



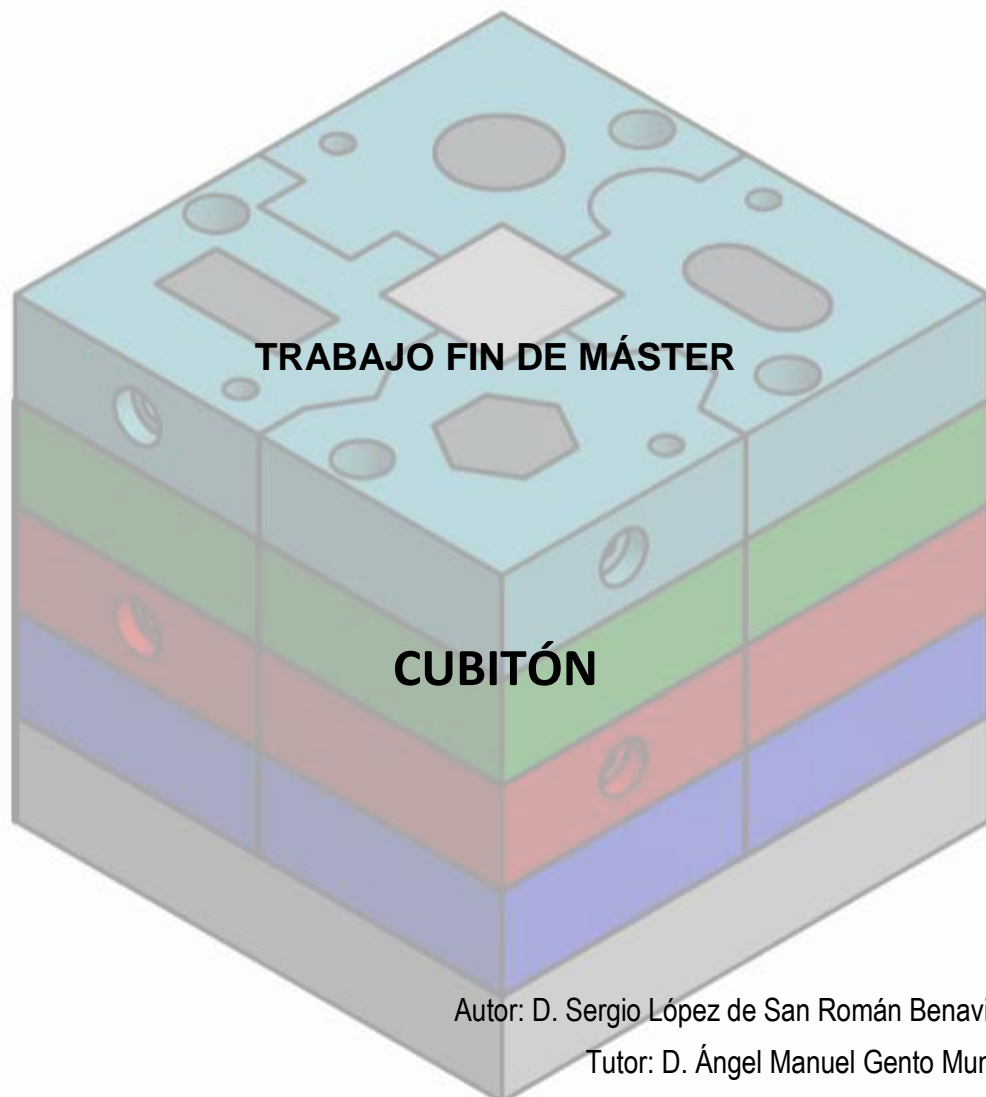
Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID



Valladolid, septiembre, 2019



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

Máster en Ingeniería Industrial



RESUMEN

El Lean Manufacturing es una metodología de trabajo cuya aplicación es imprescindible para una correcta optimización de los procesos productivos. Este trabajo trata sobre el diseño y fabricación de un modelo que sirva para la realización de un juego didáctico sobre el Lean Manufacturing, el cubitón. Este diseño ha de cumplir una serie de requisitos para garantizar un equilibrio entre aprendizaje y entretenimiento en el juego. Para ello se ha profundizado en formas alternativas de enseñanza que aseguren el aprendizaje en el alumno.

Para la fabricación de dicho modelo se ha empleado la tecnología de impresión 3D, actualmente en continuo desarrollo. La evolución de esta tecnología ha permitido que pueda ser una gran alternativa frente a los procesos de fabricación convencionales. Son precisamente estas ventajas las que han motivado a emplear esta tecnología para fabricar el cubitón.

ABSTRACT

Lean Manufacturing is a work methodology whose application is essential for a correct optimization of production processes. This project is about the design and manufacture of a model called cubiton that could be used for an educational game about Lean Manufacturing. This model must meet some requirements to ensure a balance between learning and entertainment in the game. In order to achieve this it has been studied alternative forms of teaching that ensure student learning.

For the manufacture of the model 3D printing technology has been used which is currently in continuous development. The evolution of this technology has allowed it to be a great alternative against conventional manufacturing processes. It is precisely these advantages that have motivated the use of this technology to make the cubitón.



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

Máster en Ingeniería Industrial



CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
CONTENIDO.....	3
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 OBJETIVO	7
1.2 ALCANCE	7
1.3 MOTIVACIÓN	7
CAPÍTULO 2. LEAN MANUFACTURING	9
2.1 DEFINICIÓN	9
2.2 PRINCIPIOS BÁSICOS	10
2.2.1 ELIMINAR DESPILFARROS.....	11
2.2.2 KAIZEN	13
2.2.3 SISTEMA SMED.....	13
2.2.4 METODOLOGÍA 5'S.....	14
2.2.4 JIDOKA.....	15
2.2.5 TÉCNICAS DE CALIDAD	16
2.2.6 PARTICIPACIÓN DEL PERSONAL	18
2.2.7 HEIJUNKA	19
2.2.8 SISTEMA KANBAN	19
CAPÍTULO 3. FABRICACIÓN ADITIVA. IMPRESIÓN 3D	21
3.1 FABRICACIÓN ADITIVA.....	21
3.2 HISTORIA Y EVOLUCIÓN.....	22
3.3 IMPRESIÓN 3D	23
3.5 MATERIALES.....	24



3.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS	27
CAPÍTULO 4. APRENDER JUGANDO.	31
4.1 JUEGOS DIDÁCTICOS.....	31
4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS JUEGOS DIDÁCTICOS	33
4.3 APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO	34
4.4 JUEGOS SERIOS	35
4.5 GAMIFICACIÓN	36
4.5.1 GAMIFICACIÓN EN LA EDUCACIÓN.....	38
4.6 LEARNING BY DOING	39
CAPÍTULO 5. DESARROLLO Y DISEÑO CUBITÓN.....	41
5.1 PRÁCTICAS LEAN MANUFACTURING	41
5.1.1 PROBLEMÁTICA ASOCIADA.....	42
5.2 DISEÑO CUBITÓN	43
5.2.1 REQUISITOS DEL DISEÑO.....	43
5.2.2 DISEÑO DE LA BASE.....	44
5.2.3 DISEÑO DE LAS PIEZAS	46
5.2.4 PIEZAS CON INSERTOS	47
5.2.5 PIEZAS FINALES	50
CAPÍTULO 6. FABRICACIÓN CUBITÓN	53
6.1 METODOLOGÍA	53
6.2 DEFECTOLOGÍA	57
6.3 PARÁMETROS DE IMPRESIÓN.....	62
6.3.1 OTROS PARÁMETROS.....	63
6.4 OPERACIONES ADICIONALES	65
6.5 PIEZAS TERMINADAS	66
6.6 PRESUPUESTO.....	70
CAPÍTULO 7. ESTUDIO ECONÓMICO	71
7.1 DESARROLLO DEL PROYECTO	71
7.2 COSTES DE PERSONAL	72



7.3 AMORTIZACIÓN EQUIPOS INFORMÁTICOS	72
7.4 CONSUMIBLES	73
7.5 COSTES INDIRECTOS	73
7.6 TIEMPO Y COSTES DEL PROYECTO	74
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS	75
BIBLIOGRAFÍA.....	79
INDICE DE PLANOS	81



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

Máster en Ingeniería Industrial



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO

El objetivo de este trabajo consiste en el diseño y fabricación de un montaje que servirá como juego didáctico para que los alumnos puedan poner en práctica diferentes técnicas del lean manufacturing.

Para el diseño del conjunto se ha considerado el proceso del montaje de este, para introducir de forma intencionada el problema del desequilibrio de los distintos puestos de montaje.

1.2 ALCANCE

Diseño y fabricación con una impresora 3D de un conjunto de piezas montables entre sí que sirva como juego didáctico para su posterior aplicación en prácticas de Lean Manufacturing u otras actividades universitarias.

1.3 MOTIVACIÓN

Ofrecer una alternativa a los juegos didácticos con los que actualmente se realizan las prácticas de Lean Manufacturing. Estos juegos presentan el inconveniente de ser demasiado pesados, complicando su manipulación y transporte. Por ello se propone una alternativa, fabricada mediante una impresión 3D, que presente mayor ligereza y prestaciones suficientes para su utilización como juego didáctico.



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

Máster en Ingeniería Industrial



CAPÍTULO 2. LEAN MANUFACTURING

2.1 DEFINICIÓN

El concepto de Lean Manufacturing podría traducirse como “*producción ajustada*”, o “*producción sin desperdicios*”. Esto nos da una pista sobre qué trata este modelo de gestión de la producción.

El Lean Manufacturing tiene su origen a mediados del siglo XX en la empresa japonesa Toyota. Después de la Segunda Guerra Mundial, en 1948, la empresa lleva a cabo una gran reestructuración debido a la importante crisis financiera del momento. Por este motivo Taiichi Ohno viaja a EEUU para observar los sistemas de producción en masa de las fábricas de automóviles norteamericanas, donde la reducción de costes se conseguía a base de producir grandes cantidades con poca variedad de modelos. Comprendiendo que no era posible implantar estos sistemas en Japón, en su lugar optó por una solución distinta y opuesta: fabricar automóviles más pequeños, variados y de bajo coste.

Para conseguirlo, Taiichi desarrolla las bases de un nuevo sistema de gestión de la producción centrándose en eliminar despilfarros, así como cualquier elemento que no contribuya a la cadena de valor. Además, se trata de un sistema “*Pull*”, reduciéndose el stock, reponiéndose solo aquellos componentes cuando realmente se requieran y produciéndose solo lo que el cliente demanda.

Este sistema de gestión será posteriormente conocido como *Just in time* (JIT) que, complementado con la reducción de los tiempos (SMED) y otras herramientas y técnicas como *Kanban*, *jidoka* o *monozukuri* sentarán las bases del *Toyota Production System* (TPS).

El sistema JIT empieza a hacerse notar con la crisis del petróleo de 1973, con lo que muchas empresas japonesas entran en pérdidas. Toyota destacó al estar por encima de la mayoría de las compañías gracias a su modelo de gestión. De este modo el gobierno japonés fomentó la extensión de este modelo al resto de empresas niponas (Hernández Matías y Vizán Idoipe, 2013).

A principios de los años 90 es cuando el modelo japonés impacta sobre la cultura empresarial de occidente a través de publicaciones de Womack, Jones y Roos donde se contrastaban los sistemas de producción europeo, estadounidense y japonés. Así se



expusieron las características de un nuevo sistema de producción que combinaba eficiencia, flexibilidad y calidad.

2.2 PRINCIPIOS BÁSICOS

El lean manufacturing no es una fórmula simple o una única técnica que aplicar en una línea de producción, sino que va más allá. Es una filosofía de trabajo, soportada en unos principios básicos y un conjunto de técnicas con las que lograr primero eliminar los desperdicios para así conseguir una producción eficiente, de calidad y reduciendo los costes. Esto supone un importante cambio cultural en la organización empresarial con un alto compromiso de la dirección de la compañía que decida implementarlo.

Los principios básicos que propone el lean respecto al “factor humano” y la forma de trabajar son según Hernández Matías y Vizán Idoipe (2013):

- Trabajar en la planta y comprobar las cosas in situ.
- Formar líderes de equipos que asuman el sistema y lo enseñen a otros.
- Interiorizar la cultura de “parar la línea”.
- Crear una organización que aprenda mediante la reflexión constante y la mejora continua.
- Desarrollar personas involucradas que sigan la filosofía de la empresa.
- Respetar a la red de suministradores y colaboradores ayudándoles y proponiéndoles retos.
- Identificar y eliminar funciones y procesos que no son necesarios.
- Promover equipos y personas multidisciplinarios.
- Descentralizar la toma de decisiones.
- Integrar funciones y sistemas de información.
- Obtener el compromiso total de la dirección con el modelo Lean.

A estos principios hay que añadir los relacionados con las medidas operacionales y técnicas a usar:

- Crear un flujo de proceso continuo que visualice los problemas a la superficie.
- Utilizar sistemas “Pull” para evitar la sobreproducción.
- Nivelar la carga de trabajo para equilibrar las líneas de producción.
- Estandarizar las tareas para poder implementar la mejora continua.
- Utilizar el control visual para la detección de problemas.
- Eliminar inventarios a través de las diferentes técnicas JIT.



- Reducir los ciclos de fabricación y diseño.
- Conseguir la eliminación de defectos.

2.2.1 ELIMINAR DESPILFARROS

El lean manufacturing propone medir la eficiencia y productividad de todos los procesos estudiando el valor que aportan al producto final, entendiendo que todo lo que no sirve para aportar valor es un despilfarro.

Normalmente las empresas utilizaban los indicadores de productividad para medir la eficiencia de las operaciones. sin embargo, si se analiza si el trabajo realizado realmente aporta valor al producto final muy probablemente se descubra que los anteriores indicadores no eran representativos para determinar la eficiencia del proceso, ocultando el potencial de mejora competitiva, así como los costes derivados.

Eliminar estos despilfarros permitirá a la empresa reducir los costes de la producción y aumentar realmente la eficiencia de los procesos. Para esto es necesaria una eliminación sistemática del despilfarro a través de tres pasos iterativos:

- Identificar los desperdicios y las operaciones que aportan valor añadido en el proceso.
- Actuar para eliminar el desperdicio.
- Estandarizar el trabajo con mayor carga de valor añadido para posteriormente repetir este ciclo de mejora.

Para que este sistema tenga éxito es fundamental la participación de toda la empresa, desde la dirección hasta los operarios.

Los despilfarros pueden clasificarse como las 7 Mudas, que fueron definidas por Taichii Ohno. El término Muda corresponde con la traducción de desperdicio o despilfarro en japonés. Esta misma clasificación ha variado con los años, considerándose en la actualidad incluso hasta 8 tipos de despilfarros. La clasificación original con los 7 Mudas principales que pueden afectar a un proceso sería la siguiente:

- Movimientos. Todo aquel movimiento de personas o equipamientos que no añada valor constituye un desperdicio, incluyendo hasta caminar de forma innecesaria. La falta de orden, limpieza o un layout mal planteado junto con malos métodos de trabajo u organización pueden ser las causas de este tipo de despilfarros.



- Transporte. El proceso productivo debe fluir correctamente, minimizándose los desplazamientos entre puestos y eliminando colas de inventario. Para ello es importante diseñar un correcto layout de las máquinas que garantice un flujo de materias e inventarios. Es vital diseñar un recorrido de materias primas eficiente tanto interno como externo.
- Inventarios. El exceso de inventario es la forma más clara de despilfarro suponiendo un aumento de los costes al necesitar de cuidados, mantenimiento o vigilancia, además de ocupar un espacio que podría ser destinado para otras operaciones. En los almacenes descontrolados a menudo existen productos caducados, obsoletos o defectuosos que además de no ser capaces de aportar ningún valor están consumiendo recursos.
- Sobreproducción. Fabricar más de lo necesario implica una pérdida de tiempo en producir un producto que no se necesita, que no va a ser vendido, lo que supone un gasto inútil en materia prima, así como costes derivados de su transporte y almacenamiento.
- Tiempos de espera. Es el despilfarro debido a un proceso ineficiente en el que unos puestos de trabajo permanecen parados mientras otros están saturados.
- Defectos. Los errores suponen el despilfarro más aceptado en la industria, significando una importante pérdida de producción y trabajo extra para corregir los defectos. Los procesos han de estar diseñados a prueba de errores, obteniendo calidad a la primera, con lo que se elimina así la necesidad de retoques que no aportan valor al producto final, sino que encarecen el producto. Un control de calidad en tiempo real permite que los defectos sean detectados al momento, reduciendo así el número de piezas que requieren una inspección adicional.
- Sobreprocesos. Realizar trabajos extras sobre un producto no aporta valor al mismo, constituyendo dicho esfuerzo en un desperdicio que ha de ser evitado. Este es uno de los despilfarros más difíciles de identificar, ya que normalmente el propio responsable no es consciente de que está haciendo un esfuerzo a mayores que resulta innecesario para el cliente y que no va a ser percibido en el producto final.

Actualmente se han añadido otros tipos de desperdicios que comprenden el gasto innecesario de energía, así como el desaprovechamiento del talento humano. Este



último se da cuando se menosprecia o subestima a los empleados, ignorándose la creatividad y el conocimiento que tienen estos sobre el proceso productivo.

2.2.2 KAIZEN

La palabra kaizen proviene de un kanji japonés que podría traducirse como “*cambio beneficioso*”, es decir una mejora. El Kaizen es un concepto que se desarrolla de forma constante en el tiempo, con lo que se consigue un proceso de mejora continua, en el que participan todos los trabajadores, tanto los operarios de línea como la dirección o mandos de la empresa. Es un reto continuo, en el que se rechazan las ideas fijas, reinventándose los estándares siempre con el objetivo de mejorar. Una expresión que refleja claramente el concepto del kaizen es “siempre hay un método mejor”.

Este proceso comienza con la identificación de los problemas que puedan existir en la línea. A partir de las ideas aportadas por los trabajadores se proponen y desarrollan soluciones o mejoras. Los resultados obtenidos a través de estas mejoras son observados y comparados para elegir cual es la opción más adecuada.

