



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SERIOUS GAME PARA EL
APRENDIZAJE DEL SMED**

Autor: D. Paula Gavilán Gavilán

Tutor: D. Félix A. Villafañez Cardeñoso

Dpto.: Organización de empresas y CIM

Valladolid, mayo, 2021



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SERIOUS GAME PARA EL APRENDIZAJE DEL SMED

Autor: D. Paula Gavilán Gavilán

Tutor: D. Félix A. Villafáñez Cardeñoso

Dpto.: Organización de empresas y CIM

Valladolid, mayo, 2021



RESUMEN

El aprendizaje basado en juegos se presenta como una nueva metodología que supone una alternativa a los métodos clásicos de enseñanza para la transmisión de conocimientos.

Las disciplinas que optan por la sistemática de "Learning by doing", o lo que es lo mismo, aprender jugando, son múltiples y diversas, sobre todo cuando se trata de enseñar conceptos complejos, desarrollar competencias o entrenar habilidades.

En esta línea se desarrolla el presente trabajo, en el que se diseña e implementa un "serious game" como método de aprendizaje de uno de los pilares del Lean Manufacturing, el SMED ("Single Minute Exchange of Die").

Compuesto por varias etapas en las que se implementan mejoras progresivamente, el juego didáctico propuesto tiene como principal objetivo disminuir el tiempo de preparación de los diversos lotes que en él se fabrican y hacer que los usuarios adquieran los conocimientos que abarca el SMED de una forma diferente y divertida.

ABSTRACT

Game-based learning is presented as a new methodology that represents an alternative to classical teaching methods for the transmission of knowledge.

The disciplines that choose the "Learning by doing" system, are multiple and diverse, especially when it comes to teaching difficult concepts and developing or training skills.

In this line the present work is developed, in which a "serious game" is designed and implemented as a learning method of one of the pillars of Lean Manufacturing, the SMED ("Single Minute Exchange of Die").

Composed of several stages in which improvements are progressively implemented, the main objective of the didactic game is to reduce the preparation time and make users acquire the knowledge of the SMED's tools in a different and funny way.



PALABRAS CLAVE

JUEGO

DIDÁCTICA

MEJORA CONTINUA

SMED

TIEMPO DE PREPARACIÓN

KEYWORDS

GAME

DIDACTICS

CONTINUOUS IMPROVEMENT

SMED

SET-UP TIME



INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Motivación.....	2
1.2 Objetivos.....	2
2. LEAN MANUFACTURING.....	5
2.1 Definición.....	5
2.2 Antecedentes.....	6
2.3 El Sistema de Producción Toyota.....	7
2.4 El sistema Lean.....	8
2.4.1 Principios.....	8
2.4.2 Principales técnicas.....	9
2.4.3 SMED.....	17
3. APRENDIZAJE MEDIANTE JUEGOS.....	27
3.1 Gamificación.....	27
3.2 Aprendizaje basado en juegos (GBL).....	28
3.2.1 Definición.....	29
3.2.2 Características.....	29
3.2.3 Ejemplos de juegos serios.....	30
3.2.4 Juegos serios en el aprendizaje de Lean Manufacturing.....	32
4. APRENDIZAJE DEL SMED: DISEÑO DE UN SERIOUS GAME.....	35
4.1 Descripción de la producción.....	41
4.2 Descripción del juego.....	49
4.3 Instrucciones del juego.....	50
4.4 Actuación en caso de incidencia.....	52
4.5 Resultado del juego: producto terminado.....	54



5. IMPLEMENTACIÓN DEL SERIOUS GAME: DINÁMICA INICIAL.....	59
5.1 Etapa 0.....	59
5.2 Etapa 1.....	68
6. INCORPORACIÓN DE LA MAQUETA: DINÁMICA CON AYUDA DE MATERIAL	79
7. MEJORAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	109
7.1 Comparativa de dinámicas.....	109
7.2 Mejoras implementadas	115
Fase 1: Separar en operaciones	115
Fase 2: Diferenciar en operaciones internas y externas.....	115
Fase 3: Disminuir el número de operaciones internas y convertir el máximo número de operaciones en externas	125
Fase 4: Disminuir el tiempo de las operaciones internas y externas	128
7.3 Análisis de resultados	151
7.3.1 Disminución progresiva del tiempo:.....	151
7.3.2 Comparativa de resultados	156
8. ESTUDIO ECONÓMICO	159
8.1 Introducción	159
8.2 Elaboración del proyecto: fases	159
8.2.1 Surgimiento de la idea de elaboración del proyecto	159
8.2.2 Búsqueda de información	160
8.2.3 Análisis y diseño del juego	160
8.2.4 Diseño de la maqueta.....	161
8.2.5 Construcción de la maqueta	161
8.2.6 Realización de simulaciones	161
8.2.7 Análisis de resultados y propuesta de mejoras.	161
8.3 Estudio económico.....	162



8.3.1	Cálculo del coste de operación.....	162
8.3.2	Costes indirectos	165
8.3.3	Coste del equipo empleado y cálculo de sus amortizaciones.....	165
8.3.4	Coste de los materiales	167
8.3.5	Coste asignado a cada fase del proyecto.....	168
8.4	Coste total.....	173
9.	CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS.....	175
9.1	Conclusiones	175
9.2	Líneas futuras	177
10.	REFERENCIAS.....	181
11.	ANEXO: PLANOS DE LA MAQUETA.....	183
11.1	Plano de montaje: versión inicial – 001	
11.2	Plano de conjunto: versión inicial– 002	
11.3	Plano de despiece – 003	
11.4	Plano de plantillas simples: versión inicial – 004	
11.5	Plano de plantillas compuestas: versión inicial – 005	
11.6	Plano de montaje: versión mejorada – 006	
11.7	Plano de conjunto: versión mejorada – 007	
11.8	Plano de plantillas mejoradas – 008	



1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, son diversos los sectores que abandonan las tradicionales formas de transferencia de información, sustituyéndolas por nuevas metodologías basadas en el aprendizaje mediante juegos.

La transmisión de conocimientos mediante el desarrollo de juegos surge como una alternativa que pretende facilitar y mejorar el proceso de aprendizaje, pues, al tratarse de una forma divertida de aprender, es mayor la predisposición que los usuarios presentan para la captación de conocimientos.

Además de conceptos, se pretende que se adquieran competencias y se entrenen destrezas. Es por ello por lo que, involucrar a los usuarios durante el desarrollo de esta metodología se convierte en un aspecto clave para garantizar el éxito del aprendizaje.

Como se sabe, son múltiples las disciplinas que precisan de una parte práctica para completar el conocimiento teórico, sobre todo cuando se trata de comprensión de conceptos complejos que requieran el entreno de habilidades para la resolución de problemas.

Por su parte, el Lean manufacturing está compuesto de diversas herramientas que precisan de cierta experiencia para manejarlas y poder implementarlas con soltura en situaciones reales.

Por ello, para el aprendizaje de una de sus principales técnicas, el SMED (Single Minute Exchange of Die), se adopta la metodología de “Learning by doing” y se diseña un “serious game” que sirva de puente entre la teoría y su puesta en práctica en entornos industriales.

Por lo tanto, trabajar en esta línea supone el desafío de desarrollar un juego didáctico mediante el que se consiga contribuir en el aprendizaje futuro de otros alumnos de una manera diferente, amena y entretenida, así como despertar en los usuarios el interés por adentrarse en la cultura Lean, conocer la multitud de conceptos que abarca y desarrollar las habilidades que requiere la implementación de sus técnicas.



1.1 Motivación

El ámbito de la ingeniería relacionado con el Lean Manufacturing y la mejora continua de procesos me despierta especial interés, no solo por la inmensidad de sectores que requieren de sus técnicas y herramientas, sino también por el reto que les supone a los ingenieros desempeñar este trabajo de aprendizaje continuo y multidisciplinar.

Durante el desarrollo de mis prácticas en empresa del grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales tuve la oportunidad de adentrarme en la filosofía Lean, y más concretamente, en el desarrollo de labores de estandarización de procesos de mecanizado, entre otras.

Posteriormente, fue en el primer curso del Máster en Ingeniería Industrial donde seguí empapándome de las herramientas que abarca esta filosofía tras cursar la asignatura de “Dirección de la Producción”, en la que adquirí diversos conocimientos a través del desarrollo de un curso práctico de Lean Manufacturing en la escuela Lean que Renault – Nissan Consulting tiene en la Escuela de Ingenierías Industriales con la colaboración de la Universidad de Valladolid. Fue entonces cuando me di cuenta de lo divertido, ameno y efectivo que suponía aprender jugando.

Por este motivo, fue por lo que decidí realizar el Trabajo de Fin de Máster en esta línea y continuar aprendiendo sobre las herramientas que comprende la filosofía Lean de una manera diferente, mediante el diseño de un serious game para el aprendizaje del SMED, una de sus principales técnicas.

Con la implementación de este juego se pretende que, en un futuro, otros alumnos puedan completar su formación de una manera divertida y disfruten de la experiencia de aprender jugando.

Además, el hecho de realizar este Trabajo de Fin de Máster supone una buena oportunidad para adquirir y ampliar mis conocimientos en un ámbito de la ingeniería en el que me gustaría desarrollarme profesionalmente.

1.2 Objetivos

Como se ha comentado previamente, el fin del presente trabajo es el diseño de un serious game para el aprendizaje del SMED y su posterior implementación en un



entorno educativo, donde la metodología de la enseñanza cobra un papel fundamental para que el aprendizaje del conocimiento sea fructífero.

Entre otros, aprender jugando, se convierte en uno de los principales objetivos buscados con la implementación del serious game desarrollado a lo largo del presente trabajo.

Más concretamente, se determinan, punto por punto, los objetivos que abarca la realización del juego:

- Conocer y aprender acerca de una de la filosofía del Lean Manufacturing y sus principales herramientas.
- Mejorar la metodología de enseñanza de las características asociadas al SMED, la principal herramienta que abarca el presente trabajo.
- Convertir a los usuarios en elementos activos de su propio proceso de aprendizaje, involucrándolos en la actividad y haciéndoles partícipes en el juego.
- Hacer del proceso de aprendizaje una experiencia divertida que incremente el interés y la motivación de los alumnos a través del juego.
- Fomentar la colaboración entre los jugadores para tomar decisiones que persigan un objetivo común.
- Acercar el entorno industrial de trabajo a un ambiente lúdico de enseñanza, que simule un proceso determinado de fabricación.
- Diseñar un serious game que simule un proceso de fabricación en el que se puedan implementar las diferentes fases que constituyen la herramienta del SMED, cuyo objetivo principal es disminuir el tiempo de preparación de las máquinas para la producción de diversos lotes.
- Realizar tormentas de ideas y proponer mejoras de los procesos de fabricación que supongan disminuciones de los tiempos de parada en la producción.
- Simplificar las operaciones de ajuste y elaborar estándares de trabajo, en los que se muestre detalladamente la realización de sus operaciones.
- Realizar la fabricación de diversos lotes de productos, cumpliendo con unas especificaciones determinadas.



- Observar en tiempo real la efectividad de las mejoras que se realicen y resolver problemas comprobando personalmente sus efectos in situ.
- Entrenar, de forma divertida y entretenida, las habilidades que requiere la puesta en práctica de las técnicas que conforman el SMED.
- Conseguir extrapolar las herramientas del SMED empleadas en el presente juego a otros procesos de fabricación y lograr disminuir sus tiempos de preparación correspondientes.



2. LEAN MANUFACTURING

2.1 Definición

El término de Lean Manufacturing, textualmente, hace referencia a una fabricación ajustada, ágil, esbelta. Se trata de una filosofía de trabajo que busca la forma de optimizar un sistema de producción, tratando de identificar y eliminar los despilfarros o mudas existentes en las actividades de dicho sistema [1].

Los despilfarros o mudas se refieren a las actividades de un proceso que emplean más recursos de los necesarios o que no son estrictamente necesarias para la fabricación de un producto [1].

A continuación, se muestra la clasificación de las 7 mudas realizada por Taichi Ohno, con el objetivo de conocer los despilfarros más comunes existentes en la producción y, de este modo, comprender mejor el concepto al que hace referencia dicho término [1]:

1. Sobreproducción: hace referencia al exceso de producción con respecto a lo que el cliente demanda o con anterioridad a cuando lo demanda.
2. Transporte: despilfarro referido a la realización de cualquier tipo de transporte no necesario.
3. Inventario: previsión de almacenamiento de materias primas o productos terminados para evitar situaciones adversas como un incremento desprevisto de demanda o la falta de suministro de materias primas por motivos diversos.
4. Esperas: desperdicio de tiempo de trabajo producido por la ineficiencia de un proceso debido a: nivelación de la carga en los equipos inexistente, mal diseño de layout o tiempos de preparación de la maquinaria elevados, entre otros.
5. Sobre procesamiento: referido a la realización de operaciones inadecuadas u operaciones en exceso a un producto que no le añaden valor al cliente.
6. Retrabajo: despilfarro que hace referencia a las operaciones que es necesario que un producto se vuelva a someter para corregir sus defectos o los errores de calidad que pueda presentar debido a un trabajo mal hecho previamente.

7. Movimiento: el movimiento de equipos, personas y materiales que no le suponga una agregación de valor al cliente se considera una muda. La escasez de planificación y la mala distribución en planta de los recursos son algunas de las causas de que se realicen movimientos innecesarios.

La filosofía Lean, por lo tanto, pretende eliminar toda aquella actividad que no le supone un incremento de valor al cliente, es decir, busca un sistema de producción sin desperdicios que tenga optimizada la utilización de sus recursos [1].

Para lograr sus objetivos, son múltiples las técnicas que abarca esta filosofía y que se pueden implementar en las diversas áreas que incluye la fabricación. Cabe destacar el carácter dinámico de este concepto, puesto que, continuamente se pretende encontrar una manera mejor de realizar las cosas, quedando relacionado estrechamente con el concepto de mejora continua [1].

2.2 Antecedentes

El primer pensamiento relacionado con el Lean Manufacturing surgió a finales del siglo XIX cuando Sakiichi Toyoda, fundador junto con su hijo Kiichiro Toyoda del Grupo Toyota, creó un dispositivo que detectaba la ruptura del hilo en los telares, de forma que cuando esto ocurría, la producción se detenía con el objetivo de no continuar con un producto defectuoso. Este fue el comienzo de lo que hoy en día conocemos por “Jidoka, automatización con un toque humano” y uno de los pilares del Sistema de Producción Toyota. Esta nueva medida no solo hizo que el número de productos defectuosos disminuyera considerablemente, sino que, incrementó la productividad permitiendo que un único operario fuese capaz de controlar varios telares simultáneamente [1].

Años más tarde, Kiichiro Toyoda vende las patentes de los telares automáticos y comienza a invertir en la industria del automóvil, naciendo en 1937 la compañía Toyota [1].

Los japoneses se basaron en los métodos de producción de Estados Unidos y el sistema productivo de Ford, entre otros, con el objetivo de encontrar buenas alternativas que supusieran beneficios en la productividad [1].

No fue hasta mediados del siglo XX cuando dos ingenieros del grupo Toyota, Eiji Toyoda y Taiicho Ohno, se dieron cuenta de que el sistema rígido americano, en el cual se fabricaban grandes volúmenes de vehículos con un número de modelos limitados, no era aplicable a Japón. El futuro sería construir múltiples modelos de automóviles a bajo coste, algo que solo era posible si los stocks se minimizaban, así como otros despilfarros. Fue entonces cuando se crean las bases del nuevo sistema de gestión, Toyota Production System (TPS) [1].

2.3 El Sistema de Producción Toyota

El Toyota Production System (TPS), también conocido como el sistema de gestión Just in Time (JIT), surge de la necesidad de incremento de la productividad, reducción de los costes y una búsqueda constante de la mejora en pleno escenario de la crisis del petróleo a mediados del S. XX. Este sistema de gestión propone una producción en la cual solo se fabrique la cantidad que se demande en el momento en el que el cliente la demande [1].

Para lograr el funcionamiento de este sistema de producción, se llegó a la conclusión de que es preciso reducir los tiempos de preparación de los pedidos al mínimo, con el objetivo de que las operaciones se realicen de forma continua y sin interrupciones. Estas premisas fueron los fundamentos de lo que hoy en día entendemos por SMED, Single Minute Exchange of Die, una de las técnicas que componen el pensamiento Lean y en la cual se fundamenta este trabajo [1].

No es hasta finales del S. XX. cuando este modelo de gestión cobra importancia en gran parte de occidente, donde se hace referencia a las técnicas que se habían empleado en Japón décadas atrás y que componen este novedoso sistema de producción, eficiente y flexible, con el término de Lean Manufacturing [1].

Entre los principios que recoge el sistema de gestión Just in Time, cabe destacar la necesidad de reducir los tiempos de fabricación y de entrega al cliente, lo cual lleva asociado un flujo continuo en la producción que se logra mediante la disminución de los tiempos de preparación y de ajuste de las máquinas que componen la línea productiva, así como del producto en curso y de los stocks [1].

A lo largo del tiempo estos principios han ido evolucionando, puesto que, como ya se sabe, la filosofía Lean es dinámica y se desarrolla conforme se avanza en el aprendizaje, obtenido de implementar las diferentes técnicas que la componen [1].

La detección automática de defectos, la búsqueda de la calidad total, la mejora continua, la participación y el compromiso de la dirección y de los empleados son algunos de los principios que se han ido sumando a este pensamiento y que forman parte de lo que hoy en día entendemos por Lean Manufacturing [1].

2.4 El sistema Lean

El sistema Lean está formado por un conjunto de técnicas cuyo objetivo fundamental es mejorar la fabricación y la gestión de las organizaciones, lo cual incluye la mejora de la capacidad de respuesta a la demanda del cliente.

2.4.1 Principios

Para alcanzar sus objetivos, son múltiples los principios sobre los que se fundamenta la cultura del Lean Manufacturing relacionados con la forma de gestionar las organizaciones y las técnicas empleadas en las empresas.

A continuación, se muestran los pilares fundamentales de la cultura Lean y sus principios correspondientes [2]:

1) La filosofía a largo plazo: es el enfoque que la organización impulsa con el objetivo de obtener un aprendizaje dinámico que sea capaz de adaptarse a los cambios en el entorno [2].

- Promover la filosofía a largo plazo, obteniendo el compromiso de la dirección con el pensamiento Lean y manteniendo a los trabajadores involucrados para que sigan dicha cultura.

2) El resultado correcto que se obtiene a través del proceso correcto: un proceso en el cual se consiga el flujo continuo de piezas (one-piece flow) es la clave para obtener la mejor calidad al menor coste [2].

- Mejorar los procesos para lograr un flujo continuo que visualice los problemas a la superficie, minimizando los despilfarros.

- Utilizar sistemas pull para evitar la sobreproducción. De este modo, el cliente “tira” de la producción y se produce conforme a lo que demande, cuando lo demande y en la cantidad en la que lo demande.
- Nivelar la carga de trabajo, eliminando la sobrecarga de personas y equipos, para equilibrar las líneas de producción.
- Incorporar a la cultura la detención de la línea cuando se observe un problema. De este modo se obtendrá la calidad correcta a la primera y se eliminarán los defectos.
- Estandarizar los procesos para implementar la mejora continua.
- Utilizar el control visual para detectar problemas, empleando indicadores que le faciliten su localización a los trabajadores.
- Emplear únicamente tecnología probada y fiable que no ponga en peligro la continuidad del flujo en el proceso.

3) El incremento de valor de la organización a través de su directiva y empleados: el desarrollo y mejora continua de las personas es fundamental para lograr los objetivos que plantea el sistema Lean [2].

- Desarrollar líderes que comprendan la filosofía y se la enseñen a otros.
- Promover el trabajo en equipo y la formación de gente que siga la filosofía de su empresa.
- Respetar a los proveedores y colaboradores ayudándolos a mejorar.

4) El aprendizaje obtenido en la búsqueda continua de solventar los problemas: el enfoque del aprendizaje continuo es llegar al punto de poder evitar los problemas sin que lleguen a ocurrir [2].

- Resolver problemas comprobando personalmente las cosas in situ.
- Tomar decisiones considerando todas las opiniones y alternativas y solventar problemas mediante un consenso de las partes implicadas.
- Buscar continuamente la mejora continua a través del aprendizaje.

2.4.2 Principales técnicas

Tras haber descrito la filosofía Lean y, antes de mencionar las principales técnicas de las que está compuesto, es necesario hacer referencia al diagrama de la casa del TPS

(Toyota Production System), símbolo en el que se basa dicha filosofía y mediante el cual se comprende la estructura básica del sistema y las técnicas que lo conforman [1].

Para comprender que la cultura Lean es un sistema estructural sólido formado por diversas partes relacionadas entre sí que conforman un todo, se realiza un símil con la imagen de una casa en la que será imprescindible que los cimientos y los pilares sean lo suficientemente fuertes para lograr que el tejado permanezca estable [1].

En la Figura 1 se observa la estructura de la casa y los diferentes eslabones que la componen: cimientos, pilares y tejado. En ellos se encuentran los fundamentos y las principales técnicas de la filosofía Lean.

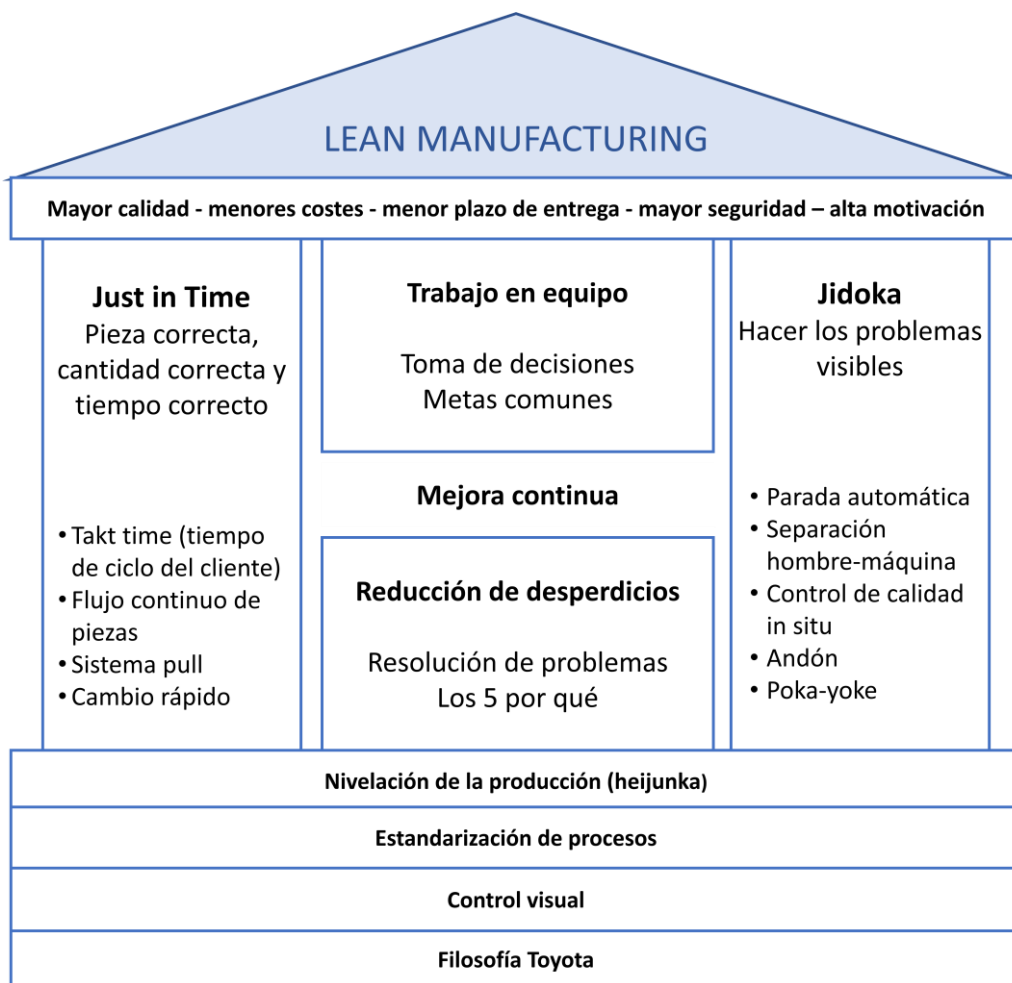


Figura 1. La casa de producción Toyota.

Fuente: A revolution in Manufacturing, the SMED system. Shigeo Shingo.

En la parte superior de la casa se sitúan los principales objetivos que se pretenden alcanzar, de modo que para lograr mayor calidad, menores costes, menor plazo de entrega, mayor seguridad y alta motivación es necesario que los eslabones que componen los cimientos y los pilares no fallen [2].

El tejado, como se ve, está sustentado por dos pilares laterales en los cuales figuran los conceptos más característicos de la filosofía con sus respectivas técnicas que ayudan al cumplimiento de los objetivos: el Just in Time y el Jidoka [2].

El pilar de la izquierda, el Just in Time, se fundamenta en producir la pieza correcta en la cantidad demandada y en el momento demandado [2].

Por su parte y, en el pilar de la derecha, el Jidoka se traduce como “automatización con un toque humano”. El objetivo que pretende conseguir este concepto es separar al hombre de la máquina. Esto será posible siempre y cuando los problemas sean visibles y el proceso se detenga cuando se detecte una pieza defectuosa [2].

A su vez, los pilares apoyan en cuatro eslabones que conforman la cimentación de la filosofía. Para conseguir un sistema estable y robusto, es preciso nivelar la producción para reducir el stock y la producción en curso (heijunka), estandarizar los procesos y realizar un control visual [2].

El hecho de trabajar con poco inventario, consecuencia de cumplir las características del Just in Time, y de detener la producción cuando se encuentre un defecto, causa inestabilidad y presión en los trabajadores. Es por ello por lo que, para lograr la estabilidad estructural de la casa, se precisa un equipo de trabajo compacto, que tenga como principal objetivo la mejora continua y que trabaje de forma conjunta, reforzándose unos a otros. Las personas deben estar capacitadas para detectar el desperdicio y solventar problemas, comprobando in situ el porqué de lo que está sucediendo [2].

Siguiendo los principios que la filosofía Toyota defiende será sencillo construir y sellar el resto de los eslabones que conforman la estructura de la casa y lograr el objetivo común de mejora continua [2].

Una vez mostrada una visión global del pensamiento Lean, se muestran, a continuación, las principales técnicas que lo componen y ayudan a las organizaciones a lograr sus objetivos [2].

Teniendo en cuenta que existe una gran variedad de técnicas, se ha realizado una clasificación de las principales, según la bibliografía consultada. Como se observa en Tabla 1, se diferencian tres grandes grupos, atendiendo a su aplicabilidad a las empresas y el cambio que les supone a estas adoptarlas [1]:

Tabla 1. Clasificación de las principales técnicas Lean.

Fuente: Lean Manufacturing: conceptos, técnicas e implantación, EOI.

GRUPO 1	5S
	SMED
	ESTANDARIZACIÓN
	TPM
	CONTROL VISUAL
GRUPO 2	JIDOKA
	TÉCNICAS DE CALIDAD
	SISTEMAS PARA LA PARTICIPACIÓN DEL PERSONAL
GRUPO 3	HEIJUNKA
	KANBAN

A continuación, se realizará una breve descripción de cada una de ellas para entender en qué consisten y los objetivos que pretenden alcanzar, haciendo hincapié en el desarrollo de las características y las fases que comprende el SMED, técnica en la que se fundamenta el presente trabajo.

GRUPO 1:

Formado por aquellas técnicas que son aplicables a cualquier sector o producto y que serán implementadas por cualquier empresa que haya adoptado la filosofía Lean o que pretenda competir en el mercado.

- **5S:**

Este acrónimo hace referencia a cinco palabras japonesas que definen la técnica, cuyo objetivo fundamental es mejorar las condiciones del puesto de trabajo a través de la organización, el orden y la limpieza [3]:

- *Seiri* (organización): consiste en eliminar del puesto de trabajo todo aquello que no es necesario y entorpece en la realización de las operaciones de producción.
- *Seiton* (orden): trata de organizar los elementos del puesto de trabajo que son necesarios para que los operarios los localicen y utilicen de manera sencilla.
- *Seiso* (limpieza): se basa en que, cada trabajador, mantenga limpio su puesto de trabajo y evite la suciedad, como premisa fundamental para obtener productos de calidad.
- *Seiketsu* (limpieza estandarizada): consiste en diseñar dispositivos que permitan mantener la limpieza en el puesto de trabajo.
- *Shitsuke* (disciplina): busca en la creación de hábito del seguimiento de las herramientas anteriores.

- **SMED:**

La terminología SMED es el acrónimo de Single Minute Exchange of Die, un conjunto de técnicas cuyo objetivo principal es disminuir el tiempo de preparación de las máquinas para la producción de diversos lotes, simplificando las operaciones de ajuste y optimizando los estándares de realización de las operaciones [1].

La disminución de los tiempos de preparación es fundamental para poder trabajar con pequeños lotes de fabricación, lo que le supondrá a la empresa una mayor adaptación a la flexibilidad de la demanda del cliente y la disminución de los costes de almacenamiento de stock [1].

Por ser el SMED la base fundamental de este presente trabajo, en el siguiente apartado se desarrollará detalladamente.

- **Estandarización:**

Técnica que pretende documentar de forma escrita o gráfica, una descripción simple y clara de todas las técnicas e instrucciones de trabajo de una organización para

facilitar la comprensión de los empleados y la elaboración de productos de calidad de forma segura y fiable [1].

Los estándares de trabajo son un documento dinámico pues, una vez creados, están en continua revisión con el objetivo de mejorar los procesos y llegar a un proceso óptimo de trabajo [1].

- ***TPM (Mantenimiento Productivo Total):***

Conjunto de técnicas que pretenden evitar o, en el peor de los casos, reducir las averías de las máquinas, haciendo que disminuyan así los periodos de puesta a punto de los equipos, con el objetivo de eliminar las pérdidas por tiempos de inactividad y maximizar el rendimiento de la máquina. Esto se logra diseñando y programando operaciones de mantenimiento preventivo de los equipos para incrementar su vida útil y minimizar la reparación de defectos [1].

- ***Control visual:***

Técnicas basadas en facilitar la gestión del conocimiento del estado de las máquinas o sistemas, con el objetivo de localizar las anomalías y disminuir los despilfarros. Las técnicas de control visual simplifican la información para un mejor entendimiento de los trabajadores. Dentro de las técnicas de control visual se incluyen elementos como pueden ser gráficos, indicadores numéricos, marcas, luces, colores, etc. que se emplearán atendiendo a las necesidades de las empresas [1].

Para obtener su eficacia, es preciso que los trabajadores sean conocedores del significado de cada uno de estos indicadores. Así pues, solo bastará con un vistazo para saber perfectamente la situación en la que se encuentra la producción, la máquina o el equipo [1].

GRUPO 2:

Contiene las técnicas que son aplicables a cualquier situación, pero implican un mayor compromiso y cambio en la mentalidad de la dirección y los trabajadores de la empresa.

- ***Jidoka:***

Uno de los pilares fundamentales de la casa del Sistema de Producción Toyota. Se trata de un término japonés que se traduce como “automatización con un toque humano”. Este conjunto de técnicas busca que se produzca una detención de las máquinas cuando se encuentre una anomalía que ponga en riesgo la calidad de los productos a fabricar, evitando así que las piezas defectuosas avancen en el proceso de fabricación [1].

Para lograr esto, es preciso contar con dispositivos o diseñar sistemas que sean capaces de detectar los defectos, en el caso de producirse. Un ejemplo puede ser la comparación de un escaneo del producto que se está fabricando con el estándar y la alerta (mediante señales luminosas o acústicas) cuando los errores entre ambos se salgan de los límites establecidos [1].

Dentro de esta técnica, se incluye el sistema *andón*, basado en la alerta visual de problemas o defectos a través de un código de colores o el *poka-yoke*, herramienta que consiste en diseñar un sistema para evitar que ocurra el error, haciendo que resulte imposible realizar una operación si no es del modo correcto [1].

- ***Técnicas de calidad:***

Son múltiples las técnicas que engloba el concepto de Total Quality Management o TQM, pues, la fabricación de productos de alta calidad es un objetivo que forma parte de la filosofía Lean y que persiguen la totalidad de las empresas [1].

Aunque existe gran variedad de sectores industriales y, la búsqueda de soluciones es diferente en cada uno de ellos, existen algunas herramientas, aplicables a todos los casos, que se emplean para disminuir los defectos y procurar hacer las cosas bien desde el primer momento, entre otras [1]:

- Chequeos de autocontrol: cada operario debe realizar una inspección en el equipo que vaya a utilizar para detectar posibles defectos o averías.
- Matriz de autocalidad (MAQ): permite localizar el lugar del proceso donde se han producido los defectos y hasta dónde se transmiten. Tiene como objetivo poder detectar los errores en la fase en la que estos se han producido.

- Ciclo PDCA: establece el orden en el que se deben realizar las operaciones para lograr los objetivos, dentro del marco de la mejora continua: Plan (planificar), Do (ejecutar), Check (verificar) y Act (Actuar).

- ***Sistemas de participación del personal:***

Existen gran variedad de iniciativas que se realizan en las empresas como recurso para incrementar su productividad y competitividad basadas en las sugerencias de todos los trabajadores que forman parte de la organización [1].

Hay que tener en cuenta que la experiencia personal que tiene cada empleado, día a día en su puesto de trabajo, es un indicador fundamental para evaluar el modo en el que se realizan las actividades [1].

Los buzones de sugerencias y la creación de grupos de mejora, encargados de solventar problemas específicos, son ejemplos de herramientas empleadas en las empresas que sirven de gran ayuda para detectar problemas ocultos o proponer ideas de mejora [1].

GRUPO 3:

Se encuentran las técnicas más específicas en cuanto a exigencia de recursos y medios. A través de ellas, se cambia por completo la manera de planificar y controlar la producción. Estas técnicas tienen su origen en las empresas del sector del automóvil, aunque ya se han aplicado a empresas con otro tipo de producto y sistema productivo:

- ***Heijunka:***

Otro de los pilares fundamentales de la casa del Sistema de Producción Toyota. Se trata de un conjunto de técnicas que buscan planificar y nivelar, en variedad y volumen, la demanda de clientes, con el objetivo de conseguir un flujo continuo en la producción que reduzca al mínimo el nivel de despilfarro. La buena adaptación a la flexibilidad de la demanda es uno de los objetivos que se logran implementando el Heijunka en las empresas [1].

Para lograrlo, son varias las herramientas que se emplean como [1]:

- Células de trabajo: la distribución en planta para conseguir crear un flujo continuo de trabajo ha de estar orientada al producto. Así pues, los productos con operaciones de fabricación similares fluirán por la misma célula de trabajo, dispuesta en forma de U.
- Flujo continuo pieza a pieza: basado en los sistemas de producción pull, tiene como objetivo fabricar las piezas sin que estas se detengan durante su procesamiento.
- Nivelación del volumen y variedad de lotes: trabajar con un tamaño de lote pequeño e incrementar el número de cambios de herramienta para lograrlo. El SMED desempeñará un papel fundamental en la nivelación del volumen y la variedad de la producción.
- Producción respecto al takt time: el takt time indica el ritmo al que deben ser producidas las unidades para cumplir con las exigencias del cliente.

- ***Kanban:***

Técnica basada en el control de stock y de pedidos mediante tarjetas o similares. Se fundamenta en una producción en el cual el cliente tira de esta, de forma que se produce en cantidad y tiempo, el producto demandado (sistema de producción pull). Así pues, en una producción que se utilice Kanban, el proceso posterior le demanda al proceso anterior el material que necesita para seguir produciendo, de modo que, el proceso anterior, solo produce lo que el proceso posterior necesita. Para el buen funcionamiento de esta herramienta, se adjuntan tarjetas identificativas en los contenedores, en las que aparece la cantidad disponible de material o producto, siendo este elemento el mecanismo de comunicación de las órdenes de fabricación entre los distintos puestos de trabajo [1].

2.4.3 SMED

Conjunto de técnicas que, como sus siglas en inglés refieren, “Single Minute Exchange of Die”, buscan disminuir el tiempo de preparación de las máquinas a un número de minutos que esté compuesto por un solo dígito. El SMED, junto con las 5S y la estandarización, supone unos de los cimientos principales del Lean Manufacturing y es la herramienta en la que se fundamenta el presente trabajo. Por este motivo, se

desarrollarán a continuación sus características, así como diversas técnicas que lo componen y que son de gran utilidad para implementarlo en las organizaciones [4].

Antes de comenzar es preciso aclarar que, el tiempo de preparación o tiempo de cambio de fabricación (TCF), es el tiempo transcurrido entre la salida de la última pieza buena de un lote A hasta la salida de la primera pieza buena de un lote B, fabricado posteriormente. El tiempo de cambio de fabricación a su vez, se divide en dos: tiempo de cambio de útiles y tiempo de subida en cadencia, que se definen como [5]:

- Tiempo de cambio de útiles (TCU): tiempo transcurrido entre la parada de la máquina y el arranque posterior de la misma, empleado para cambiar el útil.
- Tiempo de subida en cadencia (TSC): tiempo transcurrido tras realizarse el cambio de útiles en el cual, con la máquina en funcionamiento, la instalación está interrumpida por ajustes y por ello, no opera a su ritmo normal.

Así pues, como se observa en la Figura 2, el TCF será la suma del TCU y TSC:

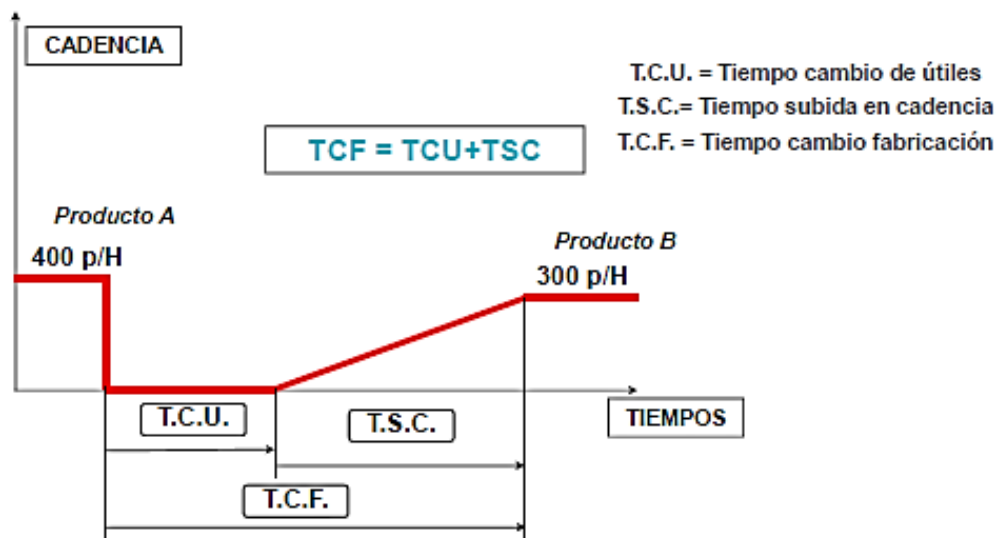


Figura 2. Desglose del tiempo de cambio de fabricación (TCF).

Fuente: SMED, cambio rápido de útil o de fabricación. Máster en Lean Manufacturing, Universidad de Valladolid.

