperatura dentro de la pieza: todas las piezas comenzarán a enfriarse tan pronto como el material haya sido extruido. Sin embargo, diferentes geometrías se enfriarán a diferentes velocidades. Las estructuras grandes mantendrán su calor durante más tiempo que las piezas más delgadas, debido a la variación en la relación superficie/volumen.

- Los soportes además de generarse automáticamente, el usuario tiene flexibilidad para cambiar su forma. Con los soportes solubles en agua, no tendrá importancia, pero con los sistemas de soporte separables hechos del mismo material que el material de construcción, vale la pena verificar dónde irán, ya que se producirán daños en la superficie donde se unieron estos soportes antes de separarlos.

- Los patrones de relleno para FDM pueden requerir cierta atención, en función de la intención del diseño. Por ejemplo, generalmente hay pequeños huecos en las piezas de FDM que pueden minimizarse aumentando la cantidad de material extruido en una región particular. Dependerán también de la resistencia solicitada para la pieza[15].

### **Paso 5: Fabricación.**

El fichero digital generado en el paso 3 con la información de la pieza en capas, es cargado en la impresora mediante una tarjeta SD, entonces comienza el proceso de fabricación. La construcción de la pieza es principalmente un proceso automatizado y la máquina puede continuar en gran medida sin supervisión. En este momento, sólo se debe realizar un monitoreo superficial de la máquina para garantizar que no se hayan producido errores como quedarse sin material, etc.

Los materiales que se utilizan en la impresión 3D determinan en gran medida las diferentes aplicaciones y características que esta tecnología puede ofrecer. El usado para este prototipo será el PLA o ácido poliláctico, uno de los materiales más usados en el mundo de la impresión 3D gracias a la popularización de las impresoras domésticas con tecnología de extrusión FDM.

El ácido poliláctico o poliácido láctico (PLA) es un polímero constituido por elementos similares al ácido láctico, con propiedades semejantes a las del tereftalato de polietileno (PET) que se utiliza para hacer envases, pero que además puede ser biodegradable bajo ciertas condiciones a temperaturas del orden de 60 °C. Se puede degradar en agua y óxido de carbono. El PLA es un polímero biodegradable. Se fabrica a partir de recursos renovables al 100%, como son el maíz, la remolacha, el trigo y otros productos ricos en almidón. Este termoplástico tiene muchas características equivalentes, e incluso mejores, que muchos de los plásticos derivados del petróleo, lo que hace que sea eficaz para una gran variedad de usos. El PLA es resistente a la humedad y a la grasa. En cuanto a aspectos físicos, químicos y mecánicos, la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad del PLA es también comparable al del polietileno. Sin embargo, es más hidrofílico que el polietileno, ya que tiene una densidad más baja. Es además estable a la luz U.V. siendo más difícil su decoloración. En cuanto a su inflamabilidad, es demasiado baja[30].



Figura 116: Rollos de PLA empleados

### **Paso 6: Retirado.**

Una vez que la máquina FA ha completado la construcción, se deben quitar las piezas. Esto puede requerir la interacción con la máquina, que puede tener enclavamientos de seguridad para garantizar, por ejemplo, que no haya partes móviles activas. En este caso se crea en la pieza una capa de adherencia a la placa de impresión para evitar que se mueva o curve durante el proceso



### **Paso 7: Postprocesado**

Una vez retiradas de la máquina, las piezas no siempre tienen el grado de acabado superficial necesario para el uso que se les vaya a dar. Porque al mismo tiempo que se construyen soportes en las secciones delgadas y salientes, para evitar que éstas se doblen o se rompan. Puede darse un escalonamiento de las superficies situadas con ángulos bajos con respecto a la horizontal, y en superficies curvadas y pueden requerir una limpieza adicional (incluso lijado, pulido o pintado). Las piezas pueden ser débiles en esta etapa o pueden tener soportes que deben eliminarse. Por lo tanto, esto a menudo requiere tiempo y manipulación manual cuidadosa y experimentada.

### **Paso 8: Aplicación**

Las piezas ahora pueden estar listas para ser utilizadas. Sin embargo, también pueden requerir un tratamiento adicional antes de ser aceptables para su uso. Pueden requerir imprimación y pintura para dar una textura superficial y un acabado aceptables. También se les puede exigir que se ensamblen junto con otros componentes mecánicos o electrónicos para formar un modelo o producto final.

## ANEXO 11: Introducción a la inyección. [15]

### Proceso de inyección de plástico

El moldeo por inyección es, quizás, el método de moldeo más característico de la industria de plásticos. Consiste en fundir un material plástico en condiciones adecuadas e introducirlo a presión en las cavidades de un molde dentro del cual se enfría hasta una temperatura apta para que las piezas puedan ser extraídas sin deformarse.