Para implantar este sistema se realizan pequeños grupos de trabajo entre los operarios y sus superiores. Se exponen los problemas identificados y proponen las soluciones o ideas en conjunto. La participación de los operarios es fundamental, ya que además de ser los primeros interesados en la organización de su puesto, son también los que mejor conocen el proceso, siendo más sencillo para ellos identificar los problemas de este.

2.2.3 SISTEMA SMED

SMED es un acrónimo inglés que proviene de Single-Minute Exchange of Dies, que puede traducirse como un minuto para cambio de herramientas. Consiste en una metodología que busca la reducción de los tiempos de preparación de la máquina. Para conseguir esta reducción es necesario conocer detalladamente el proceso y realizar cambios importantes en la maquina junto con el utillaje o las herramientas que se utilicen o incluso en el propio producto.

Tiempos de preparación largos suponen trabajar con lotes de producción mayores, manejando mayores inventarios que llevarán asociados a su vez mayores costes. Reducir al mínimo estos tiempos de espera implica que se puede producir la cantidad necesaria reduciendo los inventarios.

Métodos simples y rápidos para el cambio de herramienta eliminan las posibilidades de cometer un error en el proceso además de aumentar la capacidad de la máquina.

Para aplicar SMED es necesario estudiar las causas que provocan tiempos elevados de preparación. Además, deben realizarse estudios de tiempos y movimientos necesarios para realizar las operaciones de reglaje y cambio de herramientas.

2.2.4 METODOLOGÍA 5'S

Las 5's consiste en la aplicación sistemática de los principios de orden y limpieza en el puesto de trabajo. El acrónimo hace referencia a las cinco palabras que definen esta herramienta cuya pronunciación empieza por "s": Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke, que significan respectivamente: eliminar lo innecesario, ordenar, limpiar e inspeccionar, estandarizar y crear hábito.

Esta técnica no consiste en aplicar los cinco principios de forma independiente o simplemente una vez, sino que es un ciclo de mejora continua como se representa en la Figura 1; cuando se llega al 5 paso no se detiene el proceso, sino que se empieza de nuevo.



Figura 1. Metodología 5's

Esta herramienta es de las más básicas y fáciles de implantar, además de producir resultados inmediatos y con alto impacto visual. También sirve para que el personal



aprecie la importancia de las cosas pequeñas y del orden de su entorno mejorando así su actitud.

- **Seiri (Clasificar):** El primer paso consiste en eliminar los elementos innecesarios del puesto de trabajo, para así poder encontrar con mayor facilidad los elementos necesarios. Para conseguirlo han de delimitarse las zonas de trabajo, almacenaje y flujos de material o personas. Además, debe disponerse de un lugar adecuado para las herramientas necesarias, evitando duplicidades; cada cosa en su lugar y un lugar para cada cosa.
- **Seiton (Ordenar):** Una vez eliminados los elementos innecesarios del puesto de trabajo se ordena el resto conforme a su necesidad, buscando que su localización y accesibilidad sea rápida para no perder tiempos en su búsqueda o al recolocarlos.
- **Seiso (limpieza e inspección):** Han de identificarse las causas y fuentes de suciedad para ser eliminadas de modo que el puesto de trabajo se encuentre en todo momento accesible. Eliminar las fuentes de suciedad contribuye a la seguridad del puesto además de evitar numerosos problemas de calidad que podrían pasar desapercibidos por la ausencia de pulcritud.
- **Seiketsu (estandarizar):** Una vez realizados los pasos anteriores debe estandarizarse lo que se ha logrado para que así los efectos que se han conseguido perduren a lo largo del tiempo.
- **Shitsuke (Crear hábito):** El objetivo es convertir en hábito la utilización de los métodos estandarizados y aceptar la aplicación normalizada. Dicho objetivo puede ser el más complicado ya que el éxito dependerá de cuanto se haya conseguido concienciar en la organización la cultura de las 5S.

2.2.4 JIDOKA

Jidoka es un término japonés que significa “automatización con un toque humano”. El objetivo de Jidoka es que los procesos cuenten con un sistema de autocontrol de calidad, de modo que cuando se produzca una anomalía el proceso se detendrá impidiendo que las piezas defectuosas continúen. De esta forma solo se producirán piezas con 0 defectos al no llegar las que no cumplan los requisitos de calidad al final del proceso, además de minimizar el número de elementos defectuosos a reparar.

Para conseguir que las piezas defectuosas no continúen en el proceso productivo existen varios métodos o herramientas:



- Paradas automáticas. Mediante sensores y controles de calidad automáticos se detiene la línea o el proceso cuando se detecte un defecto. Los operarios tendrán la capacidad de parar la producción o alertar y acudir en ayuda para resolver el problema en su raíz.
- Sistemas Andon. A lo largo del proceso productivo existe una cuerda (“andon” en japonés) que permite a los operarios activar un sistema de alerta o detener la línea.
- Poka-Yoke: significa a prueba de errores y consiste en idear dispositivos o sistemas con los que no sea posible cometer un error, lo que contribuye también a la simplificación del proceso.

2.2.5 TÉCNICAS DE CALIDAD

Se entiende como calidad el compromiso por parte de la empresa en hacer las cosas “bien a la primera” y en todas sus áreas para alcanzar la plena satisfacción de los clientes, tanto externos como internos.

El esfuerzo continuo mediante el despliegue de las técnicas de calidad es la única forma de asegurar que todas las unidades producidas cumplan las especificaciones dadas.

Chequeos de autocontrol

El operario que ejecuta las operaciones de fabricación es a la vez el encargado de la inspección. En aquellos casos en los que no puede implementarse un control automático de calidad o un mecanismo que evite el error como un poka-yoke puede emplearse esta técnica. El inconveniente que presenta es que los operarios no sean críticos con su trabajo con lo que habría que optar por otros sistemas de inspección.

Matriz de autocontrol MAQ

La matriz de autocontrol permite relacionar donde se producen los defectos dentro del proceso y hasta quién han llegado. Para construir la matriz se representan cada fase del proceso en las filas y columnas, añadiendo columnas para los proveedores (ya sean internos o externos) y filas para los clientes (internos o externos), quedando de la siguiente manera, Tabla 1.



		FASE DONDE SE PRODUCE EL DEFECTO							
		P1	P1	OP1	OP2	OP3	-	fase n	PPM
FASE DONDE SE DETECTA EL DEFECTO	OP1								
	OP2								
	OP3								
	-								
	fase n								
	CL1								
	CL2								
	PPM								

Tabla 1. Matriz autocontrol MAQ

El objetivo final de la matriz de auto calidad es detectar todos los defectos en la fase donde se generan o lo que es lo mismo, que los defectos aparezcan registrados en la diagonal principal. Otro de los objetivos perseguidos es el de no tener ningún incidente con el cliente, esto aparece identificado en la matriz, cuando en la fila de los clientes no se aparece registrada ninguna marca.

Ciclo PDCA

Conocido también como círculo de Deming, el ciclo PDCA, es una técnica destinada a identificar y corregir los defectos. Este proceso sirve como guía para el proceso de mejora continua, tanto para pequeñas mejoras como para cambios más importantes. Este proceso cíclico representado en la Figura 2 está compuesto por cuatro etapas:

- Plan: Identificar los problemas y definir la estrategia para solucionarlos.
- Do: Llevar a cabo el plan
- Control: Analizar los resultados obtenidos.
- Act: Ajustar, a partir de la experiencia sacar conclusiones y realizar un nuevo plan o estandarizar si se han conseguido los objetivos

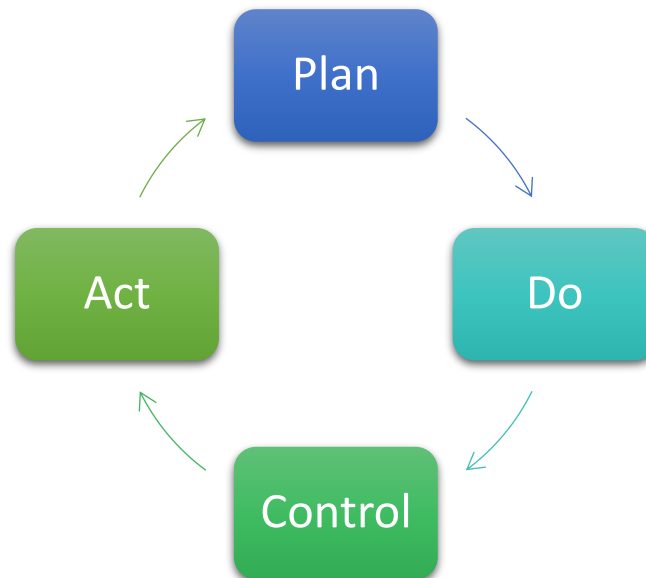


Figura 2. Ciclo PDCA

Cero defectos

El objetivo final de estas técnicas es que se produzcan cero defectos en cualquier aspecto que afecte al proceso: máquinas, personal, materiales, método e información. Para ello será necesario elaborar un plan de acción que contenga las técnicas hasta ahora descritas.

2.2.6 PARTICIPACIÓN DEL PERSONAL

Con objeto de identificar problemas y oportunidades de mejora e implantar acciones para resolverlos se desarrollan los sistemas de participación de personal (SSP). Organizando actividades de forma sistemática en las que participe el personal para tratar las iniciativas puede mejorarse la competitividad de la empresa.

Aplicar estos sistemas puede ser complicado ya que la implicación del personal puede no ser tan exitosa como se espere. Para conseguir mejor grado de implicación ha de mejorarse el trato directo con todos los individuos dentro del sistema, de modo que no se sientan una parte sin importancia dentro de este.



Una vez se ha conseguido la implicación del personal para la mejora tanto del proceso como de las condiciones del trabajo se pueden emplear las siguientes herramientas para canalizar las iniciativas que tomen los trabajadores:

Grupos de trabajo de mejora (Grupos Kaizen). Estos equipos se dedican a tratar problemas específicos. Para ello han de ser grupos multidisciplinares con distintos niveles de responsabilidad y formados para el análisis y resolución de problemas junto con la búsqueda y eliminación de desperdicios.

Sugerencias. Los programas de sugerencias sirven para aprovechar las ideas de los trabajadores, ya sean simples modificaciones, simplificaciones o mejora de los métodos de trabajo de cualquier tipo.

2.2.7 HEIJUNKA

Heijunka es una técnica que sirve para planificar y nivelar la producción a lo largo de un periodo de tiempo. Para ello es necesario conocer la demanda de los clientes. Los pedidos de los clientes pueden considerarse estables para periodos de tiempo suficientemente amplios, con lo que puede desarrollarse un plan de producción que sea también estable y uniforme a lo largo del tiempo. Mediante una producción nivelada en pequeños lotes se reduce el desperdicio.

2.2.8 SISTEMA KANBAN

Kanban es un sistema de control de la producción basado en tarjetas (“Kanban” en japonés), aunque puede emplearse cualquier otro tipo de señales. Las tarjetas Kanban recogen información como el nombre del producto, cantidad, referencia o código de las piezas, lugar donde se fabrica o almacena, etc. Con este sistema se facilita la programación y sincronización de la producción con los flujos de inventario empleando un sistema “pull”.

Las tarjetas Kanban están asociadas a los contenedores o envases de los correspondientes materiales o productos, de forma que cada contenedor tendrá su tarjeta siendo la cantidad reflejada la misma es la que debe tener el envase o contenedor.

Los procesos van retirando los conjuntos que necesitan de las operaciones anteriores, que estas a su vez comenzarán a producir solamente las piezas que se ha retirado, en la cantidad especificada por el Kanban. De este modo se consigue



sincronizar el volumen producido con el consumido en cada operación, o en una escala mayor el flujo de los proveedores con el final del proceso de fabricación. Las tarjetas Kanban actúan a modo de comunicación de las ordenes de fabricación entre los distintos puestos de trabajo.

Este sistema persigue el reaprovisionamiento solo del material vendido, con lo que se consigue reducir los stocks no deseados, es decir, despilfarros.



CAPÍTULO 3. FABRICACIÓN ADITIVA. IMPRESIÓN 3D

3.1 FABRICACIÓN ADITIVA

La fabricación aditiva es un nuevo tipo de producción consistente en que el material se aplica capa a capa de forma contralada donde es necesario para conformar una pieza. Mediante esta técnica pueden fabricarse distintas formas geométricas que satisfagan las necesidades de cada sector.

Comúnmente se confunde el concepto de fabricación aditiva con la Impresión 3D tratándose a veces como sinónimos, sin embargo, no son lo mismo. La fabricación aditiva es el conjunto de técnicas de fabricación por adición de material y tiene por objetivo fabricar componentes complejos y durables; la impresión 3D es un tipo de fabricación aditiva que se emplea para el prototipado rápido de componentes de forma limitada y con poca funcionalidad, además de normalmente limitarse a un tipo concreto de tecnología aditiva.

Entre los beneficios que aporta este método de fabricación está la reducción de procesos intermedios como la elaboración de utillajes específicos para fabricar una sola pieza, con lo que se consigue producir piezas concretas mucho más rápido. También cabe destacar que mediante la fabricación aditiva solo se aporta el material necesario para la pieza, con lo que se reducen deshechos, implicando un coste menor para los componentes y además de una producción sostenible.

Dada la rapidez, precisión y ahorro que permite la fabricación aditiva este método ha experimentado un alto crecimiento y desarrollo en los últimos años tanto en las tecnologías utilizadas como en los materiales empleados.

Actualmente se emplea para la fabricación de una gran variedad de componentes en campos importantes de la industria, como son los sectores aeroespacial y médico, donde se elaboran desde implantes personalizados hasta sofisticados componentes para motores que deben soportar altas temperaturas de manera continuada.

Al tratarse de ser una técnica con un enorme potencial y en pleno crecimiento está comenzando a aplicarse en muchos sectores de la industria en general, como pueden ser la automoción, industria textil, arquitectura, muebles, electrónica de consumo, entre otros muchos campos.



3.2 HISTORIA Y EVOLUCIÓN

La fabricación aditiva se desarrolló a partir de los procesos de fabricación rápida de prototipado (conocidos como Rapid prototyping) en los que el objetivo era la creación de un modelo físico a partir de un diseño CAD 3D, salvo que las prestaciones y características que ofrecían los modelos no eran capaces de satisfacer las necesidades reales que exigía el componente funcional.

Debido a la baja funcionalidad de las piezas manufacturadas mediante esta tecnología su aplicación tuvo un impacto reducido en la industria; el coste de la fabricación rápida era elevado y su uso estaba limitado al desarrollo de prototipos no funcionales. Por estas razones el empleo de esta tecnología se centró exclusivamente en el sector médico y aeroespacial.

A partir de los años 90 se desarrollaron nuevas tecnologías para la producción de componentes funcionales mediante fabricación aditiva, incluyendo el uso de nuevos materiales como polímeros y metales. Incluso se empezaron desarrollar sistemas capaces de procesar materiales como Nylon, ABS o aleaciones metálicas como acero inoxidable.

Así la fabricación aditiva comienza a abrirse paso en otros sectores de la industria empleándose para la fabricación de pequeños moldes o insertos complejos en estos e incluso para componentes de plástico en vehículos de competición y de alta gama. Aún así el precio de la tecnología continuaba siendo demasiado elevado para la mayor parte de la industria, reduciéndose las aplicaciones donde podía resultar rentable.

En los últimos años la liberalización de patentes sobre la fabricación aditiva, como la del proceso FDM que pertenecía a la empresa norteamericana STRATASYS, repercutió inmediatamente en la investigación e innovación tanto en maquinaria, software, materiales y aplicaciones.



3.3 IMPRESIÓN 3D

Como se ha mencionado anteriormente la Impresión 3D es una tecnología desarrollada a partir de la fabricación aditiva. Básicamente el proceso consiste en la producción de un objeto en tres dimensiones añadiendo capa sobre capa de un material.

Actualmente se dispone de una gran diversidad de impresoras 3D, desde las domésticas hasta las profesionales, o incluso algunas desarrolladas y construidas por particulares a partir de código libre. Con precios variables se ofrecen distintas impresoras con diferentes capacidades, ya sea en materiales empleados o en cuanto al volumen de impresión.

Para obtener un proceso competitivo de impresión 3D todavía es necesario mejorar y desarrollar distintos aspectos de esta tecnología, así como:

- Desarrollo de materiales que puedan ser impresos a gran velocidad. Una impresión más rápida mejorará la productividad del proceso de impresión 3D.
- Mejora del acabado superficial sin añadir tratamientos posteriores al proceso.
- Control de la humedad de los filamentos durante el procesado. La mayoría de los polímeros de impresión 3D son altamente sensibles a la humedad. La humedad del ABS y el PLA puede controlarse muy bien en procesos de producción de plásticos convencionales como la extrusión y el moldeo por inyección. La humedad causa la degradación de multitud de polímeros, puesto que reduce las propiedades mecánicas. Sin embargo, en impresión 3D no existe un control durante el procesado. Este problema ha de ser solventado para poder optimizar las propiedades mecánicas del producto final.
- Mejora de las propiedades mecánicas. Las propiedades mecánicas del producto final impreso están altamente influenciadas por las propiedades intrínsecas del material, pero también por los diferentes parámetros de impresión (temperatura de fusión del filamento, velocidad de impresión, temperatura de la base, etc.)

En función de la tecnología empleada para la adición de las capas de material se puede realizar una clasificación de las impresoras 3D:

- Tecnología FDM (Fused Deposition Modeling). La tecnología de modelado por deposición fundida o FDM es la más extendida y considerada la más sencilla. Se basa en tres elementos principales: la cama de impresión, consistente en una



placa sobre la que se realizará la impresión, el material de aporte, comúnmente una bobina de filamento y por último un cabezal de extrusión, llamado comúnmente extrusor, que es el encargado de dosificar el material una vez fundido capa por capa sobre la superficie de impresión.