En el pasado, han sido múltiples las técnicas que se han empleado para disminuir el tiempo de preparación en las máquinas, como son: anticipar la producción convirtiendo lotes pequeños de un producto en lotes de mayor tamaño, utilizar herramientas de configuración standard con tamaños similares o entrenar la habilidad

de los trabajadores para realizar las operaciones de ajuste de las máquinas, entre otras [5].

Aunque el incremento del tamaño de los lotes de producción es una medida que resulta efectiva para disminuir el tiempo de configuración de las máquinas, son múltiples las desventajas que presenta este modo de fabricación: desaprovechamiento del espacio en planta ocupado por el inventario, incremento del coste de almacenaje, incremento de horas hombre en transporte, incremento de la probabilidad de la obsolescencia de los productos o disminución del valor del stock [4].

Es a mediados del S. XX cuando Shigeo Shingo, ingeniero de la compañía Toyota, propone la metodología SMED como la solución óptima para disminuir el tiempo de preparación de las máquinas. El inicio de esta metodología se remonta al año 1969, cuando Shigeo Shingo, considerado el experto líder mundial en la mejora de los procesos de fabricación, mejora las eficiencias de una prensa que resultaba ser el cuello de botella de un proceso, disminuyendo su tiempo de preparación de cuatro horas a tres minutos, en la planta Toyo Kogyo Mazda [4].

A partir de esa experiencia, fueron múltiples las empresas que visitó Shigeo con el objetivo de minimizar los tiempos de preparación, así como incrementar la capacidad de moldeadoras y prensas, entre otras máquinas [4].

Sea una máquina u otra, las **fases** que han de seguir las diferentes organizaciones para llevar a cabo una acción SMED son comunes, y se dividen en cuatro. En la Figura 3; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra un mapa conceptual donde se puede ver, de forma resumida, los conceptos básicos de cada una de las etapas que se desarrollarán a continuación [4]:

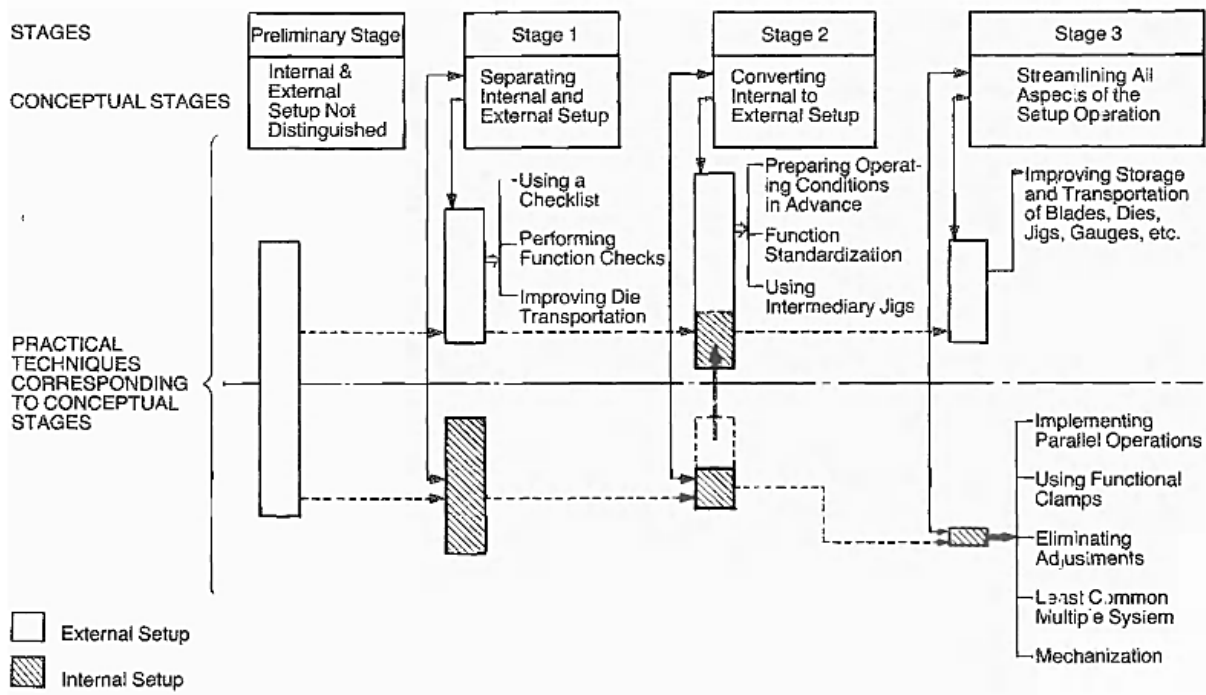


Figura 3. La configuración SMED: fases conceptuales y técnicas para su aplicación.

Fuente: *A revolution in Manufacturing, the SMED System, Shigeo Shingo.*

Fase 0. Desglose de operaciones:

En la fase preliminar o fase 0 es preciso estudiar detalladamente el proceso, con el objetivo de desglosarlo en las diferentes operaciones elementales que lo componen. Para ello, sirve de ayuda grabar mediante una cámara de vídeo la secuencia de movimientos realizados en el puesto de trabajo. Resultado de analizar la grabación, es sencillo diferenciar en una lista, las diferentes operaciones que forman el proceso [4].

Fase 1. Diferenciar operaciones internas y externas:

El objetivo de esta fase es realizar una diferenciación de las operaciones consideradas en la fase preliminar, clasificándolas en operaciones internas y externas, teniendo en cuenta a lo que hace referencia cada una de ellas [4]:

- Operación interna: se realiza con la máquina parada.
- Operación externa: se realiza con la máquina en funcionamiento.

Una de las técnicas que es de utilidad para completar con éxito esta primera fase es realizar una check list en la cual figuren todas las partes y pasos que requiere la

operación: nombre, especificaciones, número de ítems involucrados, así como la duración de cada operación elemental [4].

Además, es de utilidad cuestionarse para cada operación interna, por qué se realiza a máquina parada y si es necesario seguir procediendo de esa manera, y para cada operación externa, de qué forma se realiza y si se puede mejorar. El resultado de este análisis será de utilidad para implementar las mejoras en las siguientes fases [4].

Fase 2. Convertir configuraciones internas a externas:

Una vez haber clasificado las operaciones elementales en internas y externas, el siguiente paso es convertir las operaciones de configuración interna a operaciones de configuración externa [4].

El objetivo es disminuir el tiempo de preparación de la máquina, por lo que, minimizar el número de operaciones que se realizan con la máquina parada es fundamental para lograr el principal objetivo del SMED. Las operaciones que más sencillo resulta convertir en externas son aquellas operaciones en las que se realiza cualquier tipo de transporte (materias primas, herramientas o productos terminados, etc.). En muchas organizaciones, algunos transportes se realizan con la máquina parada. Es fundamental cuestionarse si es posible realizar estas operaciones cuando la máquina opera automáticamente o, si el proceso fuese manual, si el transporte lo puede realizar otro trabajador de forma paralela al proceso [4].

Entre las operaciones de transporte más habituales, destacan: abastecimiento de materiales o materias primas, transporte de producto terminado, suministro de herramientas de ajuste [4].

En todo caso, es necesario examinar todas las operaciones, sean de transporte o no, y cuestionarse si alguno de sus pasos puede ser externo, adoptando nuevas perspectivas de trabajo [4].

Fase 3. Mejora de las operaciones internas y externas:

Una vez haber convertido a externas todas las operaciones posibles, siempre dentro del perímetro de la seguridad de los trabajadores, la última fase es organizar las operaciones de configuración, buscando e implementando mejoras en la forma de realizar las operaciones, tanto internas como externas. En esta fase es preciso

cuestionarse si existe la posibilidad de mejorar la forma de operación actual, diseñando su posible implantación y estudiando su viabilidad [4].

En la Figura 4 se muestra, de forma teórica, la reducción del tiempo de configuración de una máquina en determinadas operaciones, por etapas. Cabe mencionar que, lo que se ha descrito anteriormente como fase 3, en ciertas fuentes bibliográficas aparece desdoblado en dos fases diferentes, refiriendo una fase para la mejora de las operaciones internas y otra para la mejora de las operaciones externas [4].

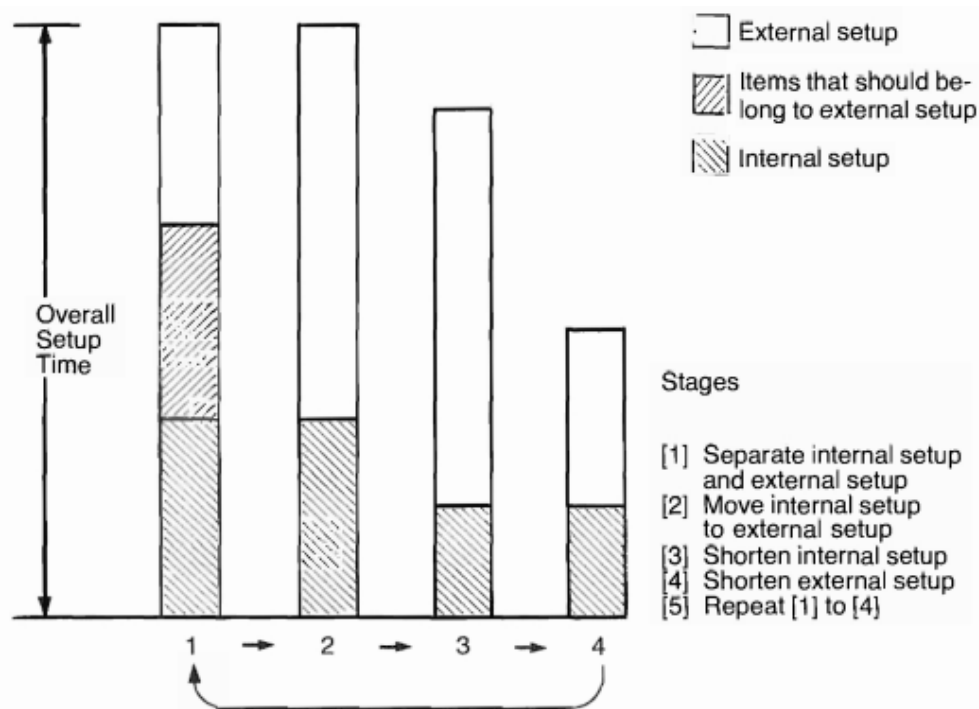


Figura 4. Reducción del tiempo de configuración por etapas.

Fuente: *A revolution in Manufacturing, the SMED system.* Shigeo Shingo.

Algunos ejemplos de las **mejoras y las técnicas** que se pueden implementar para contribuir en la disminución del tiempo de preparación de las máquinas son [4]:

- Modificar el lugar de almacenaje de materiales o herramientas con el objetivo de disminuir las distancias y, por lo tanto, los tiempos de transporte al lugar de trabajo.
- Hacer un plano de planta donde figure el flujo del proceso desde la materia prima hasta la obtención del producto final, con el objetivo de disminuir los recorridos y diseñar un layout óptimo.



- Eliminar movimientos innecesarios.
- Eliminar los tiempos de espera producidos por el transporte y la inspección.
- Nivelar las cantidades de procesamiento en las diferentes operaciones para evitar cuellos de botella y que se produzcan tiempos de espera por procesamiento de lotes.
- Minimizar la cantidad de artículos en el transporte de una máquina a la siguiente, de forma que cada elemento se mueva al proceso posterior tan pronto como haya sido procesado.
- Mejorar la forma en la que se alimenta de stock a la máquina, introduciendo elementos de transporte por cinta, rodillos, bandejas, etc.
- Realizar operaciones de forma paralela, involucrando, si es preciso, a más trabajadores.
- Preparar previamente elementos como plantillas, materiales, etc.
- Estandarizar el tipo y tamaño de herramientas a utilizar para realizar los diferentes ajustes.
- Reducir los tiempos de búsqueda de herramientas, estableciendo un lugar determinado para almacenar cada útil.
- Mantener orden y limpieza en la zona de almacenamiento de los elementos que intervienen en las diferentes operaciones (5S).
- Mantener los útiles en buenas condiciones de operación.
- Simplificar las operaciones de anclaje, sustituyendo los métodos de fijación tradicionales (tuerca-tornillo) en los cuales el tornillo se sujeta en la última vuelta de la tuerca y se afloja en la primera vuelta de esta, por métodos de una vuelta como es el agujero en forma de pera mediante el cual se afloja el tornillo sin tener que ser extraído o la arandela en forma de U.
- Minimizar, o, en el mejor de los casos, eliminar el tiempo empleado en ajustar o calibrar la maquinaria, reduciendo sus reglajes al mínimo.
- Reducir la necesidad de verificar la calidad del producto terminado.



- Estandarizar el procedimiento de preparación de la producción de los diferentes tipos de lotes.
- Estandarizar la forma de operar, tanto en operaciones internas como en externas, habiendo estudiado previamente la mejor manera de trabajar, minimizando distancias de transporte, lugar de almacenaje de herramientas y movimientos que se deben realizar para desempeñar el trabajo de la mejor manera posible.
- Modificar el diseño del equipo, diseñando técnicas o dispositivos que permitan reducir el tiempo de preparación y la puesta en marcha de la maquinaria.
- Emplear técnicas basadas en las formas o los colores, como el poka yoke, para disminuir el número de errores en la producción.
- Adoptar nuevas actitudes de trabajo dando lugar a ideas de mejora para hacer posible lo que se creía imposible.

Todas las mejoras diseñadas y tecnologías utilizadas pretenden alcanzar el objetivo ideal de disminuir el tiempo de preparación a cero. El resultado de aplicar las técnicas SMED a las operaciones produce diversos **efectos** [4]:

- Mayor capacidad de respuesta a la variación de la demanda con un incremento notable de la flexibilidad de la línea de fabricación.
- Disminución del stock en la producción debido a una disminución del tamaño de los lotes de producción y un aumento de la diversidad de estos.
- Incremento de la eficiencia del uso del espacio de la planta de producción.
- Mayor capacidad productiva de la máquina.
- Eliminación de los errores de configuración y de defectos.
- Mejora de la calidad debido a que las condiciones de operación están completamente reguladas.
- Incremento de la seguridad resultado de simplificar las operaciones de configuración de las máquinas.
- Simplificación del mantenimiento de la maquinaria debido a la reducción del número y tipo de herramientas y a la organización funcional de los empleados.



- Disminución del número de horas hombre al disminuir el tiempo de configuración.
- Incremento de la productividad a un coste relativamente bajo.
- Menores requisitos en el nivel de habilidad de los trabajadores al simplificar las operaciones de cambio de herramientas y su mantenimiento.
- Reducción del tiempo de producción.

3. APRENDIZAJE MEDIANTE JUEGOS

Etimológicamente hablando, la palabra *juego* proviene del término del latín “*iocus*” que hace referencia a diversión, entretenimiento y se suele relacionar con la expresión “actividad lúdica”. Según qué autor, son diversas las definiciones y los matices que se han realizado a lo largo del tiempo sobre este término, como, por ejemplo, la teoría que propone Karl Gross (1898), caracterizando el juego como un adiestramiento anticipado para el desarrollo de futuras capacidades serias [6].

Cada vez se observa con más frecuencia la modificación del método clásico de enseñanza en el que un profesor transmite ciertos conocimientos a sus alumnos, dando paso a nuevos métodos en los que se involucra al alumno, motivándolo e incluyéndolo como elemento activo en el proceso de aprendizaje [6].

En este ámbito, surgen dos conceptos a los que se suele hacer referencia, “gamificación” y “aprendizaje basado en juegos”, que, aunque aparentemente parezcan significar lo mismo, pues ambos pretenden alcanzar un objetivo que va más allá de la diversión del juego, tienen un pequeño matiz que los diferencia [7].

3.1 Gamificación

La gamificación es una herramienta, una metodología que implica la mecánica de juegos en entornos no lúdicos, motivando a las personas a realizar ciertas actividades [7].

En este sentido, la gamificación busca influir en el comportamiento del usuario modificando ciertas actividades para romper con la monotonía y hacer que su desarrollo sea más gratificante. A diferencia de los juegos serios, como se muestra en el próximo apartado, el fin último de la gamificación no es enseñar o formar sino lograr acciones concretas, como puede ser el alcance de objetivos, ventas, retos, mantener la fidelización de clientes, etc. [7].

Para lograr estos objetivos se suelen emplear técnicas basadas en juegos que despierten interés y motivación en las personas a las que va dirigida [7].

Un ejemplo claro de gamificación son los programas de fidelización que realizan diversas marcas con sus clientes al otorgarles puntos en sus compras que

posteriormente pueden ser canjeados por regalos, o las recompensas que otorgan algunas empresas a sus trabajadores por el logro de objetivos. Aunque las campañas de fidelización que realizan las empresas son quizás, el ejemplo más claro de gamificación, existen otros ámbitos en los que la gamificación realiza un papel importante [7].

En el ámbito educativo, un claro ejemplo de gamificación son los puntos positivos y negativos que se emplean en las escuelas infantiles como método para influir en el buen comportamiento de los alumnos. La efectividad de esta técnica reside en la gran importancia que se le da a la recompensa, ya que, en este caso, supone un reto de competitividad con los compañeros y superación personal. Así pues, el proceso de educación se ve como un reto del cual se puede obtener un beneficio [7].

El resultado de la gamificación, por lo tanto, no es necesariamente un juego didáctico. Se le considera por ello un juego parcial, a diferencia del “aprendizaje basado en juegos” o “juegos serios” [7].

3.2 Aprendizaje basado en juegos (GBL)

El aprendizaje basado en juegos es una nueva metodología que está basada en el concepto de juego didáctico y es una alternativa en la transmisión de conocimientos, así como en el entrenamiento de competencias y habilidades, ya que pretenden mejorar el proceso de aprendizaje jugando [8].

Según las definiciones que la recoge la RAE sobre los términos “juego” y “didáctica”, se define **juego didáctico** como un ejercicio sometido a reglas mediante el cual se pretende enseñar a sus participantes unos conocimientos determinados.

El principal objetivo que tiene un juego didáctico es la enseñanza de conceptos a través de la motivación de los participantes, rompiendo con el aprendizaje basado en la memorística y fomentando la creación de un entorno que estimule a los participantes a aprender y desarrollar habilidades “haciendo” [8].

La ventaja fundamental que presenta este método de enseñanza es la facilidad con la que los participantes aprenden, debido a que estos tienen mayor predisposición para la captación de conceptos, al hacerlo de forma divertida y entretenida [8].

Como dijo Confucio en una de sus citas célebres: “Dímelo y lo olvidaré, muéstrame y lo recordaré, involúcrame y lo aprenderé”.

Es por ello por lo que son múltiples los niveles y los sectores que hoy en día recurren a los juegos didácticos para mejorar el proceso de aprendizaje de conocimientos y la adquisición de diversas competencias, desde las escuelas infantiles donde los niños son estimulados para la enseñanza de conceptos básicos como formas y colores, hasta organizaciones de diversos ámbitos, donde los utilizan para la motivación y la formación continua de sus empleados.

3.2.1 Definición

El aprendizaje basado en juegos, *Game Based Learning (GBL)*, o juegos serios, *serious games*, es una metodología de enseñanza que se basa en el uso de juegos que permiten adquirir conceptos y desarrollar habilidades sobre un tema “serio” para la resolución de problemas [7].

Los juegos serios pretenden despertar en los jugadores un sentimiento de curiosidad y de interés para lograr los objetivos que se proponen alcanzar. La motivación es un aspecto fundamental que los juegos son capaces de despertar en los participantes, haciendo del proceso de aprendizaje una experiencia amena y divertida [7].

3.2.2 Características

Para que el juego sea efectivo y cumpla con la funcionalidad de enseñar, son múltiples las características que este debe tener, entre las que se destacan [8]:

- Ha de tener un objetivo didáctico: el objetivo fundamental de los juegos serios es enseñar conocimientos.
- Los conceptos que se quieren enseñar y las habilidades que se pretenden desarrollar jugando han de estar claras desde el momento en el que se diseña el juego.
- El “entrenador” debe fijar el modo de conducta que deben seguir los jugadores, guiándolos para alcanzar sus objetivos.
- Tienen que estar constituidos por acciones lúdicas que hagan del proceso de aprendizaje un juego.

- Ha de ser divertido para despertar interés en los participantes. La motivación y el entusiasmo por jugar serán fundamentales para completar el juego y lograr su objetivo didáctico.
- Las acciones de los participantes deben estar reguladas por unas normas que constituirán las reglas del juego. Las reglas, conocidas por el guía y los jugadores, servirán como elemento organizativo y determinarán los límites del juego.
- Las reglas, además, deberán recoger el abanico de posibles escenarios que pueden darse durante el desarrollo del juego y servirán de respuesta en caso de duda.
- Debe estar delimitado el número de jugadores óptimo para el correcto desarrollo del juego.
- Ha de estar especificada la edad de los jugadores a los que va dirigido el juego. Los conocimientos que se pretenden adquirir al finalizar el desarrollo del juego serán adecuados para la edad establecida y por ello, un jugador que no cumpla esta característica no logrará alcanzar el objetivo propuesto.
- Para que se alcance exitosamente el objetivo didáctico final, han de cumplirse las normas que establecen las reglas del juego.

A la hora de diseñar el juego es preciso tener en cuenta si se cumplen estas características, pero, sobre todo, tener presente cuál es el objetivo didáctico que se quiere alcanzar, los conocimientos que se quieren enseñar y las habilidades que se pretenden desarrollar.

3.2.3 Ejemplos de juegos serios

Los juegos serios son empleados en un amplio abanico de disciplinas, aunque el objeto de este trabajo sea la utilización de un juego serio para el aprendizaje del SMED.

A continuación, se van a mostrar algunos ejemplos en los que se ha hecho uso de los juegos serios como método didáctico para lograr diversos objetivos.

- *SCAPE ROOM*, juego para el refuerzo de asignaturas y mejorar el trabajo en equipo:

Hoy en día se han puesto muy de moda los juegos de escapismo o SCAPE ROOM. Este tipo de juegos consiste en escapar de una habitación ambientada en una determinada historia y hacerlo en un menos de un tiempo definido.

Para ello, es preciso seguir las pistas que se encuentran dentro de la sala para poder resolver los enigmas que se van sucediendo en el transcurso del tiempo. Para lograr superar los retos y salir de la habitación en el tiempo establecido, el ingenio, la observación y el trabajo en equipo son imprescindibles.

En este caso, el scape room se emplea como método educativo o de refuerzo para niños o adolescentes. Así pues, dependiendo de la disciplina o asignatura que se quiera reforzar, los enigmas, preguntas y adivinanzas para escapar de la habitación se enfocan a matemáticas, historia, ciencias, literatura, etc.

Además, otra de las ventajas que presenta este tipo de dinámica es que, debido a que los scape room son juegos en los que se vuelve necesaria la comunicación y la toma de decisiones conjuntas, son juegos que se emplean para reforzar habilidades de comunicación y trabajo en equipo, ya sea en equipos deportivos, equipos de trabajo, familias, etc.

- *SPARX, juego para mejorar la salud mental [7]:*

SPARX es un juego que se puede emplear como autoayuda independiente o como complemento a la terapia, diseñado para adolescentes entre 12 y 19 años, cuyo objetivo es reducir los síntomas depresivos y mejorar las habilidades para manejar el mal humor entre los jóvenes.

El juego es un programa de terapia de conducta informatizado. Se desarrolla en un mundo de fantasía, donde los avatares, que son los usuarios del juego, han de enfrentarse a una serie de desafíos, relacionados con diversos aspectos de la vida real, con el objetivo de liberar al mundo virtual de la tristeza y negatividad a través del cumplimiento de misiones.

De este modo, y de una manera lúdica y divertida, se profundiza en diversos conceptos psicológicos que modifican la conducta de los usuarios, cuyo fin es superar los retos, como si de un videojuego convencional se tratara.



Estos son dos ejemplos de una larga lista de juegos serios que se emplean día a día en múltiples ámbitos. Haciendo referencia a los previamente mostrados, en ambos casos se pretende que los usuarios se involucren en el juego para aprender y tratar competencias y habilidades en un entorno lúdico que mejore el proceso de su aprendizaje.

3.2.4 Juegos serios en el aprendizaje de Lean Manufacturing

Atendiendo a estudios realizados por expertos, el empleo de juegos como herramientas de enseñanza beneficia el proceso del aprendizaje. Algunas universidades y empresas recurren al diseño de juegos para educar, con el objetivo de que el aprendizaje del alumno pase a ser divertido.

La utilización de este método de enseñanza se suele realizar cuando se trata de [9] y [10]:

- Comprensión de conceptos complejos.
- Mayor transferencia de conocimiento.
- Comprensión más rápida.
- Retención a largo plazo.
- Desarrollar el talento de los alumnos.
- Incrementar el interés y la atención.
- Fomentar la colaboración, la interactividad y el trabajo en equipo.
- Simular situaciones de escenarios reales.
- Entrenar habilidades para la resolución de problemas.
- Generar estrategias para la toma de decisiones.
- Mejorar la capacidad organizativa.
- Percibir en tiempo real los efectos y consecuencias de la toma de decisiones.

Teniendo en cuenta el concepto de serious game, y, en particular, el concepto de serious game asociado a las herramientas que conforman el Lean Manufacturing, para lograr el desarrollo exitoso de un juego que desempeñe y cumpla con las funciones

de enseñanza buscadas, es preciso conocer y concretar los cuatro pilares fundamentales que conforman su estructura: el reto y los objetivos que se pretenden alcanzar, las reglas con las que debe contar el juego y que han de cumplirse para un correcto funcionamiento del mismo y la interacción que se producirá entre el juego y sus jugadores [11].

- **Objetivos:** es necesario que los objetivos que se quieren alcanzar tras el desarrollo del juego estén perfectamente definidos, así como las competencias que se van a adquirir. Los jugadores deberán ser conocedores de estos [11].

- **Reto:** hace referencia al objetivo principal que determinará la finalización del juego cuando este se haya alcanzado [11].

En el caso del presente trabajo, el reto del juego es disminuir el tiempo de preparación de una maqueta mediante las técnicas que conforman el SMED. El juego finalizará, por lo tanto, cuando el jugador sea capaz de realizar las operaciones de ajuste de la maqueta para la producción de lotes diferentes disminuyendo considerablemente el tiempo de partida empleado para ello.

Para cumplir con el reto que se propone, será necesario implementar ciertas mejoras en los estándares de las operaciones de producción, así como en el diseño de la maqueta hasta llegar a reducir el tiempo de ajuste de la maqueta drásticamente de modo que la producción en lotes pequeños sea más rentable que la producción en lotes de tamaño superior.

- **Reglas:** Las normas del juego deberán estar claramente definidas y regularán cada uno de los posibles escenarios que se desencadenen durante el transcurso del juego [11].

Del mismo modo que los objetivos, los jugadores deberán estar informados de las reglas del juego para un correcto desarrollo de la actividad.

Las reglas del serious game que se ha diseñado en este trabajo aparecen en el apartado 4.3.

- **Interacción:** hace referencia a las experiencias que tendrán los jugadores como resultado de la dinámica del juego y de los diferentes escenarios que se van a desencadenar. La interacción que los jugadores tendrán entre ellos y con el juego será



diferente dependiendo del rol de cada jugador y de las circunstancias e imprevistos que surjan durante su desarrollo [11].

La realización del juego serio para mejorar la enseñanza de la herramienta del SMED no reside en la dificultad de los conceptos que se manejan, pues, desde un punto de vista teórico, la mayoría de los principios y herramientas que componen la filosofía Lean son relativamente fáciles de entender. La dificultad aparece, por lo tanto, en su aplicación práctica en las empresas. Es por ello por lo que el único lugar para aprender las técnicas y desarrollar las habilidades Lean es en el lugar de trabajo.

Debido a que la puesta en práctica de estos conocimientos en entornos industriales no siempre es factible para el ámbito académico, se propone un juego que simule el puesto de trabajo mediante el cual se puedan entrenar y desarrollar las habilidades que requiere la técnica del SMED (capítulo 4).

De cualquier modo, es preciso tener en cuenta que uno de los problemas que se encuentran en este método de aprendizaje es la falta de realismo. Por ello, la enseñanza basada en el juego es un recurso que debe ser empleado como un puente entre la teoría y la puesta en práctica en el entorno industrial [9].

4. APRENDIZAJE DEL SMED: DISEÑO DE UN SERIOUS GAME

Lo que se pretende con la realización de este trabajo es diseñar y desarrollar un serious game para el aprendizaje y puesta en práctica de una de las herramientas que forma parte de los pilares del Lean Manufacturing, el SMED.

Aunque el fin principal es mejorar la metodología de enseñanza de los conceptos asociados a dicha herramienta y facilitar el desarrollo de las habilidades que requieren sus técnicas para la puesta en práctica en entornos industriales, como se ha detallado en capítulos anteriores, son múltiples los objetivos que se pretenden alcanzar con el desarrollo del serious game.

Trasmitir el conocimiento de la herramienta del SMED convirtiendo a los usuarios en elementos activos de su propio proceso de aprendizaje, fomentando el trabajo en equipo e incrementando la colaboración de los jugadores para tomar decisiones que persigan un fin conjunto, se convierte en el objetivo global del juego, que, a su vez, persigue ciertos **objetivos específicos** relacionados con el conocimiento de dicha técnica:

- Incrementar la colaboración entre los jugadores y tomar decisiones que persigan el objetivo común de mejora continua del proceso productivo.
- Analizar el proceso de fabricación y conseguir diferenciar las sucesivas operaciones elementales que lo conforman.
- Distinguir las operaciones internas de las externas y proponer alternativas para convertir las operaciones internas en externas.
- Aprender a localizar los desperdicios de tiempo en las operaciones de preparación y proponer e implementar mejoras para disminuir los tiempos de parada en la línea de producción.
- Mejorar el diseño de las herramientas de fabricación para contribuir en la disminución del tiempo de preparación empleado en los cambios de lote.
- Conocer los diversos métodos de anclaje existentes y aprender a mejorarlos sustituyéndolos por métodos simplificados de una vuelta.

- Equilibrar la carga de trabajo de la línea de fabricación evitando que se produzcan cuellos de botella en la misma.
- Homogeneizar el tiempo de preparación de los lotes, independientemente de su tipo.
- Extrapolar a otros procesos de fabricación las herramientas del SMED.

Para lograr un desarrollo exitoso del juego y alcanzar todos los objetivos que se han mencionado anteriormente, se llevan a cabo diversas **fases**:

1.- Surgimiento de la idea de elaboración del proyecto

En esta etapa se plantea la necesidad de elaborar un juego serio como método didáctico para utilizar en las aulas de formación de Lean Manufacturing.

Además, se realiza el estudio de viabilidad de este y se detallan los conceptos que ha de abordar el juego, las características que ha de tener y los objetivos que se pretenden alcanzar con su desarrollo.

2.- Búsqueda de información relativa a las herramientas del SMED

Antes de adentrarse en el desarrollo del juego es realizar un análisis del estado de la técnica relativo a la filosofía del Lean Manufacturing y de las técnicas que comprende.

Leer artículos y libros sobre la técnica en la que se basa este trabajo es fundamental para conocer en profundidad las diversas herramientas que conforman el SMED, así como ejemplos prácticos de empresas en las que se han implantado mejoras para la disminución del tiempo de preparación en algunos de sus procesos de fabricación.

Gran parte de los conocimientos adquiridos y de las ideas de mejora que se proponen en capítulos posteriores se basan en el libro de Shigeo Shingo (1985).

3.- Diseño de un juego que simule un proceso productivo

Conocida la teoría del SMED y diversos ejemplos reales en la industria en los que se ha implementado esta técnica dando lugar a disminuciones drásticas del tiempo de preparación de diversas máquinas, se diseña la dinámica de un juego para poner en práctica los conceptos y las herramientas que conforman dicha técnica.



El juego propuesto tiene como fin la fabricación de señales de seguridad en el trabajo. Para completar su desarrollo, los alumnos deben pasar por varias fases, partiendo de una fase inicial, en la que la fabricación se realiza con los mínimos recursos posibles, hasta llegar a una última fase, en la que se realiza la construcción de una maqueta que simula el comportamiento de una imprenta que fabrica el producto deseado.

Además, en esta fase es necesario determinar las normas del juego. Esto es fundamental para lograr que el transcurso del juego sea exitoso y que los jugadores sepan cómo actuar ante cualquier tipo de escenario que se presente durante su desarrollo.

El número de jugadores y el rol de cada jugador son varias de las características que deberán estar perfectamente definidas, como se muestra en el apartado 4.3.

4.- Diseño de una maqueta a través de la cual se pueda llevar a cabo la producción

Una vez que se haya determinado el producto que se va a fabricar junto con sus especificaciones, la siguiente fase es realizar el diseño de la maqueta que nos permita realizar la producción fijada.

Es de gran utilidad, para completar el desarrollo de esta fase, el empleo de herramientas de diseño CAD que permitan concretar las tolerancias geométricas y dimensionales que precisa la maqueta.

En este caso, se ha empleado el programa de diseño Catia V5. A través de este software se han hecho diversas pruebas de diseño hasta llegar a un diseño válido de la maqueta que permita fabricar los productos especificados. Esta herramienta ha sido de gran ayuda para concretar las dimensiones de cada una de las piezas que conforman la maqueta, así como el posicionamiento de las ranuras y agujeros que la componen. En el apartado 4.2. se muestran de forma detallada los elementos que forman parte de la maqueta, así como sus dimensiones y la funcionalidad de cada uno de ellos.

5.- Construcción de una maqueta provisional.

Tras haber concretado el diseño de la maqueta se pasa a su construcción. Para ello, es preciso determinar los materiales, útiles, herramientas y piezas necesarios para fabricarla.

En esta fase, los materiales con los que se va a realizar la construcción no tienen por qué ser los definitivos. El objetivo de esta etapa es darle forma al diseño realizado en la fase anterior para poder empezar a jugar y comprobar físicamente que el diseño realizado es válido.

Esta fase puede alargarse debido a las demoras que se produzcan hasta conseguir el aprovisionamiento de todos los materiales necesarios para la construcción.

6.- Realización de simulaciones de producción y toma de tiempos.

Con la maqueta construida y las reglas del juego definidas ya se puede comenzar a jugar. Para ello, se fijará una producción determinada que simule la demanda de uno o varios clientes. Los jugadores, teniendo claras las especificaciones de los productos a fabricar y las reglas del juego, se sitúan en sus puestos de trabajo mientras otra persona se encarga de cronometrar el tiempo que transcurre desde que se fabrica la última pieza buena A hasta que se realiza la primera pieza buena B; es decir, se toman los tiempos de preparación entre lotes.

Para la toma de tiempos es de gran ayuda cumplimentar tablas en las que aparezca el tipo de operación (externa/interna), el tiempo que se tarda en realizar, una breve descripción de esta y una casilla para comentarios en los que se puntualicen los aspectos más importantes a tener en cuenta para la realización de cada una de las operaciones de los puestos de trabajo.

En la Figura 5 se puede observar una hoja tipo que se suele emplear en la toma de tiempos de preparación durante la simulación de la fabricación.

Como se muestra, existe una clara división, atendiendo a las cuatro **fases del SMED**:

- *Fase 0*: operaciones elementales actuales. Las filas situadas en la parte superior de la tabla hacen referencia a la primera simulación en la que todavía no se ha implementado el SMED. Las operaciones tienen una duración elevada.
- *Fase 1*: duración de las operaciones internas y externas. Las casillas de la fase 1 sirven para anotar las duraciones de las operaciones internas y externas.



- *Fase 2:* transformación de las operaciones internas en externas. Las siguientes casillas están destinadas a recoger ideas para transformar las operaciones internas, recogidas en la fase 1, en operaciones externas.
- *Fase 3:* ideas para racionalizar las operaciones internas y externas.

En último lugar, aparecen diversas casillas para la toma de tiempos de las operaciones del nuevo procedimiento, tras haber implementado las ideas de mejora propuestas en la fase 3. El tiempo de preparación resultante de sumar las duraciones de las operaciones situadas en la parte inferior de la tabla ha de ser menor que el tiempo objetivo que se pretende alcanzar con el juego.

Cuadro SMED

Taller / línea:
 Descripción máquina:
 Número máquina:

Descripción del cambio de útiles:
 Antigua referencia producto y n° de operación gama:
 Nueva referencia producto y n° de operación gama:

FASE 0 Operaciones elementales actuales						
Duración						
Hechos constatados						
FASE 1 Duración de las operaciones internas						
Duración de las operaciones externas						
Análisis de las operaciones						
FASE 2 Ideas para transformar las operaciones internas en operaciones externas						
FASE 3.1 Ideas para racionalizar las operaciones internas						
FASE 3.2 Ideas para racionalizar las operaciones externas						
NUEVO PROCEDIMIENTO operaciones elementales						
Duración de las operaciones externas						
Duración de las operaciones internas						

Figura 5. Hoja tipo para la toma de tiempos de preparación.

Fuente: Cambio rápido de útil o de fabricación. Máster en Lean Manufacturing, UVA



7.- Análisis de resultados y propuesta de mejoras.

Uno de los principales objetivos del juego es disminuir notablemente el tiempo de preparación de la maqueta para la producción de diferentes lotes de señales.

Analizar los resultados de la simulación tras implementar las ideas de mejora propuestas y contempladas en la fase anterior es imprescindible para determinar cuándo se finaliza el juego.

Las fases 6 y 7 se repetirán, por lo tanto, tantas veces como sean necesarias hasta llegar al objetivo marcado. Así pues, si el tiempo de preparación del nuevo procedimiento sigue considerándose elevado, se seguirán pensando e implementando mejoras de las operaciones de preparación de las operaciones internas y externas, así como del diseño de la maqueta.

4.1 Descripción de la producción

Como se ha mencionado anteriormente, la producción que se va a llevar a cabo es de señalética de seguridad en el trabajo.

Para que el juego se realice de forma correcta y los jugadores alcancen los objetivos propuestos es preciso fijar, con anterioridad a la fabricación y desarrollo del juego, las especificaciones de la producción a realizar.

Atendiendo al Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre *disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo* que establece los colores de seguridad empleados en esta señalética (Tabla 2) y sus características intrínsecas y consultando las dimensiones de placa comercializadas por diversos fabricantes, se han determinado las especificaciones del producto [12].

Tabla 2. Colores de seguridad.

Fuente: RD 485/1997, disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

Color	Significado	Indicaciones y precisiones
Rojo.	Señal de prohibición.	Comportamientos peligrosos.
	Peligro-alarma.	Alto, parada, dispositivos de desconexión de emergencia. evacuación.
	Material y equipos de lucha contra incendios.	Identificación y localización.
Amarillo o amarillo anaranjado.	Señal de advertencia.	Atención, precaución. verificación.
Azul.	Señal de obligación.	Comportamiento o acción específica. Obligación de utilizar un equipo de protección individual.
Verde.	Señal de salvamento o de auxilio.	Puertas, salidas, pasajes, material, puestos de salvamento o de socorro, locales.
	Situación de seguridad.	Vuelta a la normalidad.

Según este RD, además debe de tenerse en cuenta [12]:

“Cuando el color de fondo sobre el que tenga que aplicarse el color de seguridad pueda dificultar la percepción de este último, se utilizará un color de contraste que enmarque o se alterne con el de seguridad, de acuerdo con la siguiente tabla”:

Tabla 3. Colores de contraste.

Fuente: RD 485/1997, disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

Color de seguridad	Color de contraste
Rojo	Blanco.
Amarillo o amarillo anaranjado	Negro.
Azul	Blanco.
Verde	Blanco.