El proceso por inyección puede dividirse en dos fases: En la primera, tiene lugar la fusión del material, y, en la segunda, la inyección en el molde.

En las máquinas convencionales el material de moldeo, en forma de gránulos, entra en el cilindro de calefacción a través de una tolva de alimentación situada en la parte posterior del cilindro. El material se calienta y se funde en el cilindro, al mismo tiempo que circula hacia la parte delantera de éste, gracias al movimiento rotatorio del tornillo que se encuentra en el interior del cilindro.

### Ciclo de moldeo por inyección

El ciclo de inyección de polímeros termoplásticos procede según la secuencia de la Figura 116 el ciclo empieza cuando el molde se cierra, seguido de la inyección del polímero a alta presión en la cavidad del molde. Una vez que la cavidad del molde está llena, el plástico se enfría al contacto con la superficie fría del molde y empieza a solidificar, y al mismo tiempo se mantiene una presión de sostenimiento, para compensar el encogimiento del material. En la siguiente etapa, el tornillo gira, para alimentar la siguiente carga a la parte frontal de la unidad de plastificación. Esto ocasiona que retroceda mientras se prepara la siguiente carga. Una vez que la pieza está suficientemente fría, el molde se abre y expulsa.

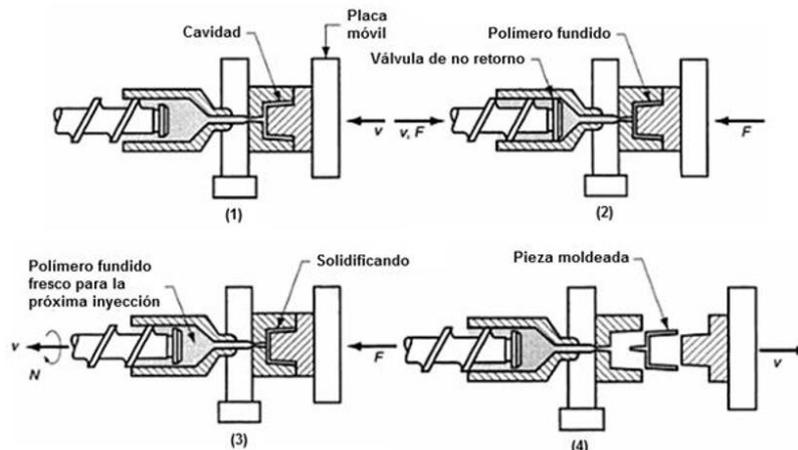


Figura 117: Secuencia de eventos durante el ciclo de moldeo por inyección

El molde de inyección es el elemento del proceso que recibe el plástico fundido procedente de la unidad de inyección, le da la forma deseable a la pieza de plástico, le proporciona el enfriamiento necesario para que solidifique y después del enfriamiento la expulsa.

El molde no es un elemento de una máquina de inyección, ya que debe construirse especialmente para cada pieza. Consta de dos mitades, que se fijan a la placa de sujeción de la unidad de cierre. El tamaño máximo del molde viene determinado por el tamaño de las placas de sujeción, así como por la distancia entre las guías propias de la máquina.

Las partes básicas que componen a un molde de inyección son las siguientes:

- Placa de cavidades.
- Sistema de alimentación.
- Sistema de refrigeración.
- Expulsores.

Estos elementos cumplen con las siguientes funciones respectivamente:

- Permitir la entrada y distribución de la masa fundida.
- Moldear la masa fundida hasta darle la forma deseada.
- Facilitar el enfriamiento de la masa fundida.
- Desmoldar la pieza.

El molde es la parte más importante en el proceso de inyección. El termoplástico inyectado por la boquilla de la inyectora se aloja en la cavidad interna del molde donde solidifica, por tanto, el molde es el encargado de dar forma y calidad a las piezas en el proceso de inyección. El diseño del molde debe estar acorde con el de la pieza. La elaboración de este molde es uno de los procesos más costosos durante toda la fabricación de un producto inyectado.

### Máquina de inyección

En la Figura 117 se muestra una máquina moderna de moldeo por inyección, con sus elementos más importantes. Los componentes de la máquina de moldeo por inyección, son la unidad de plastificación, la unidad de cierre y el molde.