- Sinterizado Selectivo por Láser (SLS). Una fina capa de material en forma de polvo es colocada sobre una superficie en un recipiente a una temperatura ligeramente inferior a la de fusión del material. Un láser sinteriza las zonas seleccionadas provocando la fusión del material y su solidificación. Las capas de material son sinterizadas sucesivamente hasta obtener el objeto deseado. El polvo no solidificado además de actuar como material de soporte puede ser reciclado para posteriores trabajos.
- Estereolitografía (SLA). Consiste en la aplicación de un haz de luz ultravioleta a una resina líquida (contenida en un cubo) sensible a la luz. La luz ultravioleta va solidificando la resina capa por capa. La base que soporta la estructura se desplaza hacia abajo para que la luz vuelva a ejercer su acción sobre el nuevo baño, así hasta que el objeto alcance la forma deseada.

3.5 MATERIALES

Existe gran variedad de materiales disponibles en el mercado adecuados para la impresión 3D, sin embargo, no todos son capaces de cumplir con los requisitos deseados en cuanto a las propiedades en sí del material como en el acabado final y prestaciones de la pieza.

La tecnología FDM es compatible con una amplia variedad de polímeros termoplásticos: PLA y ABS, y también de policarbonato como, PET, PS, ASA, PVA, nylon, ULTEM, así como muchos filamentos compuestos que están basados en metal, piedra, madera. El material es comercializado en bobinas de filamento como las de la Figura 3. de distintos grosores, parámetro que ha de ser considerado a la hora de la impresión.



Figura 3. Filamento para impresión 3D

El ácido poliláctico, comúnmente conocido como PLA, es el material de uso más extendido con la tecnología FDM, debido a su baja temperatura de fusión. Es un material termoplástico que se obtiene a partir de almidón de maíz, yuca o mandioca y caña de azúcar, siendo así de origen vegetal. La utilización del PLA generalmente se restringe a prototipos no funcionales, ya que es un material con buenas propiedades mecánicas, pero con fácil degradación.

El ABS, o acrilonitrilo butadieno estireno, es también altamente utilizado debido a sus buenas prestaciones y características mecánicas. Sin embargo, presenta el inconveniente de requerir una mayor temperatura de fusión, además de unas condiciones más controladas para una correcta impresión, ya que pequeñas perturbaciones como corrientes de aire pueden afectar notablemente a la calidad de la impresión.

El PETG es uno de los materiales más versátiles para impresión 3D debido a su resistencia y facilidad para imprimir. Además de buenas propiedades mecánicas y mayor resistencia a la temperatura que el PLA, hay otras propiedades que hacen muy interesante el PETG para usos específicos como su aprobación para uso alimentario. El PETG tiene la aprobación de la FDA (la agencia estadounidense que regula los alimentos, medicamentos y cosméticos) para uso alimentario. El PETG es muy estable y resistente químicamente al ataque de ácidos y bases.



Dentro de la industria de la impresión 3D el Nylon es un material con un importante campo de utilización para prototipos funcionales debido a su gran durabilidad, alta relación resistencia peso, gran flexibilidad, baja fricción y resistencia a la corrosión. Su gran resistencia a impactos y abrasiones hacen que sea el material óptimo en usos industriales, incluso para la fabricación de herramientas.

Presenta el inconveniente de ser un material muy higroscópico (uso de sistemas antihumedad). Además, no es un material apto para componentes en contacto con alimentos o bien uso médico.

Las tecnologías de fusión de polvo permiten la fabricación de objetos a partir de una amplia gama de materiales, aunque al hablar de la técnica SLS hacemos alusión a polímeros plásticos. El más común es poliamida (PA 12), conocido comúnmente como Nylon 12. Aunque también se puede fabricar con Polipropileno, Alumide, Carbonmide, PEBA, PA 11, PEEK. Se puede igualmente añadir fibras de otros aditivos a los materiales como fibras de carbono, vidrio o aluminio, mejorando con esto el comportamiento mecánico de las piezas.

La estereolitografía emplea resinas líquidas que curan mediante luz ultravioleta, conocidas como resinas fotopoliméricas, como las que se aprecian en la Figura 4 de la compañía ANYCUBIC. Por lo general están formadas a base de un polímero orgánico cuya característica principal es que es sensible a la luz en determinada longitud de onda. Son una mezcla de ésteres de ácido metacrílico, ésteres de ácido acrílico, fotoiniciador, pigmentos de propiedad y un conjunto de aditivos. Cada fabricante desarrolla sus propias resinas patentando la formulación, por lo que las propiedades físicas y mecánicas pueden variar de forma considerable entre distintos fabricantes.



Figura 4. Resina fotopolimérica Anycubic



3.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Entre las ventajas asociadas a los productos que es posible fabricar, destacan:

- Posibilidad de personalización de los productos con una total flexibilidad en el diseño y construcción. Es posible fabricar componentes de prácticamente cualquier forma y casi sin limitaciones geométricas. Otras técnicas de conformado requieren complejos utillajes u optar por la descomposición en varias piezas lo que implica trabajos de ensamblaje añadiendo dificultades como el ajuste entre las piezas.
- Productos aligerados: Es posible modificar los parámetros de relleno de los componentes a fabricar, lo que supone tener control de cuanto material va a utilizarse para la producción de una misma pieza sin modificar las dimensiones de esta. En porcentaje de relleno es un parámetro que afectará también a la velocidad de impresión, pero también tendrá importante influencia sobre la resistencia mecánica de la pieza. A menor porcentaje de relleno, más hueca será la pieza.
- Ahorro máximo de material. Se elimina el desperdicio de material que se habría producido en forma de viruta en caso de emplear un proceso de mecanizado.
- Productos con series cortas: La fabricación permite reducir los lotes de fabricación, llegando incluso a la serie unitaria, sin apenas costes extras de fabricación, al prescindir de utillaje, lo que supone una ventaja absoluta respecto a métodos de fabricación sustractivos y/o de conformado.
- Reducción de costes en utillajes: La posibilidad de implementar un modelo de negocio donde el producto no esté ligado a utillajes supone no sólo gran flexibilidad de adaptación al mercado, sino que se consigue una reducción o eliminación de los costes asociados (fabricación del utillaje, paradas por cambios de referencia, mantenimiento e inspección), y de muchos procesos intermedios.

A pesar de las ventajas que puede aportar la impresión 3D, existen limitaciones que hacen que todavía no se haya implantado de manera generalizada de forma industrial. Estas limitaciones actuales son debidas, tanto a los propios procesos de Impresión 3D, que aún pueden ser mejorados, como a otros factores ya sean manipulaciones previas de material, postproceso o control de calidad.



La I+D+I ha conseguido durante los últimos años que estos puntos débiles de la tecnología hayan mejorado considerablemente, convirtiendo la Impresión 3D en una alternativa cada vez más real a los procesos de fabricación convencionales. Las principales desventajas de este proceso son:

- Acabado superficial de las piezas y velocidad de fabricación: Estos aspectos están estrechamente relacionados ya que el aumento de la velocidad de fabricación condiciona la calidad del acabado superficial. Ambos son retos importantes para que esta tecnología sea ampliamente aceptada por sectores donde actualmente solo se admiten procesos de fabricación convencionales. La mejora de esta característica está ligada a la reducción del espesor de la capa, lo que tiene una influencia directa en el tiempo de fabricación final.
- Calidad de producto y repetitividad de proceso: Existen problemas de repetitividad y capacidad de proceso, es decir, no se puede asegurar la precisión dimensional con la que se va a realizar una pieza y la siguiente. Asimismo, la estabilidad en las propiedades físicas del producto (dureza, elasticidad, carga de rotura), es un aspecto crítico para su homologación en determinados sectores (automóvil, aeronáutico, médico...). Una de las principales causas de las desviaciones dimensionales en las piezas son las tensiones que se generan entre las diferentes capas, una vez se ha fabricado la pieza, ya que se producen pequeñas contracciones del material al enfriarse.
- Tamaño limitado de piezas: El volumen de las piezas que se puede conseguir hoy en día es bastante limitado. Existe también un límite inferior de las piezas más pequeñas que se pueden fabricar y está condicionado por parámetros, como, por ejemplo:
 - El tamaño de polvo de material que hay que utilizar para que aporte seguridad en su manipulación durante todo el proceso.
 - El diámetro o «spot» mínimo que es capaz de procesar una máquina de tecnología láser, que no podrá conseguir detalles más pequeños que entre una y media y dos veces el diámetro del haz láser.
 - Espesor de capa de deposición de material.
- Limitaciones con los soportes. Pese a la gran posibilidad de formas geométricas que pueden producirse muchas veces es necesario recurrir a



pequeñas estructuras de apoyo comúnmente conocidas como soportes. Cuando son necesarios la pieza requerirá un postprocesado para removerlos y tratar las superficies con las que estaba en contacto, aumentando el tiempo de producción. El material empleado para los soportes no forma parte de la pieza final con lo que también es un gasto que encarece el componente. Actualmente hay materiales especiales para los soportes, que por ejemplo son solubles en agua, facilitando su extracción. En impresoras con sistemas de extrusión doble puede imprimirse la pieza con dos tipos de material a la vez, con lo que puede usarse un filamento de este tipo solo para los soportes mientras el resto de la pieza se hace con otro con mejores prestaciones mecánicas.



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

Máster en Ingeniería Industrial



CAPÍTULO 4. APRENDER JUGANDO.

En la actualidad se están explorando nuevas metodologías de enseñanza que permitan captar en mayor medida la atención del alumno. Pese a que muchas veces se hable también de reinventar la educación, estas técnicas llevan siendo estudiadas desde hace décadas además de ser empleadas desde la antigüedad; ya importantes filósofos como Aristóteles entendían el juego como vehículo para el aprendizaje.

Una de las técnicas más eficientes consiste en el aprendizaje basado en juegos, el cual además de ser motivador favorece la participación de los alumnos. Esta metodología lleva siendo usada mucho tiempo en la educación, sobre todo para edades más tempranas, pero es cierto que podría aplicarse también en mayor medida en centros enseñanza para edades más avanzadas como institutos o incluso centros universitarios.

Esta estrategia educativa basada en juegos puede ser una solución a muchos de los problemas actuales de la educación, como la falta de atención y participación por parte de los alumnos así como la desmotivación, factores importantes que contribuyen al fracaso escolar.

La herramienta en la que se basa este método de enseñanza es el juego didáctico, en el que además de ser la diversión el objetivo se incluye el aprendizaje de conceptos o su puesta en práctica para así afianzar los mismos.

La gamificación es otro término que se utiliza comúnmente cuando se habla del aprendizaje basado en juegos, sin embargo no son lo mismo, ya que esta consiste en tomar aquellos elementos que hacen atractivo a un juego para aplicarlos en actividades de un entorno no-juego de modo que este pueda resultar más interesante para el usuario.

4.1 JUEGOS DIDÁCTICOS

Desde las edades más tempranas se utilizan juguetes para fomentar y facilitar el desarrollo cognitivo de los niños además de proporcionarles un entretenimiento. Estos juegos además de tratar conceptos elementales como formas, colores o sonidos (Figura 5) también permiten un primer acercamiento a las actividades que después realizan las personas como adultos.



Figura 5. Juego didáctico para niños.

El medio sobre el que se soportan estos juegos no tiene por qué ser físico. También pueden encontrarse juegos didácticos basados en canciones infantiles, por ejemplo en los centros educativos anglosajones se emplean canciones para aprender el abecedario o las partes del cuerpo incluso. También pueden manifestarse mediante actividades deportivas, en las que además de entretener se mejoran las capacidades físicas y la coordinación de los jugadores. A medida que los niños crecen e los conceptos a aprender son más complejos, por lo que los juegos también ganan en complejidad.

Una de las mayores ventajas de estos juegos en la enseñanza es la predisposición al aprendizaje que provocan en el alumno. Las clases se afrontan como una forma recreativa en la que se aprende, al contrario que con las clases convencionales en las que apenas hay participación con lo que el alumno se limita meramente a escuchar. Los juegos contribuyen a despertar el interés del alumno por materias desconocidas fomentando también la curiosidad y el interés por el auto aprendizaje.

Estos juegos didácticos también pueden transformarse en otras formas de enseñanza como debates o foros en los que los alumnos participan también de una forma más activa.



4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS JUEGOS DIDÁCTICOS

Para tanto el desarrollo como la aplicación de un juego didáctico han de tenerse en cuenta determinadas características del mismo para cumplir con los objetivos didácticos y lúdicos.

- **Objetivo didáctico:** qué es lo que se pretende enseñar con el juego. Esto puede ser un conocimiento, una habilidad o simplemente practicar un proceso u operación como un juego matemático o deportivo.
- **Reglas del juego.** Para poder controlar y limitar el juego han de establecerse una serie de reglas previamente y que estas sean conocidas por todos los jugadores. El cumplimiento de las normas además de ayudar a conducir el juego puede apoyar el aprendizaje de valores y otros conceptos morales y sociales.
- **Edad recomendada.** Es un factor importante para que el juego pueda ser desarrollado correctamente. Juegos para edades más avanzadas presentaran mayor complejidad y dificultad. Si la edad de los jugadores es inferior a la recomendada puede que no se cumplan los objetivos del juego resultando en una experiencia frustrante. Por el contrario, si la edad es superior a la recomendada al ser demasiado fácil puede resultar aburrido desmotivador.
- **Número de jugadores.** Las tareas o roles del juego deben repartirse correctamente. También debe considerarse si es necesario formar equipos y que estos sean equilibrados, o si el juego se desarrolla de una forma más individual. Un mala reparto de tareas o un número inapropiado de jugadores puede derivar en una falta de participación fracasando en cumplir con los objetivos del juego.
- **Diversión.** Un mal enfoque del juego en el que los jugadores se aburran hará que se produzca un fracaso en el objetivo didáctico del juego, con lo que no se asimilarn los conceptos y conocimientos deseados, solo porque algo sea un juego no significa que sea divertido.
- **Competencia.** Establecer una mínima rivalidad entre los jugadores es un motor que hará más dinámico el juego además de incentivar a los jugadores para que desarrollen todo su potencial. Sin embargo puede ser un arma de doble filo ya que una competencia demasiado fuerte provocará tensiones y rivalidades en las que la diversión y el aprendizaje queden relevados del plano principal.



4.3 APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO

Según el psicólogo y pedagogo estadounidense David Paul Ausubel el aprendizaje significativo consiste en que el alumno asocie la información nueva que recibe con la que ya posee reajustando y reconstruyendo así el conocimiento resultante. Esto quiere decir que a partir de los conocimientos previos se condicionan los nuevos conocimientos y experiencias, y que estas a su vez, modifican y reajustan los primeros.

El aprendizaje significativo ocurre cuando una nueva información se conecta con un concepto relevante que ya existía en la estructura cognitiva del alumno. Esto viene a decir que pueden aprenderse significativamente nuevos conceptos e ideas en la medida en que otras ideas, conceptos o proposiciones relevantes estén adecuadamente claras para el alumno. Podría decirse que estos conocimientos previos funcionan como “anclaje” para los nuevos.

Ausubel resume este hecho en el epígrafe de su obra de la siguiente manera: "Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría este: El factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averígüese esto y enséñese consecuentemente". Durante el proceso educativo es importante considerar lo que el alumno ya sabe de tal manera que establezca una relación con aquello que debe aprender.

El aprendizaje mecánico, contrariamente al aprendizaje significativo se produce cuando no hay conocimientos previos relevantes, de modo que la nueva información es almacenada arbitrariamente, sin que se produzcan conexiones con la estructura cognitiva previa, “El alumno carece de conocimientos previos relevantes y necesarios para hacer que la tarea de aprendizaje sea potencialmente significativo” (David P. Ausubel, 1983)

En algunos casos sin embargo el aprendizaje mecánico puede ser necesario, como por ejemplo cuando se empieza a estudiar una nueva materia. Si bien este nunca se realiza sobre una “conciencia vacía”, siempre existe algún tipo de asociación con conceptos previos, pero no tan relevante como en la interacción que se produce en el aprendizaje significativo.

Cabe destacar que Ausubel no establece una distinción entre ambos tipos de aprendizaje como una dicotomía, ambos pueden concurrir en un mismo proceso de aprendizaje.



Con estos conceptos básicos sobre el aprendizaje significativo podemos entender que un juego didáctico encaja perfectamente con su definición: “El aprendizaje debe ser un proceso activo en el que el estudiante se involucre razonando, pensando, construyendo relaciones conceptuales y esforzándose por integrar o discriminar conceptos previos” (David P. Ausubel, 1983).

4.4 JUEGOS SERIOS

El concepto de juego serio puede parecer a primera vista contradictorio, ya que la palabra juego suele representar una actividad divertida y entretenida que nos aleja de las cosas serias de la vida real. A su vez el termino serio nos sugiere responsabilidad, sensatez, realidad y que nuestras acciones tienen consecuencias, a diferencia de lo que ocurre en un juego.

Los juegos serios son juegos formativos, elaborados específicamente para formar y entrenar a una o varias personas para un puesto de trabajo actividad concreta. En estos juegos, a diferencia de los juegos didácticos, el objetivo es la formación, no la diversión o el entretenimiento.

El término empezó a usarse por el investigador americano Clark Abt, autor del libro *Serious Games* (1970) donde establece de manera formal las bases de lo que es un juego serio tratando juegos deportivos, juegos de rol o incluso prematuros videojuegos para fines educativos, políticos o incluso de marketing. Abt también hace referencia a juegos desarrollados para simular eventos de la primera guerra mundial, recreando estrategias de guerra. También es conocido por participar en el desarrollo de *TEMPER*, un videojuego de guerra basado en un contexto de guerra fría.

En la actualidad los juegos serios son videojuegos o simuladores empleados para la formación. Este tipo de videojuegos se ha desarrollado combinando los beneficios que este formato ofrece, como su poder de penetración en la población, y las necesidades de educativas y formativas en ámbitos político-institucional tanto como empresarial y comercial.