“Cuando la señalización de un elemento se realice mediante un color de seguridad, las dimensiones de la superficie coloreada deberán guardar proporción con las del elemento y permitir su fácil identificación”.

“Las dimensiones de las señales, así como sus características colorimétricas y fotométricas, garantizarán su buena visibilidad y comprensión”.

Se realiza una diferenciación en la producción, atendiendo a diversas características:

1. Tipo de señal:

Una de las principales distinciones es la producción de señales sin rótulo o con rótulo.

- Sin rótulo, señales simples.

Este tipo de señales son las más básicas, en ellas la forma de la señal ocupa prácticamente en su totalidad las dimensiones de la placa, la cual tiene unas dimensiones de 155 x 160 mm.

- Con rótulo, señales compuestas.

Esta característica conlleva la necesidad de realizar una configuración determinada de la maqueta para posicionar la placa en la que se va a realizar la impresión de la forma y del rótulo, la cual tiene unas dimensiones de 180 x 250 mm.

En la Figura 6 se muestran los dos tipos de señal que se van a producir, con sus respectivos tamaños de placa:

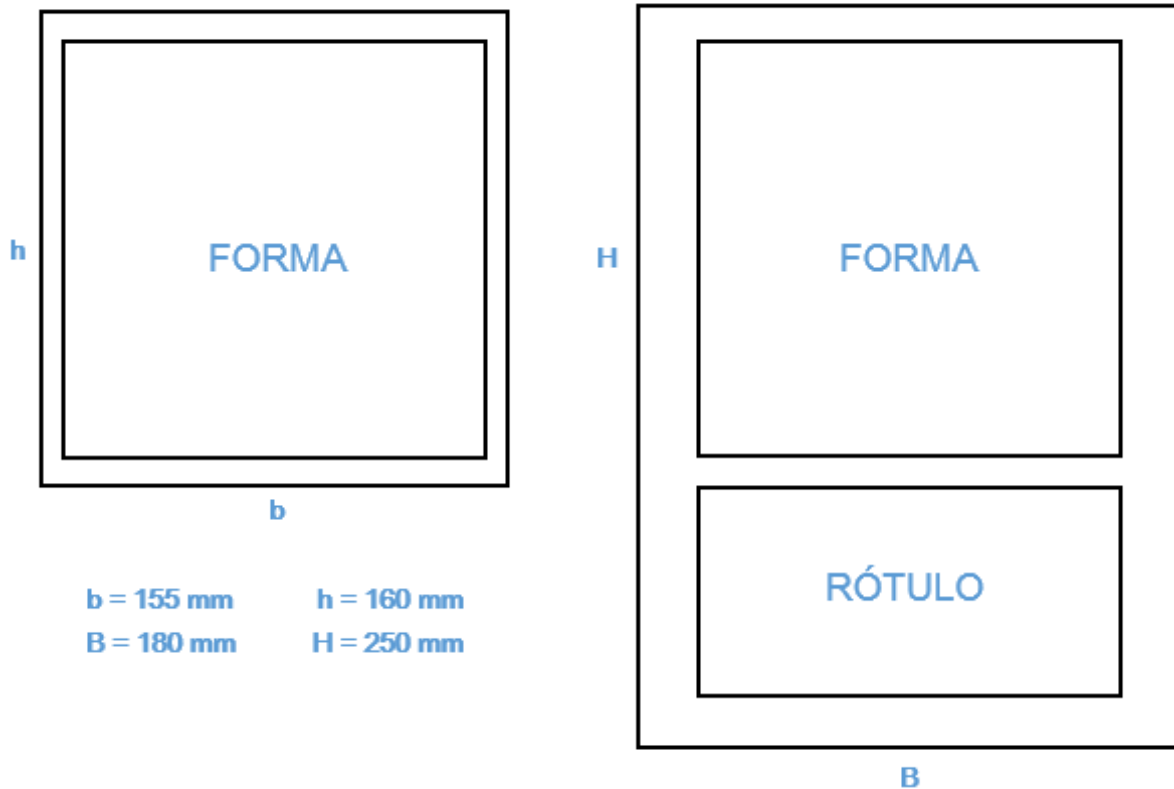


Figura 6. Tipo de señal: simple (izquierda) y compuesta (derecha).

Fuente: elaboración propia

Según esta característica hay que tener en cuenta que, para un mismo tamaño de forma, las dimensiones de la placa donde se va a imprimir la señal varían.

2. Forma y color:

Se ha optado por realizar una producción en la cual se diferencian 4 formas (triángulo, círculo, cuadrado para la impresión de la forma y rectángulo para la impresión del rótulo) y 4 colores (rojo, azul, verde y amarillo). Según la combinación de forma y color que se realice, la información que la señal le da al usuario varía. Así pues, se fabrican cuatro tipos de señales: advertencia, obligación, salvamento o socorro y lucha contra incendios:

- Advertencia: señal de seguridad que advierte de peligro.

Estas señales de seguridad tienen una forma geométrica triangular, con una base horizontal y el vértice opuesto dirigido hacia la parte superior de la placa y sus vértices ligeramente redondeados. El color de seguridad empleado es el

amarillo, y debe cubrir al menos el 50% de la superficie de la señal. El negro se empleará para el reborde y el símbolo.

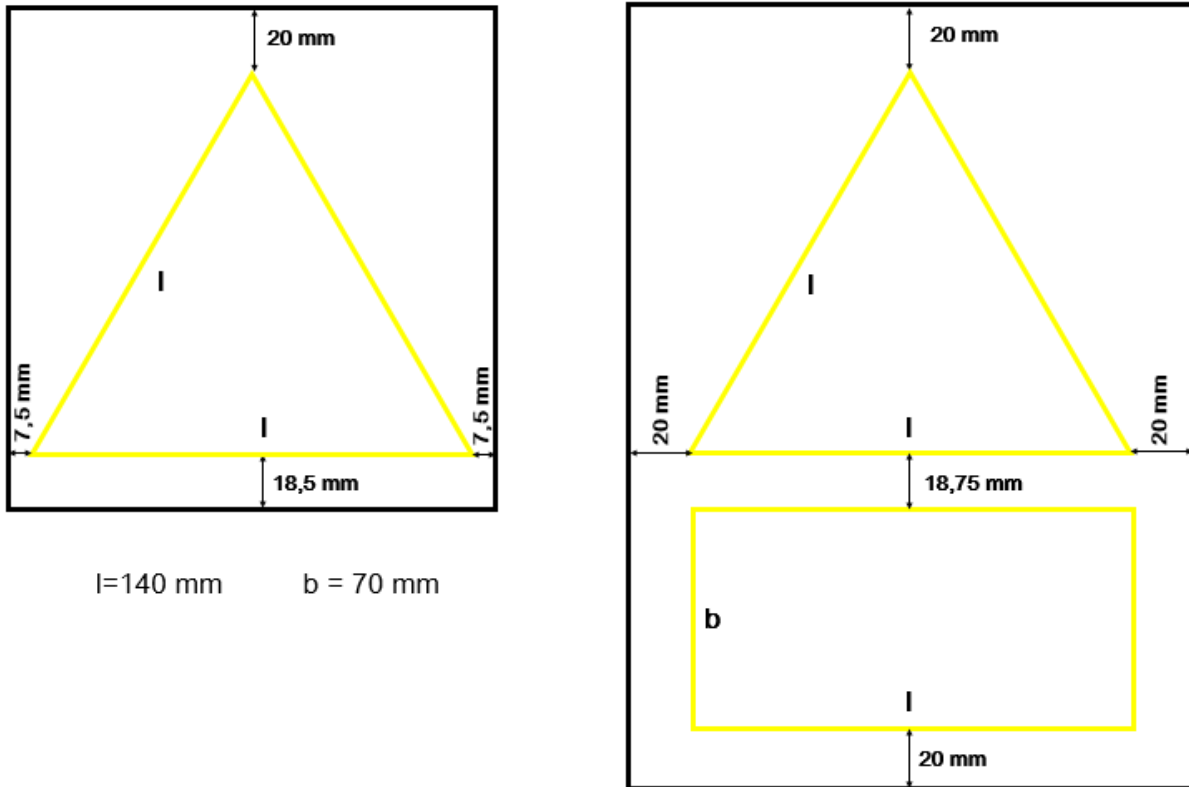


Figura 7. Señales de advertencia.

Fuente: elaboración propia

- Obligación: señal de seguridad que obliga a un comportamiento determinado.

Estas señales de seguridad tienen una forma geométrica circular. El color de seguridad empleado es el azul, y debe cubrir al menos el 50% de la superficie de la señal. El color de contraste blanco se empleará para el reborde y el símbolo.

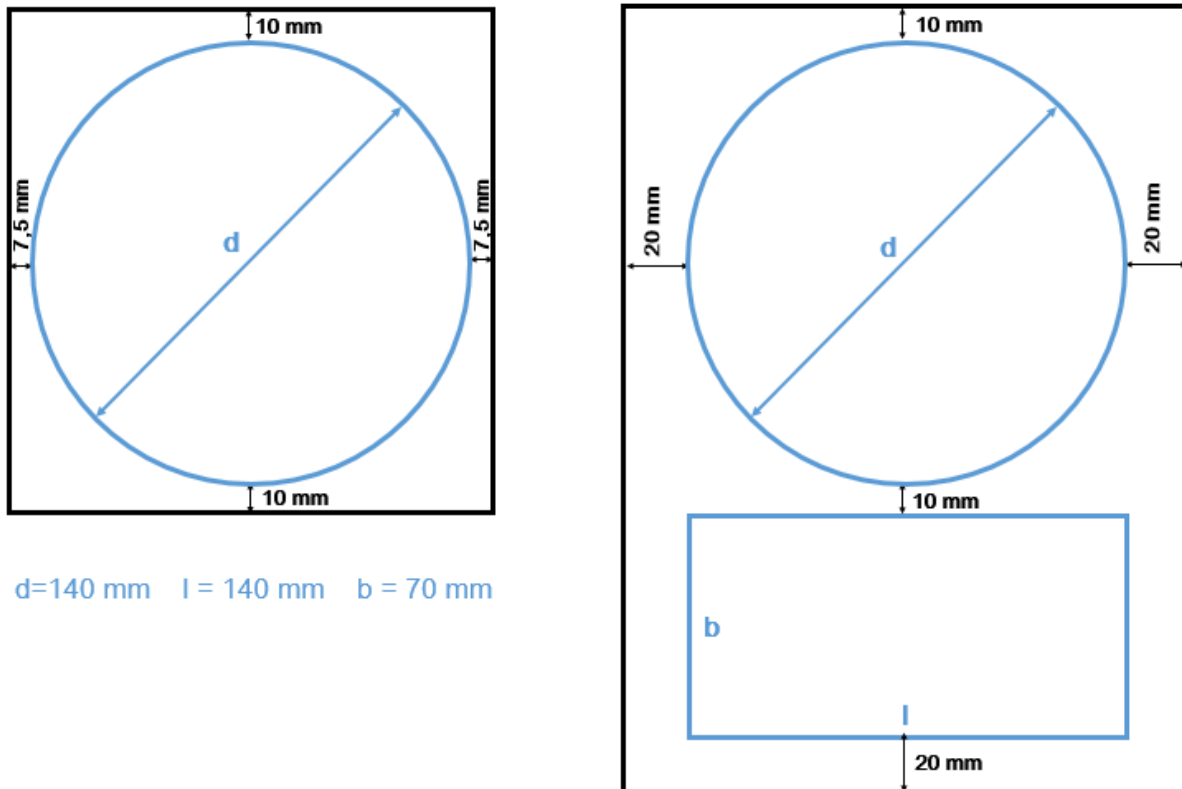


Figura 8. Señales de obligación.

Fuente: elaboración propia.

- Salvamento/socorro: señal de seguridad que, en caso de peligro, indica la salida de emergencia, la situación del puesto de socorro o el emplazamiento de un dispositivo de salvamento.

Estas señales de seguridad tienen una forma geométrica cuadrada o rectangular. El color de seguridad empleado es el verde y el color de contraste es el blanco, que se emplea para el borde y el símbolo.

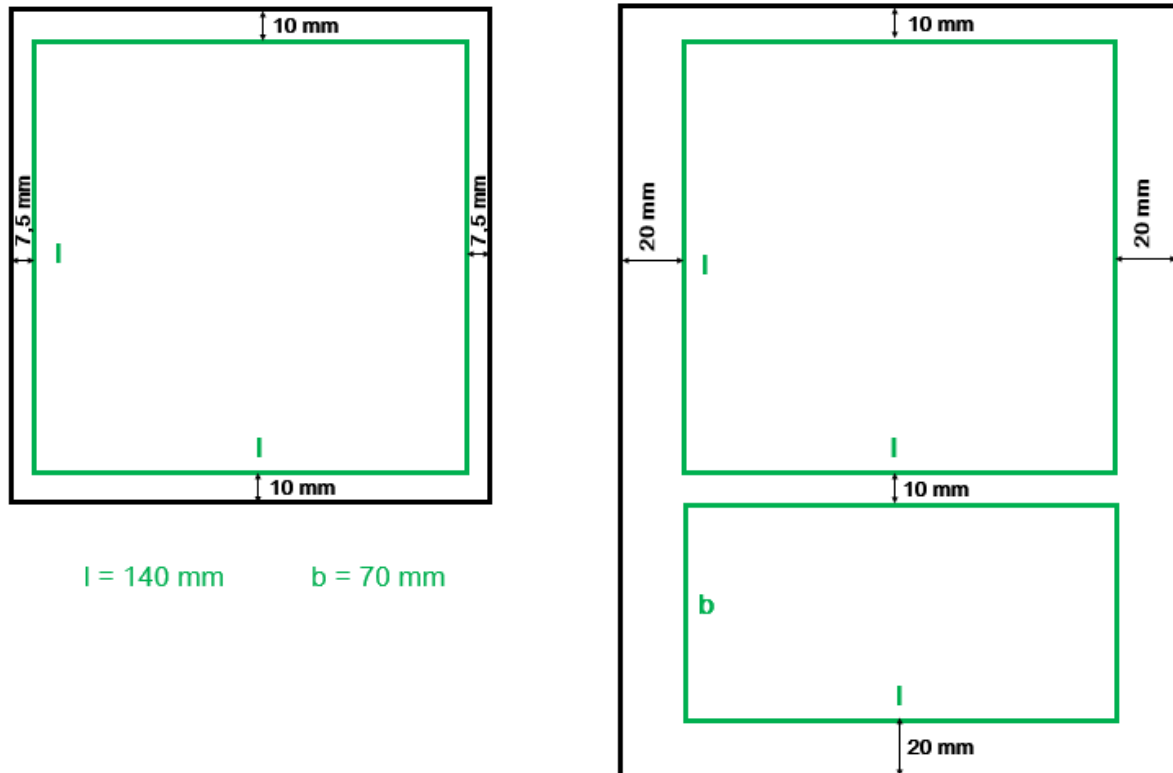


Figura 9. Señales de salvamento o socorro.

Fuente: elaboración propia

- Lucha contra incendios: Señal de seguridad que, en caso de incendio indica la localización y dirección hacia los dispositivos de lucha contra incendios.

Estas señales de seguridad tienen una forma geométrica cuadrada o rectangular. El color de seguridad empleado es el rojo y el color de contraste el blanco, que se emplea para el reborde y el símbolo.

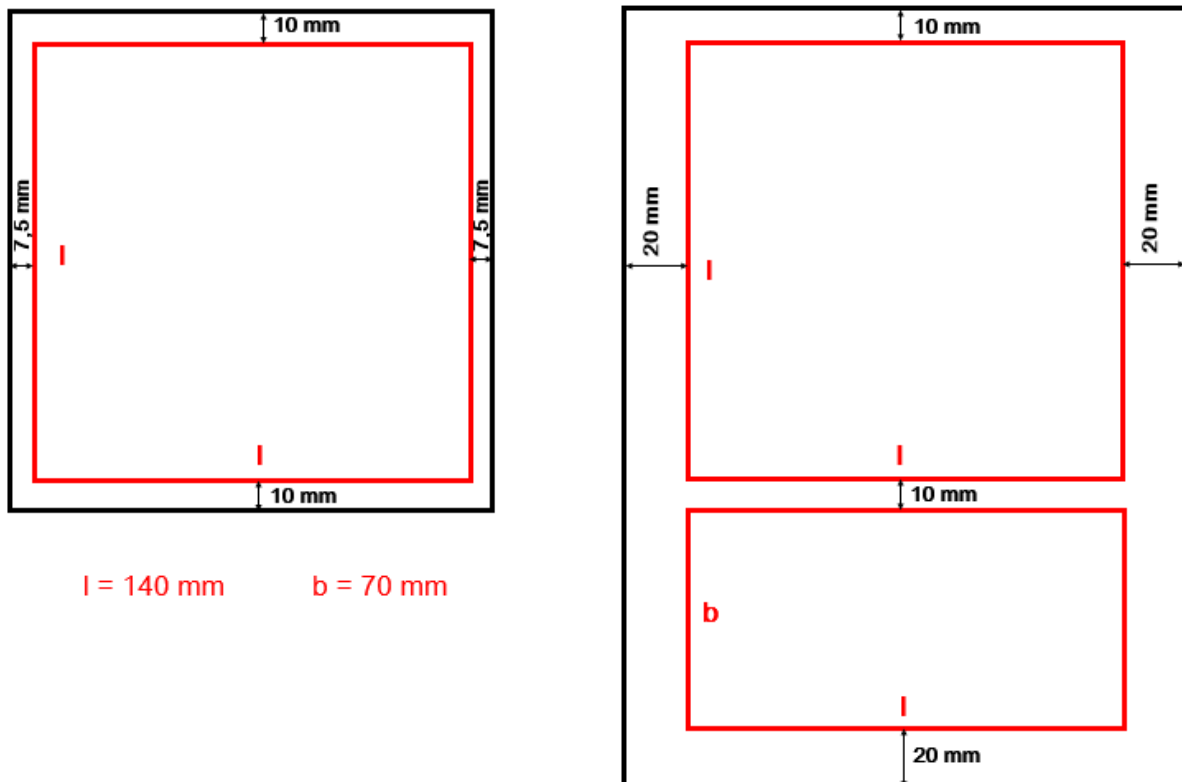


Figura 10. Señales de lucha contra incendios. Fuente: elaboración propia.

La elección de las señales de seguridad como producto a fabricar se justifica en la sencillez de su producción y en que se trata de un producto que guarda ciertas **características** que serán útiles para poner en práctica múltiples herramientas que forman parte del SMED, como son:

- Es un producto que está estrechamente relacionado con el ámbito de la ingeniería, pues la señalética de seguridad figura en la totalidad de obras y factorías industriales.
- Se trata de un producto de dos dimensiones, esto va a simplificar su producción, así como el diseño de la maqueta a través de la cual se va a fabricar.
- Al existir diversos tipos de señales de seguridad en el trabajo (advertencia, obligación, salvamento o socorro y lucha contra incendios) resulta sencillo hacer una diferenciación en los lotes de producción. Esto conlleva una necesidad de cambio de útiles, herramientas o plantillas para su producción.
- Se introducen diversas características de diferenciación del producto según los requerimientos del cliente, como son: el tipo de señal (sin rótulo o con rótulo), los

colores (rojo, azul, verde y amarillo) y las formas (círculo, cuadrado, triángulo y rectángulo) dando lugar a un amplio abanico de productos a fabricar.

- Al llevar a cabo una producción de señalética sin rótulo y con rótulo, entra en juego la necesidad de realizar un correcto posicionamiento de la herramienta de impresión con respecto a la placa donde se va a imprimir. Este factor será desencadenante de la necesidad de realizar ajustes en la maqueta para cubrir el total de la producción disponible.

4.2 Descripción del juego

El fin del juego es fabricar, bajo demanda del cliente y siguiendo el orden de pedido de este, diferentes señales de seguridad en el trabajo. El juego se compone de dos dinámicas claramente diferenciadas:

- ***Dinámica inicial:*** compuesta por las etapas 0 y 1.
Los jugadores disponen del mínimo material posible para fabricar las señales (apartado 5).
- ***Dinámica con ayuda de material:*** compuesta por la etapa 2.
Se incorpora una maqueta a la dinámica inicial para mejorar el proceso de fabricación de las señales (apartado 6).
Posteriormente, se le implementarán una serie de mejoras a la etapa 2, con el disminuir notablemente el tiempo de preparación de las señales y equilibrar la carga de trabajo de los puestos que componen la línea de fabricación (apartado 7).

El objetivo del juego es comprobar, etapa a etapa, la reducción de los tiempos de preparación de los pedidos. De este modo, y con unos tiempos de preparación pequeños, tras la finalización del juego será factible fabricar por lotes de pequeño tamaño, así como adaptarse a la demanda del cliente, dejando atrás la fabricación por lotes de gran tamaño que conlleva un elevado coste de almacenamiento y stock.

A continuación, se muestran las instrucciones generales del juego, en las que aparecen el número y el rol de cada jugador, entre otros.

4.3 Instrucciones del juego

Tras conocer el producto a fabricar se detallan las reglas del juego que han de cumplirse para alcanzar con éxito los objetivos propuestos.

Tabla 4. Instrucciones generales. Fuente: elaboración propia

Juego:	Aprendizaje de la herramienta SMED mediante un juego que simula la producción de señalética de seguridad en el trabajo.
Público:	Alumnos de grado de Ingeniería e ingenieros.
Indicaciones de seguridad:	Contiene piezas de tamaño muy pequeño, manténgase alejado de niños que puedan ingerirlas. No colocar el juego sobre o cerca de superficies calientes, riesgo de incendio.
Nº jugadores:	4
Rol de cada jugador:	<p><i>Jugador 1: puesto de corte de placas</i></p> <p>Dentro de la línea de producción, el primer puesto hace referencia al corte de las placas donde van a ir impresas las señales.</p> <p>El tamaño de las placas depende del tipo de señal a fabricar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Señal simple, sin rótulo: 155x160 mm • Señal compuesta, con rótulo: 180 x 250 mm <p>El jugador 1, situado en el primer puesto de la línea de producción se encarga, por lo tanto, de marcar las dimensiones de las señales demandadas por el cliente en placas de tamaño A4 y de cortar las mismas para pasárselas al siguiente puesto de la línea de fabricación, donde se realizará la impresión de la señal.</p>
	<p><i>Jugador 2: puesto de fabricación principal</i></p> <p>El jugador 2 ocupa la segunda posición en la línea de fabricación, el puesto principal del juego. En esta posición se encuentra la maqueta que se ha diseñado y es tarea de este jugador realizar</p>

Rol de cada jugador:	<p>la impresión de la señal demandada por el cliente en la placa recibida del jugador 1.</p> <p>Para ello, el jugador deberá conocer perfectamente las especificaciones del producto y el funcionamiento de la maqueta, detallado en el apartado 6.</p> <p>El material con el que cuenta el jugador 2 se va a modificar dependiendo de la fase del juego en la que nos encontremos. Este jugador recibirá las placas de impresión del puesto de la línea de producción relativo al jugador 1, situado aguas arriba.</p>
	<p><i>Jugador 3: puesto de verificación</i></p> <p>El jugador 3 ocupa el tercer y último puesto de la línea de producción de la señalética, el puesto de verificación de las especificaciones del producto.</p> <p>El jugador 3, situado aguas abajo del puesto principal de fabricación, recibe el producto del jugador 2 y se encarga de verificar las especificaciones de las señales para chequear la calidad del producto y que este pueda ser entregado al cliente.</p> <p>El tipo de señal, el color de impresión, el tamaño de placa y las cotas que deben guardar la forma y el rótulo entre sí y con los bordes de la placa son algunas de las características que debe comprobar este jugador.</p>
	<p><i>jugador 4: puesto de toma de tiempos</i></p> <p>El cuarto jugador no desempeña un trabajo dentro de la línea de fabricación, sino que se encarga de cronometrar el tiempo de preparación de los diversos lotes que se van a fabricar durante el transcurso del juego. El objetivo es conocer el tiempo de preparación de partida y su disminución progresiva a medida que se vayan implementando mejoras en el proceso de fabricación.</p>

4.4 Actuación en caso de incidencia

- **Dimensiones de la placa erróneas**

Una incidencia que puede ser causa de una parada en la producción es un error en el corte de placas de la señal a fabricar.

Se trata de una incidencia que se puede deber a un error humano en la toma de medidas, así como en la falta de precisión de medida o el deterioro de los aparatos de medida empleados en el puesto 1, correspondiente al corte de las placas de las señales.

Si el jugador situado en el puesto 2 nota un error en las dimensiones de la placa recibida del puesto 1 ha de notificárselo al jugador 1 para que este corrija el error, para que no avance a lo largo de la línea de producción.

- **Impresión defectuosa**

Otra de las incidencias que puede suponer una parada en la fabricación de las señales es un error en la impresión de estas.

Las causas de esta incidencia pueden ser varias, tanto un error humano en la impresión de la señal como el empleo de material deteriorado.

La fabricación de una señal de forma diferente a la que se muestra en las especificaciones del pedido del cliente o el empleo de un color de impresión que no corresponde a la señal demandada son algunas de las causas que pueden desencadenar esta incidencia.

Además, este error se puede deber a un ajuste incorrecto de la maqueta que va a dar como resultado una señal que no guarda las especificaciones dimensionales del producto.

Suponiendo que el error no viene arrastrado del puesto 1 del juego, es el puesto 2 el lugar en el cual existen más posibilidades de que se produzca un defecto en la impresión de las señales.

En el caso de que alguno de los jugadores determinase que se ha producido un error irreversible en alguno de los puestos, ha de notificárselo al jugador situado aguas

arriba en la línea de fabricación, paralizando la producción y alertando que la señal en cuestión ha de fabricarse de nuevo.

- **Calidad del producto baja**

Es preciso comentar la diferencia existente entre este aspecto y los anteriores. Una calidad baja del producto no produce necesariamente una incidencia en la línea de fabricación que implique una parada. A diferencia de los casos anteriores, este error puede pasar desapercibido ya que se trata de desviaciones mínimas que no desechan al producto ni hacen que este pierda su funcionalidad.

La existencia de productos de calidad baja puede deberse a un error en cualquiera de los puestos de la línea de fabricación y no ser detectado hasta la etapa final de verificación de la calidad del producto.

Cuando se detecte una señal que tenga baja calidad es necesario valorar la magnitud de las desviaciones para determinar si el producto se desecha, en el caso de que las especificaciones del producto disten mucho de la señal fabricada, o se entregue al cliente, en el caso de que las desviaciones pasen desapercibidas y no afecten la funcionalidad de la señal en cuestión.

- **Error en la toma de tiempos**

Se trata de un error producido en el puesto 4 del juego, en el cual se va a medir el tiempo de preparación de los diferentes lotes a fabricar. A diferencia de los dos primeros, este error no va a desencadenar una parada en la dinámica del juego. Se trata de un error que va a dificultar el análisis de los tiempos de preparación.

La toma de tiempos consiste en realizar tres mediciones diferentes de diversas operaciones de ajuste que posteriormente van a ser comparadas entre sí, tomando como tiempo válido la media de las tres mediciones.

Un error en la toma de tiempos se va a detectar fácilmente pues las tres mediciones correspondientes a una misma operación deben ser similares. La justificación de la desviación e incremento de alguno de estos tiempos se encuentra en que se haya producido una incidencia que haya parado la línea de fabricación o en que la toma de tiempos no se haya realizado de forma correcta.

En el caso de que se haya producido una parada en la línea de fabricación, el tiempo se tomará como válido y se incluirá para hallar el tiempo de preparación medio. De forma contraria, si la desviación en la medida no corresponde a ninguna incidencia en la línea de producción, es preciso repetir la medición de forma que los resultados del juego no se vean adulterados por un error en la toma de tiempos.

- **Falta de material**

Una de las incidencias más comunes que pueden suponer una parada o ralentización del juego es la falta de material. Como se muestra a continuación en las Tablas 5, 8 y 11, los jugadores requieren diverso material para poder desempeñar su trabajo. La falta de previsión de este material va a suponer una incidencia en la línea de fabricación que va a pausar el juego durante un tiempo determinado, y hasta que el material necesario sea repuesto.

Cada jugador ha de hacerse cargo del material que va a necesitar en su respectivo puesto procurando que la falta de material no sea una de las causas que rompan la dinámica del juego.

4.5 Resultado del juego: producto terminado

El proceso completo de fabricación de la señal de seguridad en el trabajo está compuesto por dos operaciones:

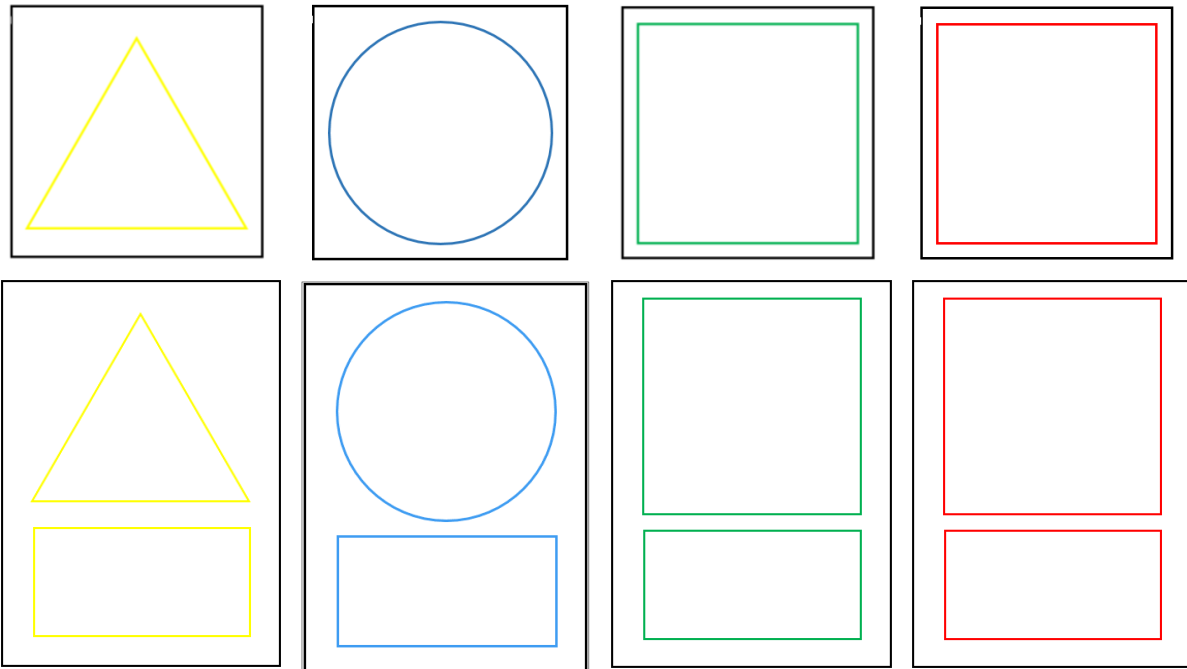
Operación 1: impresión del fondo de color de la señal en la placa.

Esta operación es la que se propone realizar tras el desarrollo del puesto 2.

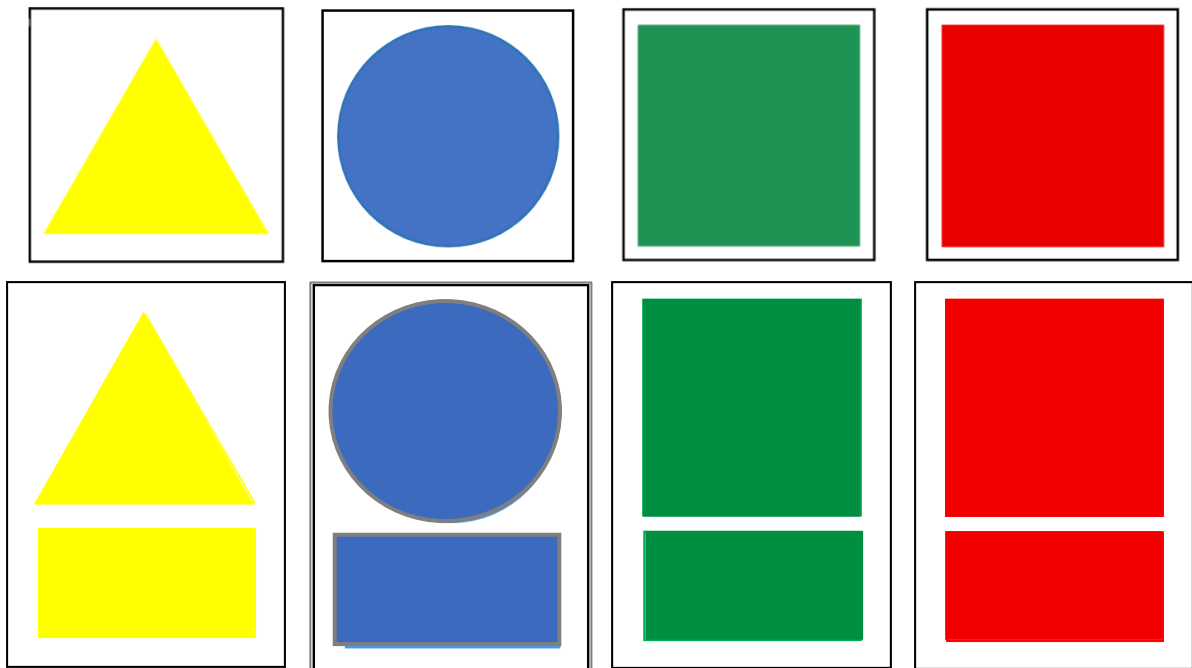
El resultado de la “impresión” que se obtiene con el desarrollo del juego es el del contorno de la forma de la señal y del cajetín del rótulo de los colores respectivos a la tipología de la señal. En el juego, el usuario realiza esta impresión mediante rotuladores de colores.

El resultado del juego difiere del resultado que se obtendría a través del proceso industrial al que hace referencia la simulación. Así pues, en este proceso, un spray o difusor de tinta accionado sobre un brazo automatizado, rellenaría el interior de las formas.

En las siguientes imágenes se pueden observar ambos resultados:



a) Resultado de la impresión mediante la maqueta



b) Resultado de la impresión mediante un proceso automatizado

Figura 11. Resultado de la impresión de señales simples y compuestas.

Fuente: elaboración propia.

Operación 2: adhesión de una lámina impermeable a la placa base que contenga el mensaje y el dibujo de la señal que se quiere fabrica.

Esta operación sería un segundo paso necesario en la cadena de producción para completar la fabricación de la señal.

Así pues, la segunda operación que se propone, aunque esta no esté contemplada en el juego propuesto, es la adhesión de una lámina transparente con el mensaje y los dibujos correspondientes a cualquier señal de prohibición, socorro, peligro, etc. existentes en el mercado, sobre la placa obtenida tras la operación 1.

Resultado de la operación, entre otros:



a) Señales de advertencia o peligro



b) Señales de obligación



c) Señales de salvamento o socorro



d) Señales de lucha contra incendios

Figura 12. Ejemplos de señales compuestas.

Fuente: Materiales utilizados para la fabricación de señales, Grafimetal.

5. IMPLEMENTACIÓN DEL SERIOUS GAME: DINÁMICA INICIAL

En este apartado se desarrolla la dinámica inicial, diferenciada en las etapas 0 y 1 del juego. Como se sabe, esta dinámica se fundamenta en realizar la fabricación de los diferentes lotes de señales de seguridad empleando para ello el mínimo material posible.

Antes de realizar la implementación del juego, es preciso conocer en detalle la dinámica de las etapas. Así pues, a continuación, se muestra para cada una de ellas, el material que se precisa, el desarrollo de la etapa y, finalmente, los resultados de los tiempos medios de preparación obtenidos para cada puesto de la línea de fabricación.

5.1 Etapa 0

Se trata de la fase más elemental de las tres. En ella se realiza la fabricación de las señales sin ningún tipo de ayuda y con el mínimo material posible.

Al tratarse de una etapa en la que la fabricación se realiza completamente de forma manual, resulta complicado realizar productos de apariencia y calidad uniforme, pues, para ello, se precisa elevada precisión y tiempo de operación.

Por ello, en esta primera etapa se prevén unos tiempos de preparación y de fabricación muy elevados, pues el tiempo empleado para la fabricación de un determinado lote guardando las especificaciones del producto requiere de elevado trabajo.

El objetivo del juego es disminuir estos tiempos conforme el juego avanza y se van sucediendo las etapas de este.

- ***Material del juego***

En la Tabla 5 se observa el material proporcionado para el desempeño de la Etapa 0 del juego y los requerimientos de este que precisa cada uno de los jugadores para el desempeño de su puesto.

Tabla 5. Material de juego en la Etapa 0.

Fuente: elaboración propia.

JUGADOR 1	1. Especificaciones del producto
	2. Reglas: métrica
	3. Goma y lapicero
	4. Tijeras
	5. Láminas: folios en blanco tamaño A4
JUGADOR 2	6. Especificaciones del producto
	7. Placas de impresión (provenientes del Jugador 1)
	8. Regla: métrica
JUGADOR 3	9. Rotuladores: amarillo, rojo, verde y azul
	10. Especificaciones del producto
JUGADOR 4	11. Regla métrica
	12. Cronómetro
	13. Libreta y bolígrafo para anotaciones

- **Desarrollo**

El punto de partida de la primera etapa es un folio en blanco tamaño A4, una regla métrica, lapiceros y rotuladores para realizar el contorno de las señales. Para fabricar las señales con la calidad que demanda el cliente, es preciso que cada jugador cuente con las especificaciones de los productos finales, correspondientes al puesto que abarca cada uno de ellos.

A continuación, se muestra, para cada puesto de la línea de fabricación, la situación de partida de cada jugador, así como el resultado final que deben obtener.