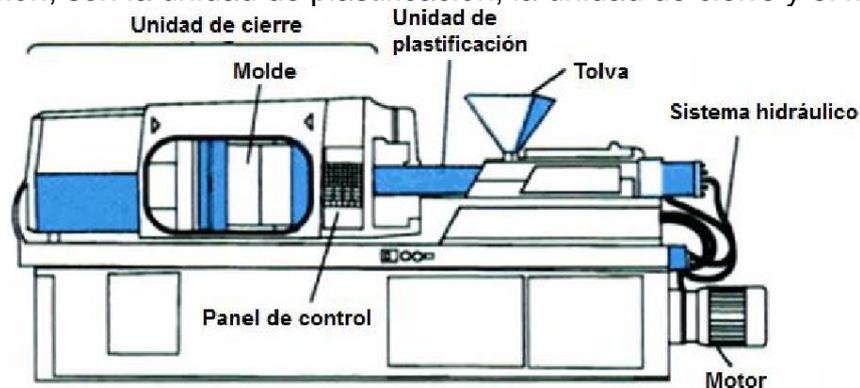


Figura 118: Máquina de inyección con sus componentes básicos

A continuación, se van a exponer los principales problemas a tener cuenta para las piezas de moldeo por inyección y los consejos para minimizarlos[22]:

- Línea de partición: es la marca superficial que aparece en la pieza final debido al plano de unión entre las dos mitades del molde. En función del ajuste y la calidad del molde dicha línea se disimulará en mayor o menor medida, pero siempre aparecerá, para poder disimular este efecto conviene colocar el plano de partición sobre una arista viva de la pieza.
- Marca del punto de inyección: el material en estado líquido entra por los ataques al molde, una vez solidifica la pieza, también lo hace el material restante que queda en la cavidad del ataque, teniendo que romper dicho material para poder obtener la pieza con su forma final. Dicho punto de rotura deja una marca superficial, el cual se puede apreciar por ejemplo en el culo de las botellas, por lo que será necesario ubicar los puntos de inyección en aquellos lugares donde no importe que queden marcas.



- Líneas de soldadura: este fenómeno aparece como consecuencia del choque del flujo de material en sentidos opuestos, deja una marca superficial sobre el material en forma de ondas. Para evitar que por culpa de este fenómeno aparezcan marcas superficiales que dañarían la pieza es necesario realizar un estudio previo de llenado del molde, donde poder identificar puntos donde varios frentes de flujo converjan y dar solución para poder mitigar este efecto.
- Marcas de “rechupe”: se denomina rechupe al fenómeno que da como consecuencia un hundimiento de material en determinadas zonas, este puede ser debido a un inadecuado llenado del molde en dicha zona o a sobrecalentamientos en determinados puntos que dan como consecuencia una posterior contracción del material. Es propio de aquellas zonas de unión entre material, sobre todo nervios, alojamientos para tornillos o simplemente conexión entre caras. Una solución posible para evitar este recalentamiento pasa por reducir la sección del nervio frente a la de la superficie perpendicular, o colocar canales de enfriamiento que ayuden a enfriar el material en un tiempo menor.
- Quemaduras: una inadecuada velocidad de inyección podrá provocar gradientes de temperatura elevados que se reflejen en marcas superficiales muy parecidas a las líneas de soldadura.
- Deformaciones de la pieza, “arqueamiento de la pieza”: cuando o bien la forma de la pieza o el llenado de esta misma, no es un llenado simétrico, la solidificación de las partes no se dará por igual produciendo esfuerzos residuales internos, traducidos en un arqueamiento de la pieza.



## ANEXO 12: Informe AMEF

# Estudio de la Tapa

### Empresa

### Autor

Javier Sebastián Millán

### Fecha

miércoles, 13 de noviembre de 2019

### Software usado

Solid Edge (219.00.00.091 x64)  
Femap (11.3.1)

### Solucionador usado

NX Nastran (11.0)

---

## Contenido

1. [Información sobre el modelo](#)
2. [Propiedades del estudio](#)
3. [Geometría del estudio](#)
4. [Propiedades del material](#)
5. [Cargas](#)
6. [Restricciones](#)
7. [Información de mallado](#)
8. [Resultados](#)
9. [Advertencia](#)

---

## 1. Información sobre el modelo

Documento	C:\Users\Utilizador\Desktop\PROTOTIPOS\prototipo 3.0 - copia\ensamblaje\MONTAJEfinal.asm
-----------	--

---

## 2. Propiedades del estudio

Propiedad del estudio	Valor
-----------------------	-------



Nombre del estudio	Estudio estático 1
Tipo de estudio	Estático lineal
Tipo de mallado	Tetraédrico
Solucionador iterativo	Activado
Verificación de geometría de NX Nastran	Activado
Opción de sólo resultados de superficie	Activado