Cuando es difícil incrementar la motivación del trabajador los juegos son herramientas que pueden ayudar a solventar esto. Una experiencia divertida y entretenida puede además de motivar generar curiosidad e interés. Factores propios de muchos juegos como logros y control contribuyen a la motivación.



Los juegos serios ofrecen un inmediato feedback además de adaptabilidad. Ya que los juegos tienen resultados cuantificables los mismos jugadores pueden ser capaces de ver sus resultados y su rendimiento inmediatamente.

Las características principales de este tipo de juegos son:

- Están dirigidos para la educación, formación, entrenamiento y comprensión de procesos complejos ya puedan ser políticos, sociales, económicos o incluso religiosos.
- Están relacionados claramente con la realidad. Pese a que se desarrollen en un entorno virtual los roles y las actividades que se realizan están íntimamente relacionadas con las que se harían en la actividad real.
- Son simulaciones seguras. Al desarrollarse en entornos virtuales se puede formar en procesos de riesgo, ya sean actividades o entrenamientos militares en los que se enseña como manipular armas como operaciones y estrategias empresariales en las que las inversiones repercuten fuertemente en la situación de la empresa.

4.5 GAMIFICACIÓN

Como se ha hablado al principio de este capítulo la gamificación, también conocida como ludificación consiste en la introducción de mecánicas y elementos específicos de los juegos en contextos que no son de juego con el objetivo de conseguir mayor motivación y compromiso por parte de los participantes. En este caso no estamos hablando de un juego para apoyar una formación, si no de tomar los elementos que hacen atractivo a un juego para introducirlos en otras aplicaciones de modo que esta pueda resultar más interesante al usuario.

Mediante la gamificación se puede conseguir que un proceso monótono y aburrido se convierta en una actividad más dinámica a través de un aliciente que haga que las personas se involucren en mayor medida, aumentando así la participación.

El término gamificación comienza a usarse en 2008 aproximadamente, siendo definido en 2011 por Deterding, Dixon, Khaled y Nacke en el artículo *Gamification: Toward a definition*, con lo que podemos deducir que es un campo relativamente nuevo que está experimentando un gran desarrollo durante los últimos años. Pese a esto el concepto no es algo nuevo, ya en los cuerpos militares se ha premiado a los soldados



por un buen trabajo o actuaciones ejemplares con medallas o insignias con las que reconocer su labor.

En la actualidad la gamificación ha tenido un gran impacto en la forma de hacer marketing para las grandes empresas comerciales, que incluyen esta técnica en sus campañas de fidelización de clientes. Un buen ejemplo es el uso de descuentos en supermercados, los programas de puntos a cambio de compras superiores a determinados importes, bonificaciones en forma de ahorro por usar las tarjetas específicas de centros comerciales o incluso el tiempo de permanencia en algunas compañías telefónicas, consiguiendo mejores condiciones conforme a va aumentando la antigüedad del usuario. La gamificación se ha convertido así en una potente herramienta para la incitación al consumo.

El avance de las nuevas tecnologías ha contribuido notablemente al desarrollo de la gamificación, así como la extensión del uso de internet para cualquier aplicación. Las redes sociales son un gran ejemplo de gamificación, ya que su estrategia para conseguir un grado alto de repercusión consiste en emplearlas de una forma activa y constante, publicando, comentando o valorando otros posts de distintos usuarios. Incluso también ofrecen descuentos especiales u ofertas por conseguir que otras personas se registren. Todas estas mecánicas están planteadas para conseguir una mayor competencia entre los usuarios además de la fidelización de estos, que son quienes contribuyen a promocionar las redes, atrayendo a nuevos clientes y generando así grandes beneficios para las empresas con un coste mínimo. Sin embargo, ha de considerarse que todo esto se consigue a través de generar una gran dependencia en el usuario, quien acaba sintiendo una necesidad constante de publicar, comentar y recibir feedback en las redes sociales.

Por otro lado, la gamificación también puede emplearse para otros objetivos. Ejemplos de ello son propuestas ecológicas en las que se premia el reciclaje ayudando a la vez a la concienciación medioambiental. También en hospitales puede usarse para ayudar a pacientes a combatir sus enfermedades o para seguir progresando en rehabilitaciones. La gamificación sanitaria es así uno de los campos mas importantes en los que se aplica esta herramienta. Existen incluso juegos y retos para niños, incitándoles a llevar una alimentación más sana.

Por supuesto la gamificación no pasa desapercibida en el campo de la educación, en la que juega un papel fundamental para aumentar y fomentar la motivación del alumno en el proceso educativo.



Dentro de entornos corporativos la gamificación también puede ser un elemento clave para aumentar la competitividad de las empresas, ya que puede suponer un nuevo punto de vista a la hora de organizar y optimizar los procesos productivos mediante las mismas técnicas que utilizan los videojuegos. Mejorar la motivación de los trabajadores a través de esta herramienta no solo supondrá mejorar el sistema productivo y la eficiencia, sino también mejorar la concepción social que se tiene de la empresa.

A la hora de implementar la gamificación en un entorno uno ha de plantearse que es lo que nos hace jugar, es decir, ha de identificar aquellos elementos que hacen deseable jugar y que la experiencia sea grata. Mark van Diggelen (2012) identifica una serie de principios y elementos de gamificación:

- Tipos de competición: Jugador versus jugador, Jugador versus sistema y/o Solo.
- Presión temporal: Jugar de forma relajada o jugar con el tiempo en.
- Escasez: La escasez de determinados elementos puede aumentar al reto y la jugabilidad
- Puzzles: Problemas que indican la existencia de una solución
- Novedad: Los cambios pueden presentar nuevos retos y nuevas mecánicas que dominar
- Niveles y progreso
- Presión Social: El rebaño debe saber lo que hace.
- Trabajo en equipo: puede ser necesario la ayuda de otros para conseguir avanzar
- Moneda de cambio: Cualquier cosa que puede ser intercambiada por otra de valor, será buscada.
- Renovar y aumentar poder: Permite añadir elementos motivacionales al jugador.

4.5.1 GAMIFICACIÓN EN LA EDUCACIÓN

Incluso en la educación tradicional se han incluido siempre elementos propios de la gamificación como es el sistema de positivos o negativos para premiar, o castigar, el comportamiento de los alumnos.

No ha de confundirse la gamificación con los juegos didácticos, no consiste en jugar o utilizar videojuegos en las aulas, sino emplear recursos de los juegos o mecánicas



asociadas a estos para fomentar una serie de resultados deseados. La gamificación en la educación se enfoca en plantear retos de aprendizaje al alumno a cambio de una recompensa a corto plazo proporcional a la dificultad del reto. Para conseguir que el alumno participe activamente la actividad debe sustentarse en cuatro conceptos fundamentales:

- Recompensas: obtener un premio justo
- Estatus: establecer un nivel jerárquico social valorado
- Logro: satisfacción personal por la superación de los retos
- Competición: el simple afán de competir para intentar demostrar ser mejor

4.6 LEARNING BY DOING

Learning by doing es un método de aprendizaje práctico, en el que el alumno aprende realizando directamente la actividad que quiere aprender. Con esto se consigue que se desarrollen habilidades en un contexto real. Con este método se busca que el aprendizaje se realice de una forma natural por medio de la realización de acciones, prueba y error o razonando acerca de cómo solucionar los problemas.

En este proceso los alumnos realizan las actividades y después observan sus propios resultados analizando el impacto que han tenido sus actos. De este modo las competencias y habilidades se obtienen por medio de la experiencia. Con este método los alumnos han de involucrarse activamente en el proceso siendo su papel más importante que el del profesor. Para fomentar la implicación pueden emplearse también juegos didácticos, juegos de rol, medios audiovisuales o cualquier elemento que consiga que los alumnos se involucren más en el proceso.

En la Figura 6 se representa el cono del aprendizaje, desarrollado por el pedagogo estadounidense Edgar Dale, quién dedicó la mayor parte de su tiempo en el estudio de los procesos de aprendizaje, así como en numerosos estudios de procesos cognitivos.



Figura 6. Cono del aprendizaje de Edgar Dale.

En este gráfico (Figura 6) se diferencian las formas de aprendizaje pasivo y activo que puede tomar el alumno. La cúspide de la pirámide consiste en la forma de educación habitual, consistente en la clase magistral impartida por el personal docente. Sin embargo, lo que representa la pirámide en cada uno de sus niveles es la profundidad del aprendizaje en relación con la participación del alumno, con lo que se concluye que este método tradicional es el que menos impacto didáctico produce sobre el alumno.

A medida que vamos descendiendo apreciamos métodos de aprendizaje más prácticos y que consisten en una mayor participación por parte del alumno, hasta lo que es la actividad pura. Según Edgar Dale son estos los que conllevan una mayor profundidad de aprendizaje.



CAPÍTULO 5. DESARROLLO Y DISEÑO CUBITÓN.

5.1 PRÁCTICAS LEAN MANUFACTURING

La universidad de Valladolid en colaboración con la empresa de automoción Renault imparte una serie de prácticas en su escuela Lean dirigidas a mostrar a los alumnos y ayudar a comprender los principios básicos de la metodología del Lean Manufacturing realizando distintos juegos didácticos basados en simulaciones de procesos productivos reales.

Actualmente se simula una cadena productiva en la que se fabrica un conjunto denominado solectrón. En dicha cadena se realizan las distintas operaciones de montaje y desmontaje del conjunto mientras han de coordinarse los flujos logísticos en función de los pedidos del cliente y los fabricados ya listos para entregarse.

Para la realización de las prácticas los alumnos asumen distintos roles como si fueran trabajadores reales:

- Supervisor: se encarga de coordinar y controlar la producción además de organizar a los operarios y personal a su cargo.
- Operarios: realizan las distintas operaciones de montaje o desmontaje, así como la ejecución de los movimientos logísticos.
- Control de calidad: algunos alumnos desempeñarán el rol de un técnico de calidad, supervisando que los productos terminados satisfagan los criterios de calidad establecidos.
- Control de tiempos: las operaciones son cronometradas para realizar un control y valorar así mejor los resultados.

El rol del mercado es asumido por los profesores o tutores de las prácticas, siendo así ellos quienes establecen la demanda del producto.

De forma simplificada el proceso productivo comienza con una orden de producción por parte del mercado, esta puede ser un lote de dos a cuatro conjuntos o productos. El proceso de montaje comienza, los operarios toman las piezas necesarias para construir el producto. Para esto es necesario que la logística asegure de que se dispone de todas las piezas necesarias en cada puesto. Para la comunicación con logística en este sentido se emplea un sistema Kanban de tarjetas, de modo que así este



departamento puede ser consciente en todo momento de donde se necesitan que piezas y además llevar un control de cuantas tiene en circulación.

Una vez montado el conjunto se controla su calidad y se entrega al flujo logístico, que lo lleva a la zona de desmontaje. En esta parte el producto es desmontado y sus piezas son recuperadas por logística al modo inverso que en el proceso de montaje.

La desigualdad de la carga de trabajo de los distintos puestos de trabajo es lo que produce en parte la necesidad de aplicar los principios lean. Si se fabrica demasiado rápido y a un ritmo mayor que el desmontaje nos encontraremos con que logística no es capaz de satisfacer las necesidades de inventario con lo que la cadena se colapsará.

Lo interesante de estas prácticas es la evolución que va sufriendo la cadena a lo largo de las diferentes sesiones, comenzando como una cadena de producción convencional hasta optimizarse gracias a la aplicación de los principios del lean manufacturing, asemejándose más a las modernas cadenas productivas.

Al final de cada sesión se exponen y tratan los resultados en conjunto, proponiéndose mejoras a los fallos o puntos en los que el flujo productivo se ha podido ver comprometido.

5.1.1 PROBLEMÁTICA ASOCIADA

Después de observar el juego y hablar con los tutores de las prácticas se ve que en cuanto al planteamiento de este funciona muy bien. Los alumnos se implican en la actividad, aportan ideas para mejorar e incluso se produce cierto grado de competitividad tal que los alumnos desean hacerlo mejor. Además de disfrutar con las prácticas los alumnos comprenden de una forma más profunda la utilidad de las técnicas Lean, dejando de verlas como algo meramente teórico, sino como una verdadera y poderosa herramienta. En conclusión, estas prácticas funcionan perfectamente como un juego didáctico que mantiene un buen equilibrio entre diversión y aprendizaje.

Sin embargo, al igual que en las prácticas se mejora la eficiencia del proceso productivo, en este juego también se pueden hacer mejoras. De la que trata este trabajo es precisamente del producto que se monta en sí. Este conjunto, el solectrón, presenta el inconveniente de ser demasiado pesado, con lo que se complica su transporte a otras instalaciones o para presentaciones en clases incluso convenciones. O incluso a lo largo de las prácticas se observa que el proceso se vuelve más “aparatoso” debido a su peso y dificultad de manipulación.



Por ello se plantea una alternativa, el cubitón, construido con una impresora 3D de modo que pueda ser más ligero y que incluso la propia universidad pueda fabricarlo sin recurrir a empresas externas de mecanizado, con lo que además se reduce también el coste de forma significativa

5.2 DISEÑO CUBITÓN

Para el diseño del cubitón se parte del diseño de su antecesor el solectron. Sobre una base se montarán los distintos niveles o capas de piezas, cada una en un puesto de trabajo.

5.2.1 REQUISITOS DEL DISEÑO

Se requiere de un producto que sea relativamente sencillo de montar y sobre todo maniobrable, es decir que su manipulación, ya sea para montaje o como para transportarlo, no sea dificultosa. Para cumplir este requisito se opta por un conjunto de un tamaño relativamente reducido, de modo que pueda cogerse simplemente con una mano.

El conjunto para montar ha de guardar un equilibrio entre la complejidad del montaje y la facilidad de aprendizaje, de forma que puedan darse puestos con una sobrecarga de trabajo respecto a otros, pero basándose más en el número de operaciones del puesto que en la dificultad de estas. Para esto, se alternan capas en las que han de introducirse unos insertos. De este modo conseguimos un mayor número de operaciones por capa, pero no aumentamos excesivamente la complejidad del montaje.

Otro de los requisitos del diseño es incluir la posibilidad de que se cometan errores en el montaje, colocando piezas donde no deberían ir. Para ello se han diseñado distintas formas de encaje de las piezas, de modo que algunas puedan colocarse con otras pese a que no corresponda su montaje de esa forma. Si una pieza, se coloca de forma incorrecta la capa no puede completarse y han de desmontarse las piezas mal colocadas. Esto mismo se ha aplicado también a los insertos, de modo que unos puedan entrar en el hueco de otros.

5.2.2 DISEÑO DE LA BASE

Las distintas capas de piezas se irán apoyando sobre una pieza base que tiene el siguiente aspecto, mostrado en la figura 7:

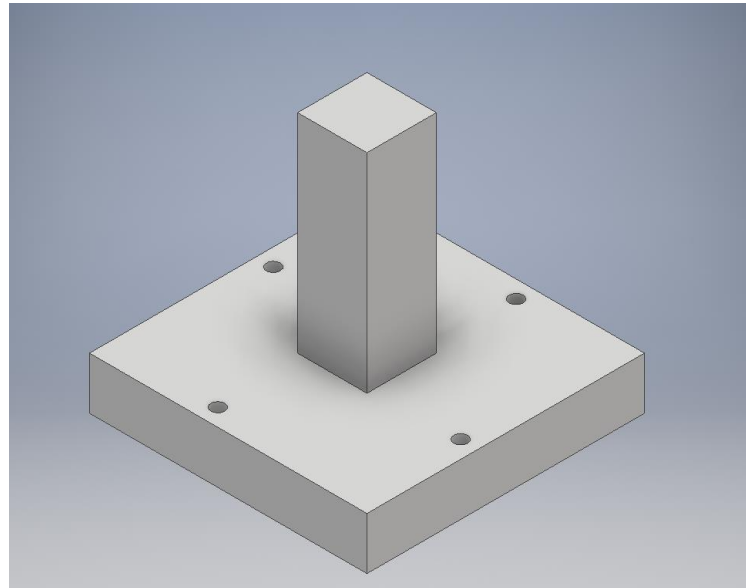


Figura 7. Base Cubitón

Como se observa la base está formada por una planta cuadrada de 80mm de lado y 15mm de altura. El pilar, de altura 60mm, que sobresale de la base cuadrada sirve como apoyo y guía para la colocación de los distintos niveles superpuestos. Esto nos da ya la idea de que el conjunto final tendrá la forma de un prisma de base cuadrada con una altura de 75mm.

Para el montaje de las piezas se emplean tornillos DIN 912 M4 con una longitud roscada de 20mm. La base dispone de agujeros pasantes con un cajeado hexagonal en la cara inferior para albergar una tuerca de M4, que va fijada con pegamento instantáneo. En la Figura 8 se muestra un corte de la base de modo que puede verse dicha cajera:

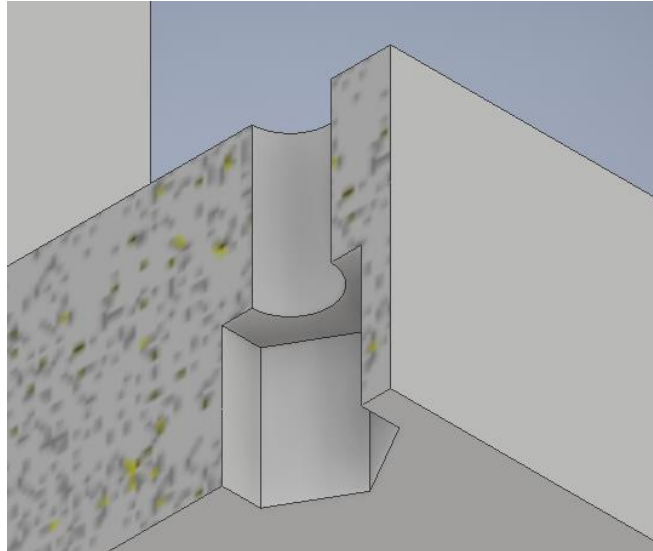


Figura 8. Agujero pasante con caja hexagonal

Las roscas mecanizadas en piezas hechas por impresión 3D no tienen apenas durabilidad. Otra opción sería el empleo de helicoils como los de la figura 9, que es el método empleado industrialmente, pero encarecería demasiado el producto además de requerir hacer una rosca previa especial.