El desarrollo se realiza para un determinado ejemplo de señal, en este caso, señal compuesta de peligro:

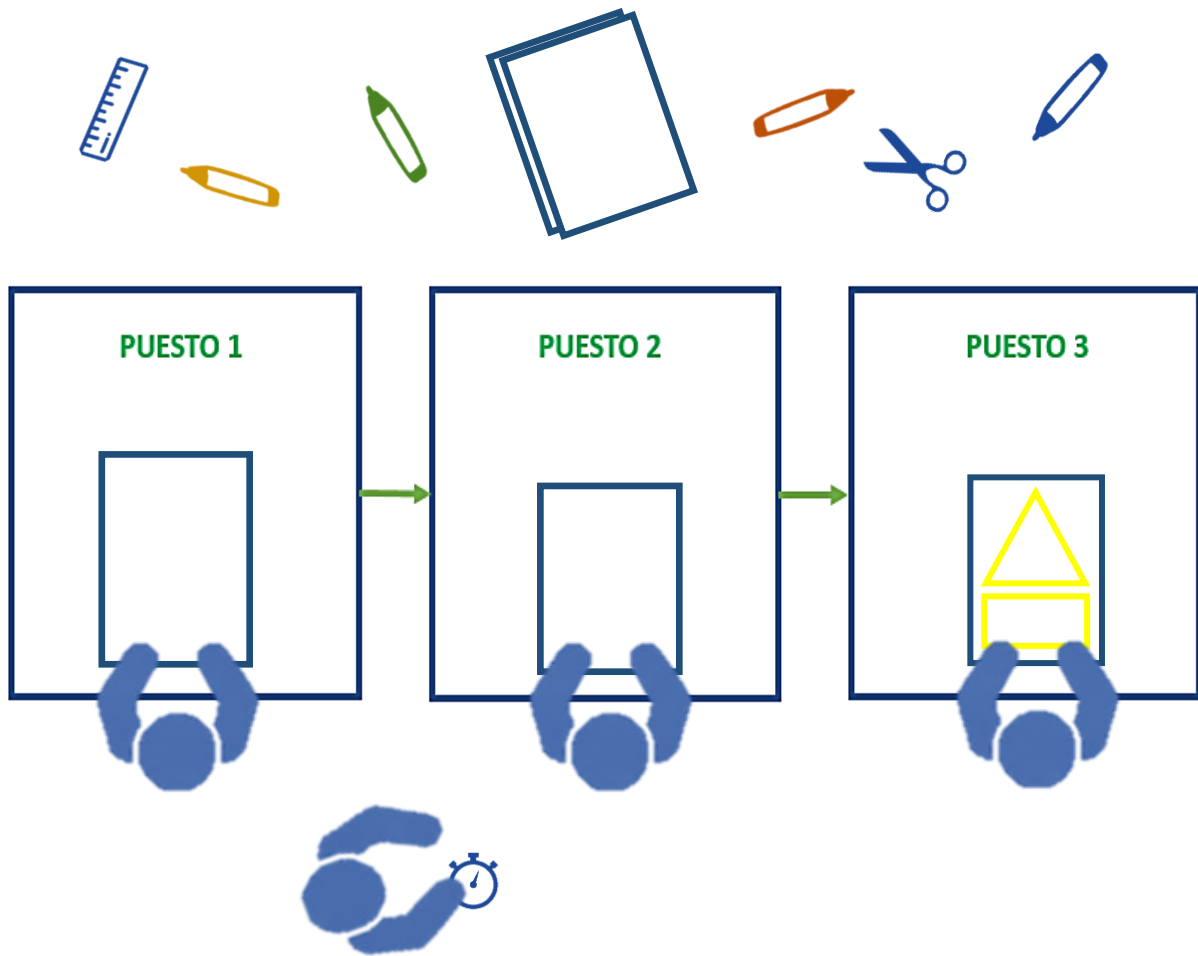


Figura 13. Puestos de la línea de producción en la Etapa 0. Fuente: elaboración propia.



Figura 14. Escenario inicial en la implementación de la Etapa 0. Fuente: elaboración propia.

Puesto 1:

Como se ha mostrado en la Tabla 5, el jugador número 1 parte de un folio en blanco tamaño A4, un lapicero, una regla métrica y unas tijeras.

En este puesto, se ha de cortar el folio al tamaño de placa de la señal que se vaya a fabricar, como ya se sabe:

Simple 155x160

Compuesta 180x250

Para ello, el jugador ha de medir y marcar cada una de las cotas mostradas en la Figura 6 varias veces, pues al contar únicamente con una regla métrica, es preciso asegurarse de que el trazo de la línea no desvía su dirección y cumple las especificaciones del cliente. Posteriormente ha de recortar el folio siguiendo los trazos y, finalmente, pasarle la placa obtenida al jugador del puesto 2.

A continuación, se muestra el desarrollo del puesto 1:

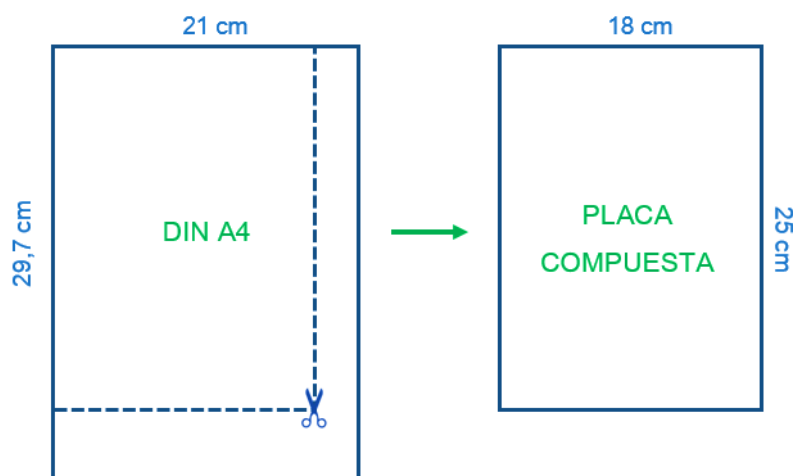


Figura 15. Desarrollo del puesto 1 en la Etapa 0. Fuente: elaboración propia

Puesto 2:

El jugador número 2 parte de la placa que le ha proporcionado el jugador número 1, una regla métrica y rotuladores de los colores.

En este puesto se ha de dibujar el contorno de la señal demandada por el cliente, teniendo en cuenta las dimensiones de la forma a dibujar y el rótulo, así como el valor de las cotas mostradas en las especificaciones de la señal a fabricar, como se observa en la Figura 13 (medidas en milímetros).

Una vez concluido su trabajo, el jugador del puesto 2 ha de pasarle la señal al jugador 3, encargado de la verificación de la calidad del producto, y situado aguas abajo en la línea de fabricación.

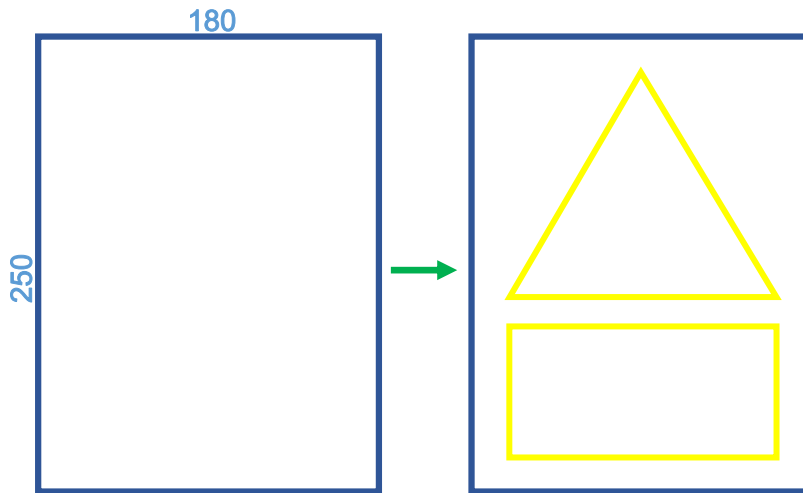


Figura 16. Desarrollo del puesto 2 en la Etapa 0. Fuente: elaboración propia.

Puesto 3:

El jugador número 3 ha de comprobar que las cotas geométricas y dimensionales del producto final cumplen con las especificaciones.

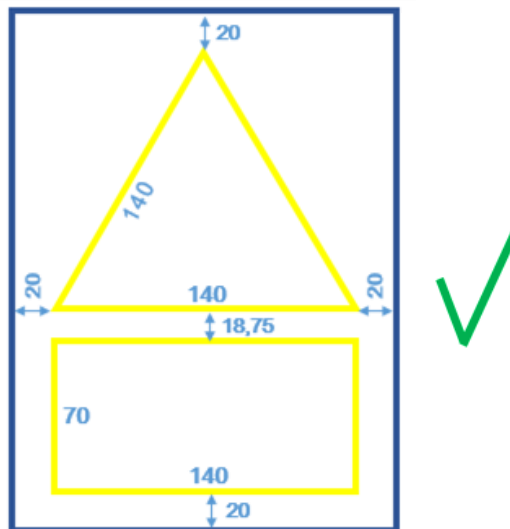


Figura 17. Desarrollo del puesto 3 en la Etapa 0. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestran imágenes del desarrollo de los puestos 1, 2 y 3 en la Etapa 0 del juego. En la Figura 18 se observa la fabricación de una señal compuesta de peligro en los puestos de la línea de fabricación; de izquierda a derecha: corte de placas, fabricación principal y verificación de las especificaciones.

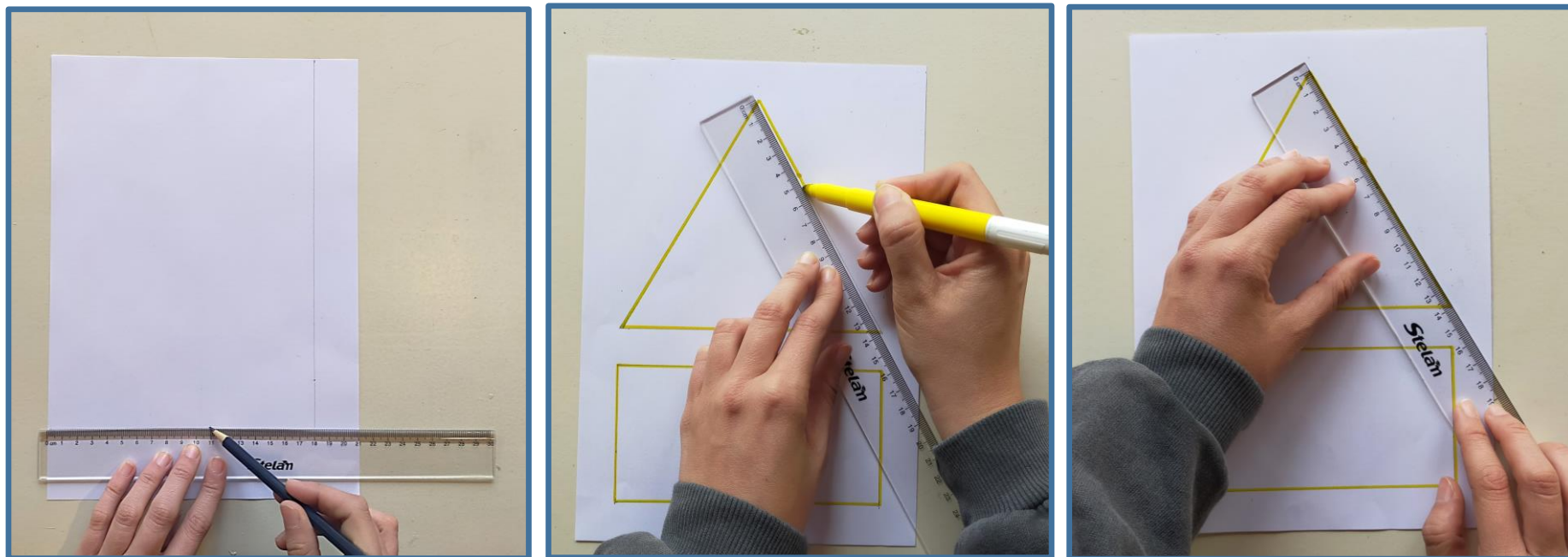


Figura 18. Implementación de la línea de producción de la Etapa 0.

Fuente: elaboración propia.

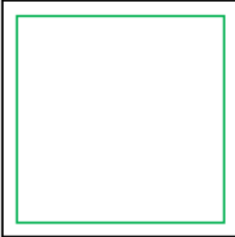
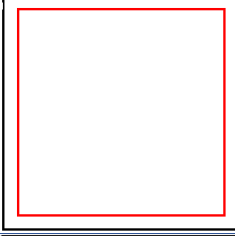
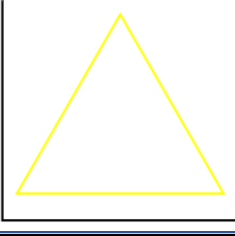
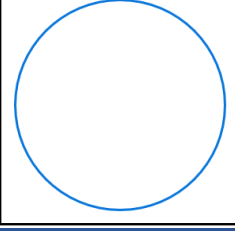
• **Resultados**

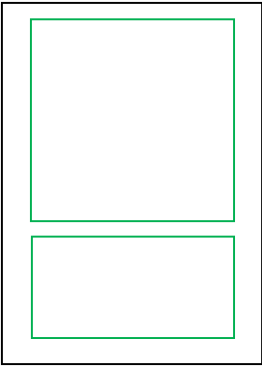
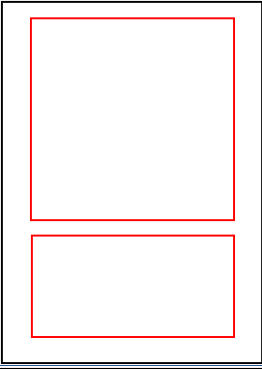
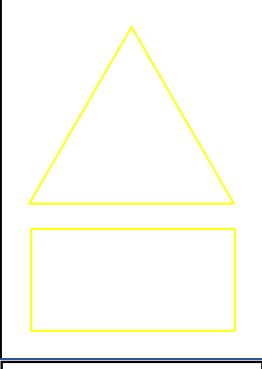
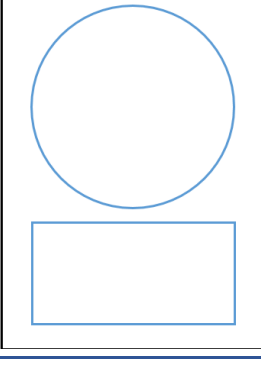
A continuación, se muestra una tabla en la que aparecen los tiempos medios de preparación de cada tipo de señal. Para su obtención, se ha hecho la media aritmética de los tiempos de preparación obtenidos tras varias simulaciones.

Como se observa en la Tabla 6, los tiempos se encuentran recogidos en la última columna. En ella se puede observar, para cada puesto (P1, P2 y P3) el tiempo medio que cada jugador emplea en la realización de su tarea.

Tabla 6. Tiempos de preparación medios en la Etapa 0.

Fuente: elaboración propia.

Tipo de señal			t preparación	
Simple	Salvamento o socorro		P1	1' 36"
			P2	2' 21"
			P3	0' 27"
	Lucha contra incendios		P1	1' 37"
			P2	2' 20"
			P3	0' 26"
	Advertencia o Peligro		P1	1' 42"
			P2	2' 33"
			P3	0' 23"
	Obligación		P1	1' 40"
			P2	4' 55"
			P3	0' 28"

Compuesta	Salvamento o socorro		P1	1' 51"
			P2	4' 05"
			P3	0'52"
	Lucha contra incendios		P1	1' 49"
			P2	4' 02"
			P3	0'51"
	Advertencia o Peligro		P1	1' 39"
			P2	3' 54"
			P3	0'45"
	Obligación		P1	1' 37"
			P2	6' 37"
			P3	0'47"

Seguidamente, se realiza un pequeño análisis de los tiempos recogidos en la simulación de la etapa 0:

En esta etapa, puesto que únicamente hay que preparar los materiales de medida y dibujo y que no hay que realizar ajustes en los útiles de fabricación, los cambios de lote no influyen en los tiempos de preparación. Esto es, los tiempos de preparación

resultantes en la fabricación de una señal simple de peligro (como ejemplo) van a mantenerse prácticamente constantes, independientemente de que la señal fabricada previamente haya sido simple o compuesta.

Como se observa en la Tabla 6, existe una diferenciación notable de los tiempos de operación realizados en cada puesto, para la fabricación de un mismo tipo de señal. Esta diferencia se pretende homogeneizar en fases posteriores, equilibrando la carga de trabajo de cada puesto, con el objetivo de evitar posibles cuellos de botella.

Además de comparar la carga de trabajo que tiene cada jugador en esta etapa, hay que analizar la diferencia de tiempos que existe para cada puesto de la línea de fabricación:

- **Puesto 1:** los tiempos del puesto de corte de placas son bastante similares entre sí. Esto se debe a que las operaciones a realizar no dependen de la señal a fabricar.

Aun así, hay varios puntos que justifican las pequeñas variaciones:

- Las dimensiones de placa de las señales varían entre señales simples y compuestas, siendo superiores en el caso de las compuestas. Esto se puede traducir en un ligero incremento del tiempo de operación en el corte de este tipo de placas.
 - La variación existente en los tiempos de fabricación de placas del mismo tipo de señal se debe a factores diversos, como puede ser la falta de habilidad del jugador en la toma de medidas.
- **Puesto 2:** en el caso de los tiempos del puesto de la fabricación principal de la señal, es preciso resaltar varios aspectos:
 - Existe una diferenciación entre los tiempos de elaboración de las señales simples y compuestas, siendo superiores en el segundo caso. Esto es debido a que, en el caso de las señales compuestas, aparte de la forma de la señal en cuestión, hay que realizar la impresión del rótulo de esta.
 - Se observa un notable incremento del tiempo empleado en la producción de las señales de obligación. Esto es debido a que, en la fase 0, los materiales

proporcionados a los jugadores resultan insuficientes para la elaboración de trazos curvos, teniendo que realizarlos manualmente.

- **Puesto 3:** los tiempos de verificación se diferencian en dos grupos, dependiendo del tipo de señal a comprobar. Los tiempos de verificación de las señales compuestas son aproximadamente el doble que los de las señales simples. Esto se debe al incremento del número de cotas a comprobar en las señales con rótulo.

Tras el desarrollo de la etapa 0 se realiza un cuestionario a los jugadores en el que aparecen las dificultades e inconvenientes detectados en el desempeño de su puesto.

Tabla 7. Inconvenientes en la línea de producción de la Etapa 0. Fuente: elaboración propia.

Puesto 1	La toma de medidas requiere elevado periodo de tiempo.
	La escasez de material supone una dificultad en el correcto trazado de las líneas de los contornos de las placas.
Puesto 2	La toma de medidas requiere elevado periodo de tiempo.
	Resulta complicado realizar las formas de las señales y el rótulo con una sola regla métrica sin que se realicen desviaciones en el paralelismo y perpendicularidad de las líneas.
	Las placas provenientes del puesto 1 cuentan con defectos. Por ello, es difícil cumplir con las cotas dimensionales que demanda el cliente.
Puesto 3	El método manual de verificación conlleva elevado tiempo, pues requiere la comprobación de múltiples medidas.
	Trabajar con métodos manuales en los dos puestos anteriores tiene como resultado un producto final con inexactitudes encadenadas difíciles de corregir.

5.2 Etapa 1

En la dinámica de la etapa 1 se tienen en cuenta las dificultades encontradas en la etapa 0 y se realiza una pequeña modificación en el material proporcionado, para facilitar la labor de la fabricación de las señales en los puestos de la línea de producción.

El objetivo de incrementar la ayuda proporcionada a los trabajadores es disminuir con respecto a la etapa anterior los tiempos de preparación y de fabricación de los diferentes tipos de señales. Así pues, cada vez se estará más cerca del fin último del juego, en el que sea rentable realizar una fabricación por lotes de pequeño tamaño que se puedan adaptar a los cambios en la demanda del cliente.

- **Material del juego**

Tabla 8. Material de juego para la Etapa 1. Fuente: elaboración propia.

JUGADOR 1	1. Especificaciones del producto
	2. Reglas: métrica
	3. Goma y lapicero
	4. Tijeras
	5. Láminas: folios cuadriculados tamaño A4
JUGADOR 2	6. Especificaciones del producto
	7. Placas de impresión (provenientes del Jugador 1)
	8. Regla métrica
	9. Rotuladores: amarillo, rojo, verde y azul
JUGADOR 3	10. Especificaciones del producto
	11. Regla métrica
JUGADOR 4	12. Cronómetro
	13. Libreta y bolígrafo para anotaciones

- **Desarrollo**

Como se muestra en la Tabla 8, el cambio que sufre esta etapa con respecto a la anterior es el material proporcionado para la elaboración de las placas de las señales, siendo el resto de la dinámica igual que la de la etapa 0.

Se tiene en cuenta las dificultades encontradas en la etapa anterior en cuanto al trazado de líneas que cumplan las cotas dimensionales y geométricas especificadas por el cliente. Por ello, se cuenta con un folio cuadriculado con divisiones milimétricas, que facilite el proceso de dibujo.

Puesto que el folio aparte de divisiones milimétricas tiene divididos y marcados los centímetros mediante líneas gruesas (10 cuadraditos de lado 1 milímetro) los jugadores de los puestos 1 y 2 no precisan de la regla métrica para marcar la cota correspondiente. Aparte de facilitar el proceso de medición, el hecho de que el folio esté compuesto por estas divisiones facilita que la trayectoria del trazo de las señales cumpla con las especificaciones.

Al igual que para la etapa anterior, se muestra a continuación, para cada puesto de la línea de fabricación, la situación de partida de cada jugador, así como el resultado final que deben obtener.

Puesto 1:

El jugador número 1 parte de un folio con cuadrícula milimétrica tamaño A4, un lapicero, una regla métrica y unas tijeras.

Teniendo en cuenta las características del folio del que se parte, para recortar el tamaño de la placa a fabricar, el jugador ha de seguir la línea de la cuadrícula que corresponda con la numeración de las dimensiones de la placa.

Como ejemplo, para fabricar una placa de una señal compuesta (180x250mm), el jugador que ocupa el puesto 1 ha de recortar el papel por las líneas divisorias que muestran la numeración 18 y 25.

A continuación, se muestra un croquis del desarrollo del puesto número 1:

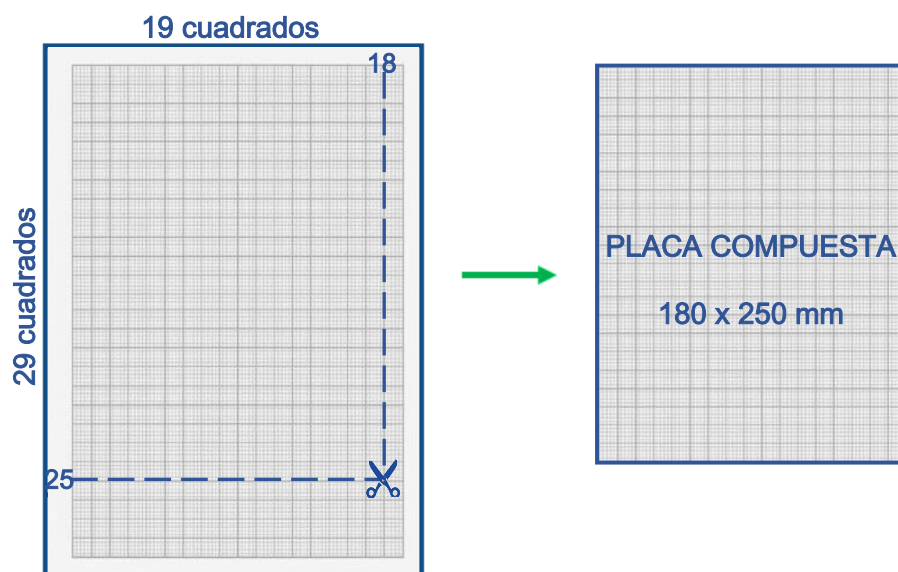


Figura 19. Desarrollo del puesto 1 en la Etapa 1. Fuente: elaboración propia

Puesto 2:

En esta etapa, al contar con la cuadrícula de la placa como guía, es más sencillo dibujar la señal respetando el valor de las especificaciones geométricas y dimensionales.

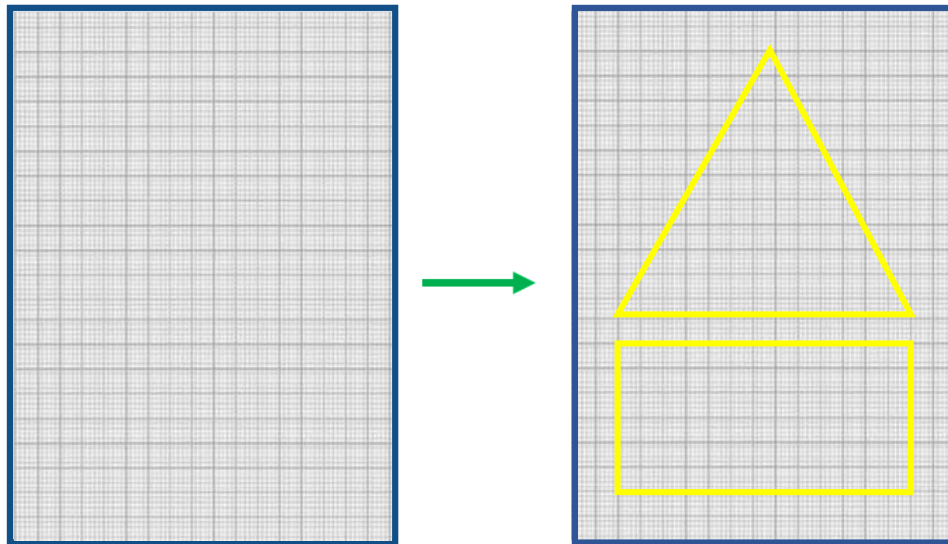


Figura 20. Desarrollo del puesto 2 en la Etapa 1. Fuente: elaboración propia.

Puesto 3:

El jugador número 3 ha de comprobar las cotas geométricas y dimensionales de la señal recibida del jugador número 2. Esta tarea se realiza mediante un golpe de vista teniendo en cuenta el número de cuadritos que ha de guardar cada especificación dimensional.

Teniendo en cuenta las modificaciones realizadas en esta etapa, con el objeto de facilitar el trabajo a los jugadores y mejorar la calidad de los productos terminados, en el puesto 3, se prevé disminuir el número de productos terminados desechados por errores en el dimensionamiento de las señales, así como en la precisión de su fabricación.

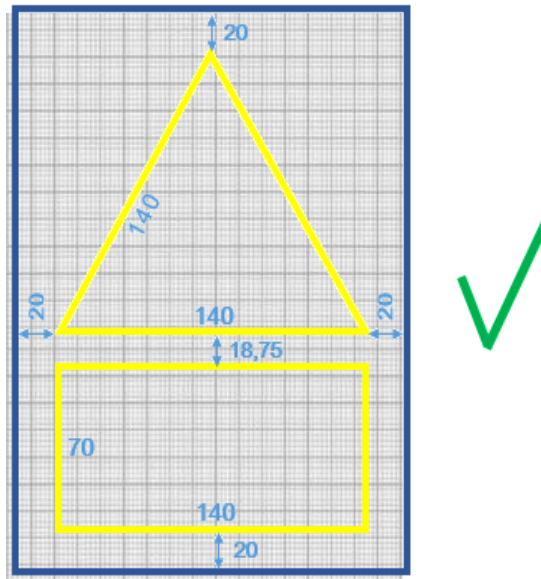


Figura 21. Desarrollo del puesto 3 en la Etapa 1.

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 22 se muestra el desarrollo de los tres puestos de la línea de fabricación en la Etapa 1 del juego. En las imágenes aparece la producción de una señal compuesta de peligro; de izquierda a derecha: puesto de corte de placas, puesto de fabricación principal y puesto de verificación de las especificaciones.

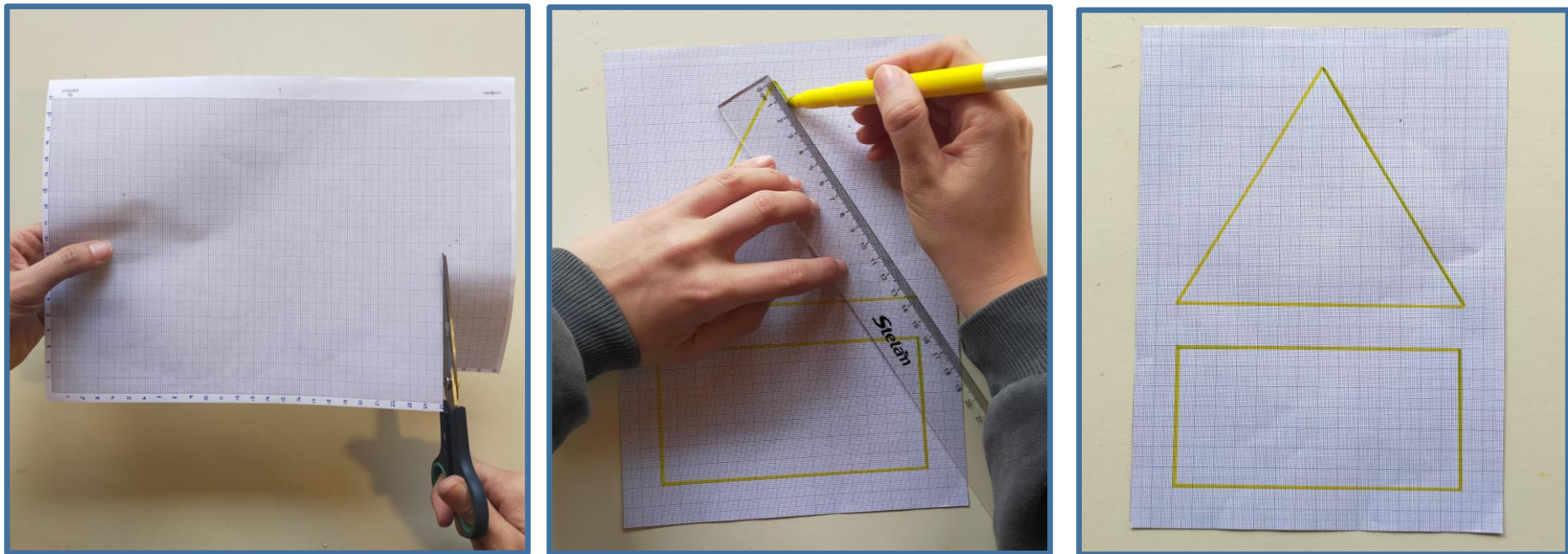


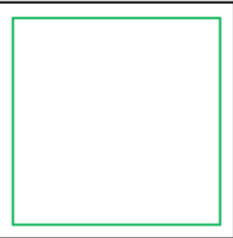
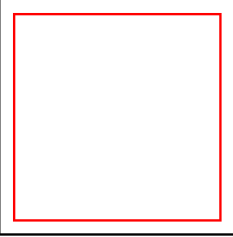
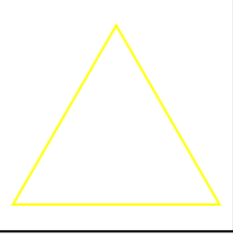
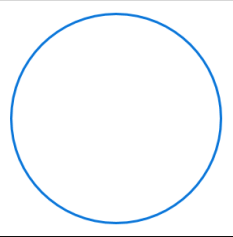
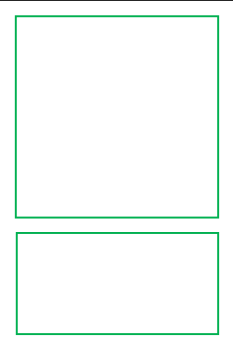
Figura 22. Implementación de la línea de producción de la Etapa 1. Fuente: elaboración propia.

• **Resultados**

De igual modo que para la etapa anterior, se muestra, a continuación, una tabla en la que aparecen los tiempos medios de preparación de cada tipo de señal.

Tabla 9. Tiempos de preparación medios en la Etapa 1.

Fuente: elaboración propia.

Tipo de señal			t preparación	
Simple	Salvamento o socorro		P1	1' 25"
			P2	1' 45"
			P3	0' 12"
	Lucha contra incendios		P1	1' 21"
			P2	1' 41"
			P3	0' 13"
	Advertencia o Peligro		P1	1' 16"
			P2	1' 17"
			P3	0' 11"
	Obligación		P1	1' 07"
			P2	3' 19"
			P3	0' 15"
Salvamento o socorro		P1	1' 31"	
		P2	2' 25"	
		P3	0' 18"	

Compuesta	Lucha contra incendios		P1	1' 18"
			P2	2' 20"
			P3	0' 16"
	Advertencia o Peligro		P1	1' 07"
			P2	2' 23"
			P3	0' 22"
	Obligación		P1	1' 08"
			P2	3' 57"
			P3	0' 16"

En la Tabla 9 se puede ver que los tiempos de preparación han disminuido con respecto a la etapa anterior, produciéndose la disminución más notable en el puesto 2, correspondiente a la fabricación principal de la placa. Así pues, el hecho de incluir una hoja cuadrículada como material de trabajo ha facilitado en gran medida el desarrollo de la “impresión” de la señal.

Además, ya no solo ha supuesto una disminución del tiempo de fabricación, sino que el número de productos terminados defectuosos se ha visto disminuir. Aunque siga siendo un trabajo manual, fallar en la fabricación de las placas o en el dibujo de las señales es más complicado, al tener como guías las divisiones milimétricas.

De igual modo que para la fase anterior, se analiza la diferencia de tiempos que existe para cada puesto de la línea de fabricación:

- **Puesto 1:** los tiempos del puesto de corte de placas disminuyen unos segundos con respecto a la fase anterior. Esto se debe a las operaciones de medida se realizan de manera más sencilla a través de la numeración con la que cuenta la cuadrícula del folio de partida. Factores como la práctica y la habilidad del jugador que ocupe el puesto van a influir en la ganancia o disminución de tiempo en el corte de las placas.
- **Puesto 2:** los tiempos relativos al puesto 2 disminuyen notablemente con respecto a la fase anterior, puesto que incluir guías verticales y horizontales en el papel de trabajo facilita el trazado de las señales. Además de suponer una disminución en el tiempo de fabricación, la probabilidad de que las especificaciones geométricas se cumplan es mayor que en la etapa 0, donde era frecuente encontrar señales en las que fallaba el paralelismo y perpendicularidad entre líneas.

Pese a esto, el tiempo empleado en la producción de las señales de obligación sigue siendo muy superior al resto. Esto supone un cuello de botella en la línea de fabricación que va a incrementar el stock intermedio de las placas de impresión entre los puestos 1 y 2.

Para solventar este problema, es preciso disminuir las operaciones de trabajo manual realizadas hasta el momento en la impresión de señales y sustituirlas por operaciones donde el factor humano no sea la causa principal de los defectos realizados en la fabricación.

- **Puesto 3:** los tiempos del último puesto de la línea de fabricación disminuyen con respecto a la fase anterior ya que, al contar con la cuadrícula, verificar las cotas dimensionales se vuelve una tarea sencilla que se realiza en varios golpes de vista.

Tras la ejecución de la fase 1, los jugadores comparten las dificultades e inconvenientes que siguen viendo en el proceso de fabricación, recogidos en la Tabla 10:

Tabla 10. Inconvenientes en la línea de producción de la Fase 1.

Fuente: elaboración propia.

Puesto 1	La metodología manual de corte requiere elevado periodo de tiempo.
	Resulta complicado realizar cortes rectos y sin desviaciones mediante el sistema de corte manual.
Puesto 2	El dibujo a mano alzada de las señales que no están compuestas por líneas rectas supone un cuello de botella en el puesto.
	Resulta complicado realizar señales idénticas dentro de un mismo lote, al tratarse de una fabricación tan manual con escasos utensilios.
Puesto 3	Es sencillo equivocarse en la comprobación de las cotas dimensionales con este método de verificación.

6. INCORPORACIÓN DE LA MAQUETA: DINÁMICA CON AYUDA DE MATERIAL

En este apartado, en el que se desarrolla la etapa 2 del juego, se pretende incrementar la ayuda proporcionada a los jugadores. Para ello y, con el objetivo de solventar los inconvenientes que se encontraron en la dinámica de la etapa anterior, se modifica el desempeño del puesto 2, que supone un cuello de botella en la línea de fabricación.

Es por ello por lo que, en esta fase, el jugador número dos cuenta con una maqueta que va a disminuir el tiempo de preparación del puesto y a uniformizar los tiempos de la fabricación de cada una de las señales, independientemente del tipo que sean.

De igual modo que para las etapas anteriores, a continuación, se muestra el material que se precisa, el desarrollo de la dinámica y los resultados obtenidos en cada uno de los puestos de la etapa 2:

- **Material de juego:**

Tabla 11. Material de juego para la Etapa 2.

Fuente: elaboración propia.

JUGADOR 1	1. Reglas: métrica
	2. Goma y lapicero
	3. Tijeras
	4. Láminas: papel cuadriculado tamaño A4
JUGADOR 2	5. Maqueta: base, ajustador vertical, ajustador horizontal (x2)
	6. Plantillas: triángulo (x2), cuadrado (x2), círculo (x2), rectángulo
	7. Tornillos M5x40 y tuercas M5 (x10)
	8. Llave manual
	9. Rotuladores: amarillo, rojo, verde y azul
JUGADOR 3	10. Regla métrica
	11. Especificaciones del producto
JUGADOR 4	12. Cronómetro
	13. Libreta y bolígrafo para anotaciones

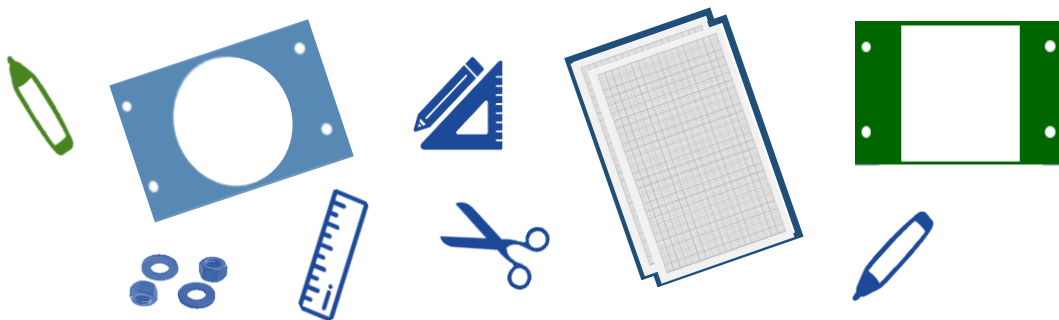
- **Desarrollo**

Como se ha introducido anteriormente, se diseña una maqueta para el puesto principal de fabricación con la que se pretende fabricar de un modo no tan manual, que unifique la calidad y el tiempo de fabricación de los productos, disminuya los procesos manuales de medición y dibujo empleados en las dos fases anteriores, en las que el fallo humano cobra gran importancia.

Además, la inclusión de la maqueta como modo “automático” de fabricación va a minimizar el deshecho de productos terminados con baja calidad, pero va a comprometer el tiempo de preparación de los lotes. Es por ello por lo que, en el Apartado 5, se aplican las fases de la herramienta SMED a la dinámica de esta etapa, con el objetivo de minimizar dichos tiempos.

En esta etapa, el puesto 1 y el puesto 3 no modifican su dinámica, siendo esta igual que en las etapas 0 y 1.

En la Figura 23, se muestra una vista en planta simplificada de la línea de producción, así como el flujo que esta sigue.



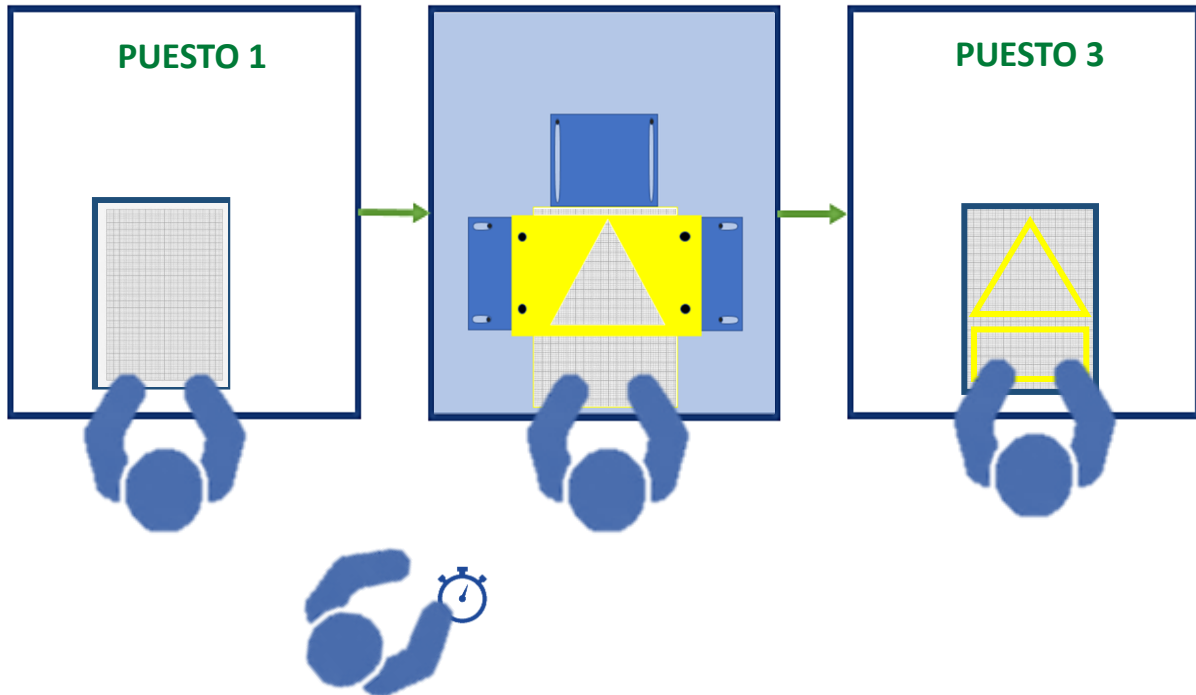


Figura 23. Puestos de la línea de producción en la Etapa 2.