## 3. Geometría del estudio

### 3.1 Sólidos

Nombre del sólido	Material	Masa	Volumen	Peso
TAPA3.par:1	ABS, alto impacto (Predeterminado)	0,078 kg	75809,487 mm <sup>3</sup>	760,763 mN

## 4. Propiedades del material

### 4.1 ABS, alto impacto

Propiedad	Valor
Densidad	1024,000 kg/m <sup>3</sup>
Coefficiente de expansión térmica	0,0001 /C
Conductividad térmica	0,000 kW/m-C
Calor específico	0,000 J/kg-C
Módulo de elasticidad	1378,951 MPa
Coefficiente de Poisson	0,400
Límite elástico	31,026 MPa
Tensión de rotura	0,000 MPa

## 5. Cargas

Nombre de carga	Tipo de carga	Valor de carga	Distribución de carga	Dirección de carga	Opción de dirección de carga
Fuerza 1	Fuerza	5,1e+03 mN	Por entidad	( 0,00, 0,00, -1,00 )	A lo largo del vector

## 6. Restricciones

Nombre restricción	de Tipo restricción	de	Grados de libertad
Fijo 1	Fijo	GRADOS DE LIBERTAD DISPONIBLES:	Ninguno

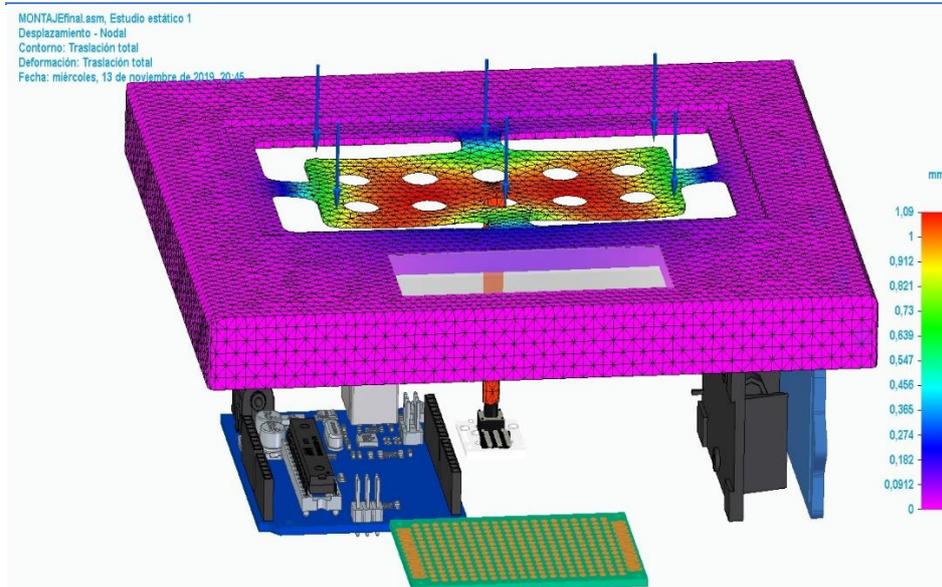
## 7. Información de mallado

Tipo de mallado	Tetraédrico
Número total de cuerpos mallados	1
Número total de elementos	41.262
Número total de nodos	75.517
Tamaño subjetivo de malla (1-10)	7