Figura 9. Helicoil

5.2.3 DISEÑO DE LAS PIEZAS

Para el diseño de las distintas piezas que componen cada una de las capas se ha partido de un cuadrado de 40mm de lado. Después de hacer el rebaje para permitir que encajen con el pilar de la base se diseñan los distintos conjuntos macho-hembra para que las piezas puedan encajar entre si y quepa la posibilidad colocar algunas de forma incorrecta como se ha comentado anteriormente. Un primer diseño de estas piezas se muestra en la Figura 10:

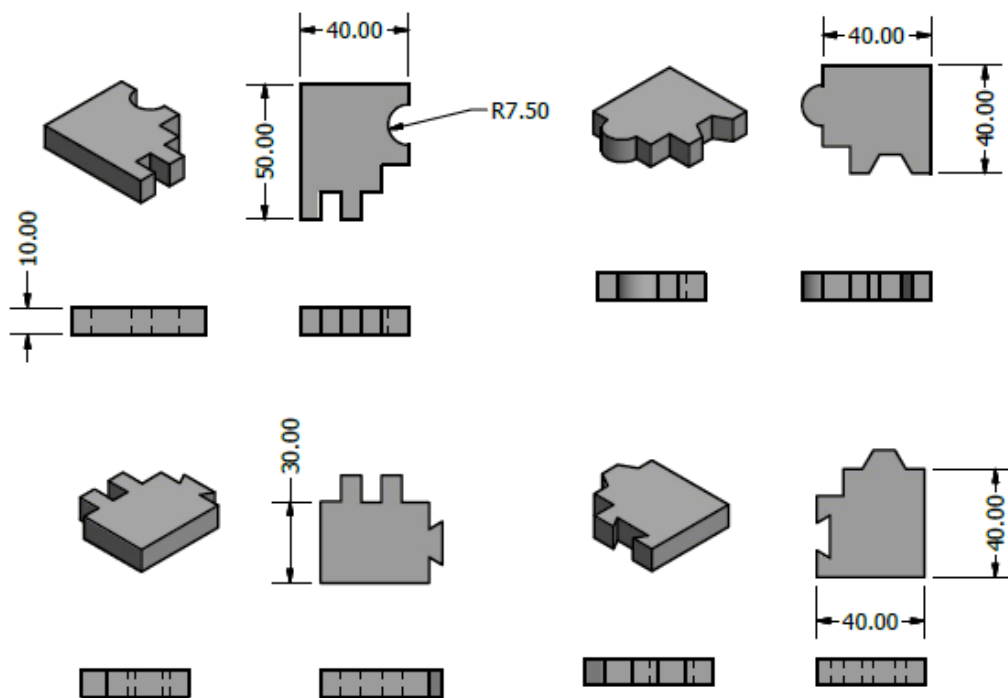


Figura 10. Diseño preliminar

Puede apreciarse que se incluye una cola de milano, esta posteriormente se rechaza ya que podría suponer una mayor complejidad en el montaje y los esfuerzos de tracción que se producirían en ella podrían comprometer la integridad de las piezas. También el espesor de las piezas es modificado, siendo el final de 15mm. Las formas de encaje finales se muestran en la siguiente figura 11:

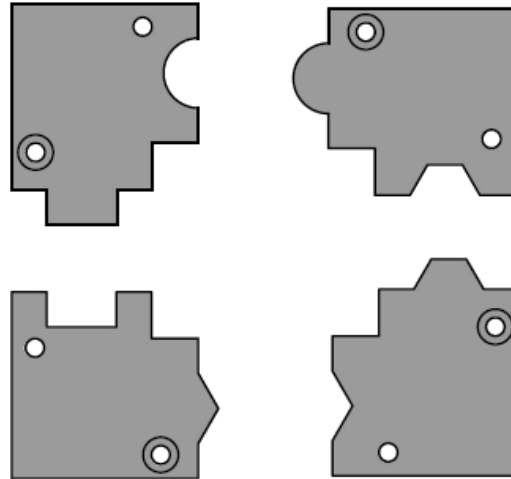


Figura 11. Piezas sin inserto

Estas piezas disponen de dos tipos de agujeros, unos para alojar una tuerca como los vistos en la base; y otros diseñados para alojar la cabeza del tornillo.

5.2.4 PIEZAS CON INSERTOS

A partir de las piezas anteriores se han diseñado distintos alojamientos para albergar los insertos. Además de incluir estos huecos la ubicación de los agujeros es distinta, de modo que donde iba un agujero pasante para guardar la cabeza del tornillo ahora va otro con la caja hexagonal y viceversa.

Las piezas inicialmente propuestas se muestran en la Figura 12:

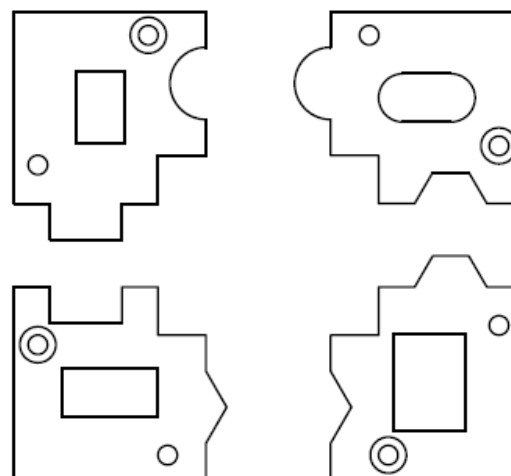


Figura 11. Diseño preliminar de piezas con inserto

A partir de la Figura anterior puede deducirse la gran similitud de los insertos, pese a que si permiten intercambiabilidad entre ellos se decide sustituir dos de ellos para que haya más variedad y no sean todos rectangulares. El siguiente croquis (Figura 13) plantea otros diseños:

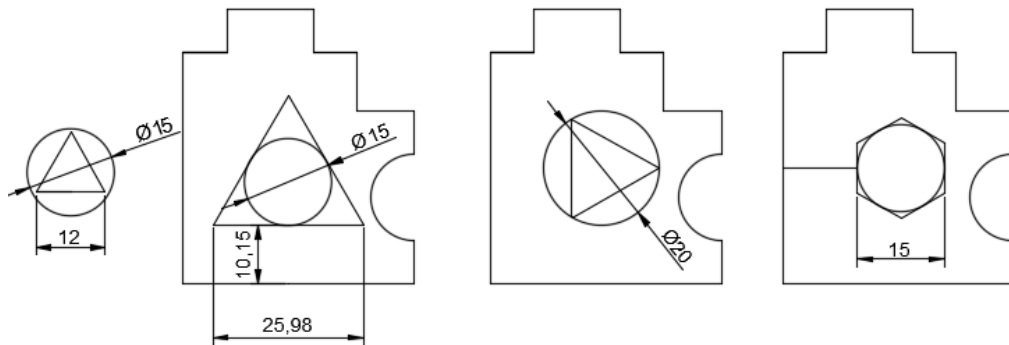


Figura 13. Posibles diseños alternativos de insertos

Finalmente se opta por añadir un inserto prismático de base hexagonal con posibilidad de intercambiarse con uno cilíndrico. La capa de piezas con insertos queda según la Figura 14:

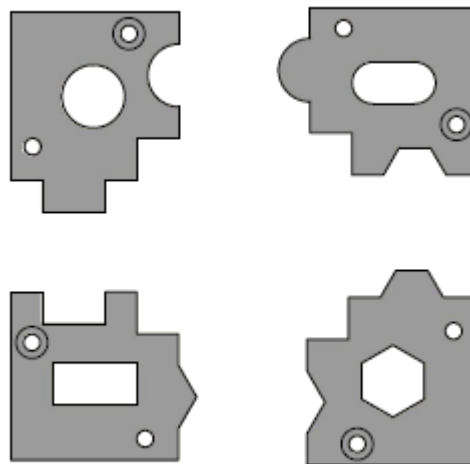


Figura 14. Piezas con inserto

Los insertos se ajustan a las piezas con ayuda de un tornillo DIN912 M4 de longitud roscada 10mm. Las piezas disponen de un taladro con un cajado cilíndrico para albergar

la cabeza del tornillo y otro hexagonal para albergar una tuerca. En la Figura 15 puede verse una vista de una de las piezas cortadas donde se aprecia este diseño:

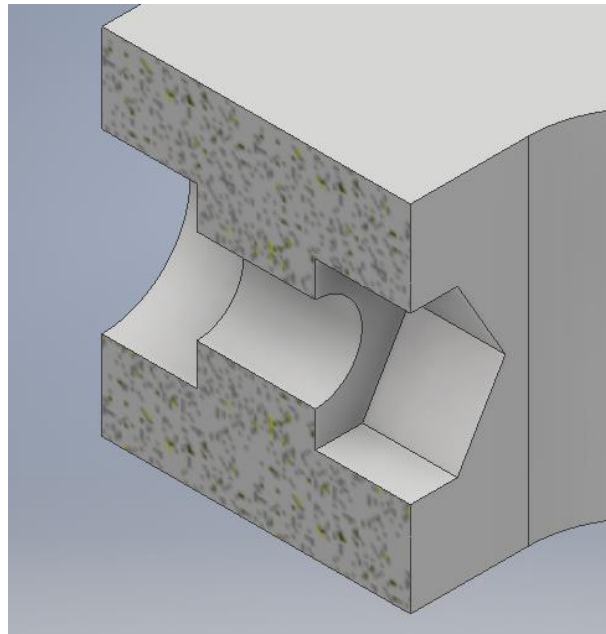


Figura 15. Sección del agujero para los insertos

Los insertos a su vez disponen de un pequeño rebaje para el contacto con los tornillos, de modo que queden sujetos, pero no se marquen las piezas si se aprieta demasiado. La Figura 16 representa los insertos finales:

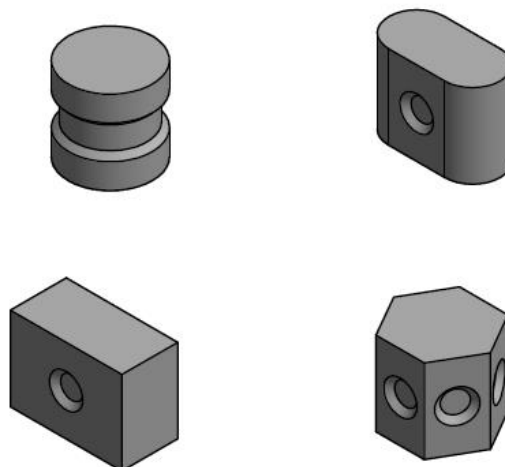


Figura 16. Insertos

5.2.5 PIEZAS FINALES

Hasta ahora hemos visto de forma individual como es el diseño de las distintas capas y elementos que componen el conjunto. Una vez ensamblado tendría el siguiente aspecto, mostrado en la Figura 17:

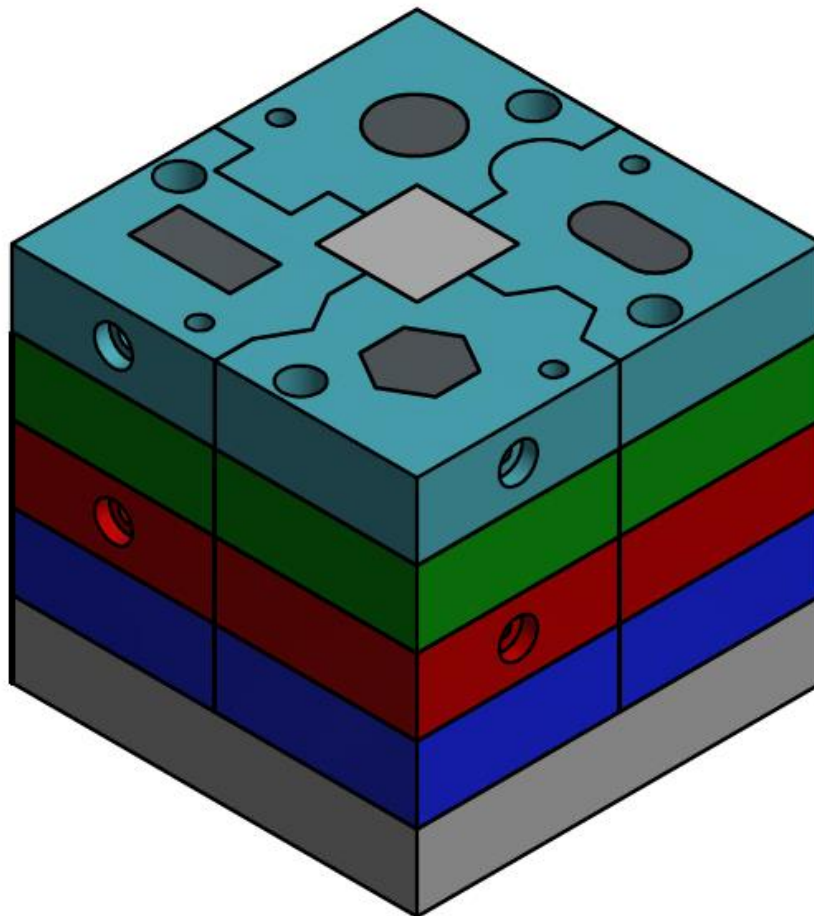


Figura 17. Modelo Cubitón

Se puede observar que se alternan las capas con insertos y que cada una sería de un color, correspondiente a cada puesto de montaje. En la figura 18 se muestra una vista explosionada del conjunto:

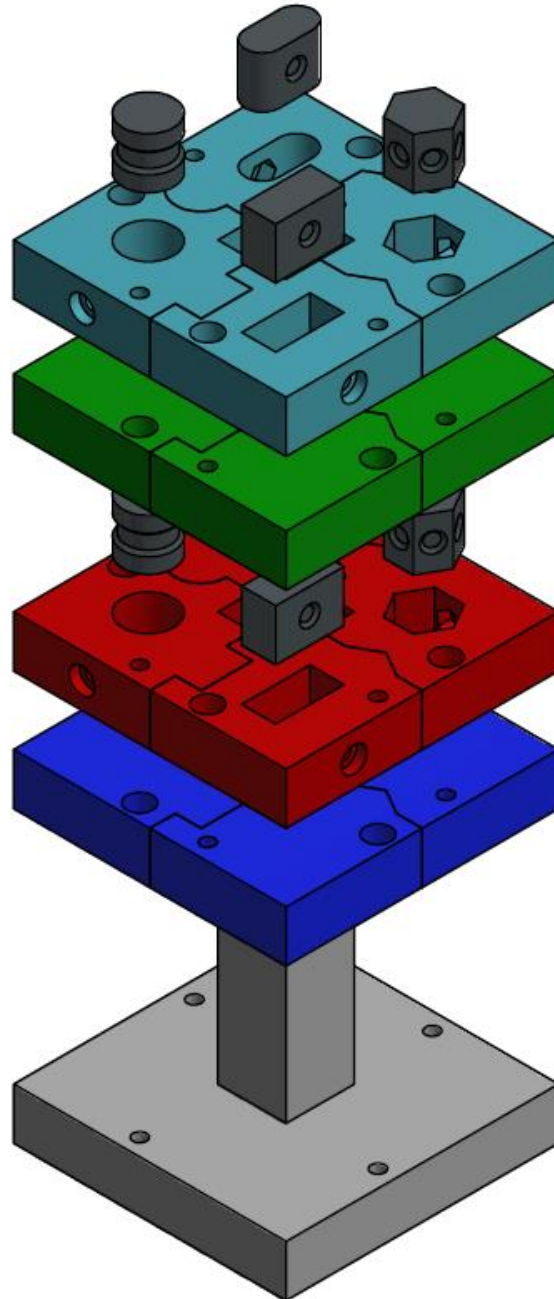


Figura 18. Vista explosionada del conjunto



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

CAPÍTULO 6. FABRICACIÓN CUBITÓN

Una vez diseñado el modelo final del Cubitón se procede a su fabricación. Primero han de exportarse los modelos con la extensión *.stl*, correspondiente al tipo de fichero que emplean los programas laminadores con los que se ajusta los parámetros de impresión. Para la impresión del Cubitón se ha utilizado el laminador “SIMPLIFY3D 4.0” y la impresora “ENDER 3”. El material empleado ha sido filamento PLA esencial de diferentes colores y de la compañía FERVI3D.

6.1 METODOLOGÍA

Pese a que el modelo del filamento es el mismo para todas las piezas se ha comprobado que de unos colores a otros existen diferencias en la calidad de la impresión utilizando los mismos parámetros. Es por eso por lo que primero se ha tenido que ensayar con distintas configuraciones hasta conseguir un resultado óptimo para cada color de filamento.