Fuente: elaboración propia

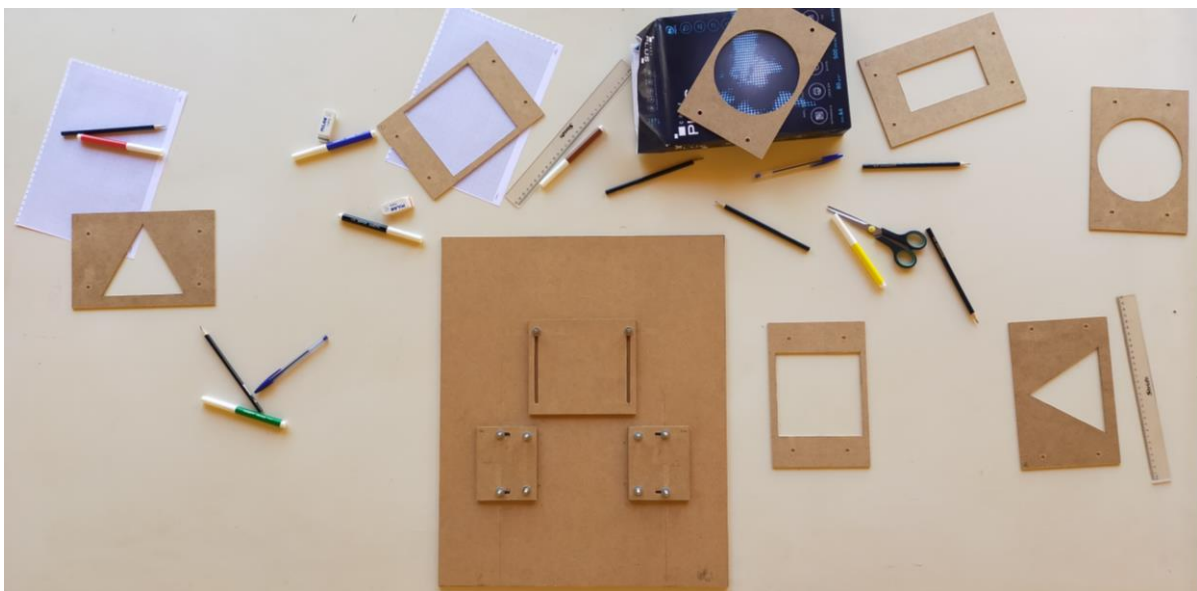


Figura 24. Escenario inicial en la implementación de la Etapa 2.

Fuente: elaboración propia.

Puesto 1:

El puesto inicial mantiene la dinámica de la Etapa 1, siendo el objetivo principal de esta fase disminuir las operaciones manuales en la fabricación del puesto principal de las señales que comprometen la calidad del producto terminado y generan cuellos de botella en la fabricación de las señales de obligación.

Puesto 2:

Como se ha mencionado anteriormente, el jugador número dos cuenta con una maqueta para agilizar la fabricación de las señales y uniformizar la calidad de los productos terminados, disminuyendo la posibilidad de que se produzca un error humano en el trazo de líneas y toma de medidas.

La maqueta consta de cuatro partes claramente diferenciadas:

- 1.- Base
- 2.- Ajustador vertical
- 3.- Ajustadores horizontales
- 4.- Plantillas

En las Figuras 25 y 26 se muestra una vista en tres dimensiones de la maqueta:

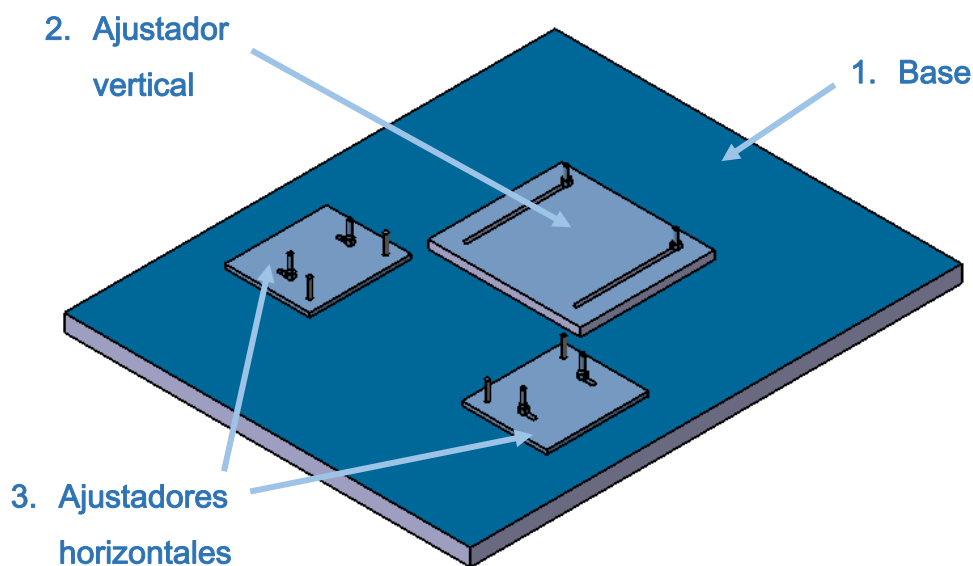


Figura 25. Vista 3D del diseño de la maqueta.

Fuente: elaboración propia

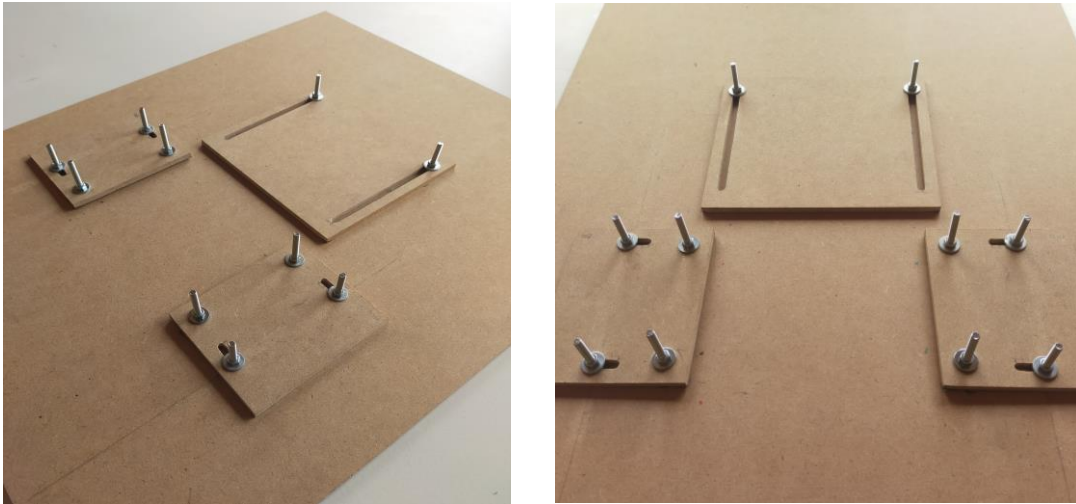


Figura 26. Vistas 3D de la maqueta. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se realiza una descripción detallada de cada una de las partes:

1.- Base:

La base está formada por una placa rectangular de dimensiones 480x580 milímetros. En ella, se encuentran anclados seis tornillos de M5x40 mm, como se muestra en la Figura 27, que van a permitir el desplazamiento relativo de los ajustadores con respecto a esta.

La base es el elemento que constituye la superficie de apoyo de las placas para que puedan ser impresas.

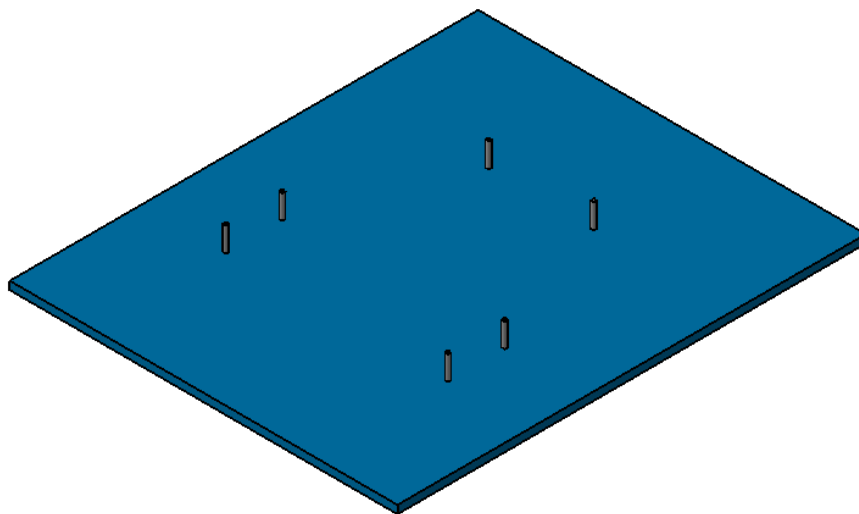


Figura 27. Vista 3D del diseño de la base.

Fuente: elaboración propia.

2.- Ajustador vertical:

El ajustador vertical está formado por una placa rectangular de dimensiones 180x158 mm. Su función principal es posicionar la placa a lo largo del eje vertical en el espacio de trabajo. Esto es necesario debido a que la impresión de la forma y del rótulo se realizan en posiciones diferentes, en la parte superior e inferior de la placa de la señal, respectivamente.

Para lograr un posicionamiento correcto, el ajustador vertical consta de dos ranuras laterales (Figura 28) por las cuales se introducen dos de los tornillos que se encuentran anclados a la base. Así pues, el ajustador se puede deslizar sobre la base, modificando su posición relativa con respecto a esta en el eje vertical.

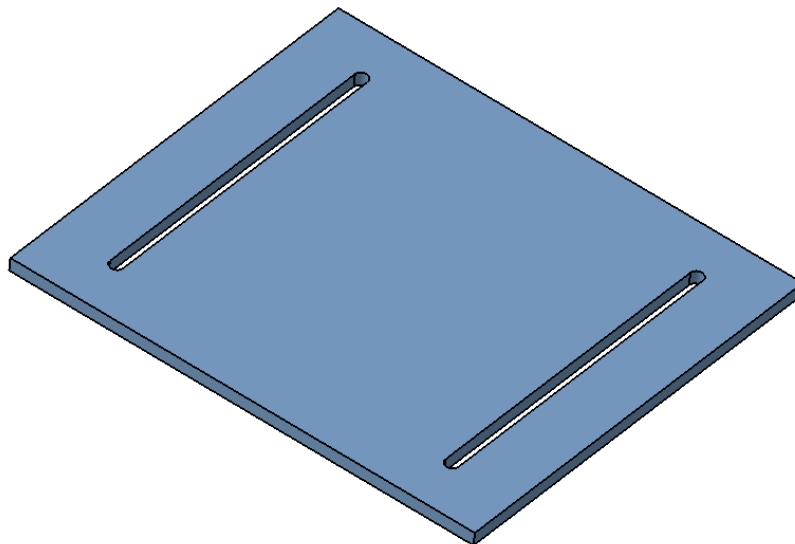


Figura 28. Vista 3D del diseño del ajustador vertical. Fuente: elaboración propia

En el presente juego, son dos las posiciones que tiene el ajustador vertical con respecto a la base, las cuales coinciden con los extremos de las ranuras de este segundo elemento.

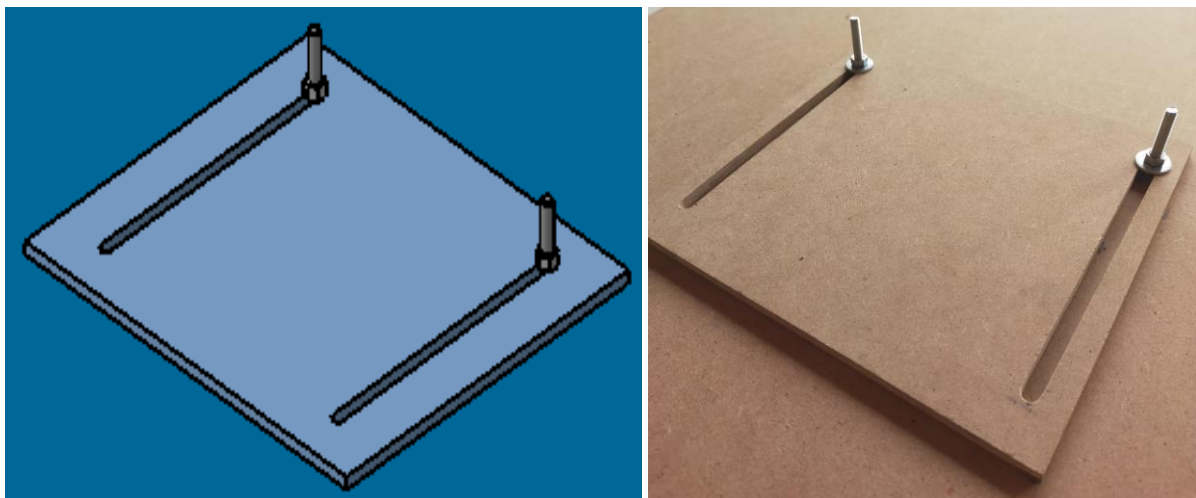
Para lograr que el ajustador mantenga una posición fija con respecto a la base, se realiza un anclaje mediante una arandela y el apriete de una tuerca que van a impedir el movimiento del ajustador a una posición indeseada.

A continuación, se explican los dos ajustes posibles:

- *Ajuste 1:* impresión de la forma de la señal

Cuando se quiera realizar la impresión de la forma de una señal, el ajustador vertical ha de estar posicionado de forma que los tornillos de la base se encuentren en la parte superior de las ranuras del ajustador, como se muestra en la Figura 29.

Una vez alcanzada esta posición, el ajustador se anclará apretando las tuercas que se encuentran en la rosca de los tornillos anclados a la base.



a)

a) Vista 3D del diseño.

b)

b) Vista 3D de la implementación.

Figura 29. Ajustador vertical en posición de impresión de la forma de la señal.

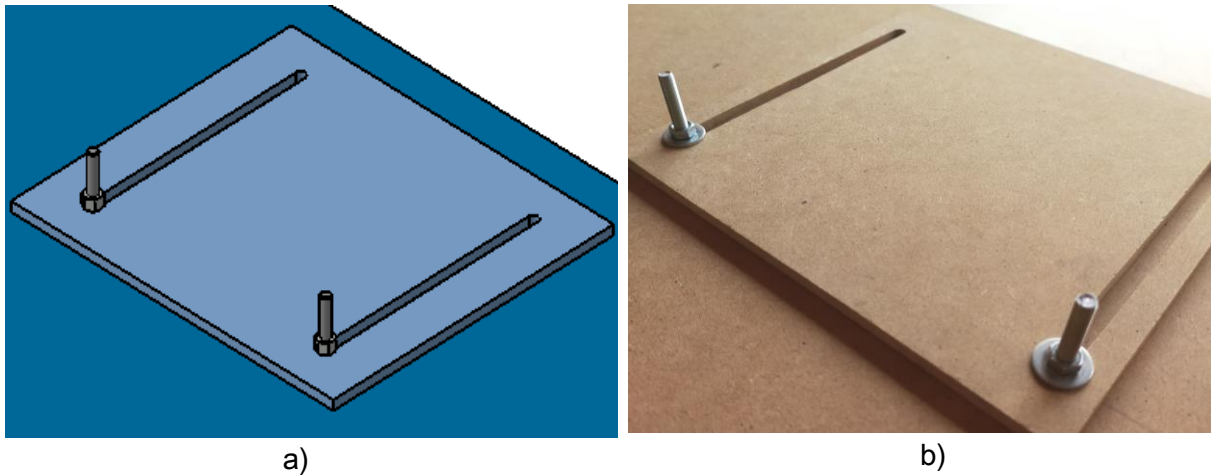
Fuente: elaboración propia.

- *Ajuste 2:* impresión del rótulo de la señal

Cuando se quiera realizar la impresión del rótulo de una señal, el ajustador vertical ha de estar posicionado de forma que los tornillos de la base se encuentren en la parte inferior de las ranuras del ajustador, como se muestra en la Figura 30.

Este ajuste solo será necesario realizarlo cuando se vaya a fabricar un lote de señales compuestas, es decir, en las que haya que imprimir el rótulo en la parte inferior de la placa.

De igual modo que en el ajuste anterior, una vez alcanzada la posición deseada, el ajustador se anclará mediante el apriete de las tuercas.



a)

a) Vista 3D del diseño.

b)

b) Vista 3D de la implementación.

Figura 30. Ajustador vertical en posición de impresión del rótulo de la señal.

Fuente: elaboración propia.

3.- Ajustadores horizontales:

Cada ajustador horizontal está formado por una placa rectangular de dimensiones 100x120 mm con dos ranuras horizontales situadas en la parte superior e inferior de esta, así como dos agujeros en los que irá anclado un tornillo (Figura 31).

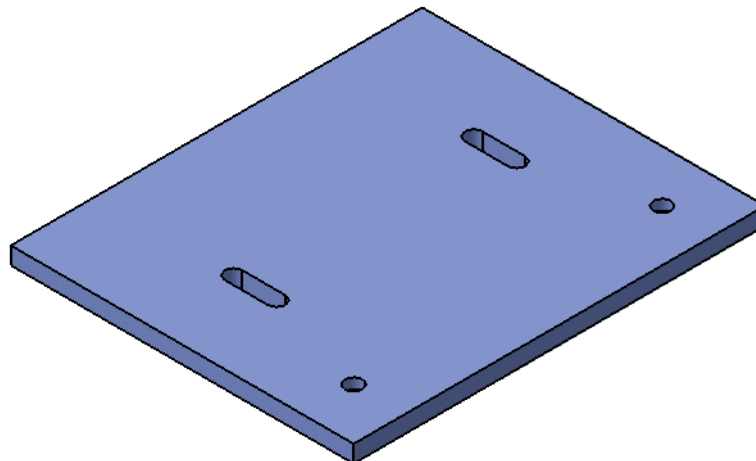


Figura 31. Vista 3D del diseño del ajustador horizontal. Fuente: elaboración propia.

Son dos las funciones principales las que tienen los ajustadores horizontales:

1. *Posicionamiento horizontal*: posicionar horizontalmente la placa en el espacio de trabajo para lograr que la impresión de la forma y el rótulo se realice en el lugar adecuado.

II. Sujeción de las plantillas: además de posicionar horizontalmente la placa en la base, los ajustadores horizontales son el elemento de sujeción de las plantillas para la fabricación de las diversas señales.

En la maqueta se contará con 2 ajustadores de este tipo, cuyas funciones se detallan a continuación:

I. Posicionamiento horizontal

El posicionamiento de la placa a lo largo del eje horizontal en el espacio de trabajo es imprescindible pues, como se ha explicado anteriormente, los tamaños de placa varían dependiendo de si se trata de señales simples (solo forma) o de señales compuestas (forma y rótulo).

Así pues, mediante el ajustador horizontal se regulará la anchura del espacio de trabajo, dependiendo del tamaño de placa que precise la señal a fabricar, para lograr que la impresión de las señales se realice en el lugar adecuado, cumpliendo con las especificaciones del producto.

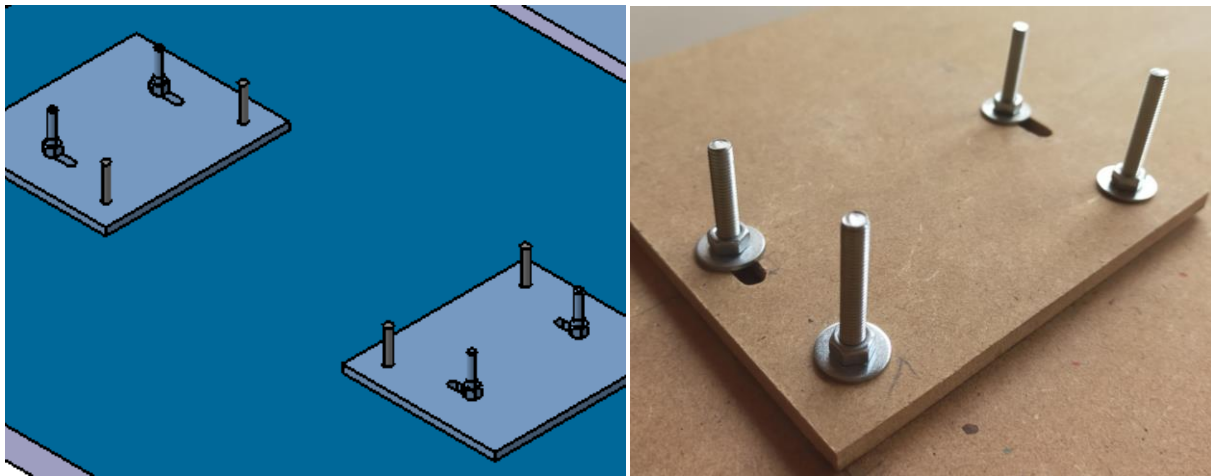
Como se sabe, los ajustadores horizontales cuentan con dos ranuras, una situada en la parte superior y otra en la parte inferior, por las cuales se introducen dos de los tornillos anclados a la base de la maqueta. De este modo, se puede variar la posición relativa del ajustador con respecto a la base a lo largo del eje horizontal y fijar la posición deseada apretando mediante el apriete de una tuerca.

Al igual que sucedía con el ajustador vertical, son dos las posiciones que se precisan alcanzar para la correcta fabricación de las señales, las cuales coinciden con los extremos de las ranuras de los ajustadores horizontales.

A continuación, se explican los dos ajustes posibles:

- *Ajuste 1: impresión en señales simples*

Como se ha explicado anteriormente, la placa de las señales simples tiene un ancho de 155 mm. Para adecuar el espacio de trabajo a esta medida, los ajustadores horizontales han de estar posicionados de forma que los tornillos de la base se encuentren en la parte externa de las ranuras del ajustador, como se muestra en la Figura 32.



a)

b)

a) Vista 3D del ajuste.

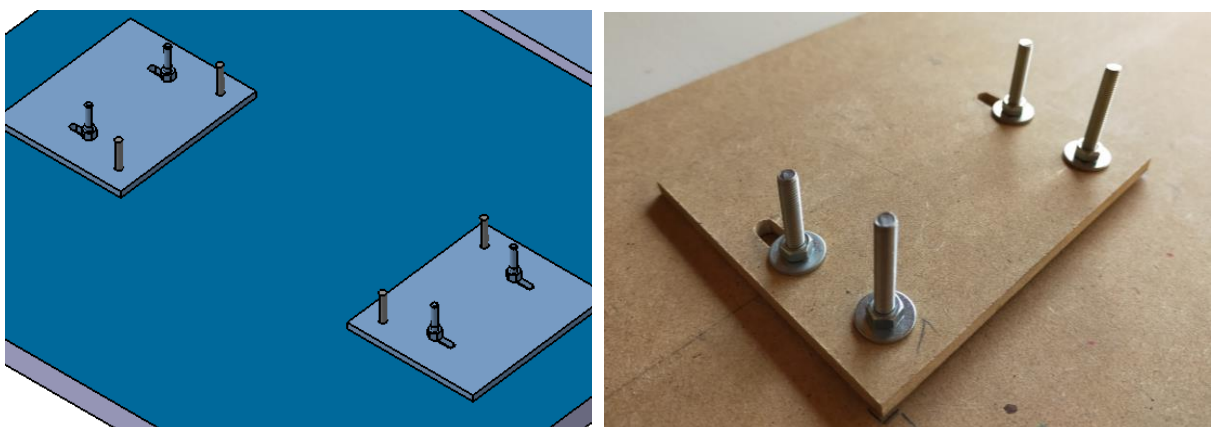
b) Detalle del ajuste.

Figura 32. Ajustador horizontal en posición de impresión de señales simples.

Fuente: elaboración propia.

- *Ajuste 2*: impresión en señales compuestas

Debido a que la placa de las señales compuestas tiene un ancho de 180 mm, superior al de las simples, para realizar este ajuste los tornillos se deben llevar hasta la parte interna de las ranuras de los ajustadores, de forma que la distancia horizontal entre ajustadores se incremente, como se muestra en la Figura 33.



a)

b)

a) Vista 3D del ajuste.

b) Detalle del ajuste.

Figura 33. Ajustador horizontal en posición para la impresión de señales compuestas.

Fuente: elaboración propia.

II. Sujeción de las plantillas empleadas para dibujar señales y rótulos

Además de servir como posicionador, los ajustadores horizontales cuentan con dos tornillos de M5X40 mm anclados en uno de sus laterales, que van a servir para sujetar la plantilla de la forma que se precise imprimir, como se muestra en la Figura 34.

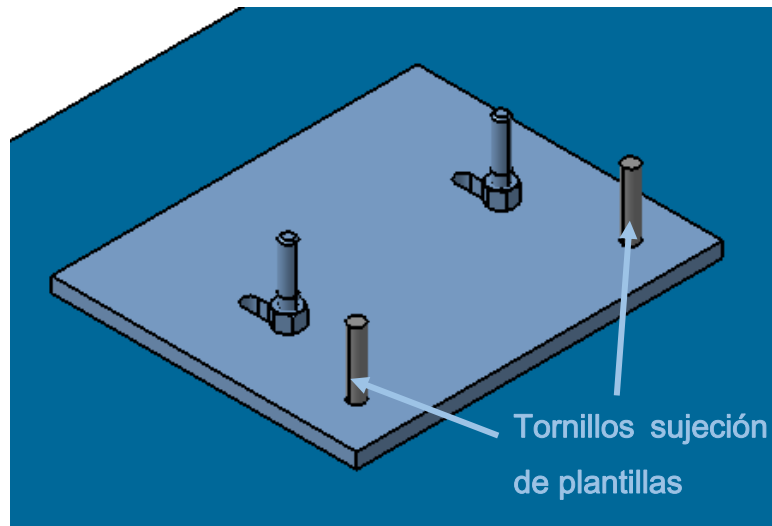


Figura 34. Tornillos de los ajustadores horizontales para la sujeción de las plantillas.

Fuente: elaboración propia.

4.- Plantillas

Las plantillas son placas rectangulares de dimensiones 240x160 mm que tienen en su interior tallada la forma de las diferentes señales (triángulo, círculo y cuadrado) y del rótulo (rectángulo), de modo que van a permitir realizar la impresión de las señales en las placas.

Como se acaba de explicar, la anchura del espacio de trabajo varía dependiendo de si se va a fabricar una señal simple o una señal compuesta. Así pues, la distancia entre los ajustadores horizontales va a variar, y con ello, también va a variar la distancia entre los tornillos que se encuentran anclados a estos y que van a servir para sujetar las plantillas. Es por ello por lo que se va a realizar una clara diferenciación de las plantillas dependiendo del tipo de señal a fabricar:

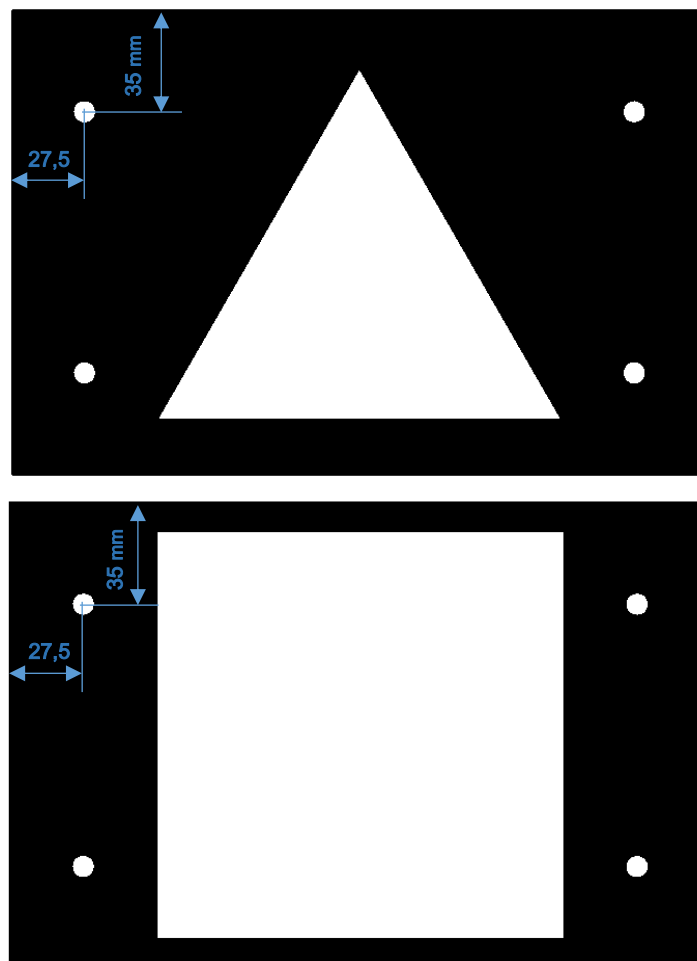
- Plantilla para señales simples
- Plantilla para señales compuestas

1. Plantilla para señales simples

Hay 3 tipos de plantillas con la forma correspondiente a cada tipo de señal: triángulo (señal de peligro), cuadrado (señal de lucha contra incendios y salvamento/socorro) y círculo (señal de obligación).

Para la sujeción de las plantillas, la placa que la conforma cuenta con un agujero en cada esquina, posicionados de forma que la distancia entre sus centros sea acorde con la separación existente entre los tornillos de los ajustadores horizontales, posicionados para la fabricación de señales simples, como se muestra en la Figura 35.

Además, en dicha figura, se muestran las tres plantillas existentes para la producción de señales simples:



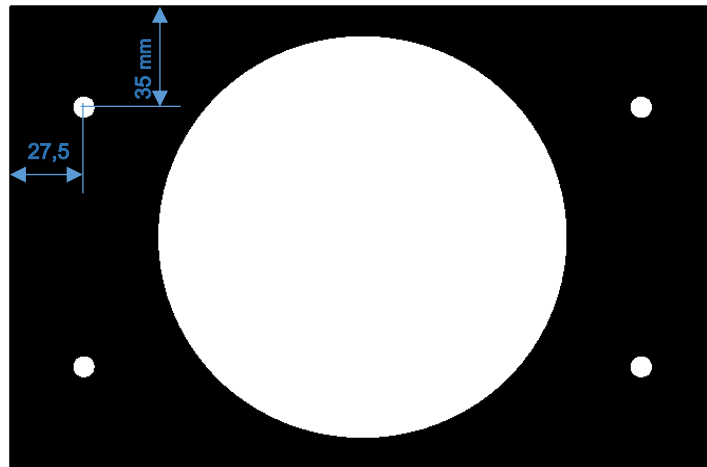


Figura 35. Diseño de plantillas para la producción de señales simples.

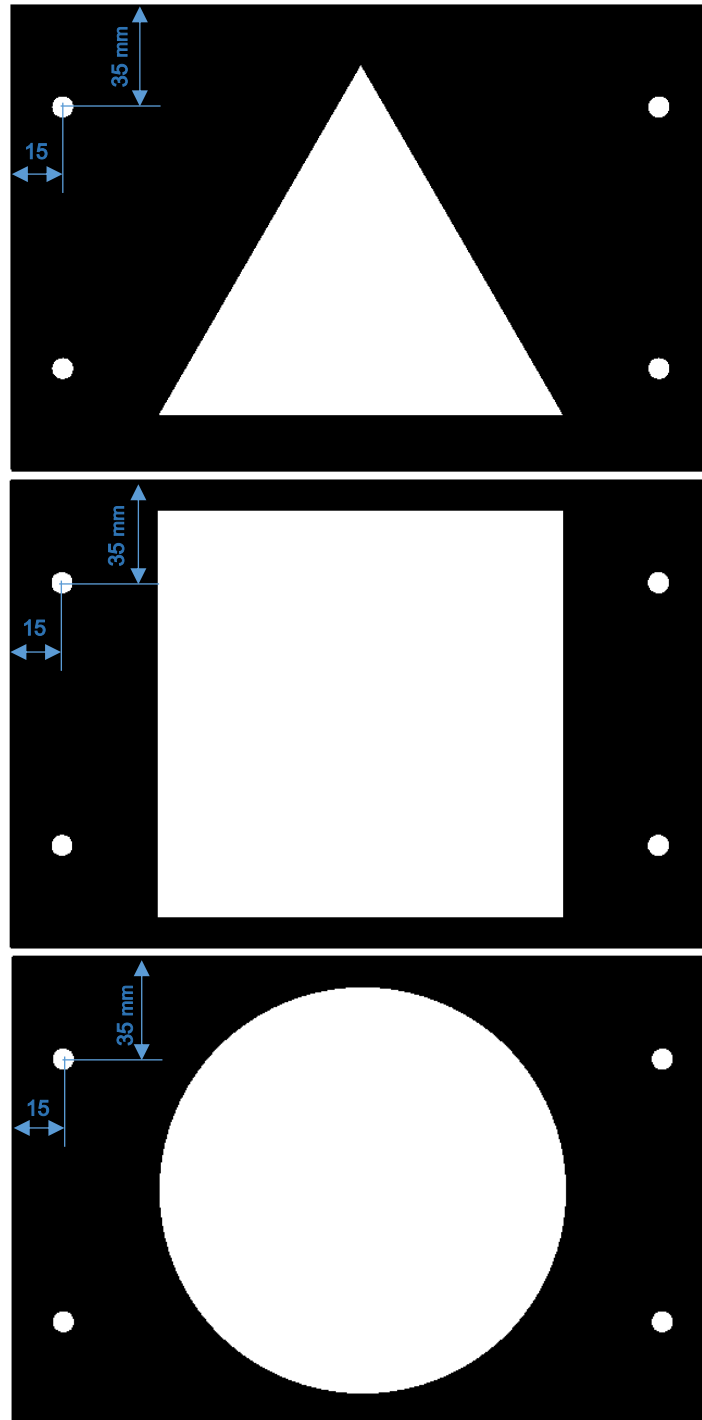
Fuente: elaboración propia.

II. Plantilla para señales compuestas:

Hay 4 tipos de plantillas con la forma correspondiente a cada tipo de señal: triángulo (señal de peligro), cuadrado (señal de lucha contra incendios y salvamento/socorro), círculo (señal de obligación) y rectángulo (rótulo de las señales compuestas).

La única diferencia que guarda este tipo de plantillas con respecto a las plantillas para la producción de señales simples es la distancia horizontal que hay entre los agujeros que se encuentran en las esquinas de la placa. Esta distancia ha de ser acorde a la separación horizontal que hay entre los tornillos de sujeción de las plantillas, anclados a los ajustadores horizontales, como se muestra en la Figura 36.

Además, en dicha figura se observan los cuatro tipos de plantillas para la producción de señales compuestas, la plantilla para la impresión del rótulo y las tres plantillas correspondientes para la impresión de la forma de la señal:



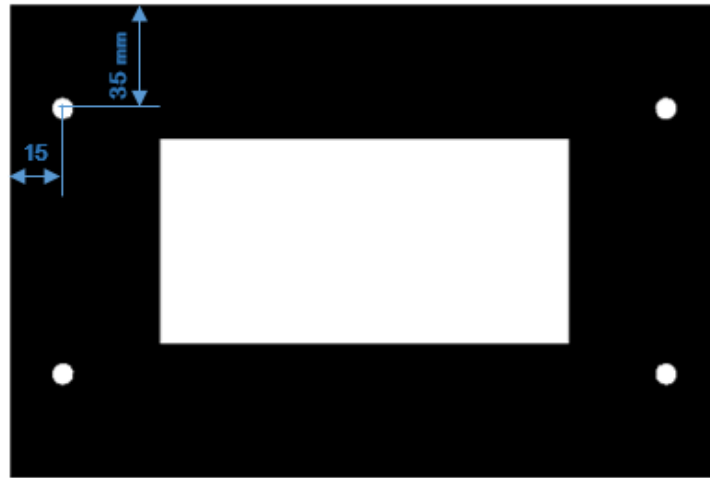
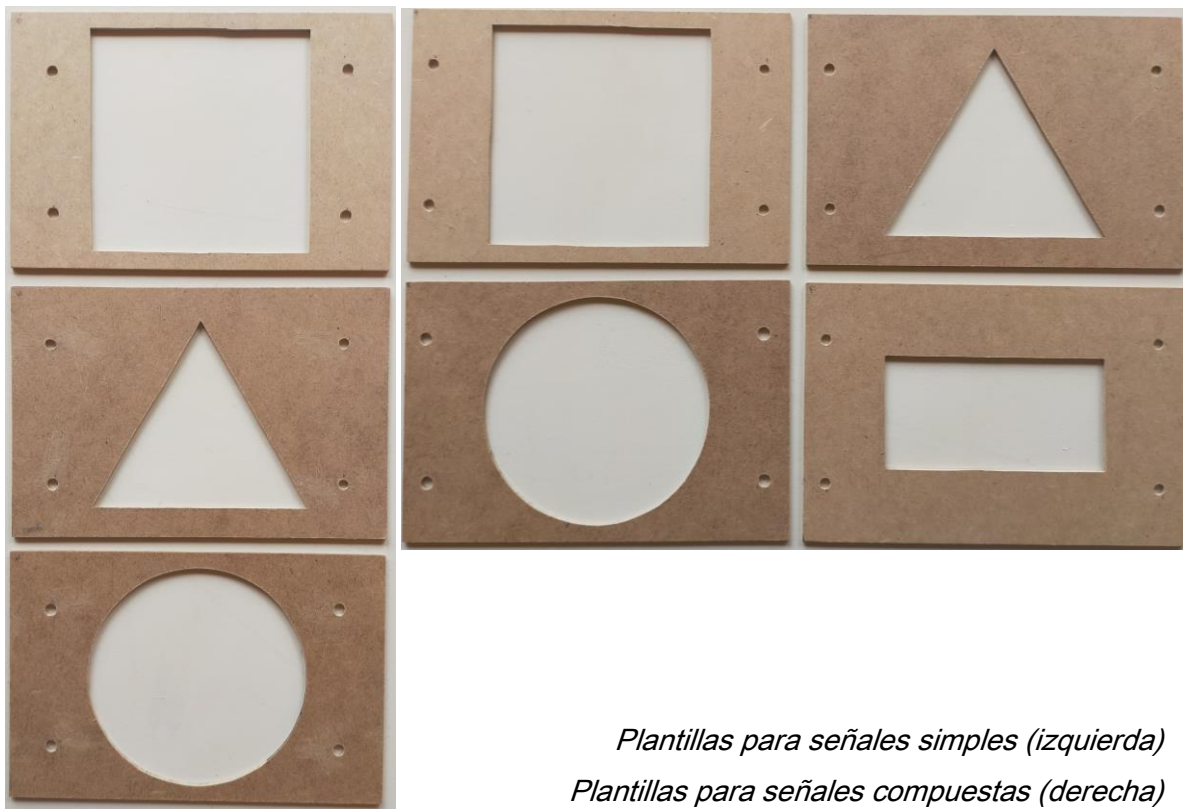


Figura 36. Diseño de plantillas para la producción de señales compuestas.