## 8. Resultados

### 8.1 Resultados del desplazamiento

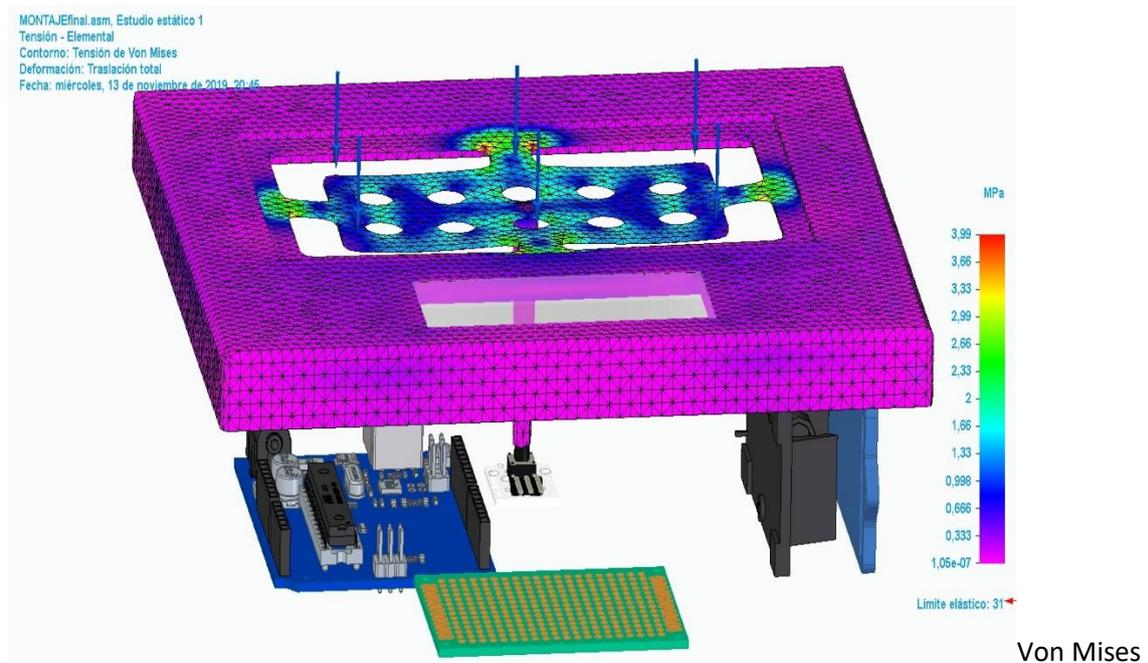
Componente resultante: traslación total				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0 mm	-85,624 mm	-53,077 mm	51,930 mm
Máxima	1,09 mm	-18,874 mm	8,665 mm	63,930 mm



Traslación total

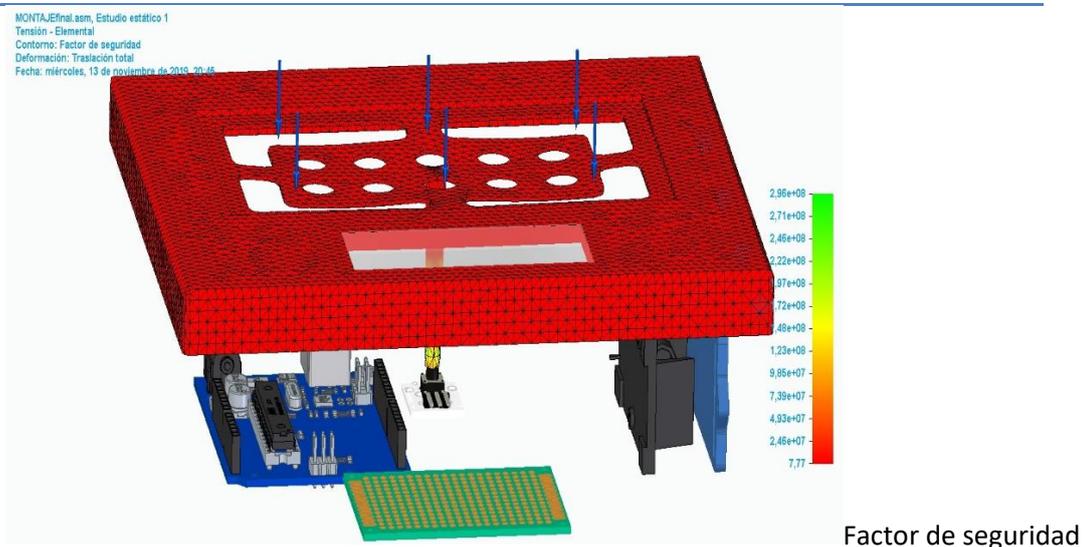
## 8.2 Resultados de tensión

Componente resultante: Von Mises				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	1,05e-07 MPa	2,706 mm	12,000 mm	31,766 mm
Máxima	3,99 MPa	6,255 mm	40,121 mm	64,430 mm



## 8.3 Resultados del factor de seguridad

Componente resultante: Factor de seguridad				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	7,77	6,255 mm	40,121 mm	64,430 mm
Máxima	2,96e+08	2,706 mm	12,000 mm	31,766 mm





## 9. Advertencia

### Información importante

No se debe usar este informe como única medida de la idoneidad de una idea de diseño en unas condiciones ambientales determinadas. Siemens ha realizado todos los esfuerzos posibles para asegurar que sus productos ofrezcan el máximo posible de guía y ayuda. Sin embargo, esto no sustituye al buen criterio de ingeniería, que es siempre responsabilidad del usuario. Un enfoque de ingeniería cualitativa debería asegurar que los resultados de estos cálculos sean evaluados en conjunto con la experiencia práctica de los diseñadores y analistas, y en último caso, con el respaldo de datos de pruebas experimentales. Los resultados contenidos en este informe están considerados fiables, pero no debe considerarse que dan ninguna clase de garantía de validez de propósito.