En un principio se ha realizado un prototipo para validar geometrías y acabados con el mismo filamento, sirviendo este también como primera aproximación para obtener los parámetros más idóneos para la impresión. Este primer prototipo del cubitón se muestra en la Figura 19:

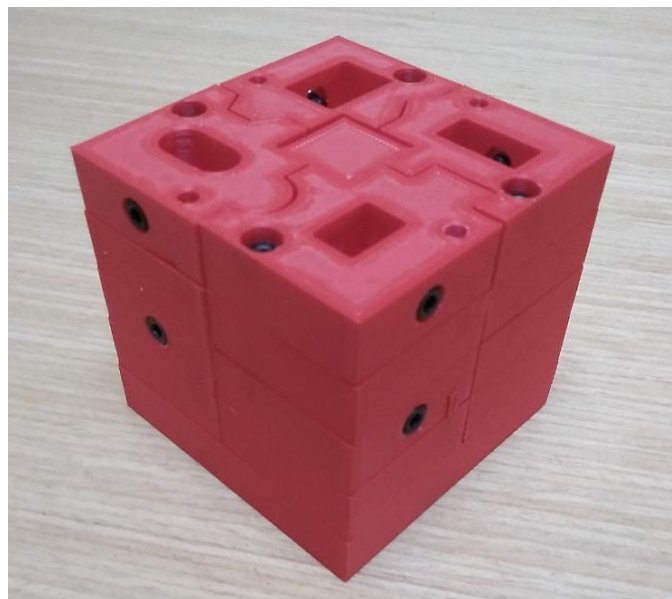


Figura 19. Prototipo Cubitón

En el anterior capítulo, específicamente en la Figura 16, se pueden observar los distintos colores que se han empleado para cada tipo pieza siendo:

- Base: Gris claro
- Piezas sin insertos: Azul y Verde
- Piezas con insertos: Rojo y Menta
- Insertos Gris oscuro

Para conocer las mejores condiciones para la impresión se han realizado distintas pruebas con cada filamento. Una de las pruebas más completas para ver la calidad de una impresión es la conocida como el barco “benchy” mostrado en la Figura 20. Esta prueba permite ver la calidad de las capas, como se realizan los puentes sin soportes o impresiones en ángulo. Sin embargo, es una prueba lenta y aunque sea completa ciertos aspectos no interesan debido a que son circunstancias geométricas que no se dan en las piezas del Cubitón.

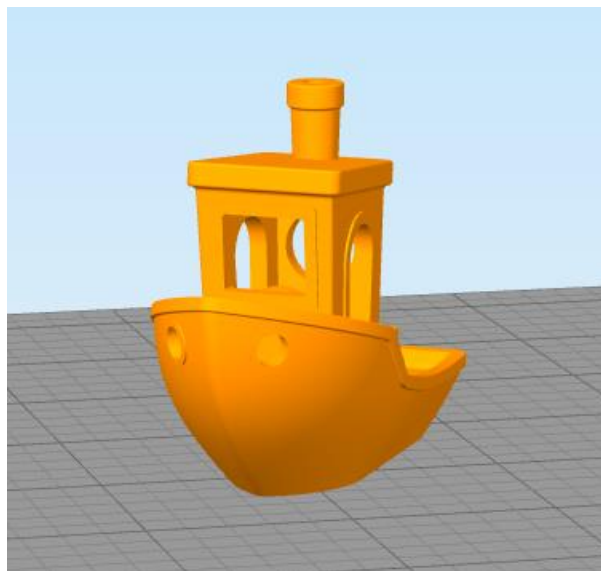


Figura 20. Prueba de impresión Benchy

Es por esto por lo que se ha realizado la prueba conocida como cubo de calibración. Pese a que hay pruebas específicas para estudiar cada parámetro de impresión, el cubo de calibración permite realizar un análisis rápido de la calidad que se obtiene con determinada configuración. En la Figura 21 pueden verse algunos de los distintos cubos que se han imprimido:



Figura 21. Cubos de calibración

En esta misma Figura pueden ya identificarse algunos defectos que se han dado en las impresiones.

La retracción sin embargo ha sido estudiada de forma individual, realizando una prueba consistente en imprimir dos torres de material a poca distancia como la que se ve en la figura 22. Si quedan “hilos” de material entre ambas torres debe reajustarse este parámetro.

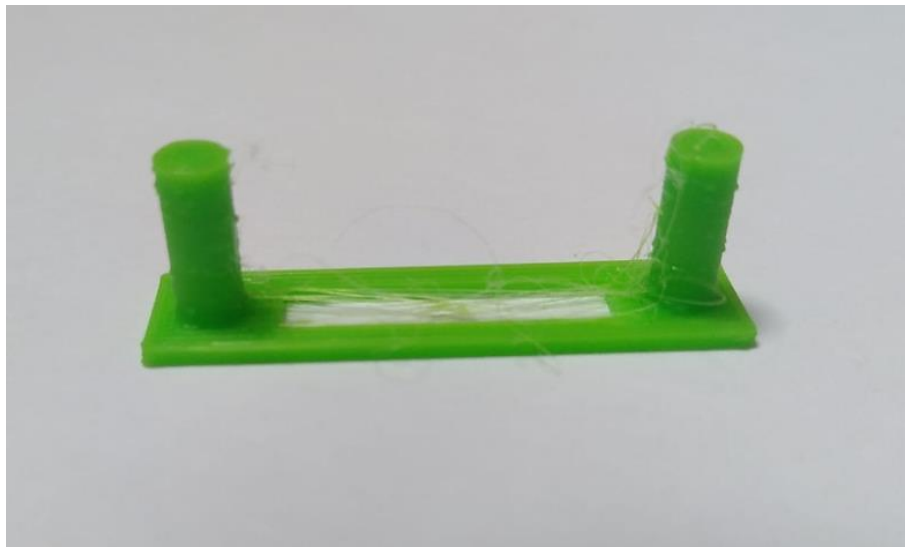


Figura 22. Prueba de retracción

Para la impresión de las piezas y considerando que cada nivel es de un color, se han agrupado estas de cuatro en cuatro como en la Figura 23, de modo que con cada impresión se obtenga un nivel completo.

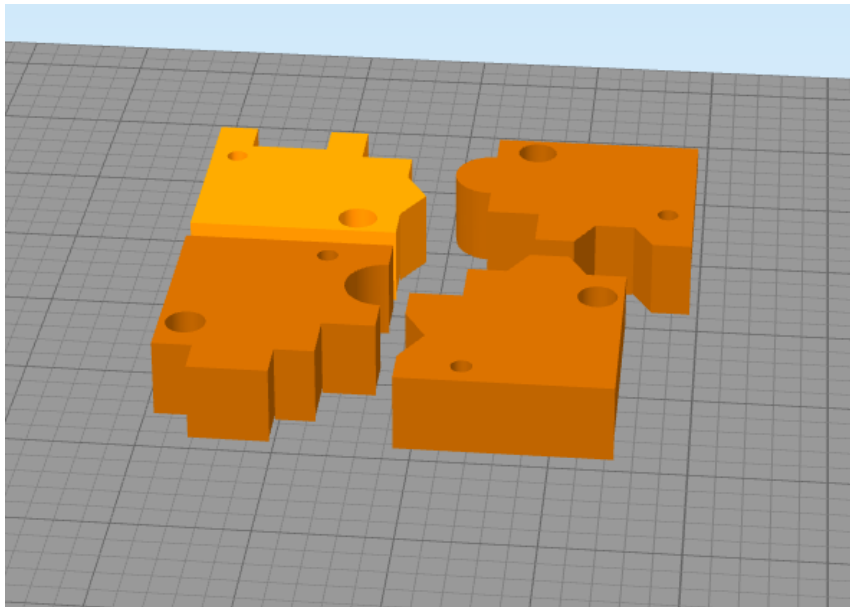


Figura 23. Agrupación de piezas

La pieza base que sirve como soporte para las demás se ha impreso de forma individual tal y como se muestra en la figura 24:

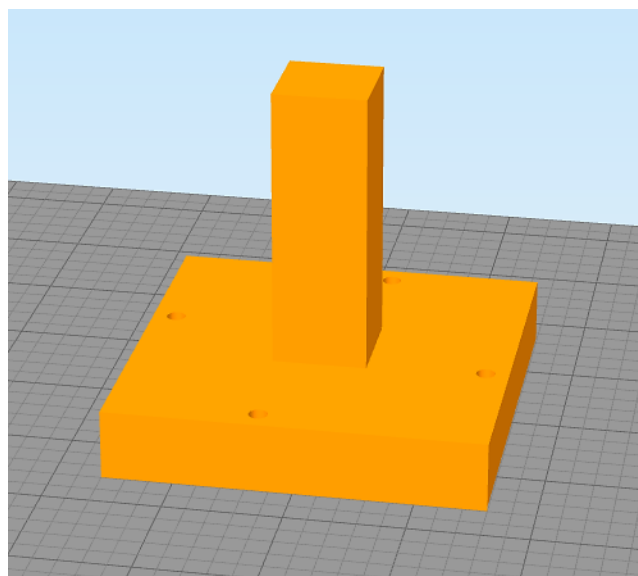


Figura 24. Impresión de soporte

Por otra parte, los insertos se han agrupado de modo que en una sola impresión se hagan todos los correspondientes a un Cubitón, o lo que es lo mismo, dos de cada tipo. En la Figura 25 se muestra dicha agrupación:

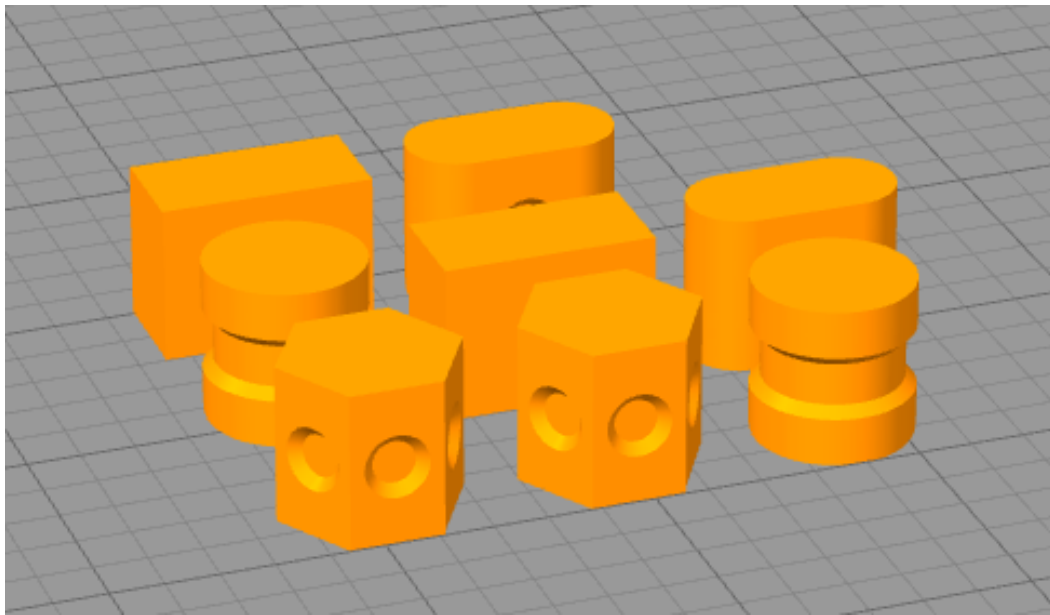


Figura 25. Agrupación de insertos

Cabe destacar que para la impresión de estas piezas se ha rociado previamente con laca la superficie de impresión para garantizar mejor agarre o adhesión a la cama. En ocasiones se ha comprobado que pese a utilizar la cama caliente de la impresora las piezas se despegaban de la misma.

6.2 DEFECTOLOGÍA

A lo largo de las impresiones se han dado diversos defectos que, aunque hayan estropeado la calidad de las piezas, siendo necesario desecharlas, también son útiles para corregir y reajustar la configuración del laminador.

En la Figura 26 se muestra la base de una impresión en la que los distintos perímetros del material no están pegados unos a otros, resultando en una pieza quebradiza y sin ninguna resistencia mecánica.



Figura 26. Defecto falta de material

En el caso de este filamento se requería aumentar la cantidad de flujo de material extruido, ya que con parámetros convencionales para el flujo este resultaba escaso, con lo que los perímetros de material no se adherían entre si al apenas estar en contacto entre ellos.

Un defecto muy similar se ve en la Figura 27, en la que una velocidad de impresión elevada, alrededor de 60mm/s, y una temperatura baja del hotend han resultado en una mala adhesión de las capas siendo el efecto tan exagerado que la pieza se partió por la mitad.



Figura 27. Baja temperatura y exceso de velocidad

La falta de adhesión por baja temperatura también se puede observar en las caras laterales como se ve en la figura 28, donde con un pequeño esfuerzo la pieza se rompió superficialmente:

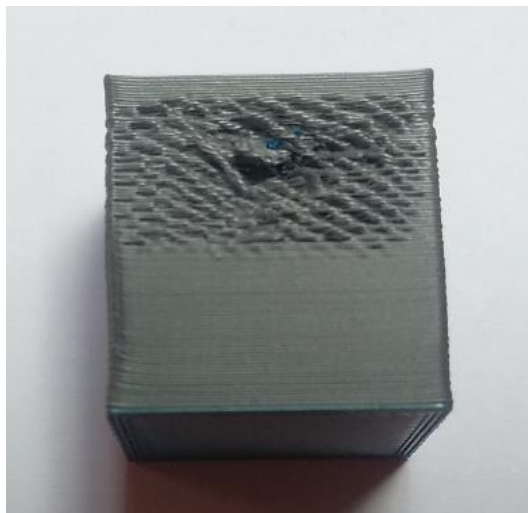


Figura 28. Rotura por mala adhesión de capas

Este efecto puede pasar desapercibido ya que en ocasiones las capas si que se adhieren correctamente en apariencia. Sin embargo, en la Figura 29 se puede observar como la impresión de una de las bases está rota debido al mal fundido del filamento junto con una cantidad insuficiente de capas de material en la parte inferior.

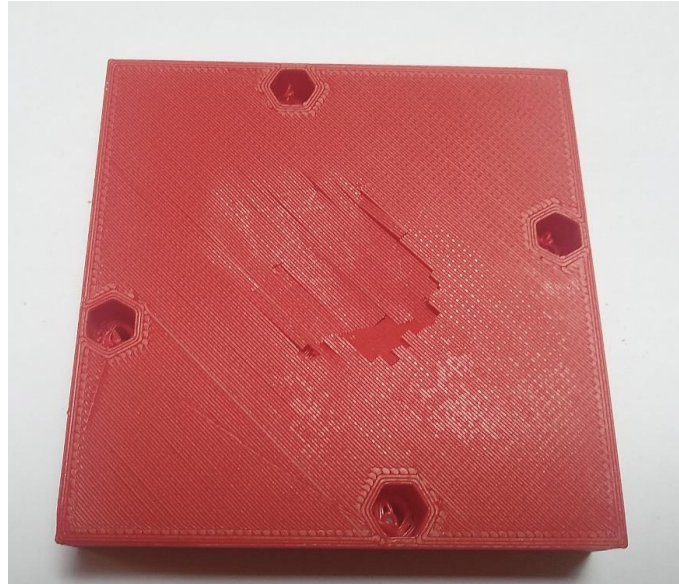


Figura 29. Rotura por insuficiencia de capas y baja temperatura de impresión

Velocidades altas en la impresión también dan como resultado malos acabados superficiales en las últimas capas, quedando estas rasgadas o agrietadas como se puede ver en la Figura 30:

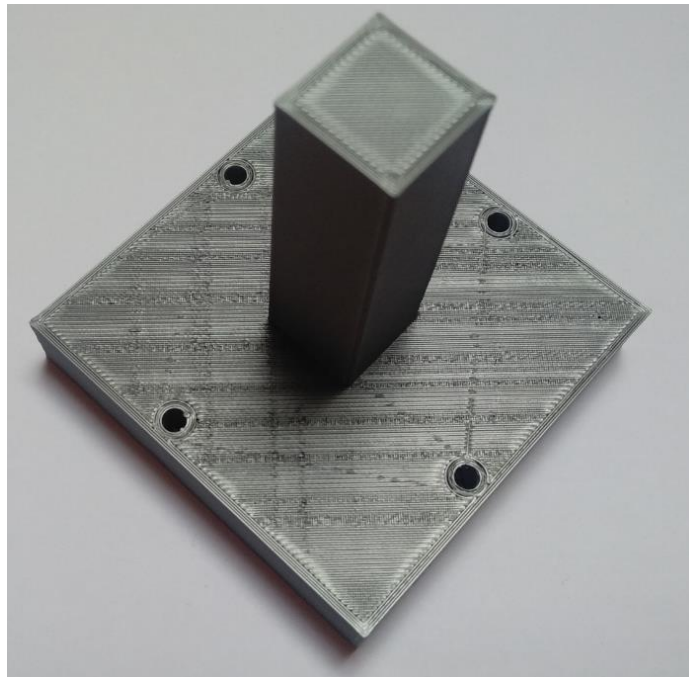


Figura 30. Rasgado de capas superficiales

Otro de los defectos posibles es la mala adhesión a la superficie de impresión como puede observarse en la figura 31, donde las primeras capas de la pieza se despegan de la cama de la impresora. Este defecto puede tener muchas causas, las más comunes son una baja temperatura de hotend y una alta velocidad de impresión, sin embargo, ha de tenerse en cuenta que la adhesión a la superficie es una de las operaciones más delicadas del proceso, con la temperatura y velocidad normal del proceso no son adecuadas para las primeras capas.

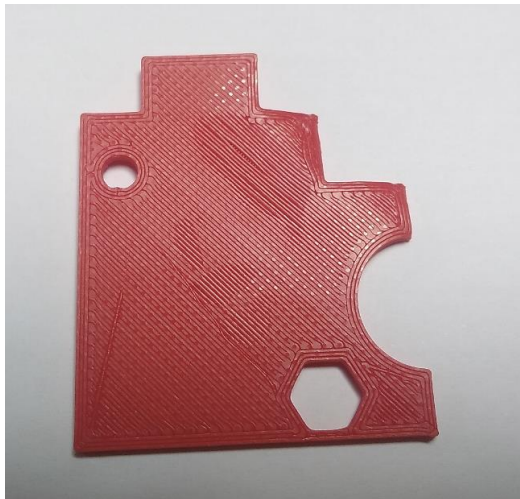


Figura 31. Mala adhesión a la superficie de impresión

Otra de las causas puede ser incluso un mal enfriamiento de estas capas, produciéndose una contracción del material que tiende a levantar las capas. Según van depositándose nuevas capas el efecto se intensifica pudiendo llegar a despegarse por completo la pieza dando lugar a una impresión fallida.