Fuente: elaboración propia.

En las siguientes imágenes se pueden ver las plantillas de señales simples y compuestas fabricadas para el desarrollo de la etapa 2 del juego:



Plantillas para señales simples (izquierda)

Plantillas para señales compuestas (derecha)

Figura 37. Tipos de plantillas para el desarrollo de la Etapa 2.

Fuente: elaboración propia.

Todo lo explicado en este apartado hace referencia a una maqueta base con la cual se comienza a jugar. Para cumplir con los objetivos del juego y disminuir el tiempo de preparación de la maqueta para fabricar los diferentes lotes, se van a realizar mejoras en el diseño de la misma que van a permitir realizar los ajustes de plantillas y ajustadores de forma más rápida y sencilla. Todas las mejoras de diseño de la maqueta se encuentran recogidas en el apartado 5.1.

Tras conocer el funcionamiento de los diversos elementos que conforman la maqueta, se va a realizar una secuenciación de los pasos que se han de seguir para la producción de una señal simple y de una señal compuesta.

- **Producción de una señal simple**

En la señal simple, se debe realizar una única impresión, la de la forma.

Impresión de la forma

Paso 1: Ajustar el espacio de trabajo con el ajustador vertical

Al tratarse de una señal simple, en la que únicamente hay que imprimir la forma de la señal, el primer paso es colocar el ajustador en esta posición. Para ello, se desliza el ajustador vertical de modo que los tornillos de la base queden situados en la parte superior de las ranuras y posteriormente se aprietan las tuercas para inmovilizarlo.

Paso 2: Ajustar el espacio de trabajo con los ajustadores horizontales

Posteriormente, se colocan los ajustadores horizontales en la posición que requiere la señal simple, es decir, haciendo que los tornillos de la base se sitúen en la parte externa de las ranuras de los ajustadores y apretando las tuercas para inmovilizarlos.

Paso 3: Colocar la placa de impresión en el espacio de trabajo

Tras tener adecuado el espacio de trabajo, se sitúa la placa de impresión de la señal simple (155x160 mm) en el área de impresión de forma que la parte superior y los dos laterales de la placa toquen a los ajustadores (Figura 38).

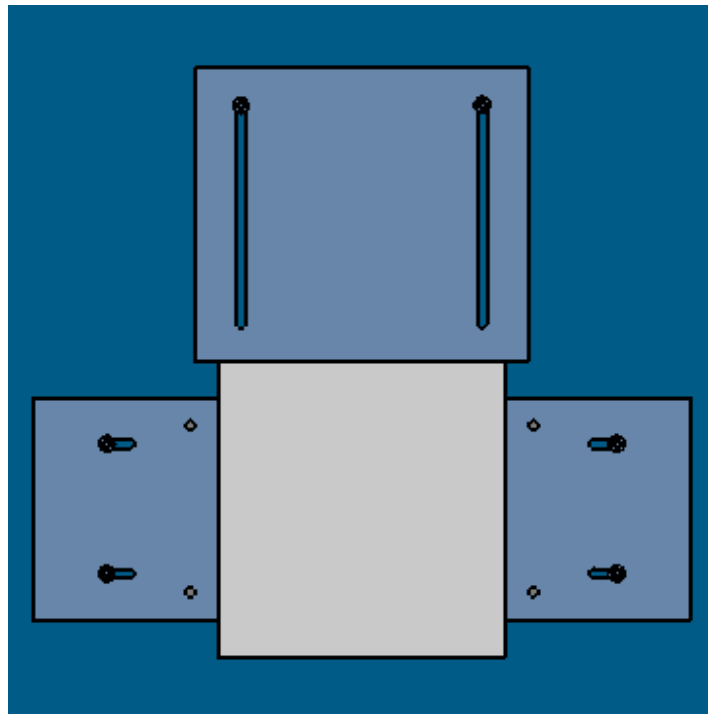


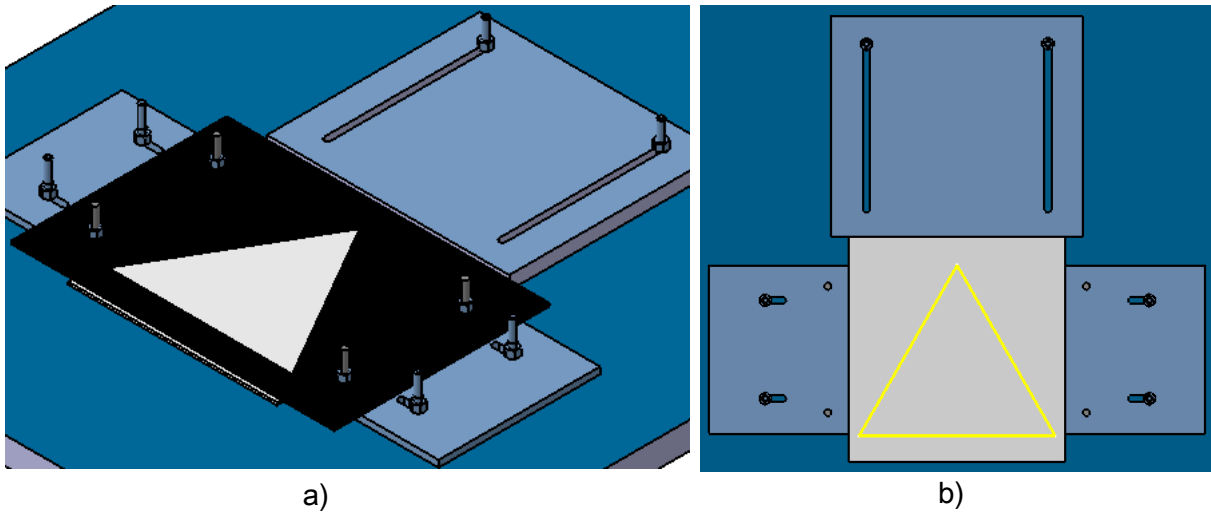
Figura 38. Ajustadores en posición de fabricar una señal simple.

Fuente: elaboración propia.

Paso 4: Posicionar la plantilla de la forma de la señal a fabricar

El último paso es, por lo tanto, seleccionar la plantilla de la forma de la señal a producir (plantilla simple de triángulo, círculo o cuadrado) y posicionarla introduciendo los tornillos que están anclados en los ajustadores horizontales por los agujeros de esta y ajustando las tuercas para inmovilizar su posición.

La Figura 39 muestra un el ajuste para la impresión de una señal simple. En este caso, la fabricación consistiría en dibujar el contorno del triángulo con el color amarillo, produciendo así una señal simple de peligro.



a) Ajuste de la maqueta.

b) Resultado de la impresión.

Figura 39. Fabricación de una señal simple de peligro. Fuente: elaboración propia.

- **Producción de una señal compuesta**

En la señal compuesta, son dos las impresiones que se deben realizar: forma y rótulo.

Impresión de la forma

Paso 1: Ajustar el espacio de trabajo con el ajustador vertical

Para la impresión de la forma de la señal compuesta, el ajustador vertical permanece igual que en la fabricación de la señal simple.

Paso 2: Ajustar el espacio de trabajo con los ajustadores horizontales

Los ajustadores horizontales para la fabricación de la señal compuesta han de estar abiertos, es decir, los tornillos que se encuentran anclados en la base han de estar en el extremo interior de la ranura de estos.

Paso 3: Colocar la placa de impresión en el espacio de trabajo

Una vez realizada la colocación de los ajustadores, se posiciona la placa correspondiente de una señal compuesta (180x250 mm) en el espacio de trabajo, de modo que la parte superior y los dos laterales de la placa toquen a los ajustadores.

En la Figura 40 se puede ver la posición que han de tomar los ajustadores para adecuar el espacio de trabajo a las dimensiones de la placa de una señal compuesta y llevar a cabo la impresión de la forma de la señal.

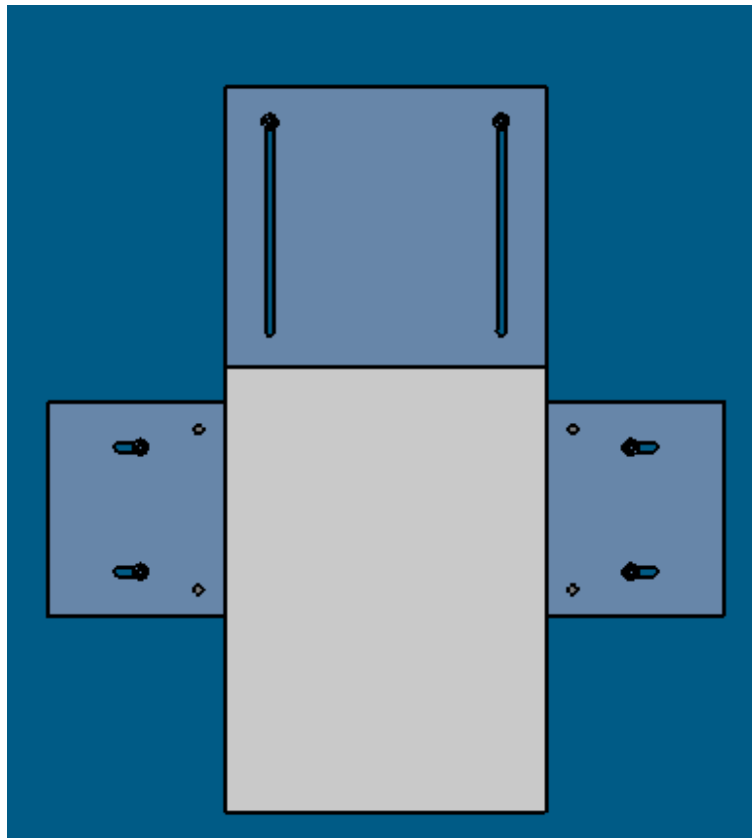


Figura 40. Posición de los ajustadores en la impresión de la forma de una señal compuesta.

Fuente: elaboración propia

Paso 4: Posicionar la plantilla de la forma de la señal a fabricar

El siguiente paso es seleccionar la plantilla de la forma de la señal a producir (plantilla compuesta de triángulo, círculo o cuadrado) y posicionarla introduciendo los tornillos que se encuentran anclados a los ajustadores horizontales por los agujeros de esta y ajustando las tuercas para inmovilizar su posición.

La Figura 41 muestra cómo ha de adecuarse la maqueta para llevar a cabo la impresión de la forma de una señal compuesta. En este caso, la impresión consistiría en dibujar el contorno del triángulo con el color amarillo.

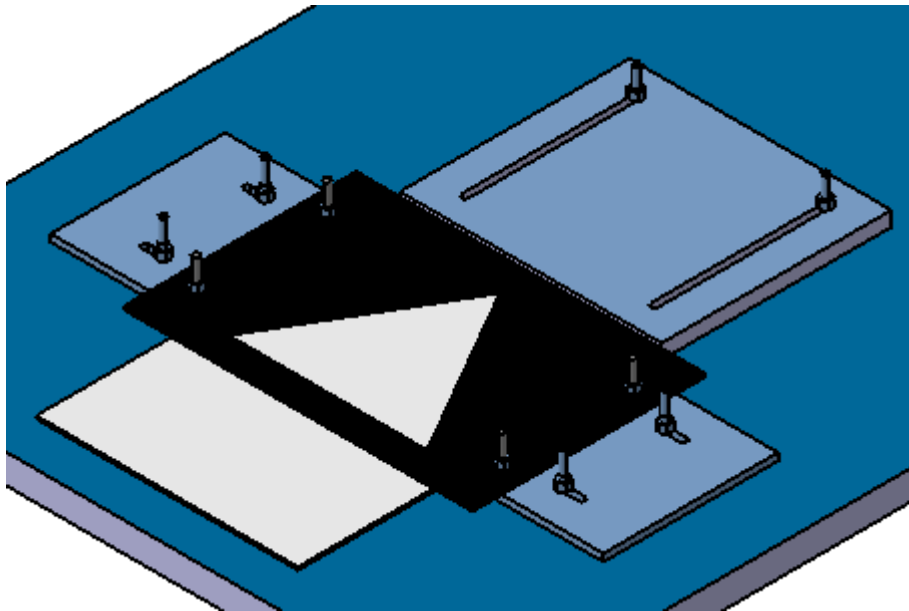


Figura 41. Maqueta preparada para imprimir la forma de una señal compuesta de peligro.

Fuente: elaboración propia.

Impresión del rótulo

Paso 4: Ajustar el espacio de trabajo con el ajustador vertical

Una vez haber impreso la forma de la señal compuesta, el siguiente paso es imprimir el rótulo de esta. Para ello, lo primero que se debe hacer es retirar la plantilla correspondiente a la forma de la señal impresa con anterioridad. Posteriormente, sin tocar los ajustadores horizontales (posicionados en el paso 2 para la fabricación de la señal compuesta), es preciso situar el ajustador vertical en la posición necesaria para imprimir el rótulo, deslizándolo hacia arriba, situando los tornillos en el extremo inferior de las ranuras de este y fijando los tornillos mediante el apriete de las tuercas.

Paso 5: Colocar la placa de impresión en el espacio de trabajo

El siguiente paso es colocar la placa de impresión deslizándola hacia arriba hasta que la parte superior de esta apoye en el ajustador vertical.

En la Figura 42 se puede ver la posición que han de tomar los ajustadores para adecuar el espacio de trabajo a las dimensiones de la placa de una señal compuesta y llevar a cabo la impresión del rótulo de la señal.

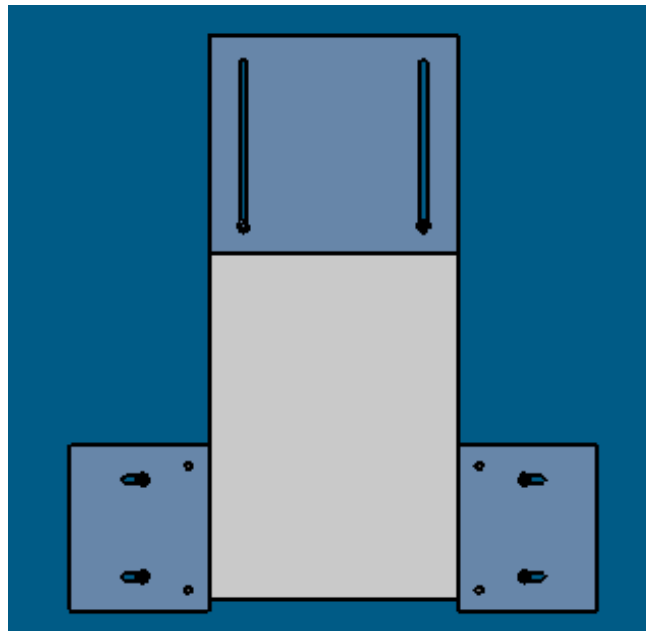


Figura 42. Posición de los ajustadores en la impresión del rótulo de una señal compuesta.

Fuente: elaboración propia.

Paso 6: Posicionar la plantilla del rótulo de la señal a fabricar

Por último, teniendo la placa correctamente posicionada en el espacio de trabajo, se anclará la plantilla correspondiente al rótulo (plantilla de rectángulo), introduciendo los tornillos de los ajustadores horizontales por los agujeros de la plantilla y apretando las tuercas para fijar su posición.

En la Figura 43 se puede ver un ejemplo de impresión del rótulo de una señal compuesta. En este caso, la impresión consiste en dibujar el contorno del rectángulo con el color amarillo, mismo color con el que se imprimió la forma de la señal.

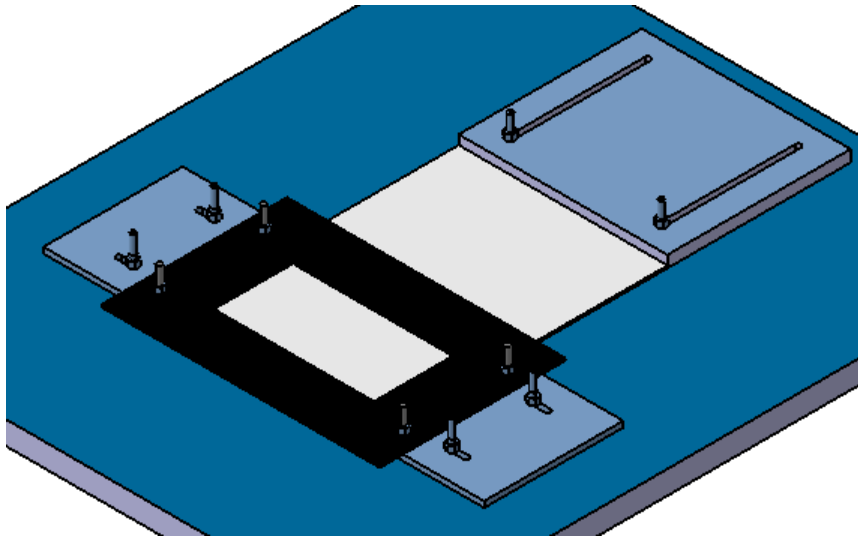


Figura 43. Maqueta preparada para imprimir rótulo de una señal compuesta de peligro.

Fuente: elaboración propia.

El resultado final de la impresión se muestra en la Figura 44.

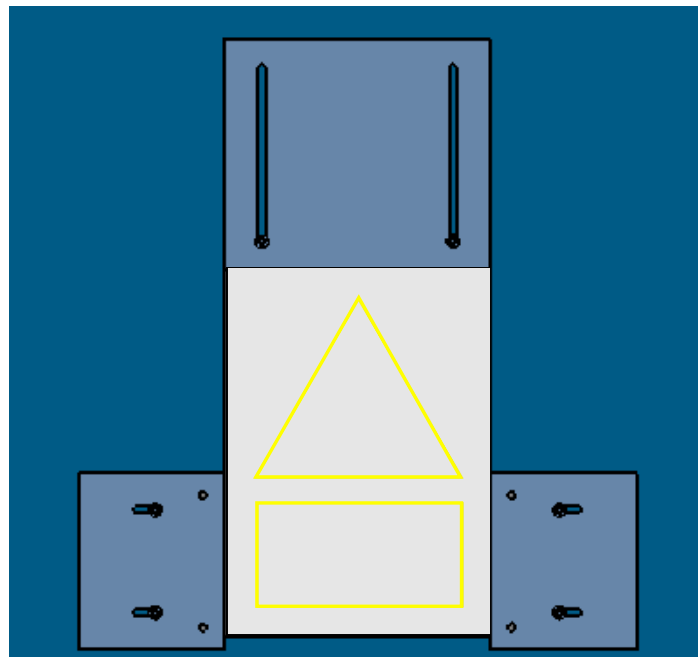


Figura 44. Resultado de la fabricación de una señal compuesta de peligro.

Fuente: elaboración propia.

Puesto 3:

El último puesto de la línea de fabricación mantiene la dinámica de la etapa 1, ya que esta fase se centra en mejorar la dinámica del puesto de fabricación principal para reducir los tiempos de preparación correspondientes a este puesto (puesto 2).

Así pues, la verificación en la etapa 2 se realiza en varios golpes de vista, comprobando que el número de cuadrados que guardan la forma y el rótulo de la señal entre sí y con respecto a los bordes de la placa cumple con las especificaciones.

Tipos de cambio:

Tras conocer la dinámica de la etapa 2 y, antes de proceder con la toma de tiempos de preparación de los diferentes lotes de señales, es necesario aclarar la importancia que tiene la secuencia de fabricación de las señales en los tiempos de preparación.

Este es un factor a tener en cuenta a la hora de tomar los tiempos que no influía en la fabricación de las señales en las etapas 0 y 1 del juego.

Así pues, es preciso conocer los diferentes tipos de cambio que se pueden dar en el puesto central de fabricación:

CAMBIO DE TIPO 1:

Operaciones de ajuste que es preciso realizar en la maqueta para pasar de la fabricación de una señal simple A a una señal simple B.

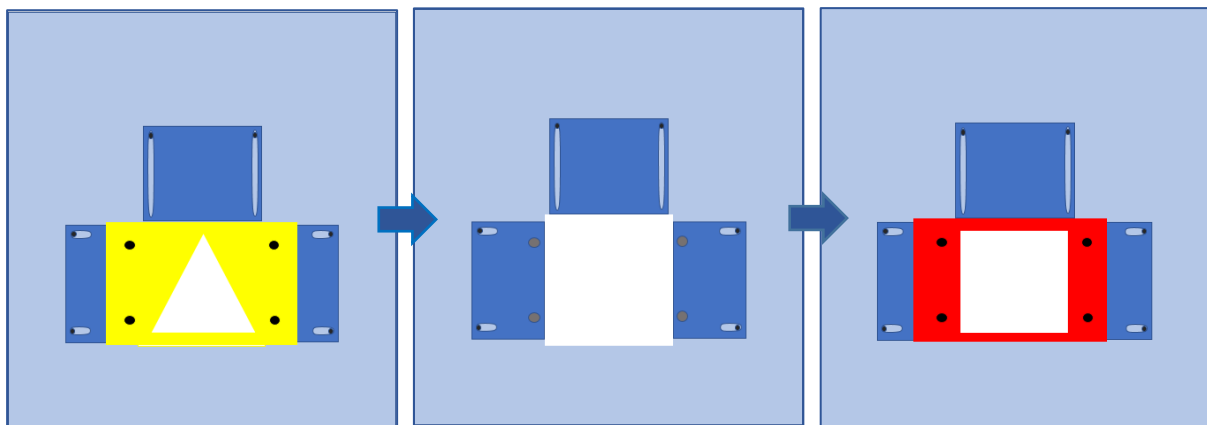


Figura 45. Ajuste de la maqueta para un cambio de tipo 1.

Fuente: elaboración propia.

CAMBIO DE TIPO 2:

Operaciones de ajuste que es preciso realizar en la maqueta para pasar de la fabricación de una señal simple A a una señal compuesta B.

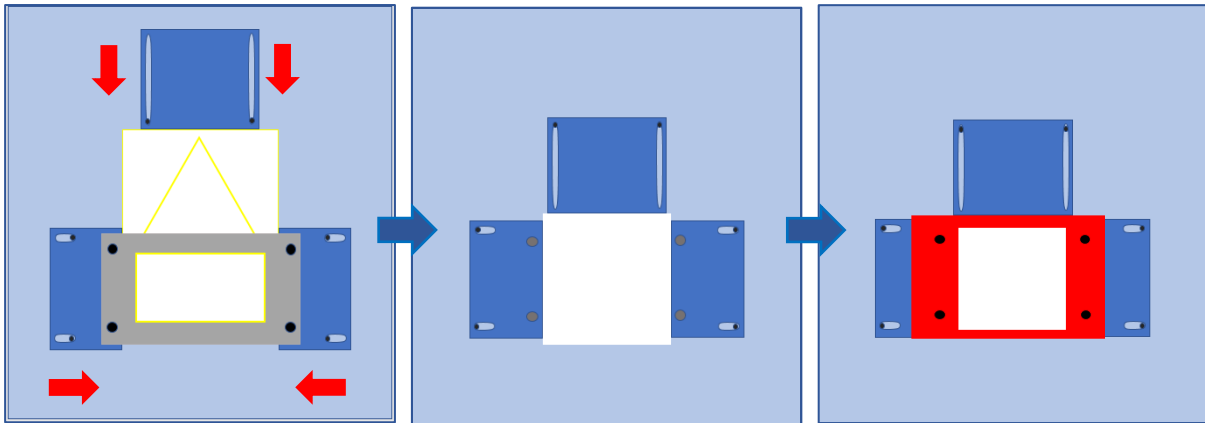


Figura 46. Ajuste de la maqueta para un cambio de tipo 2.

Fuente: elaboración propia.

CAMBIO DE TIPO 3:

Operaciones de ajuste que es preciso realizar en la maqueta para pasar de la fabricación de una señal compuesta A a una señal compuesta B.

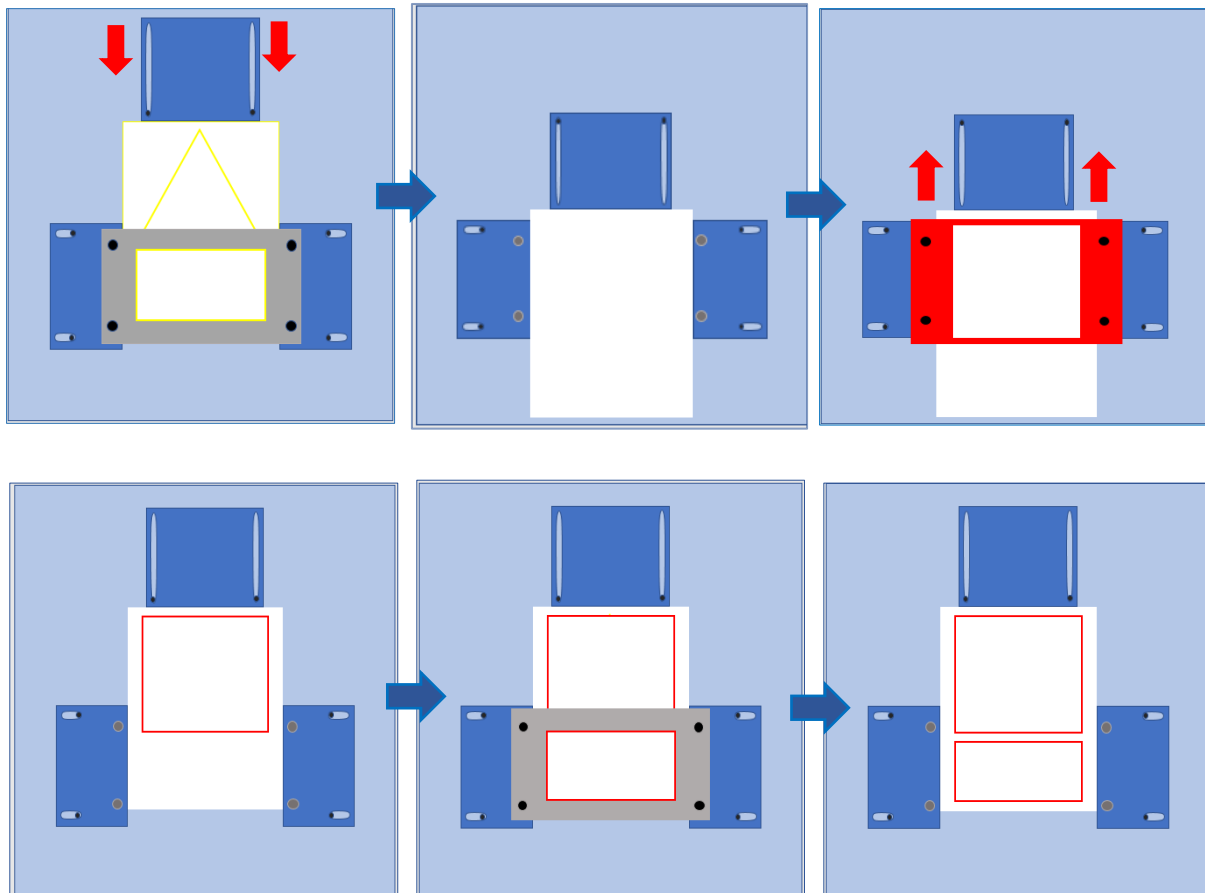


Figura 47. Ajuste de la maqueta para un cambio de tipo 3. Fuente: elaboración propia.

CAMBIO DE TIPO 4:

Operaciones de ajuste que es preciso realizar en la maqueta para pasar de la fabricación de una señal simple A a una señal compuesta B.

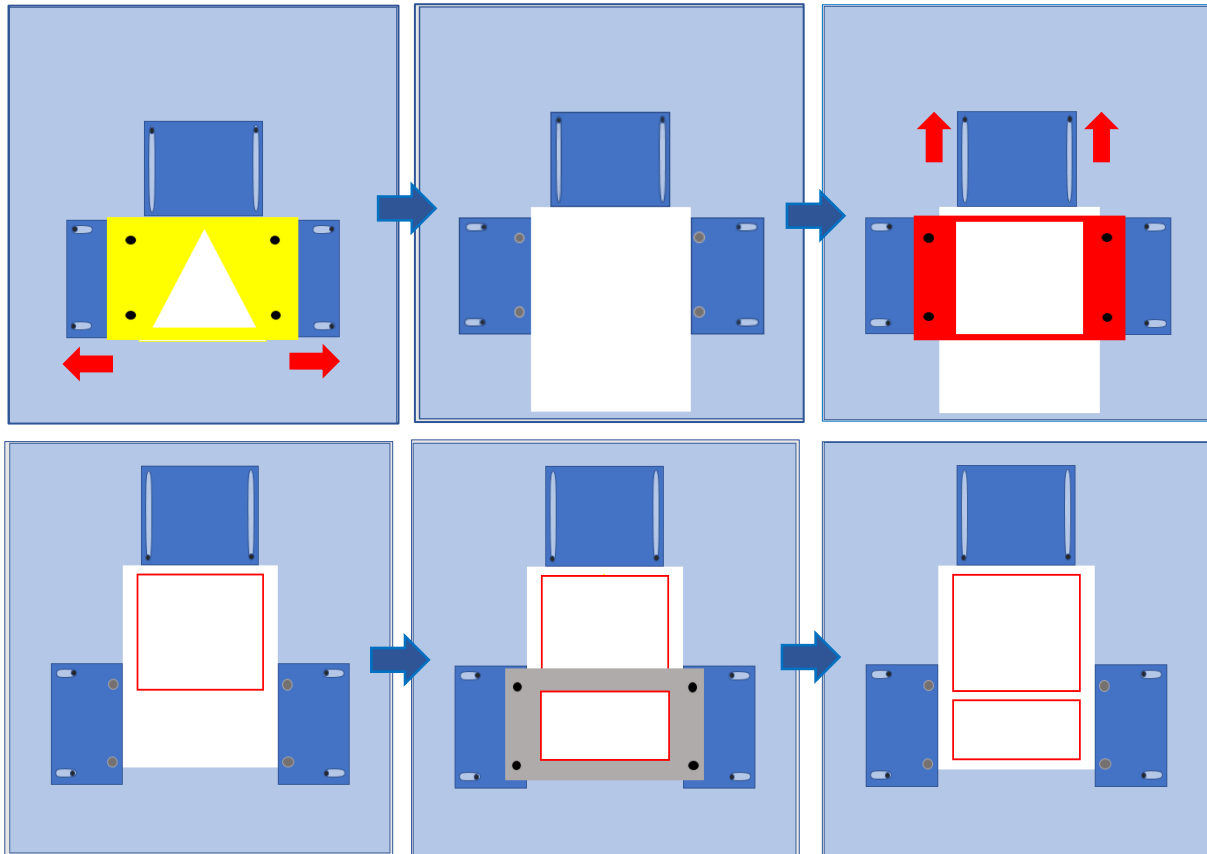


Figura 48. Ajuste de la maqueta para un cambio de tipo 4. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se pueden observar los tres puestos de la línea de producción durante el desarrollo de la etapa 2. Se muestra en la Figura 49, de izquierda a derecha: puesto de corte de placas, puesto de fabricación principal de una señal compuesta de peligro y puesto de verificación de las especificaciones.

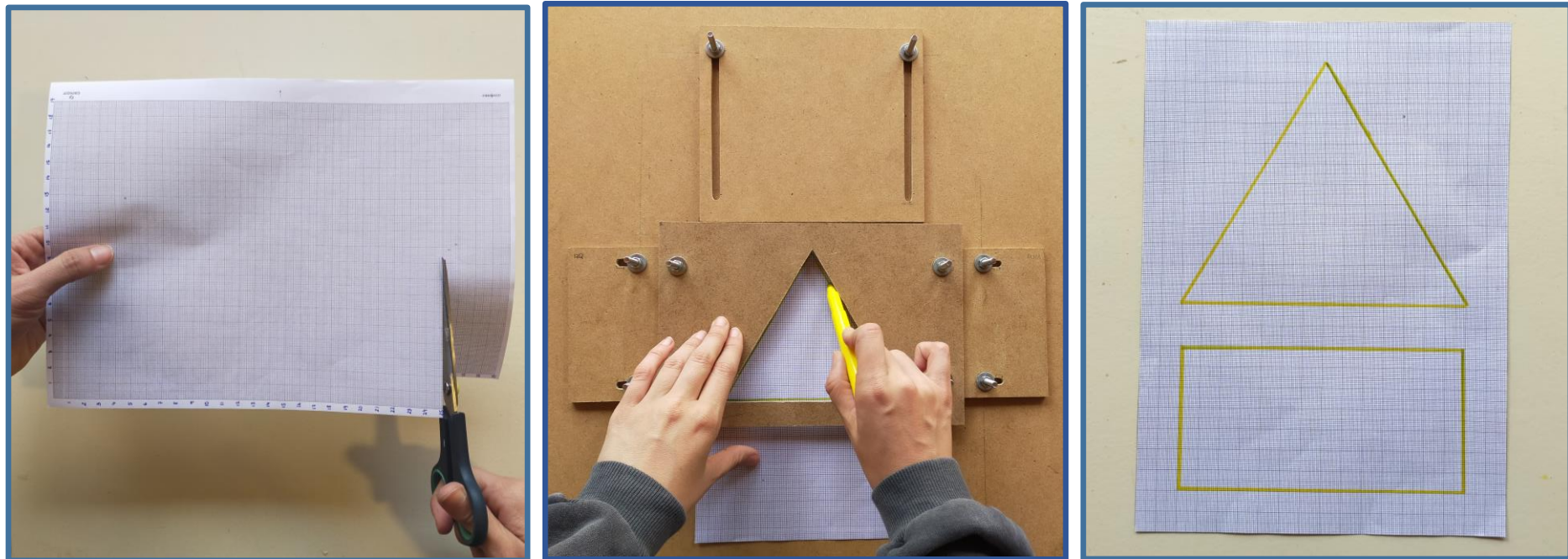


Figura 49. Implementación de la línea de producción de la Etapa 2. Fuente: elaboración propia.

• **Resultados:**

Una vez haber construido la maqueta base y ser los jugadores conocedores del funcionamiento de esta y de las instrucciones del juego, se realizan diversas simulaciones en las que entren en juego los diferentes tipos de cambio.

A continuación, se muestra una tabla con datos medios obtenidos tras la toma de tiempos, recogiendo en ella las distintas opciones de ajuste que se pueden realizar.

Tabla 12. Tiempos de preparación medios en la Etapa 2.

Fuente: elaboración propia.

Cambio		Ajustes	t preparación	
1	sA-sB: Ajuste para pasar de una fabricación de una señal simple A a una señal simple B.	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de plantilla 	P1	1'04"
			P2	1'20"
			P3	0'14"
2	cA – sB: Ajuste para pasar de una fabricación de una señal compuesta A a una señal simple B.	<ul style="list-style-type: none"> • Modificar la posición: <ul style="list-style-type: none"> - Ajustador vertical - Ajustadores horizontales • Cambio de plantilla 	P1	1'11"
			P2	1'38"
			P3	0'12"
3	cA-cB: Ajuste para pasar de una fabricación de una señal compuesta A a una señal compuesta B.	<ul style="list-style-type: none"> • Modificar la posición: <ul style="list-style-type: none"> - Ajustador vertical (x2) • Cambio de plantilla (x2) 	P1	1'13"
			P2	2'40"
			P3	0'15"
4	sA – cB: Ajuste para pasar de una fabricación de una señal simple A a una señal compuesta B.	<ul style="list-style-type: none"> • Modificar la posición: <ul style="list-style-type: none"> - Ajustador vertical - Ajustadores horizontales • Cambio de plantilla (x2) 	P1	1'16"
			P2	2'52"
			P3	0'14"

Como se muestra en la Tabla 12, el número de ajustes que se van a realizar en la maqueta va a depender del tipo de cambio que precise la fabricación de un determinado lote de señales. Así pues, el tiempo de preparación no va a ser siempre el mismo, siendo menor en los cambios más sencillos (cambio de tipo 1) e incrementándose en los cambios que precisen mayor número de operaciones de ajuste (cambio de tipo 4).

A diferencia de lo ocurrido en las dos primeras fases, en la fase 2, el tiempo de preparación va a depender del tipo de cambio de lote que se realice (véase tabla 12). Esto se debe a que se introduce la maqueta como herramienta de fabricación, de modo que el tipo y número de ajustes a realizar va a variar en función de la señal (simple o compuesta) que se haya fabricado previamente.

Pese a esto, se observa que en esta fase se homogenizan los tiempos de preparación de las señales. De este modo, ya no existe una diferenciación de estos tiempos según la forma de la señal que se vaya a fabricar, como ocurría en las fases anteriores con las señales de obligación.

De igual modo que en las fases 0 y 1, se analizan a continuación, la diferencia de tiempos que existe para cada puesto de la línea de fabricación:

- **Puesto 1:** debido a que la dinámica establecida en la fase 2 para este puesto coincide con la de la fase anterior, los tiempos del corte de placas son aproximadamente iguales a los obtenidos en la fase 1.

Las pequeñas variaciones se justifican en los posibles incidentes que pueden ocurrir durante el desarrollo del puesto: caída o búsqueda de material, falta de habilidad del usuario, etc.

- **Puesto 2:** en el análisis de los tiempos del puesto de la fabricación principal de la señal, es preciso resaltar algunos aspectos:
 - Los tiempos de preparación varían en función del tipo de señal (simple o compuesta) que se haya fabricado en el lote anterior.
 - A medida que aumenta el número de operaciones de ajuste se incrementa el tiempo de preparación del lote, siendo este mínimo para el cambio de tipo 1 y máximo para el cambio de tipo 4.

- Los ajustes que mayor tiempo requieren son los ajustes de cambio de plantilla, ya que no son métodos de una vuelta.
- El hecho de que la forma de la señal a fabricar no determine el tiempo de fabricación, elimina los cuellos de botella que se producían en las dos fases anteriores en la fabricación de señales de obligación.
- Aún existe una diferenciación en los tiempos de preparación del puesto, siendo estos superiores cuando la señal que se fabrica es una señal compuesta (cambios de tipo 3 y 4), ya que requiere dos cambios de plantilla: uno para la forma de la señal y otro para el rótulo de esta.
- **Puesto 3:** la dinámica establecida en la fase 2 para el puesto de verificación coincide con la de la fase anterior, por lo que los tiempos del puesto 3 son prácticamente iguales a los obtenidos en la fase 1.

De igual modo que en el puesto 1, las variaciones entre los tiempos de este puesto pueden estar causadas por pequeños incidentes: falta de material, falta de práctica del jugador, etc.



7. MEJORAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tras haber finalizado el desarrollo de la etapa 2 del juego, en la que el proceso, atendiendo a los datos obtenidos en la toma de tiempos (Tabla 12), se puede y se debe mejorar para lograr los objetivos que propone el juego, se realiza una comparativa de las dos dinámicas, la inicial (etapas 0 y 1) y la dinámica con ayuda de material (etapa 2).

El objetivo de esta comparativa es analizar el progreso que se produce a medida que las etapas se suceden, así como determinar cuáles son los aspectos de la etapa 2 que aún requieren mejoras.