Para impedir estos defectos se imprime sobre una cama caliente, la superficie de la impresión se calienta hasta cierta temperatura que favorece la adherencia del material. Normalmente para materiales como el PLA se emplea una temperatura de 60°C. Si con esto no es suficiente, como puede ser en el caso de piezas muy pequeñas con poca superficie de contacto, puede rociarse la cama de impresión con distintos productos como laca, que actúa como un adhesivo pegando las piezas a la cama. Sin embargo, ha de considerarse que la laca genera residuos que van a parar a los componentes mecánicos de la impresora, comprometiendo a la larga su correcto funcionamiento.

En conclusión, los parámetros que más han de cuidarse son la velocidad de impresión junto con la temperatura del hotend.

6.3 PARÁMETROS DE IMPRESIÓN

Para preparar las condiciones de la impresión se ha empleado el programa laminador “SIMPLIFY3D 4.0” como se ha mencionado antes cuya interfaz se muestra en la figura 32:

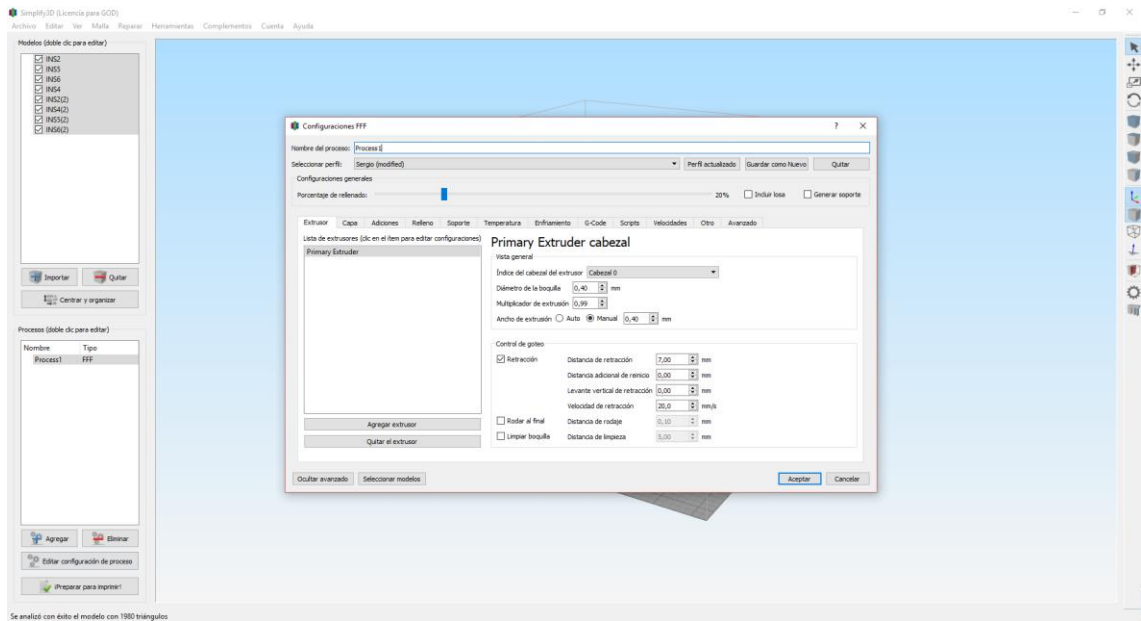


Figura 32. SIMPLIFY3D 4.0

En un principio se ha intentado unificar los distintos parámetros de impresión para todas las piezas independientemente del filamento usado, pero se ha visto que pese a ser todos en principio del mismo modelo si que se necesita emplear distintas temperaturas de Hotend y diferentes valores para el flujo de extrusión.

Los parámetros que sí que se han conseguido generalizar se muestran en la Tabla 2:

PARÁMETRO	VALOR
Diámetro de la boquilla del extrusor	0,40mm
Distancia de retracción	7mm
Velocidad de retracción	20mm/s
Altura de capa primaria	0,20mm
Capas sólidas superiores	4
Capas de fondo sólido	4
Cubiertas de contorno/perímetro	4



Velocidad por defecto	50mm/s
Velocidad baja para contorno	80%
Velocidad de primera capa	70%
Velocidad de rellenado de sólidos	100%
Velocidad de movimiento de los ejes X/Y	150mm/s
Velocidad de movimiento de eje Z	20mm/s
Temperatura de cama caliente	60°

Tabla 2. Parámetros generales

Después de las correspondientes pruebas se han determinado los siguientes parámetros específicos para cada color mostrados en la tabla 3:

COLOR	TEMPERATURA HOTEND PRIMERA CAPA (°C)	TEMPERATURA HOTEND (°C)	FLUJO (%)
AZUL	200	210	100
VERDE	200	210	100
ROJO	210	220	110
MENTA	210	220	110
GRIS CLARO	200	210	100
GRIS OSCURO	200	210	100

Tabla 3. Parámetros específicos

6.3.1 OTROS PARÁMETROS

Para garantizar una correcta impresión se han considerado otros parámetros o utilidades que ofrece el laminador como los siguientes:

Falda o borde de impresión. Se imprime un contorno externo alrededor de la pieza para depositar el primer tramo de material que suele presentar defectos o sobrantes de anteriores impresiones. De este modo se asegura que al empezar la impresión de la pieza se imprime con un flujo correcto y constante de filamento. En la Figura 33 puede observarse esta falda de material.

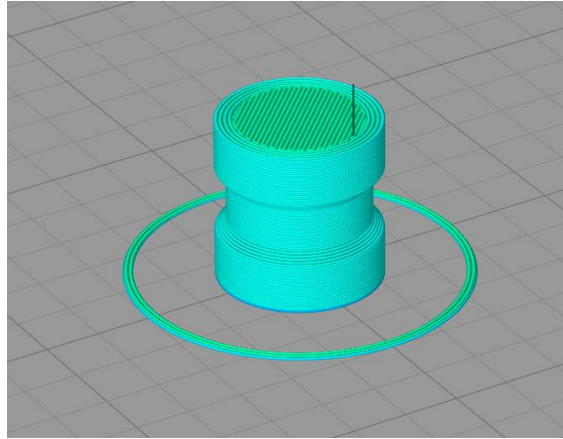


Figura 33. Falda o borde

Relleno de la impresión. Este parámetro indica cuanto de sólida o maciza será la pieza. Para las piezas normales y la base se ha empleado un valor de relleno del 20% mientras que, para los insertos, que tendrán que soportar mayores esfuerzos de compresión se ha empleado un valor del 40%.

Soportes de impresión. Cuando existen puentes en la geometría de la pieza a imprimir puede ser recomendable imprimir una serie de soportes sobre los que se apoye el material. Estos soportes pueden ser retirados una vez terminada la impresión. Para el caso de estas impresiones no se han utilizado ya que su retirada se complicaba bastante y se comprobó que no eran necesarios para garantizar un buen acabado.

Compensación horizontal. Las impresoras domésticas no son capaces de imprimir con tolerancias muy exigentes. Por eso cuando se imprimen piezas que han de encajar entre sí pueden darse problemas. Para solucionar esto puede emplearse este parámetro, que regula el ajuste que habrá entre las piezas. En este caso se ha tomado un valor de $-0,20\text{mm}$, de modo que se garantice cierto juego entre las piezas al imprimir los agujeros un poco más grandes y los contornos externos más pequeños.

6.4 OPERACIONES ADICIONALES

Para garantizar el correcto acabado de las piezas es necesario realizar ciertos ajustes, como limar los taladros para eliminar el sobrante de material y permitir que los tornillos puedan pasar correctamente a través de estos. Para ello se emplea una lima pequeña circular.

Una vez limados los agujeros y corregido el resto de las imperfecciones que puedan presentar las piezas se procede a pegar las tuercas con pegamento adhesivo “LOCTITE” quedando tal y como se muestra en la Figura 34.

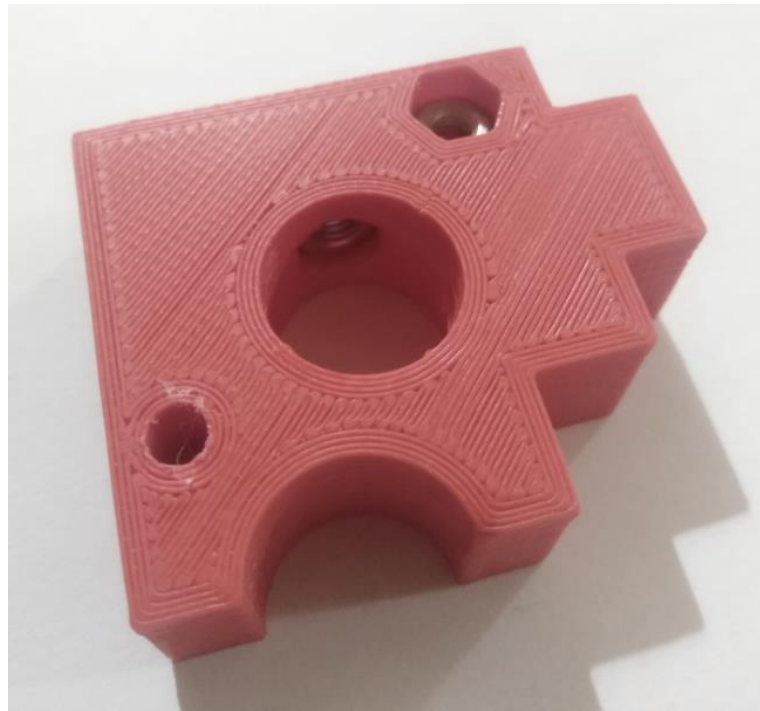


Figura 34. Detalle de tuercas insertadas

6.5 PIEZAS TERMINADAS

En las siguientes figuras se muestran las distintas piezas ya impresas y en su estado final:



Figura 35. Piezas sin inserto verdes

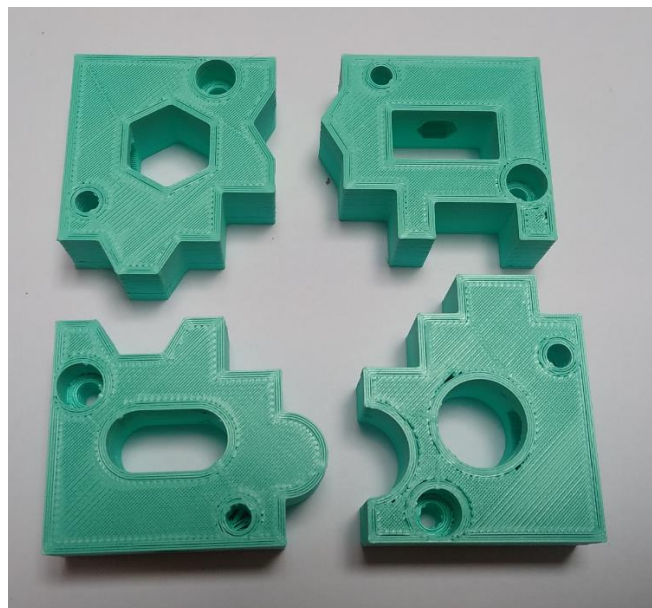


Figura 36. Piezas con inserto menta

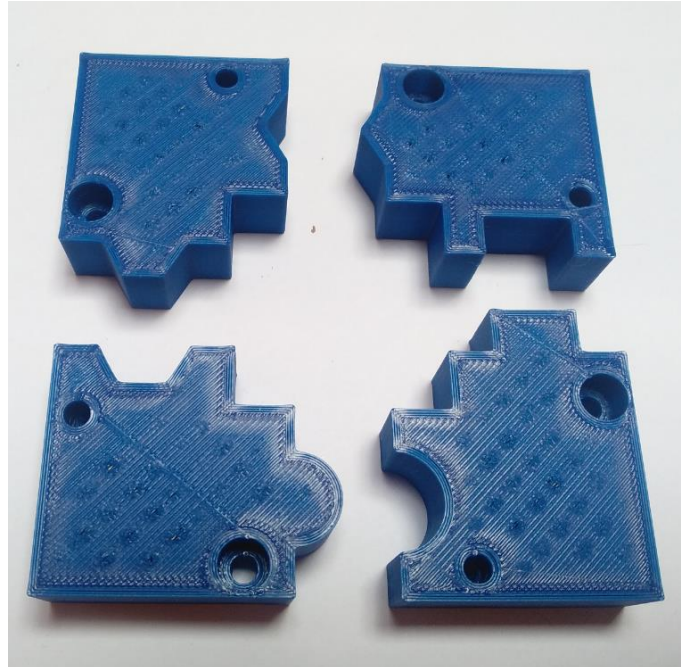


Figura 37. Piezas sin inserto azules

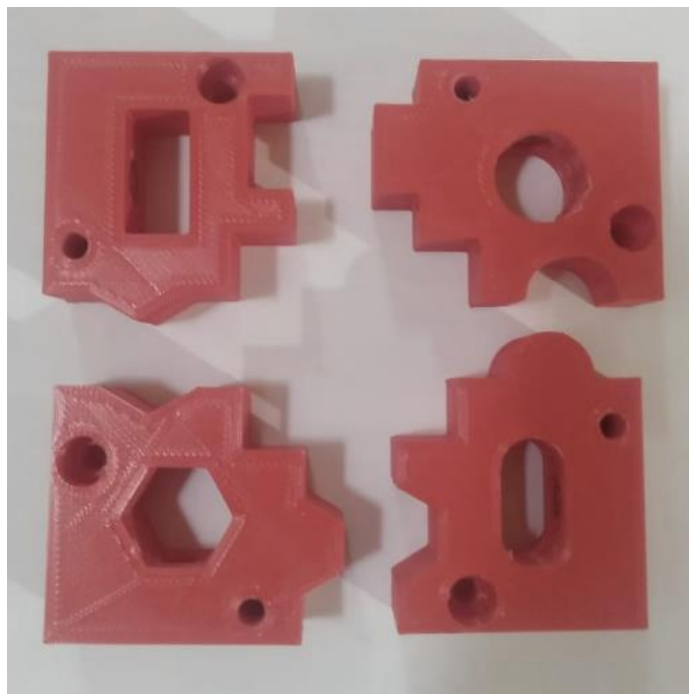


Figura 38. Piezas con inserto rojas

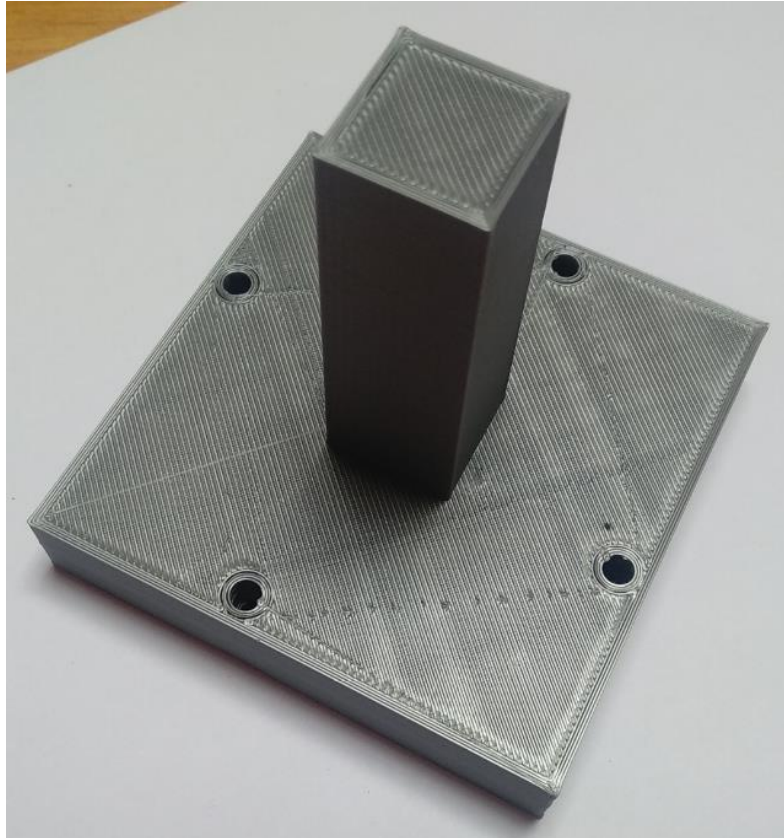


Figura 39. Base

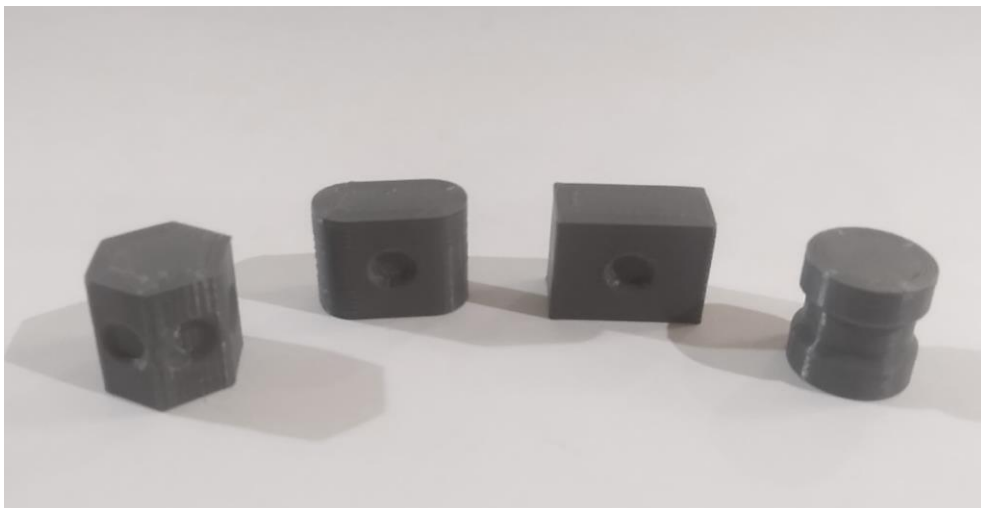


Figura 40. Insertos

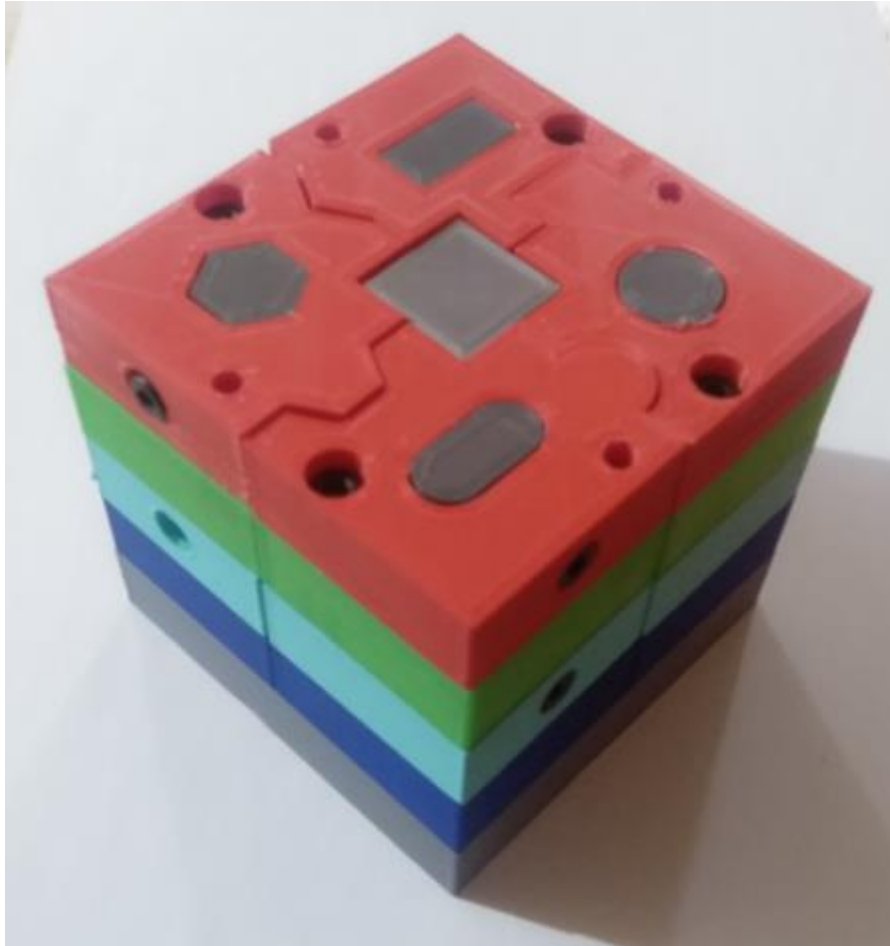


Figura 41. Conjunto terminado



6.6 PRESUPUESTO

Es interesante conocer el coste de fabricación del cubitón, tanto económico como en tiempo, por eso se presenta el siguiente presupuesto en la Tabla 4.

Por una parte, tenemos el coste material, que siendo el precio de cada bobina de filamento de 750 gramos usada de 11,90€, se tiene que el precio del filamento es de 15,87€/Kg.

Siendo la potencia de la impresora de 240W puede considerarse también que el coste energético por hora es aproximadamente de 0,04€/h.

PIEZAS	FILAMENTO (KG)	COSTE MATERIAL (€)	TIEMPO (horas)	COSTE ENERGÉTICO (€)	COSTE TOTAL (€)
CAPA AZUL	0,082	1,29	5,00	0,20	1,49
CAPA MENTA	0,080	1,27	5,00	0,20	1,47
CAPA VERDE	0,082	1,29	5,00	0,20	1,49
CAPA ROJA	0,080	1,27	5,00	0,20	1,47
BASE	0,072	1,14	4,00	0,16	1,30
INSERTOS	0,025	0,40	2,00	0,08	0,48

Tabla 4. Coste Impresión

El coste total de la impresión ascendería a 7,71€ y el tiempo de impresión a 26 horas, a las que se deberían añadir 2 horas más por el tiempo de acabado de las piezas y colocación de las tuercas. A mayores ha de considerarse el coste de los tornillos y tuercas mostrándose este en la siguiente tabla:

TORNILLO	PRECIO/UD (€)	UDS	COSTE TOTAL (€)
M4 L20	0,05	16	0,8
M4 L10	0,04	8	0,3
TUERCA M4	0,02	28	0,6

Tabla 5. Coste tornillería

Por lo que el coste total de la fabricación ascendería a 9,41€ por conjunto.



CAPÍTULO 7. ESTUDIO ECONÓMICO

Este capítulo se desarrolla con objeto de llevar una contabilidad de todos los costes involucrados en el desarrollo y proceso de diseño del juego didáctico y posterior fabricación del mismo. Para esto, se parte desde el momento en que surge la idea de desarrollo del juego hasta la fabricación de las piezas finales.

Para el estudio de los distintos costes se considera que este trabajo ha sido realizado por un estudiante del Máster de Ingeniería Industrial por cuenta ajena a la universidad de Valladolid en régimen de autónomo.

7.1 DESARROLLO DEL PROYECTO

Conocer las distintas etapas que ha seguido la realización de este trabajo es necesario para poder estimar el alcance de los costes. Ha de considerarse también que los pasos a seguir para la elaboración de un trabajo dependen de cada autor, de modo que este apartado puede resultar algo subjetivo, pudiendo variar los costes de un trabajador a otro. A continuación, se describen las distintas etapas que se han seguido:

- Propuesta de la idea para el trabajo de Fin de Máster. La primera etapa es la elección de la temática del TFM. Una vez se tiene claro el campo o área sobre la que se quiere realizar se realizan distintas propuestas a profesores además de estudiar la posibilidad de realizar otros trabajos ya propuestos.
- Acuerdo del alcance del proyecto. Una vez elegido el tema se trata con el tutor del TFM sobre el alcance que tendrá el trabajo, es decir, que puntos abarcará la realización del este y cuáles son los aspectos necesarios para cumplir los objetivos del mismo.
- Recopilación de información y bibliografía. En esta etapa se ha procedido a la recopilación de toda la documentación posible referente a este trabajo, comenzando por los conceptos básicos del lean manufacturing, las distintas técnicas de impresión 3D y hasta artículos en revistas sobre el aprendizaje significativo con juegos didácticos.
- Diseño y fabricación del Cubitón. Proceso iterativo de puestas en común de ideas con el tutor y fabricación de primeras versiones o prototipos del Cubitón. Ha sido la etapa más extensa primero por el diseño del juego para que cumpla los requisitos planteados y segundo por el proceso en sí de la impresión.
- Redacción del informe acerca del proyecto.



7.2 COSTES DE PERSONAL

Los costes derivados del personal se han calculado en base a las horas laborales del convenio colectivo nacional de empresas de ingeniería y estudios técnicos de 2024-2017, teniéndose un total de 1864 horas anuales.

Para calcular el coste de la hora efectiva se ha considerado la situación de que el ingeniero responsable del proyecto está dado de alta como autónomo con un sueldo bruto de 1800 euros mensuales con una cotización mínima de 267,03 euros al mes. En la Tabla 6. Se indican los costes relativos al personal:

COSTES PERSONAL	
Sueldo Bruto	21600,00
Seguridad social	3204,36
Coste total/año	24804,36
Coste persona/hora	13,31

Tabla 6. Costes de Personal

7.3 AMORTIZACIÓN EQUIPOS INFORMÁTICOS

Para la realización de este trabajo se han utilizado determinado equipo informático cuya amortización ha de ser considerada para el cálculo de los costes del trabajo. Entre este equipo se encuentra el ordenador utilizado, junto con los periféricos, los programas informáticos usados y la impresora con la que se han realizado las piezas. La amortización de estos equipos se ha calculado consiedarndo una vida útil de los mismos de 5 años, siendo la correspondiente a cada elemento la que se muestra en la Tabla 7:

Concepto	Precio (€)	Cantidad	Amortización anual (€)
Asus R560UD-EJ393 Intel Core i7-8550U	849,00	1,00	169,80
Teclado + Ratón Logitech	25,99	1,00	5,20
Altavoces Creative	39,99	1,00	8,00
Microsoft Office Profesional 365	149,90	1,00	29,98
Impresora 3D ENDER3	175,00	1,00	35,00
SIMPLIFY3D V4,0	149,90	1,00	29,98
TOTAL	1389,78	TOTAL ANUAL	277,96

Tabla 7. Amortización equipos informáticos



7.4 CONSUMIBLES

Además de los costes derivados de los equipos informáticos se han gastado también determinados consumibles, cuyos costes se resumen en la siguiente Tabla 8:

Concepto	Importe (€)
Papel	20,00
Encuadernación	30,00
Material impresora 3D	100,00
Otros	40,00
TOTAL	190,00

Tabla 8. Consumibles

7.5 COSTES INDIRECTOS

Los costes indirectos son aquellos que no han intervenido directamente en la realización de este trabajo, pero sin embargo sí que han sido necesarios para la ejecución de este y otras actividades. Estos costes se muestran en la Tabla 9:

Costes indirectos	Importe (€)
Alquiler	450,00
Mobiliario	40,00
Consumo Electricidad	50,00
Conexión internet	40,00
Transporte	50,00
Otros	90,00
Total/mes	720,00
Total/hora	18,00

Tabla 9. Costes indirectos



7.6 TIEMPO Y COSTES DEL PROYECTO

Cada una de las etapas del proyecto ha llevado asociada también un coste en tiempo, con lo que ha de cuantificarse también el coste económico equivalente. En la Tabla 10 se muestra el tiempo dedicado a cada una de las etapas:

Etapa	Horas
Propuesta de la idea	5,00
Acuerdo del Alcance	10,00
Recopilación de Información	45,00
Diseño y Fabricación	200,00
Redacción del informe	140,00
TOTAL	400,00

Tabla 10. Tiempo del proyecto

A continuación, se analizan los costes que ha supuesto cada una de las etapas en proporción a los gastos mencionados anteriormente:

Etapa	Horas	Coste personal (€)	Amortización (€)	Consumibles (€)	Costes indirectos (€)	Total (€)
Propuesta de la idea	5,00	66,55	3,47	2,37	22,50	94,90
Acuerdo del Alcance	10,00	133,10	6,94	4,75	45,00	189,80
Recopilación de Información	45,00	598,95	31,27	21,37	202,50	854,10
Diseño y Fabricación	200,00	2662,00	138,97	95,00	900,00	3795,98
Redacción del informe	140,00	1863,40	97,28	66,50	630,00	2657,18
					TOTAL	7591,96

A estos costes habría que sumar impuestos indirectos como el IVA y el margen comercial de beneficio.



CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

La experiencia en las prácticas de la escuela Lean de Reanult Consulting ha demostrado como un método de enseñanza alternativo como un juego didáctico permite una mejor comprensión de los principios básicos del Lean Manufacturing.

Durante las sesiones de prácticas en las que hice presencia pude comprobar como el hecho de permitir a los alumnos participar en una actividad más práctica despertó mayor motivación y predisposición al aprendizaje. En este trabajo se ha tratado en parte precisamente sobre este tema: cómo un juego didáctico o una actividad más dinámica puede conseguir una mayor involucración del alumno en el proceso educativo.

Otro de los éxitos que pude observar fue como al aplicar las técnicas estudiadas en clase de forma teórica en una actividad más práctica permite que estas se afiancen mejor en la mente del alumno, consiguiéndose así un mayor entendimiento sobre el Lean Manufacturing. Estas prácticas son un gran ejemplo de cómo lograr un aprendizaje significativo en los alumnos consiguiendo así una mejor preparación en temas tan prácticos e importantes como pueden ser los principios del sistema Lean en la industria actualmente.

Por supuesto lograr desarrollar un juego que mantenga un equilibrio entre aprendizaje y entretenimiento no es una tarea fácil, sobre todo en este caso en el que se simulan puestos de trabajo y las técnicas estudiadas tienen cierta complejidad. Por eso ha sido un reto diseñar un nuevo conjunto para la realización de las prácticas y que permita seguir manteniendo este equilibrio.

La finalidad de este trabajo ha sido realizar un nuevo diseño que sea óptimo para adaptarse a las prácticas de Lean Manufacturing, el cubitón. Este está fabricado en impresión 3D aprovechando así las ventajas que esta tecnología nos ofrece, pero compitiendo con la alternativa anterior, el solectron, que estaba mecanizado en acero ofreciendo una gran durabilidad, pero a costa de un mayor peso y peor manejabilidad.

Los sistemas empleados para el montaje de las piezas junto con su diseño y la configuración utilizada para la impresión de las piezas han permitido lograr una buena durabilidad al nuevo conjunto, siendo este perfectamente adecuado para la realización de las prácticas.

Además, se ha comprobado como esta tecnología, que aún está en desarrollo para emplearse de forma intensiva en la industria, ha podido ofrecer una alternativa



realmente competitiva al proceso de mecanizado. En muchos casos un proceso de mecanizado va a ofrecer mayor rapidez y calidad que una impresión 3D, sin embargo, el tiempo de impresión de estas piezas para lotes pequeños no está muy por detrás del que nos ofrecería una empresa de mecanizado. Por otra parte, la calidad obtenida resulta adaptarse perfectamente para la actividad a la que está destinado el cubitón, por no mencionar el ahorro económico que supone la impresión 3D no solo respecto al coste del material sino también al del proceso en sí del mecanizado.

También cabe destacar que el objetivo marcado de lograr un conjunto cuya manipulación fuera más sencilla se ha logrado. Tanto por el material como por el relleno elegido para la impresión de las piezas nos permiten tener un conjunto muy ligero cuya forma también permite que pueda ser almacenado y transportado fácilmente en grandes cantidades.

Durante la fabricación del cubitón se ha comprobado también como algunos filamentos responden mejor a la impresión que otros, consiguiéndose mejores resultados y calidad, pese a ser todos del mismo modelo comercial. Esto ha permitido hacer una selección de cuáles pueden ser óptimos para una producción más intensiva del cubitón. Por ejemplo, el filamento de color menta ha demostrado no ser adecuado para la impresión de tiradas más largas ya que las piezas imprimidas con este material han presentado muchos fallos complicando la producción y requiriendo desechar gran cantidad de impresiones. Al contrario, con otros filamentos como el azul o el gris oscuro se han conseguido muy buenos resultados a la primera además de permitir aumentar la velocidad de la impresión.

En este trabajo solo se ha mostrado un diseño simple del cubitón, sin embargo, también se ha propuesto el diseño de otras piezas distintas, recuperando las primeras versiones planteadas además de añadir nuevos diseños. También se han desarrollado otros modelos para los insertos, que puedan añadir mayor complejidad y variedad al juego.

Otro de los puntos para nuevos desarrollos sería aumentar y cambiar los colores de las distintas capas de piezas. En el modelo propuesto solo se han indicado cuatro colores que diferencian claramente cada capa, pero se podrían proponer nuevos diseños cromáticos que aporten mayor diversidad de modelos o incluso conjuntos monocromáticos en los que no pueda aprovecharse el color de las piezas para diferenciarlas. Todo esto podría emplearse no solo para añadir complejidad al juego, sino para practicar ciertas técnicas del Lean Manufacturing. Una mayor diversidad de



piezas requerirá un mejor sistema de referencias para las mismas, lo que da pie a buscar el desarrollo de sistemas Kanban más eficientes, mejorar el sistema logístico o incluso estudiar la posibilidad de emplear poka-yokes.

Una de las grandes ventajas de fabricar el cubitón con una impresora 3D es que pueden hacerse nuevos prototipos y probarse todas estas nuevas alternativas de una forma sencilla. Cualquier estudiante o profesor puede hacer nuevos diseños, incorporarlos al cubitón y fabricarlos en la propia universidad.



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

Máster en Ingeniería Industrial



BIBLIOGRAFÍA

- 1) Hernández Matías. Vizán Idoipe. Lean Manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación. Fundación EOI, 2013
- 2) Socconi, Luis. Lean manufacturing. Paso a paso. Marge books 2019
- 3) Estado del arte de fabricación aditiva. Oportunidades industria 4.0 en galicia. Xunta de galicia 2017
- 4) Pandey, David, Oan Wimpenny L. Jyothish kumar, pulak m. 3d printing and additive manufacturing technologies. Ed. Springer 2019
- 5) Chacón, Paula. El juego didáctico como estrategia de enseñanza y aprendizaje. Instituto pedagógico de caracas. Revista nueva aula abierta nº16 2008
- 6) Ausubel, D. Novak, J. Y Hanesian, H. Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo. 1983
- 7) Marcos, A. Yépez, A. Aproximación a la comprensión del aprendizaje significativo de David Ausubel. Revista ciencias de la educación nº37 2011
- 8) Marcano, Beatriz. Juegos serios y entrenamiento en la sociedad digital. Teoría de la educación. Educación y cultura en la sociedad de la información. 2008, 9.
- 9) Dörner, Göbel, Effelsberg, Wiemeyer. Serious games. Foundations, concepts and practice. Ed. Springer. 2016
- 10) Contreras, Ruth S. Eguia, José Luis Gamificación en las aulas universitarias. 2016. Institut de la comunicació. Universitat de Barcelona
- 11) Stieglitz, Lattemann, Robra-Bissanz, Zarnekov, Brockmann. Gamification. Using gaming elements in serious contexts Ed. Springer 2017
- 12) Deterding, Dixon, Khaled y Nacke, Gamification: toward a definition. Mindtrek '11 proceedings of the 15th international academic mindtrek conference: envisioning future media environments 2011



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial



INDICE DE PLANOS

- P01. VISTA EXPLOSIONADA CUBITÓN
- P02. BASE
- P03. PIEZA SIN INSERTO 1
- P04. PIEZA SIN INSERTO 2
- P05. PIEZA SIN INSERTO 3
- P06. PIEZA SIN INSERTO 4
- P07. PIEZA CON INSERTO 1
- P08. PIEZA CON INSERTO 2
- P09. PIEZA CON INSERTO 3
- P10. PIEZA CON INSERTO 4
- P11. INSERTOS