7.1 Comparativa de dinámicas

Como ya se sabe, en las etapas correspondientes a la dinámica inicial, los tiempos de preparación desarrollados para fabricar una determinada señal no están condicionados por el tipo de señal que se haya fabricado con anterioridad. Esto cambia en la etapa 2, cuando se introduce la maqueta en el puesto principal de la línea de fabricación del juego. En este caso, los tiempos de preparación están directamente relacionados con el tipo de cambio que se realice en la maqueta.

Por este motivo, para realizar una comparativa entre las dos dinámicas, es preciso tomar los tiempos de la **fabricación** de una **secuencia de diferentes tipos de señales** en la que entren en juego los cuatro tipos de cambio existentes en el ajuste de la maqueta.

Atendiendo a los tipos de cambio mostrados en la Tabla 12 ($sA - sB$, $cA - sB$, $cA - cB$ y $sA - cB$), la secuencia de señales elegida para realizar la toma de tiempos y comparar ambas dinámicas es:

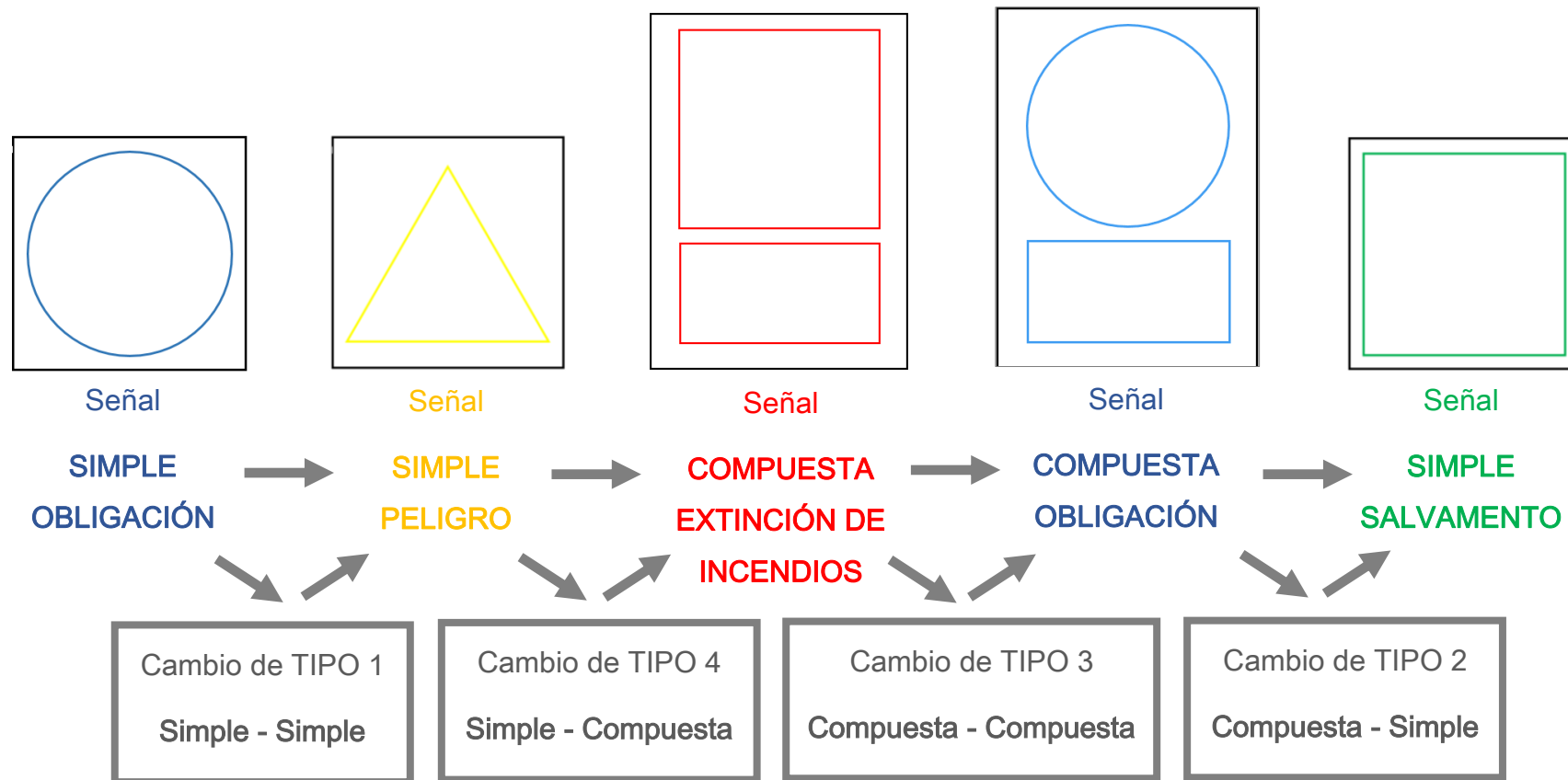


Figura 50. Secuencia de señales fabricadas para comparación de dinámicas. Fuente: elaboración propia.

Tras establecer la secuencia de las señales, se lleva a cabo su fabricación y la respectiva toma de tiempos para las etapas 0, 1 y 2 del juego.

Antes de mostrar los resultados de dicha simulación, se recapitulan los tiempos de preparación medios que emplea cada uno de los jugadores de la línea de fabricación, mostrados con anterioridad en la Tabla 6, Tabla 9 y Tabla 12 del presente trabajo para tener en cuenta los órdenes de magnitud de los tiempos de cada etapa.

Así pues, en las etapas de la dinámica inicial, los tiempos de preparación medios son:

Tabla 13. Tiempos de preparación medios según el puesto en la Etapa 0.

Fuente: elaboración propia.

		t preparación	Tipo de señal
Simple	P1	1' 39"	Salvamento o socorro/ Lucha contra incendios/ Advertencia / Obligación
	P2	2' 25"	Salvamento o socorro/ Lucha contra incendios/ Advertencia
		4' 55"	Obligación
P3	0' 26"	Salvamento o socorro/ Lucha contra incendios/ Advertencia/ Obligación	
Compuesta	P1	1' 44"	Salvamento o socorro/ Lucha contra incendios/ Advertencia / Obligación
	P2	4'00"	Salvamento o socorro/ Lucha contra incendios/ Advertencia
		6' 37"	Obligación
P3	0' 51"	Salvamento o socorro/ Lucha contra incendios/ Advertencia/ Obligación	

Tabla 14. Tiempos de preparación medios según el puesto en la Etapa 1.

Fuente: elaboración propia.

		t preparación	Tipo de señal
Simple	P1	1' 17"	Salvamento o socorro/ Lucha contra incendios/ Advertencia / Obligación
	P2	1' 34"	Salvamento o socorro/ Lucha contra incendios/ Advertencia
		3' 19"	Obligación
P3	0' 13"	Salvamento o socorro/ Lucha contra incendios/ Advertencia/ Obligación	
Compuesta	P1	1' 16"	Salvamento o socorro/ Lucha contra incendios/ Advertencia / Obligación
	P2	2' 23"	Salvamento o socorro/ Lucha contra incendios/ Advertencia
		3' 57"	Obligación
P3	0' 18"	Salvamento o socorro/ Lucha contra incendios/ Advertencia/ Obligación	

Como se muestra, los tiempos de preparación del puesto 2 para las señales de obligación son tratados por separado a los tiempos de preparación del resto de señales, debido a su gran diferencia.

Por su parte, en la dinámica en la que se incluye la maqueta, los tiempos de preparación medios son:

Tabla 15. Tiempos de preparación medios según el puesto en la Etapa 2.

Fuente: elaboración propia.

		t preparación	Tipo de cambio
Simple	P1	1' 08''	C1: Simple A -> Simple B / C2: Compuesta A -> Simple B
	P2	1' 20''	C1: Simple A -> Simple B
		1' 38''	C2: Compuesta A -> Simple B
P3	0' 13''	C1: Simple A -> simple B / C2: Compuesta A -> Simple B	
Compuesta	P1	1' 15''	C3: Compuesta A -> Compuesta B / C4: Simple A -> Compuesta B
	P2	2' 40''	C3: Compuesta A -> Compuesta B
		2' 52''	C4: Simple A -> Compuesta B
P3	0'15''	C3: Compuesta A -> Compuesta B / C4: Simple A -> Compuesta B	

Finalmente, se muestran los resultados obtenidos en la fabricación de la secuencia de señales para cada una de las etapas de las dos dinámicas del juego:

Tabla 16. Tiempos de preparación medios en las diferentes etapas del juego.

Fuente: elaboración propia.

Tipo de Cambio	Dinámica inicial		Dinámica con maqueta
	Etapa 0	Etapa 1	Etapa 2
1 - 4 - 3 - 2	17' 21'' 09'''	13' 57'' 05'''	12' 10'' 07'''

Los tiempos de preparación medios obtenidos, para cada una de las etapas, se justifican con los tiempos de preparación medios que emplea cada uno de los jugadores de la línea de fabricación, mostrados en la Tabla 13, Tabla 14 y Tabla 15 del presente trabajo.

Como se muestra en la Tabla 16 y como se preveía, los tiempos son máximos en la etapa inicial y disminuyen a medida que el juego avanza y las etapas se suceden.

A continuación, se realiza un análisis etapa por etapa, de los resultados obtenidos tras la fabricación de la secuencia de señales, así como de las conclusiones a las que se ha llegado tras su ejecución.

Etapa 0:

Tras el desarrollo de la etapa 0 del juego se observa:

- El puesto 2 supone un gran cuello de botella durante toda la fabricación, puesto que sus tiempos de preparación individuales son mucho más elevados que los de los puestos 1 y 3.
- A mayores, la fabricación de las señales de obligación supone un incremento de tiempo en el puesto 2 con respecto a la fabricación del resto de señales.
- El hecho de que haya dos señales de obligación en la secuencia demandada incrementa notablemente el tiempo de preparación global.
- La fabricación de las 5 señales en la etapa inicial requiere un tiempo medio de 17' 21" 09". Esto corresponde a un tiempo medio de preparación aproximado de 3' 28" por señal, si se considerase que el tiempo empleado en la fabricación de cada tipo de señal es similar.
- La calidad del producto terminado difiere de unas señales a otras al tratarse de un trabajo completamente manual.

Etapa 1:

Seguidamente, tras realizar la simulación de la etapa 1, en la que se sigue la dinámica de la etapa anterior, pero incluyendo papeles cuadriculados para la fabricación de las señales, se concluye:

- Se facilita el trabajo al puesto 1 en el corte de las placas, lo que supone una ligera disminución de su tiempo de preparación individual.
- Se facilita el trabajo al puesto 2 en la fabricación de las señales de extinción de incendios, salvamento y peligro, compuestas en su totalidad por trazos rectos.

- Se facilita el trabajo al puesto 3 en la verificación de las dimensiones del producto terminado.
- En el caso de la fabricación de la secuencia de señales en la etapa 1, se precisa un tiempo medio de 13' 57" 05"', lo que supone aproximadamente una disminución de un total de 3' con respecto a la fase anterior.
- El problema de la fabricación de las señales de obligación sigue sin resolverse pues, la ayuda del papel cuadriculado no influye en la mejora de la fabricación de las señales con tramos curvos, lo que hace que el tiempo de preparación global siga siendo alto.
- Los acabados del producto terminado siguen siendo diferentes de unas señales a otras al tratarse de un trabajo completamente manual.

Etapa 2:

Una vez finalizada la dinámica inicial, se lleva a cabo el desarrollo de la etapa 2 del juego, en la que se incluye la maqueta en el puesto principal de fabricación con el objetivo de equilibrar los tiempos de fabricación de las señales, independientemente del tipo que sean, y uniformizar la calidad de los acabados de los productos terminados al realizar una fabricación en la que se incluyen plantillas.

Tras el desarrollo de la etapa 2 se observa:

- Los tiempos medios de los puestos 1 y 3 se mantienen con respecto a la fase anterior al no verse modificada su dinámica.
- La disminución del tiempo de preparación global con respecto a la fase anterior es pequeña, siendo en esta etapa el tiempo promedio de 12' 10" 07''.
- La gran mejora que se produce en la etapa 3 es el equilibrado de los tiempos de fabricación para todos los tipos de señales. De este modo, el hecho de que el cliente demande más señales de obligación no va a incrementar el tiempo de preparación global.
- Se observa que el mayor desperdicio de tiempo en el puesto 2 se realiza en el ajuste de la maqueta al realizar el intercambio de plantillas de los diferentes tipos de señales.

- La fabricación de las 5 señales en la etapa inicial requiere un tiempo medio de 12' 10" 07"". Esto corresponde a un tiempo medio de preparación aproximado de 2' 26" por señal, aproximadamente 1' menos del tiempo empleado en la etapa inicial del juego.
- Los acabados de las señales se uniformizan al ser fabricadas con la ayuda de plantillas estandarizadas.

Aún así, estamos hablando de tiempos elevados de preparación que es preciso mejorar, pues se observan mudas en el proceso de fabricación que no añaden valor al producto final y consumen elevado tiempo de preparación.

Por ello, a continuación, se realiza un estudio detallado de las operaciones elementales que se realizan durante el proceso de fabricación. Así pues, se pretende localizar y eliminar los desperdicios de tiempo que se producen durante su ejecución.

7.2 Mejoras implementadas

Para obtener mejoras significativas en la disminución de los tiempos de preparación de las operaciones del juego es preciso que se cumplan las **fases** que constituyen el **SMED**, vistas con anterioridad en el presente trabajo.

Es preciso aclarar que las mejoras propuestas en este apartado se implementan a la **dinámica del juego de la etapa 2**.

Fase 1: Separar en operaciones

El primer paso es desglosar en operaciones elementales los ajustes que se realizan en cada uno de los cambios de lote.

El análisis de las operaciones elementales, como se muestra en las tablas posteriores, se realiza en concreto para **el puesto 2**, ya que supone la parte principal de este trabajo y el tiempo de preparación es notablemente superior que en los otros dos puestos, por lo que el objetivo es centrarse en disminuir el tiempo empleado en su desempeño.

Fase 2: Diferenciar en operaciones internas y externas

El siguiente paso es clasificar las operaciones elementales de la Fase 1 en operaciones internas y externas, dependiendo de si estas se realizan con la maqueta

parada o si bien ejecutan mientras la maqueta está en funcionamiento, respectivamente.

A continuación, se muestra, para cada tipo de cambio de lote, una tabla donde figuran el número de operaciones a realizar con la descripción de cada una de ellas, así como la clasificación de cada operación en interna (I) o externa (E).

CAMBIO DE TIPO 1:

Las operaciones que se describen a continuación se refieren a los ajustes que es preciso realizar en la maqueta para pasar de la fabricación de un *lote simple A*, correspondiente a una señal simple determinada, a la fabricación de un *lote simple B*, relativo a una señal simple diferente a la anterior.

En este cambio, únicamente se modifica la plantilla, no es necesario cambiar la posición ni de los ajustadores horizontales ni del ajustador vertical.

Tabla 17. Desglose de operaciones para cambiar de un lote simple A a un lote simple B.

Fuente: elaboración propia.

simple A -> simple B			
Tarea	N.º Op.	Descripción	I / E
Retirar la plantilla A	1	Aflojar y retirar los cuatro tornillos y arandelas que sujetan la plantilla correspondiente a la señal simple A.	I
	2	Retirar la plantilla A y colocarla fuera de la maqueta.	I
	3	Retirar la placa con la señal impresa A y pasársela al jugador 3, encargado de la verificación del producto.	I
Poner la plantilla B	4	Posicionar en el espacio de trabajo una placa procedente del jugador 1, con las medidas correspondientes a una señal simple, en la que se va a imprimir la señal simple B.	I

	5	Coger la plantilla correspondiente a la señal simple B.	I
	6	Colocar la plantilla B en la maqueta, introduciendo los cuatro tornillos de los ajustadores horizontales por los orificios de esta.	I
	7	Poner las cuatro arandelas y ajustar los cuatro tornillos que se quitaron en la operación nº 1.	I
Realizar la impresión de la forma de B	8	Coger el rotulador del color correspondiente a la señal que se vaya a imprimir.	I
	9	Bordear el perímetro de la plantilla B con el rotulador dibujando el contorno de la forma de la señal sobre la placa.	I
Retirar la plantilla B	10	Aflojar y retirar los cuatro tornillos y arandelas que sujetan la plantilla correspondiente a la señal simple B.	I
	11	Retirar la plantilla B y colocarla fuera de la maqueta.	I
	12	Retirar la placa con la señal impresa B y pasársela al jugador 3, encargado de la verificación del producto.	I

CAMBIO DE TIPO 2:

Las siguientes operaciones de ajuste es necesario realizarlas para cambiar de la producción de un *lote compuesto A*, relativo a una señal compuesta determinada, a la producción de un *lote simple B*, referido a una señal simple diferente a la anterior.

El orden de estas operaciones tiene sentido cuando la fabricación de las señales compuestas se realiza en el siguiente orden:

- 1.- Impresión de la forma de la señal compuesta.
- 2.- Impresión del rótulo de la señal compuesta.

Hay que tener en cuenta que, en este cambio, es preciso cambiar la posición de los ajustadores horizontales y del ajustador vertical, así como la plantilla de impresión.

Tabla 18. Desglose de operaciones para cambiar de un lote compuesto A a un lote simple B.

Fuente: elaboración propia.

compuesta A → simple B			
N.º op.	Título	Descripción	I / E
Retirar la plantilla del rótulo de la señal A	1	Aflojar y retirar los cuatro tornillos y arandelas que sujetan la plantilla correspondiente al rótulo de la señal compuesta A.	I
	2	Retirar la plantilla y colocarla fuera de la maqueta.	I
	3	Retirar la placa con la señal impresa A y pasársela al jugador 3, encargado de la verificación del producto.	I
Modificar la posición de los ajustadores horizontales	4	Aflojar y retirar los dos tornillos y arandelas que anclan la posición de cada ajustador horizontal a la base de la maqueta.	I
	5	Mover hacia la parte interna de la base de la maqueta los ajustadores horizontales, de la posición de impresión de señal compuesta a la posición de impresión de señal simple.	I
	6	En esta posición, poner las cuatro arandelas y ajustar los cuatro tornillos retirados en la operación 4 para inmovilizar los ajustadores horizontales.	I
Modificar la posición del ajustador vertical	7	Aflojar y retirar los dos tornillos y arandelas que anclan la posición del ajustador vertical a la base de la maqueta.	I
	8	Mover hacia abajo el ajustador vertical, de la posición de impresión del rótulo a la posición de impresión de la forma, para comenzar con la impresión de la señal simple B.	I

	9	En esta posición, poner las dos arandelas y ajustar los cuatro tornillos retirados en la operación 7 para inmovilizar el ajustador vertical.	I
	10	Posicionar en el espacio de trabajo una placa procedente del jugador 1, que tenga las medidas correspondientes a una señal simple.	I
Poner la plantilla B	11	Coger la plantilla correspondiente a la forma de la señal simple B.	I
	12	Colocar la plantilla B en la maqueta, introduciendo los cuatro tornillos de los ajustadores horizontales por los orificios de esta.	I
	13	Poner las cuatro arandelas y ajustar los cuatro tornillos que se quitaron en la operación nº 1.	I
Realizar la impresión de la forma de B	14	Coger el rotulador del color correspondiente a la señal que se vaya a imprimir.	I
	15	Bordear el perímetro de la plantilla B con el rotulador dibujando el contorno de la forma de la señal sobre la placa.	I
Retirar la plantilla B	16	Aflojar y retirar los cuatro tornillos y arandelas que sujetan la plantilla correspondiente la forma de la señal compuesta B.	I
	17	Retirar la plantilla y colocarla fuera de la maqueta.	I
	18	Retirar la placa con la señal impresa y pasársela al jugador 3, encargado de la verificación del producto.	I

CAMBIO DE TIPO 3:

Las operaciones que se describen a continuación hacen referencia a los ajustes que son necesarios realizar en la maqueta para cambiar de la producción de un *lote compuesto A*, relativo a una señal compuesta determinada, a la producción de un *lote compuesto B*, referido a una señal compuesta diferente a la anterior.

El orden de estas operaciones tiene sentido cuando la fabricación de las señales compuestas se realiza en el siguiente orden:

- 1.- Impresión de la forma de la señal compuesta.
- 2.- Impresión del rótulo de la señal compuesta.

Hay que tener en cuenta que, para este cambio, no es necesario cambiar la posición de los ajustadores horizontales, pero sí del ajustador vertical, pues su posición va a variar en función de la impresión que se vaya a realizar (forma o rótulo de la señal en cuestión). Además de este cambio, también es necesario cambiar la plantilla en dos ocasiones.

*Tabla 19. Desglose de operaciones para cambiar de un lote compuesto A a un lote compuesto B.
Fuente: elaboración propia.*

compuesta A → compuesta B			
N.º op.	Título	Descripción	I / E
Retirar la plantilla del rótulo	1	Aflojar y retirar los cuatro tornillos y arandelas que sujetan la plantilla correspondiente al rótulo de la señal compuesta A.	I
	2	Retirar la plantilla y colocarla fuera de la maqueta.	I
	3	Retirar la placa con la señal impresa A y pasársela al jugador 3, encargado de la verificación del producto.	I
Modificar la posición del ajustador vertical	4	Aflojar y retirar los dos tornillos y arandelas que anclan la posición del ajustador vertical a la base de la maqueta.	I
	5	Mover hacia abajo el ajustador vertical, de la posición de impresión del rótulo a la posición de impresión de la forma, para comenzar con la impresión de la señal compuesta B.	I
	6	En esta posición, poner las dos arandelas y ajustar los dos tornillos retirados en la operación 4 para	I

		inmovilizar el ajustador vertical con respecto a la base de la maqueta.	
	7	Posicionar en el espacio de trabajo una placa procedente del jugador 1, que tenga las medidas correspondientes a una señal compuesta.	I
Poner la plantilla B	8	Coger la plantilla correspondiente a la forma de la señal compuesta B.	I
	9	Colocar la plantilla B en la maqueta, introduciendo los cuatro tornillos de los ajustadores horizontales por los orificios de esta.	I
	10	Poner las cuatro arandelas y ajustar los cuatro tornillos que se quitaron en la operación nº 1.	I
Realizar la impresión de la forma de la señal B	11	Coger el rotulador del color correspondiente a la señal que se vaya a imprimir.	I
	12	Bordear el perímetro de la plantilla B con el rotulador dibujando el contorno de la forma de la señal sobre la placa.	I
Retirar la plantilla B	13	Aflojar y retirar los cuatro tornillos y arandelas que sujetan la plantilla correspondiente la forma de la señal compuesta B.	I
	14	Retirar la plantilla y colocarla fuera de la maqueta.	I
Modificar la posición del ajustador vertical	15	Aflojar y retirar los dos tornillos y arandelas que anclan la posición del ajustador vertical a la base de la maqueta.	I
	16	Mover hacia arriba el ajustador vertical, de la posición de impresión de la forma a la posición de impresión del rótulo.	I
	17	Poner las dos arandelas y ajustar los dos tornillos esta posición para inmovilizar el ajustador vertical con respecto a la base de la maqueta.	I

	18	Posicionar en el espacio de trabajo la placa de la señal compuesta B.	
Poner la plantilla del rótulo	19	Coger la plantilla correspondiente al rótulo de una señal compuesta.	
	20	Colocar la plantilla en la maqueta, introduciendo los cuatro tornillos de los ajustadores horizontales por los orificios de esta.	
	21	Poner las cuatro arandelas y ajustar los cuatro tornillos que se quitaron en la operación nº 13.	
Realizar la impresión del rótulo de la señal B	22	Coger el rotulador del color correspondiente a la señal que se vaya a imprimir.	
	23	Bordear el perímetro de la plantilla con el rotulador dibujando el contorno del rótulo de la señal sobre la placa.	
Retirar la plantilla del rótulo	24	Aflojar y retirar los cuatro tornillos y arandelas que sujetan la plantilla correspondiente al rótulo de la señal compuesta B.	
	25	Retirar la plantilla del rótulo y colocarla fuera de la maqueta.	
	26	Retirar la placa con la señal impresa y pasársela al jugador 3, encargado de la verificación del producto.	

CAMBIO DE TIPO 4:

Las siguientes operaciones de ajuste es necesario realizarlas para cambiar de la producción de un *lote simple A*, relativo a una señal simple determinada, a la producción de un *lote compuesto B*, referido a una señal compuesta diferente a la anterior.

Las operaciones de la Tabla 20 hacen referencia a la fabricación de las señales compuestas en el siguiente orden:

- 1.- Impresión de la forma de la señal compuesta.

2.- Impresión del rótulo de la señal compuesta.

Hay que tener en cuenta que, en este cambio, es preciso cambiar la posición de los ajustadores horizontales y del ajustador vertical, así como realizar dos cambios de plantilla de impresión.

Tabla 20. Desglose de operaciones para cambiar de un lote simple A a un lote compuesto B.

Fuente: elaboración propia.

simple A → compuesta B			
N.º op.	Título	Descripción	I / E
Retirar la plantilla de la forma de la señal A	1	Aflojar y retirar los cuatro tornillos y arandelas que sujetan la plantilla de la forma de la señal simple A.	I
	2	Retirar la plantilla y colocarla fuera de la maqueta.	I
	3	Retirar la placa con la señal impresa A y pasársela al jugador 3, encargado de la verificación del producto.	I
Modificar la posición de los ajustadores horizontales	4	Aflojar y retirar los dos tornillos y arandelas que anclan la posición de cada ajustador horizontal a la base de la maqueta.	I
	5	Mover hacia la parte externa de la base de la maqueta los ajustadores horizontales, de la posición de impresión de señal simple a la posición de impresión de señal compuesta, para comenzar con la impresión de la señal compuesta B.	I
	6	En esta posición, poner las cuatro arandelas y ajustar los cuatro tornillos retirados en la operación 4 para inmovilizar los ajustadores horizontales.	I
	7	Posicionar en el espacio de trabajo una placa procedente del jugador 1, que tenga las medidas correspondientes a una señal compuesta.	I

Poner la plantilla B	8	Coger la plantilla correspondiente a la forma de la señal compuesta B.	
	9	Colocar la plantilla B en la maqueta, introduciendo los cuatro tornillos de los ajustadores horizontales por los orificios de esta.	
	10	Poner las cuatro arandelas y ajustar los cuatro tornillos que se quitaron en la operación nº 1.	
Realizar la impresión de la forma de la señal B	11	Coger el rotulador del color correspondiente a la señal que se vaya a imprimir.	
	12	Bordear el perímetro de la plantilla B con el rotulador dibujando el contorno de la forma de la señal sobre la placa.	
Retirar la plantilla B	13	Aflojar y retirar los cuatro tornillos y arandelas que sujetan la plantilla correspondiente la forma de la señal compuesta B.	
	14	Retirar la plantilla y colocarla fuera de la maqueta.	
Modificar la posición del ajustador vertical	15	Aflojar y retirar los dos tornillos y arandelas que anclan la posición del ajustador vertical a la base de la maqueta.	
	16	Mover hacia arriba el ajustador vertical, de la posición de impresión de la forma a la posición de impresión del rótulo.	
	17	Poner las dos arandelas y ajustar los dos tornillos esta posición para inmovilizar el ajustador vertical.	
	18	Posicionar en el espacio de trabajo la placa de la señal compuesta B.	
	19	Coger la plantilla correspondiente al rótulo de una señal compuesta.	

Poner la plantilla del rótulo	20	Colocar la plantilla en la maqueta, introduciendo los cuatro tornillos de los ajustadores horizontales por los orificios de esta.	I
	21	Poner las cuatro arandelas y ajustar los cuatro tornillos que se quitaron en la operación nº 13.	I
Realizar la impresión del rótulo de la señal B	22	Coger el rotulador del color correspondiente a la señal que se vaya a imprimir.	I
	23	Bordear el perímetro de la plantilla con el rotulador dibujando el contorno del rótulo de la señal sobre la placa.	I
Retirar la plantilla del Rótulo	24	Aflojar y retirar los cuatro tornillos y arandelas que sujetan la plantilla correspondiente al rótulo de la señal compuesta B.	I
	25	Retirar la plantilla del rótulo y colocarla fuera de la maqueta.	I
	26	Retirar la placa con la señal impresa y pasársela al jugador 3, encargado de la verificación del producto.	I

Como se puede ver en las Tablas 17, 18, 19 y 20 relativas a la clasificación de las operaciones elementales de los cuatro cambios, todas las operaciones son internas, pues se realizan con la maqueta parada. Esto es debido a que, solo existe un operario para cada puesto en la línea de fabricación y por ello, él mismo debe realizar las tareas de aprovisionamiento, ajustes y desarrollo de las tareas en su puesto de trabajo.

Fase 3: Disminuir el número de operaciones internas y convertir el máximo número de operaciones en externas

El objetivo de la siguiente fase es convertir el máximo número de operaciones internas en externas, de este modo, todas aquellas operaciones que no precisen una parada de la maqueta para poder ejecutarse se realizarán como **operaciones simultáneas** a las operaciones internas. Así pues, el tiempo de preparación disminuirá notablemente.

Para lograr el objetivo de esta fase, es preciso analizar todas las operaciones elementales de las tablas 17, 18, 19 y 20 de modo que se pueda decidir qué operaciones no requieren una parada necesaria de la maqueta para ejecutarse.

Se llega a la conclusión de que las operaciones internas que más sencillo es convertir a externas hacen referencia a operaciones de aprovisionamiento de material de otros puestos de la línea, así como de útiles necesarios para llevar a cabo la impresión de las señales: placas de impresión, plantillas, rotuladores, etc. Así pues, la ejecución de todas las operaciones de transporte de materiales a los puestos de trabajo se puede realizar mientras la maqueta esté en funcionamiento.

A continuación, se muestra, para cada tipo de cambio, las operaciones convertidas a externas:

CAMBIO DE TIPO 1:

Tabla 21. Operaciones externas del tipo de cambio 1. Fuente: elaboración propia.

simple A -> simple B			
Tarea	N.º Op.	Descripción	I / E
Poner plantilla B	5	Coger la plantilla correspondiente a la señal simple B.	E
Realizar impresión de la forma B	8	Coger el rotulador del color correspondiente a la señal que se vaya a imprimir.	E

CAMBIO DE TIPO 2:

Tabla 22. Operaciones externas del tipo de cambio 2. Fuente: elaboración propia.

compuesta A -> simple B			
Tarea	N.º Op.	Descripción	I / E
Poner la plantilla B	11	Coger la plantilla correspondiente a la forma de la señal simple B.	E
Realizar la impresión de la forma de B	14	Coger el rotulador del color correspondiente a la señal que se vaya a imprimir.	E

CAMBIO DE TIPO 3:

Tabla 23. Operaciones externas del tipo de cambio 3. Fuente: elaboración propia.

compuesta A -> compuesta B			
Tarea	N.º Op.	Descripción	I / E
Poner la plantilla B	8	Coger la plantilla correspondiente a la forma de la señal compuesta B.	E
Realizar la impresión de la forma de B	11	Coger el rotulador del color correspondiente a la señal que se vaya a imprimir.	E
Poner la plantilla del rótulo	19	Coger la plantilla correspondiente al rótulo de una señal compuesta.	E
Realizar la impresión del rótulo de la señal B	22	Coger el rotulador del color correspondiente a la señal que se vaya a imprimir.	E

CAMBIO DE TIPO 4:

Tabla 24. Operaciones externas del tipo de cambio 4. Fuente: elaboración propia.

simple A -> compuesta B			
Tarea	N.º Op.	Descripción	I / E
Poner la plantilla B	8	Coger la plantilla correspondiente a la forma de la señal compuesta B.	E
Realizar la impresión de la forma de B	11	Coger el rotulador del color correspondiente a la señal que se vaya a imprimir.	E
Poner la plantilla del rótulo	19	Coger la plantilla correspondiente al rótulo de una señal compuesta.	E
Realizar la impresión del rótulo de la señal B	22	Coger el rotulador del color correspondiente a la señal que se vaya a imprimir.	E

La solución propuesta para lograr la conversión de las operaciones internas a externas consta de los siguientes puntos:

- Realizar las operaciones de aprovisionamiento de material y útiles de forma simultánea a las tareas de fabricación de las señales en los diversos puestos del juego.

- Emplear los tiempos muertos de los puestos del juego que menor tiempo requiera su labor para ayudar al puesto de trabajo que suponga el cuello de botella de la línea de fabricación. De este modo, se equilibrará la carga de trabajo de todos los jugadores.
- Si con el punto anterior no fuese suficiente, incrementar el número de jugadores creando un quinto puesto, el puesto de logística. Este puesto se encarga de suministrar todos los útiles que sean necesarios a los jugadores 1, 2 y 3. Así pues, estos no abandonarán su puesto de trabajo para la búsqueda de material.
- Unir los puestos de trabajo 1, 2 y 3 con cintas de transporte. De este modo, el producto en curso se moverá de un puesto a otro de forma automática, sin que el jugador abandone su puesto para el transporte de este.

Fase 4: Disminuir el tiempo de las operaciones internas y externas

Tras analizar las operaciones elementales y convertir todas las posibles a externas, el siguiente paso es disminuir el tiempo en que todas ellas se desempeñan. Para hacer esto posible, a continuación, se evalúan ciertos aspectos como el orden y limpieza en el puesto de trabajo, el diseño de la maqueta y los procedimientos de ejecución de las tareas, con el objetivo de mejorarlos y disminuir el tiempo de preparación de los lotes durante el desarrollo del juego.

- **Mejoras de diseño**

En capítulos anteriores se han mostrado los materiales empleados para desarrollar los trabajos del puesto de corte de placas y de verificación del producto, así como el diseño de partida de la maqueta con la que se han realizado las primeras impresiones en el juego.

Tras observar y analizar las dificultades que los jugadores presentaban para desarrollar su trabajo, se proponen mejoras que facilitan y agilizan el juego, y con ello, disminuyen el tiempo global de preparación de los lotes y equilibran los tiempos individuales de cada puesto de la línea de fabricación.

A continuación, se muestra, para cada uno de ellos, los cambios realizados en la dinámica del juego con respecto a las fases anteriores que van a suponer una disminución drástica del tiempo de preparación en la fabricación de los diversos lotes.

Puesto 1

El empleo de una regla métrica y la utilización de las tijeras como método de corte suponen una gran pérdida de tiempo en el primer puesto. En el peor de los casos, un problema en el puesto 1 puede paralizar la producción de señales, dejando sin suministro de placas al puesto 2.

Por ello, los métodos anteriores se sustituyen por una cizalla con métrica, que va a disminuir el tiempo de medición y corte considerablemente. De este modo, el jugador deberá colocar adecuadamente el folio tamaño A4 en la cizalla y deslizar la cuchilla en las medidas correspondientes, cortando así de forma rápida y precisa la placa.

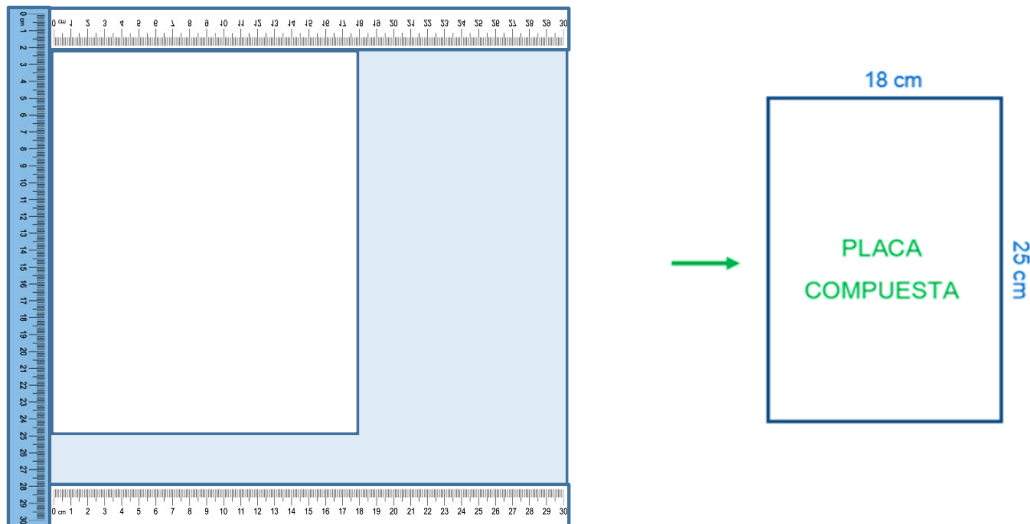


Figura 51. Croquis de las mejoras en el desarrollo del puesto 1.

Fuente: elaboración propia.

Puesto 2

La mayor parte de las mejoras se implementan en el diseño de la maqueta, que constituye el puesto principal de la línea de fabricación.

Son múltiples los problemas que se han encontrado los jugadores en el desarrollo de este puesto. Es por ello por lo que se estudia en detalle y se proponen e implementan mejoras para solventarlos y disminuir el valor del tiempo de preparación inicial observado en este puesto.

A continuación, se muestra una tabla en la que figuran los principales inconvenientes y las soluciones implementadas en el diseño de la maqueta:

Tabla 25. Mejoras implementadas en el diseño de la maqueta.

Fuente: elaboración propia.

Problema	Solución
<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad de agarre de las tuercas. • Necesidad de una llave para aflojar las tuercas que anclan a los ajustadores y sujetan a las plantillas cuando estas se encuentran demasiado apretadas. • Pérdida de tuercas al tratarse de elementos pequeños y resbaladizos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sustituir tornillos simples de ajuste, por mariposas de sujeción, cuyas ventajas son: <ul style="list-style-type: none"> - Se precisa menos fuerza para apretarlas o aflojarlas que en las tuercas, pues sus alas hacen que el momento ejercido sobre ellas sea mayor para un mismo valor de fuerza aplicado. - Son menos resbaladizas al ser de mayor tamaño.
Problema	Solución
<ul style="list-style-type: none"> • Irregularidad de las formas dibujadas debido a la existencia de 5 mm de separación entre la base donde apoya la placa y la plantilla, que dificulta el trazado uniforme. • Ligero movimiento de la placa en el espacio de trabajo tras colocar la plantilla que causa errores en las dimensiones geométricas del producto terminado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Colocación de unas espumas de 5 mm de espesor en el contorno de los huecos de las plantillas y siguiendo el perímetro de estas de forma que: <ul style="list-style-type: none"> - La posición de la placa de impresión quedará fijada una vez que la plantilla esté colocada. - Las formas de las señales serán uniformes puesto que la espuma servirá de guía a la hora de dibujar.

Problema	Solución
<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad de distinción de las dos plantillas de cada forma, pues el posicionamiento de sus agujeros es muy similar e inapreciable a simple vista. • Elevado tiempo de preparación en el cambio de plantillas en la maqueta. • El método de sujeción de las plantillas a los ajustadores horizontales requiere muchas vueltas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sustituir las dos plantillas de cada forma (simple y compuesta) con un agujero por esquina cada una, a una única plantilla por forma con dos agujeros por esquina. • Modificar los agujeros convencionales de las plantillas por agujeros con forma de pera. • Cambiar el método de sujeción de las plantillas a la base: sustituir el tornillo-tuerca por pasadores con cabeza (método de una vuelta).

A continuación, se muestran detalles de la implementación de cada una de las mejoras del puesto 2 de fabricación:



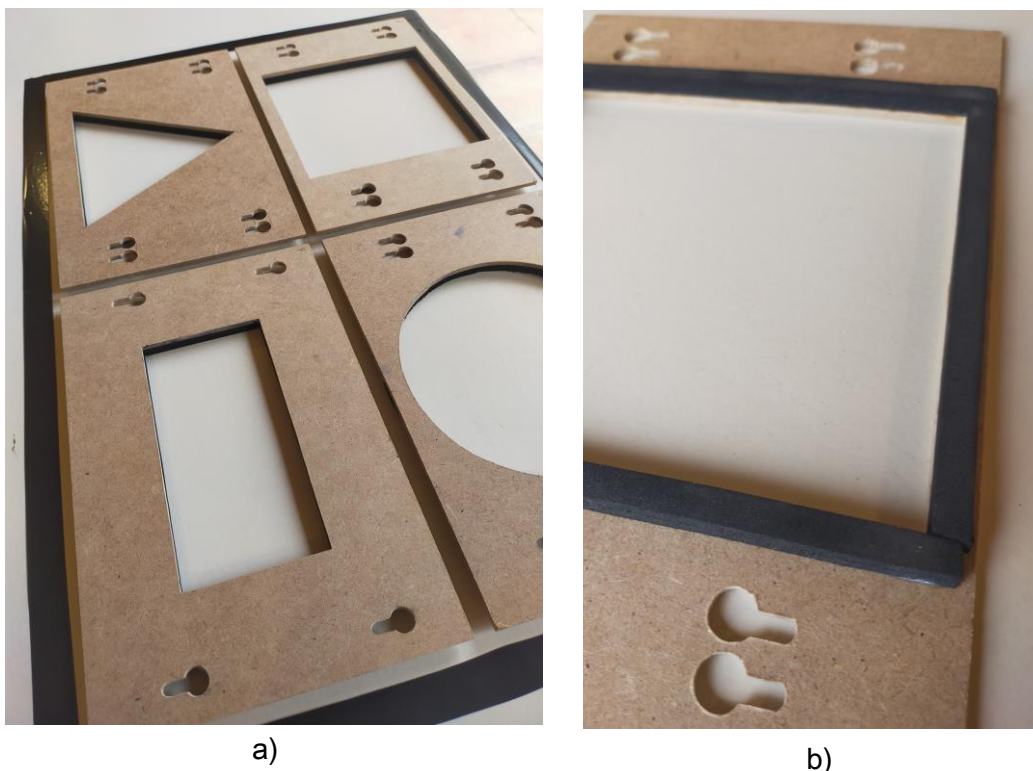
En la Figura 52 se muestra la primera mejora implementada en el puesto 2 de fabricación, la sustitución de las tuercas de la maqueta por mariposas de agarre que facilitan la manipulación de las mismas, así como su afloje y apriete.

Figura 52. Implementación de la primera mejora del puesto 2: mariposas de agarre. Fuente: elaboración propia

La segunda mejora que se realiza en la maqueta es la sustitución de las plantillas empleadas para el desarrollo de la etapa 2 por plantillas con doble agujero. Disminuyendo el número de tipos de plantillas es más complicado que se produzca una confusión a la hora de seleccionar la plantilla correcta al fabricar una señal.

La versión mejorada de plantillas tiene dos agujeros por esquina para su sujeción tanto en la fabricación de señales simples como de compuestas. Además, los agujeros no son circulares, sino que tienen forma de pera. Esto último es debido al tipo de sujeción mejorado que se ha diseñado, como se muestra posteriormente en la Figura 54.

La última mejora que presentan las plantillas es la incorporación de una espuma de 5mm de espesor en el perímetro de la forma de las señales que sirve como sujeción y guía en el proceso de dibujo de estas.



a)

a) Versión mejorada de plantillas.

b)

b) Detalle de la espuma en una de las plantillas.

Figura 53. Implementación de la segunda mejora del puesto 2: plantillas.

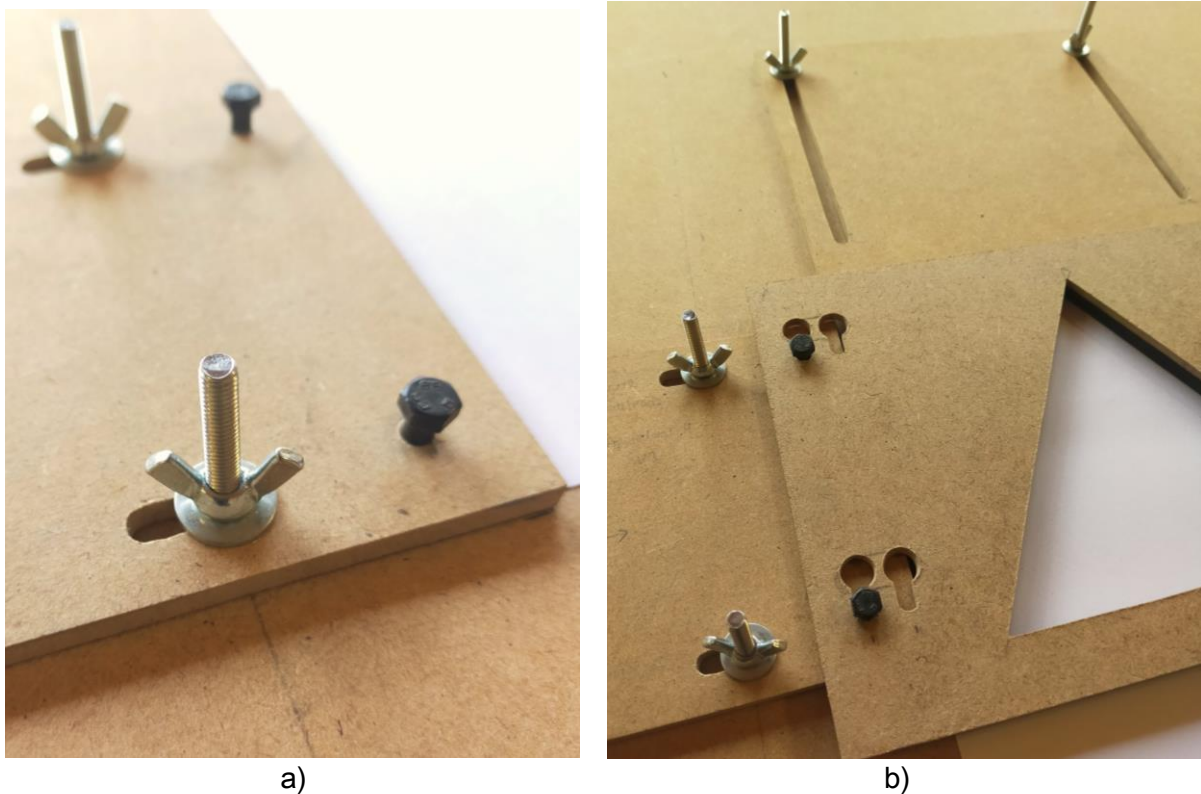
Fuente: elaboración propia.

Por último, el método de sujeción de las plantillas de tornillo-tuerca se sustituye por un método mejorado que precisa un menor tiempo de preparación.

El intercambio de plantillas en la etapa 2 del juego suponía un elevado desperdicio de tiempo. Es por ello por lo que los tornillos han sido sustituidos por pasadores que cuentan con una cabeza en su parte superior.

La sujeción de las plantillas consiste, por lo tanto, en introducir la cabeza del pasador por la parte ancha del agujero en forma de pera, quedando inmovilizada la plantilla a la maqueta una vez que esta se deslice hasta hacer que el pasador se sitúe en la parte estrecha del agujero.

En la Figura 54 se puede observar en detalle un ejemplo de esta sujeción.



a)

a) Pasadores para la sujeción de plantillas.

b)

b) Ejemplo de una sujeción de plantilla.

Figura 54. Implementación de la tercera mejora del puesto 2: sujeción de plantillas.

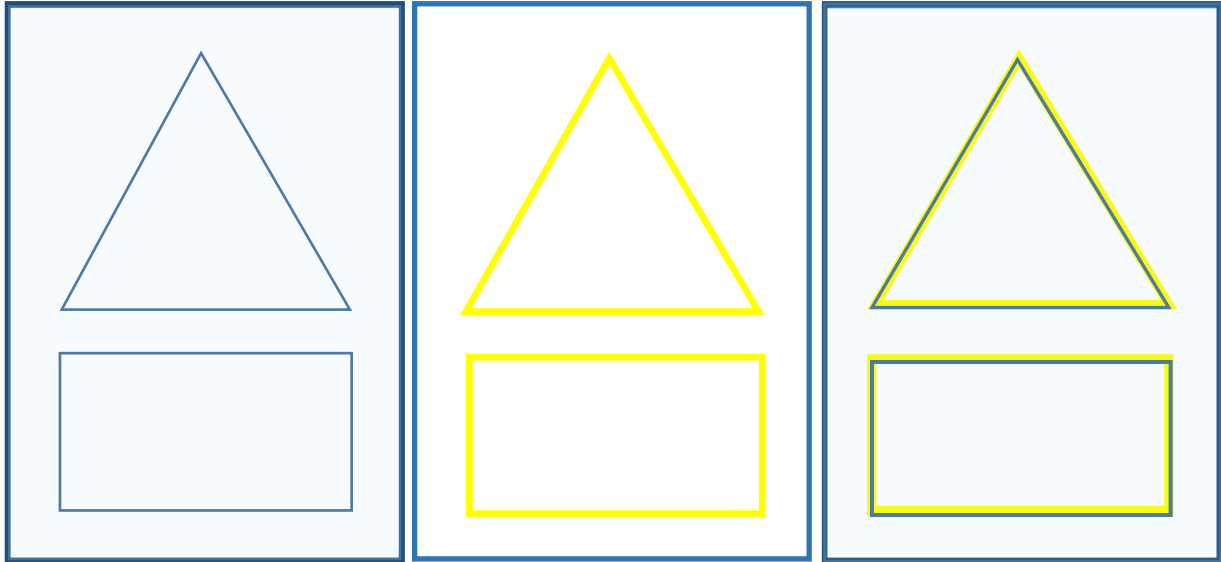
Fuente: elaboración propia.

Puesto 3

El uso de la regla métrica para comprobar el cumplimiento de las especificaciones en el puesto de verificación del producto terminado ralentiza notablemente el desempeño del puesto. Por este motivo este método de comprobación se sustituye por plantillas de verificación con las que se observa a simple vista el cumplimiento o incumplimiento de las cotas geométricas y dimensionales.

Las plantillas de verificación están formadas por láminas transparentes, en las cuales está impresa la forma de las señales, cubriendo el abanico de las señales disponibles

en el catálogo de producción. De este modo, basta con superponer la lámina transparente correspondiente sobre la señal en cuestión para comprobar las especificaciones del producto terminado.



a)

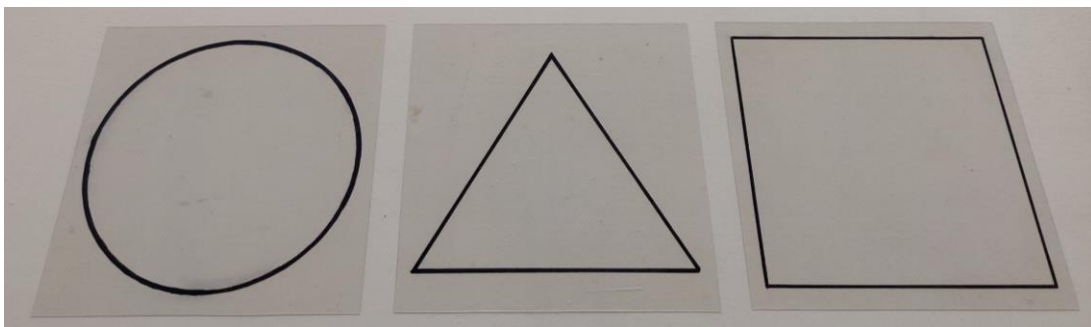
b)

c)

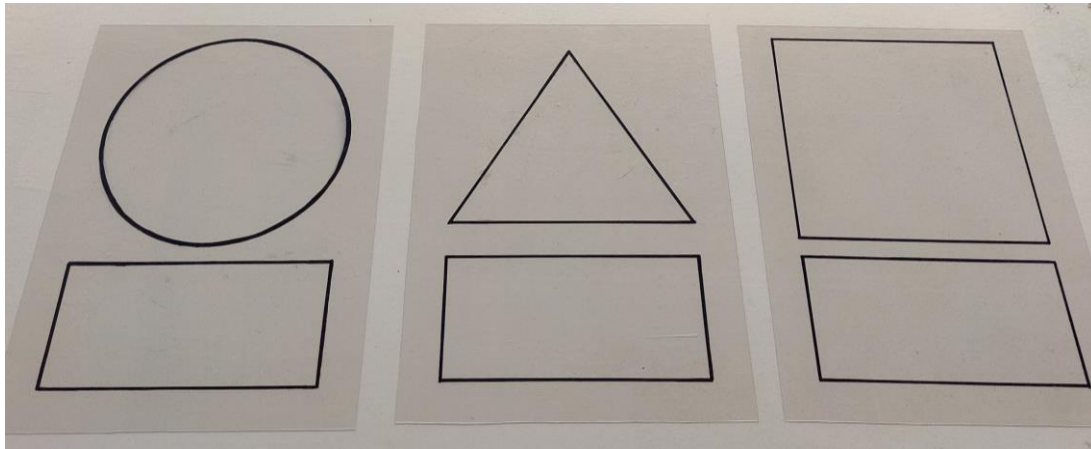
- a) *Plantilla de verificación de una señal compuesta de peligro.*
- b) *Señal compuesta de peligro recibida del puesto 2.*
- c) *Superposición de la plantilla de verificación sobre la señal.*

Figura 55. Mejoras en el desarrollo del puesto 3.

Fuente: elaboración propia



a) Señales simples



b) Señales compuestas

Figura 56. Mejora del puesto 3: plantillas de verificación.

Fuente: elaboración propia.

- **Cumplimiento de las 5S**

El cumplimiento de las 5S nos va a ayudar a disminuir el tiempo de preparación de la maqueta para la producción de los distintos lotes de señales. El orden, la limpieza y la organización son fundamentales en el puesto de trabajo para disminuir los tiempos de búsqueda y puesta a punto de materiales.

A continuación, se muestran las medidas implementadas en el juego para dicho fin:

- SEIRI (Organización): eliminar lo innecesario del puesto de trabajo.
 - Los materiales que se mostraron anteriormente en la Tabla 11, se ordenan según el puesto de trabajo. De este modo, no habrá una zona común de materiales, cada puesto de trabajo solo dispondrá de aquellos que son necesarios para desempeñar su tarea.
- SEITON (Orden): organizar los elementos para encontrarlos fácilmente.
 - Se establece un lugar único para cada elemento. Se le determina una posición específica a cada herramienta o material, donde ha de encontrarse salvo que estos se estén utilizando en el puesto de trabajo.
 - Se disminuye al máximo la distancia entre el puesto de trabajo y las zonas de almacenaje de útiles.

- Se etiqueta el material y los útiles para que, a simple vista, no sean confundidos.
- Se dispone un panel de organización de herramientas con compartimentos para el almacenaje de tuercas y arandelas para organizar el material correspondiente al puesto de la maqueta.
- Las zonas de almacenaje del material, así como su forma, se delimitan con cinta adhesiva. Esto facilitará un control visual instantáneo del posicionamiento del material. Así pues, se distinguirá fácilmente una situación normal de una anormal, en la que falte alguna herramienta o útil en el puesto de trabajo.
- SEISO (Limpieza): cada trabajador se encarga de la limpieza de su puesto.
 - Tras concluir la simulación, cada jugador deja su puesto en las mismas condiciones de orden y limpieza que antes de comenzar la simulación.
- SEIKETSU (Limpieza estandarizada): estandarizar la solución
 - Se crean estándares de trabajo para cada puesto que recogen gráfica y esquemáticamente las acciones de limpieza, orden, mantenimiento y operación que ha de cumplir cada jugador.
- SHITSUKE (Disciplina): lograr crear un hábito de las medidas anteriores.
 - Aparte de las instrucciones de juego, los jugadores son conocedores de las medidas implementadas relativas a las 5S, así como sus deberes como jugadores para lograr su cumplimiento.

Se lleva a cabo la implementación de las 5S en el entorno de trabajo de cada puesto para contribuir a la disminución del tiempo de preparación. De este modo, los jugadores cuentan únicamente con el material necesario para el desempeño de su puesto. Como se muestra en la Figura 57, el material se sitúa ordenadamente en lugares previamente determinados.

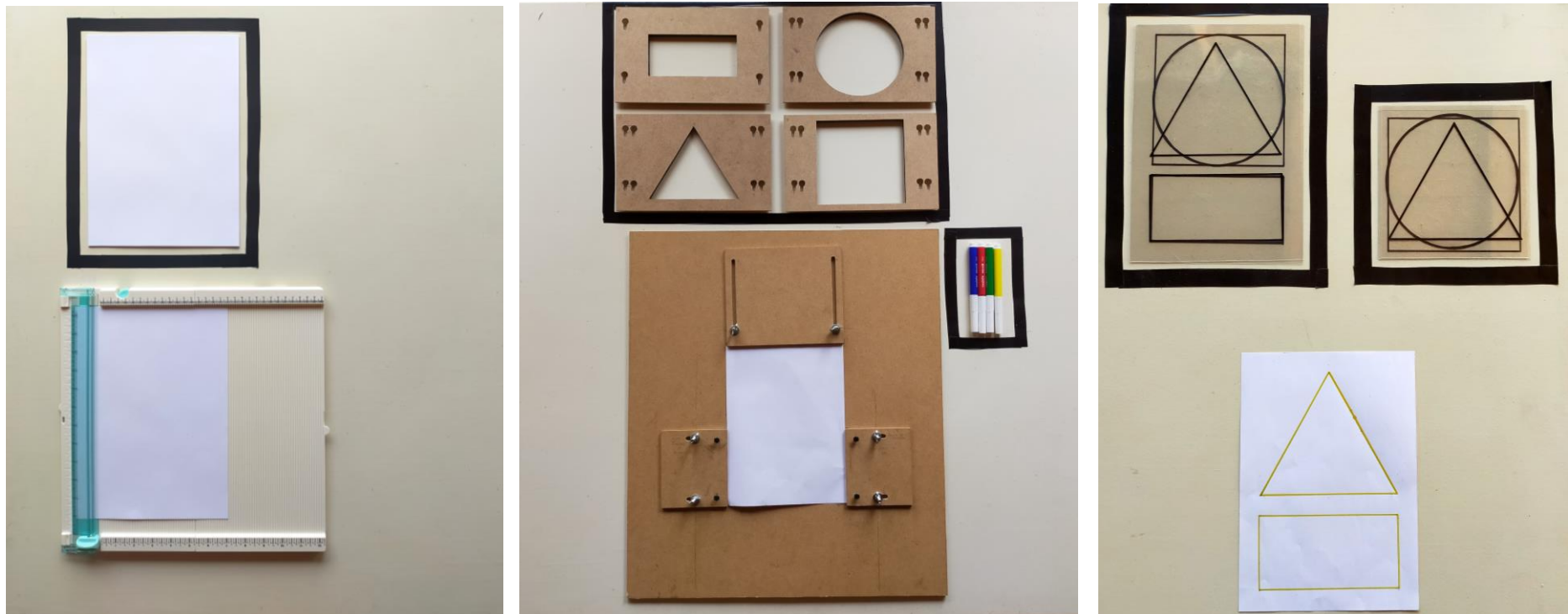


Figura 57. Implementación de las 5S en el puesto de trabajo. Fuente: elaboración propia.



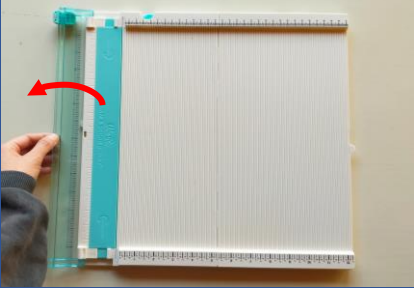

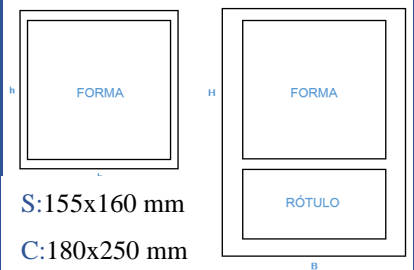
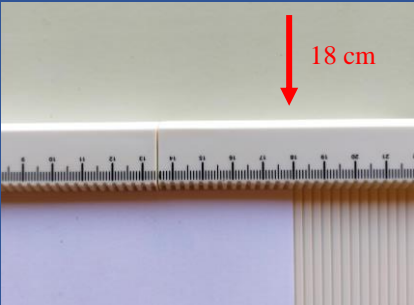
- ***Estandarización de procesos y procedimiento de operación***

Otro de los aspectos que va a suponer una disminución del tiempo que se emplea en realizar cada una de las operaciones es su estandarización. Para ello, se crean unas fichas en las que, detalladamente, se recoge la secuencia y el procedimiento de cada uno de los movimientos que constituyen la operación.

Es labor del jugador estudiárselas previamente al desempeño de su puesto, con el objetivo de eliminar los errores humanos que provoquen un aumento del tiempo de preparación en la fabricación de los diferentes lotes de señales.

Para la realización de los estándares de los procesos, se ha de estudiar previamente la secuencia de operaciones que sigue cada uno de los jugadores para desempeñar su trabajo. El fin de esto es proponerle al usuario los movimientos que ha de realizar para emplear un tiempo de preparación pequeño, pero considerando en todo momento la ergonomía del puesto.

A continuación, se muestran los estándares de cada uno de los tres puestos que componen la línea de fabricación. Es preciso aclarar que todos ellos hacen referencia a la dinámica del juego tras implementar todas las mejoras detalladas anteriormente.

PUESTO 1	
Descripción general del puesto:	<p>El jugador 1, empleando la cizalla métrica, ha de cortar el papel al tamaño de la señal a fabricar:</p> <p style="text-align: center;"><i>Simple:</i> 155 x 160 mm</p> <p style="text-align: center;"><i>Compuesta:</i> 180 x 250 mm</p>
Operación	Movimientos detallados
1	 <p>Levantar la regla de color azul que contiene la cizalla haciéndola girar hacia el lado izquierdo de la base de la maqueta.</p>
2	 <p>Coger una lámina en blanco del montón situado en el lado izquierdo de la mesa de trabajo y posicionarla verticalmente sobre la base.</p>
3	 <p>Determinar si la señal demandada por el cliente es simple o compuesta para conocer las medidas a las que es preciso cortar la placa.</p>
4	 <p>Posicionar la lámina alineando su lado derecho con la cota deseada de la regla métrica superior. (simple:155 mm / compuesta:180 mm).</p> <p><i>Nota: en la fotografía, señal compuesta</i></p>

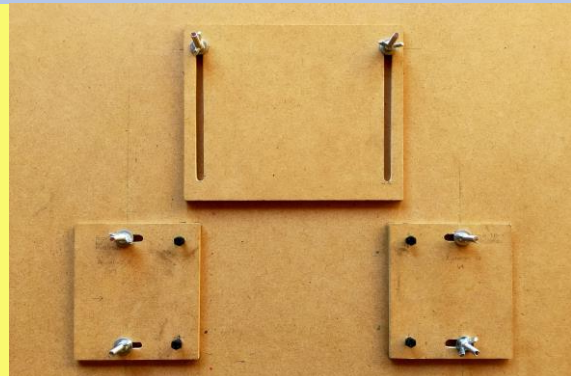
5		<p>Una vez alcanzada la primera cota, bajar la regla de la cizalla girándola hacia la parte interior.</p>
6		<p>Inmovilizar con la mano derecha la lámina y, con la mano izquierda agarrar el soporte de la cuchilla, deslizando desde el extremo superior hasta el inferior, realizando así el primer corte sobre la lámina.</p>
7		<p>Habiendo levantado de nuevo la regla que contiene la cizalla, retirar del entorno de trabajo el pequeño trozo de papel sobrante con la mano izquierda y, con la mano derecha, girar deslizando el papel 90° en el sentido contrario a las agujas del reloj.</p>
8		<p>Posicionar la lámina alineando su lado derecho con la cota deseada de la regla métrica superior. (simple:160 mm / compuesta:250 mm).</p> <p>Bajar de nuevo la cizalla una vez que el posicionamiento sea el correcto.</p>
9		<p>Inmovilizar con la mano derecha la lámina y, con la mano izquierda, agarrar el soporte de la cuchilla deslizando desde el extremo superior hasta el inferior, realizando así el segundo y último corte sobre la lámina.</p>

PUESTO 2 – Señal simple

Descripción general del puesto:

El jugador 2 ha de ajustar la maqueta adecuadamente, siguiendo las indicaciones, para dibujar la forma de la señal.

Para ello se han de emplear las plantillas y rotuladores correspondientes.



Operación

Movimientos detallados

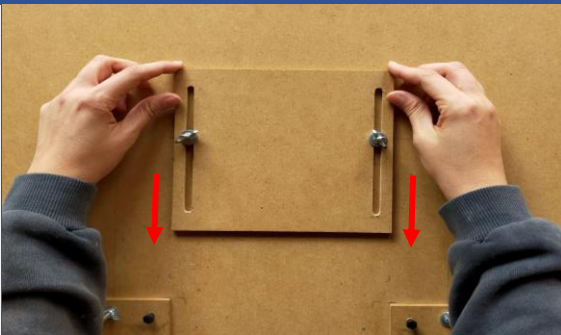
1



Posicionar el ajustador vertical hasta alcanzar la posición deseada.

Para desanclar la posición inicial del ajustador, colocar las manos sobre cada una de las mariposas de agarre de este y girarlas en **sentido antihorario**, simultáneamente, aflojándolas.

2

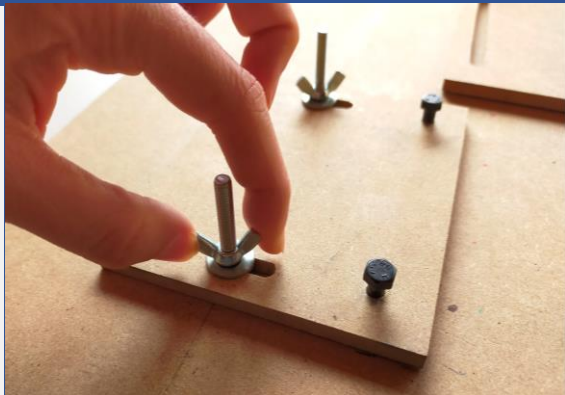


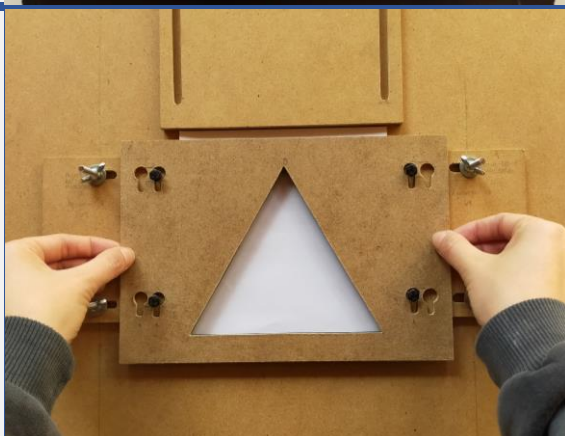


Mover el ajustador, deslizándolo sobre la base de la maqueta, hasta que el tornillo coincida con el extremo **superior** de la ranura del mismo.

3



Alcanzada la posición deseada, inmovilizar el ajustador a la base de la maqueta. Para ello, colocar las manos sobre cada una de las mariposas de agarre de este y girarlas en **sentido horario**, apretándolas.


4		<p>Repetir las operaciones 1, 2 y 3 con cada uno de los ajustadores horizontales hasta que los tornillos de ambos se sitúen en la parte externa de sus ranuras.</p>
5		<p>Coger la placa procedente del puesto 1 y situarla en el espacio de trabajo. Haciendo coincidir los lados de la misma con los bordes internos de los tres ajustadores.</p>
6		<p>Buscar la plantilla de la forma correspondiente a la señal que se vaya a fabricar, situadas en el la parte superior de la mesa de trabajo.</p>
7		<p>Introducir la cabeza de los pasadores de los ajustadores horizontales por la parte ancha de los cuatro agujeros en forma de pera, situados en la parte interna de la plantilla.</p>

8		<p>Fijar la plantilla, deslizándola hasta que los pasadores se sitúen en la parte estrecha de los agujeros.</p> <p><i>Para ello, situar los dedos índices sobre los tornillos inferiores de los ajustadores horizontales y empujar la plantilla hacia arriba, con los dedos pulgares colocados en el borde inferior de la plantilla.</i></p>
9		<p>Una vez colocada la plantilla, seleccionar el color del rotulador, dependiendo de la señal que se vaya a imprimir y contornear la forma de la señal.</p> <p><i>Para ello, seguir el perímetro de la forma, sin despegar la punta del rotulador de la espuma de la plantilla.</i></p>
10		<p>Retirar la plantilla de la maqueta, haciendo que los pasadores se sitúen en la parte ancha de los agujeros.</p> <p><i>Para ello, situar los dedos pulgares sobre los tornillos superiores de los ajustadores horizontales y empujar la plantilla hacia abajo, con los dedos índices colocados en el borde superior de la plantilla.</i></p>
11		<p>Una vez finalizada la impresión de la señal, sacarla de la base de la maqueta y posicionarla en su bandeja correspondiente situada en el lado derecho, fuera del espacio de trabajo, para que el jugador del puesto 3 pueda verificar su fabricación.</p>

PUESTO 2 – Señal compuesta


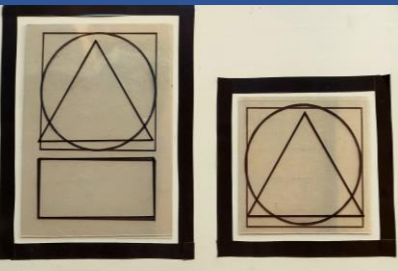
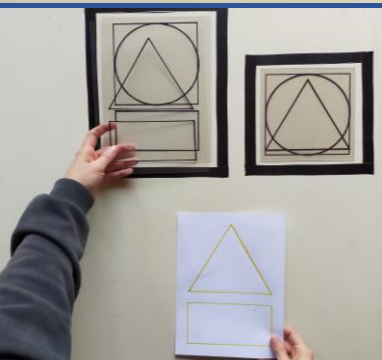
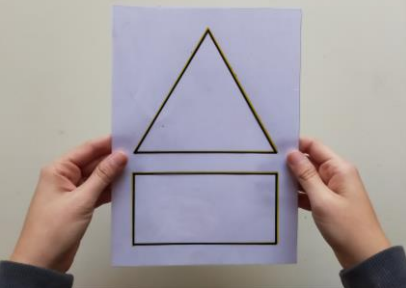
Descripción general del puesto:


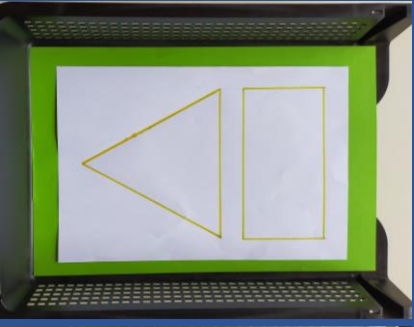
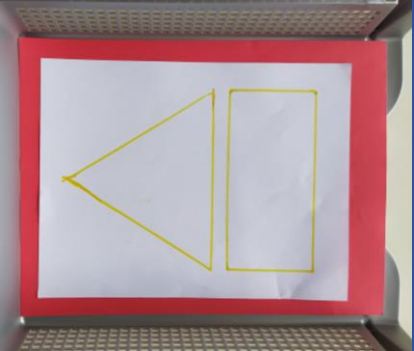
El jugador 2 ha de ajustar la maqueta adecuadamente, siguiendo las indicaciones, para dibujar la forma (ajuste 1) y el rótulo de la señal (ajuste 2). Se han de emplear para ello las plantillas y rotuladores correspondientes.

Operación		Movimientos detallados	
1		2	
1		<p>Modificar la posición de los ajustadores horizontales en el caso de que no estén en la posición de señal compuesta.</p> <p><i>Para ello, colocar las manos sobre cada una de las mariposas de agarre de estos y girarlas en sentido antihorario, simultáneamente, aflojándolas.</i></p>	
2		<p>Mover cada uno de los ajustadores horizontales, deslizándolos hacia la izquierda, hasta que los tornillos de ambos se sitúen en la parte interna de sus ranuras.</p>	

3		<p>Alcanzada la posición deseada, inmovilizar los ajustadores a la base de la maqueta.</p> <p><i>Para ello, colocar las manos sobre cada una de las mariposas de estos y girarlas en sentido horario, apretándolas.</i></p>
4		<p>No modificar la posición del ajustador vertical y comenzar imprimiendo el rótulo (ajuste 1) o la forma de la señal (ajuste 2), indistintamente.</p> <p><i>P.ej.: en la foto el ajustador está en posición de impresión de la forma.</i></p>
5		<p>Coger la placa procedente del puesto 1 y situarla en el espacio de trabajo. Haciendo coincidir los lados de la misma con los bordes internos de los tres ajustadores.</p>
6		<p>Buscar la plantilla de la forma correspondiente a la señal que se vaya a fabricar, situadas en el la parte superior de la mesa de trabajo.</p>
7		<p>Introducir la cabeza de los pasadores de los ajustadores horizontales por la parte ancha de los cuatro agujeros en forma de pera, situados en la parte externa de la plantilla.</p>

8		<p>Fijar la plantilla, deslizándola hasta que los pasadores se sitúen en la parte estrecha de los agujeros.</p> <p><i>Para ello, situar los dedos índices sobre los tornillos inferiores de los ajustadores y empujar la plantilla hacia arriba, con los dedos pulgares sobre su borde inferior.</i></p>
9		<p>Una vez colocada la plantilla, seleccionar el color del rotulador y contornear la forma de la señal.</p> <p><i>Para ello, seguir el perímetro de la forma, sin despegar la punta del rotulador de la espuma de la plantilla.</i></p>
10		<p>Retirar la plantilla, haciendo que los pasadores se sitúen en la parte ancha de los agujeros.</p> <p><i>Para ello, poner los pulgares sobre los tornillos superiores de los ajustadores y empujar la plantilla hacia abajo, con los dedos índices sobre su borde superior.</i></p>
11		<p>Realizar la impresión restante (forma o rótulo). Repetir para ello, de la operación 5 a la 10 con la plantilla correspondiente.</p> <p><i>Nota: el ajustador vertical en este caso ha de ser modificado al extremo contrario.</i></p>
12		<p>Finalizada la impresión, sacar la señal de la maqueta y posicionarla en su bandeja correspondiente, situada en el lado derecho, fuera del espacio de trabajo.</p>

PUESTO 3	
Descripción general del puesto:	El jugador 3 ha de comprobar las especificaciones geométricas y dimensionales de la señal fabricada superponiendo sobre ella la plantilla de verificación correspondiente.
Operación	Movimientos detallados
1	 <p>Coger la señal impresa procedente del puesto 2 de la bandeja situada en el lado izquierdo de la mesa de trabajo y colocarla sobre el espacio de trabajo reservado para el desarrollo del puesto 3.</p>
2	 <p>Determinar si la señal es simple o compuesta y buscar la plantilla de la forma de la señal a verificar. <i>Las plantillas de verificación simples estarán colocadas en el lado superior derecho de la mesa de trabajo y las compuestas en el izquierdo.</i></p>
3	 <p>Con la mano del lado correspondiente al lado del montón de las plantillas, coger la plantilla seleccionada y, con la mano contraria, coger la señal impresa.</p>
4	 <p>Posicionar la plantilla de verificación sobre la señal impresa y sujetar ambas, posicionando la mano izquierda y derecha sobre los lados izquierdo y derecho de estas, respectivamente.</p>

5		<p>Dar un suave toque sobre la mesa de trabajo para cerciorarse de que la plantilla de verificación está bien posicionada y coincide con la señal impresa. Comprobar, posteriormente, si los trazos de la señal coinciden (a) o no (b) con los de la plantilla.</p>
6		<p>(a) En el caso de que los trazos coincidan, aprobar la calidad del producto terminado y almacenarlo en la bandeja de productos terminados situada aguas abajo del puesto 3, a la espera de que sea embalado.</p>
7		<p>(b) En el caso de que los trazos de la señal disten notablemente de los trazos de la plantilla de verificación, desechar el producto depositándolo en la bandeja de productos defectuosos y comunicárselo a los operarios de la línea para que realicen una nueva fabricación.</p>

Teniendo en cuenta las mejoras propuestas, la línea de fabricación se ve ligeramente modificada. En la Figura 58 se muestra un croquis en planta, de la línea de fabricación, donde, de izquierda a derecha, podemos observar los puesto P1, P2 y P3.

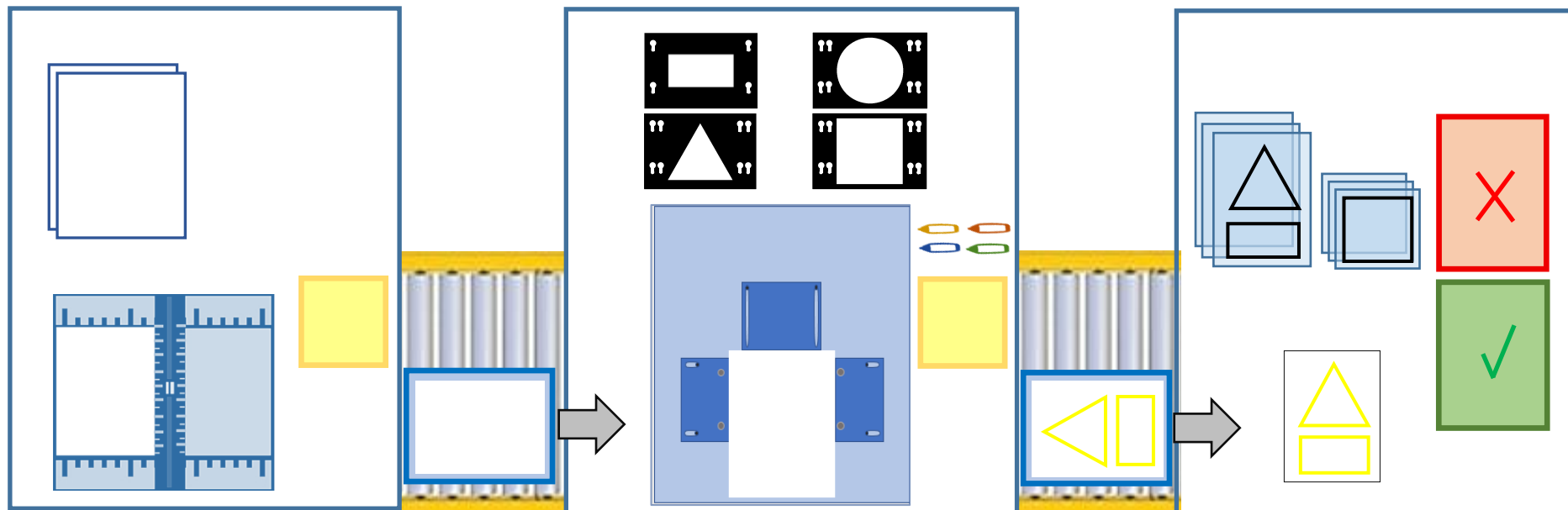


Figura 58. Línea de fabricación mejorada.

Fuente: elaboración propia.

Por último, se muestra el desarrollo de los tres puestos que intervienen en la línea de fabricación. En la Figura 59 se puede observar la dinámica del juego en su versión final, después de implementar las mejoras de diseño y las 5S en el entorno de trabajo y cumplir con los estándares de fabricación.

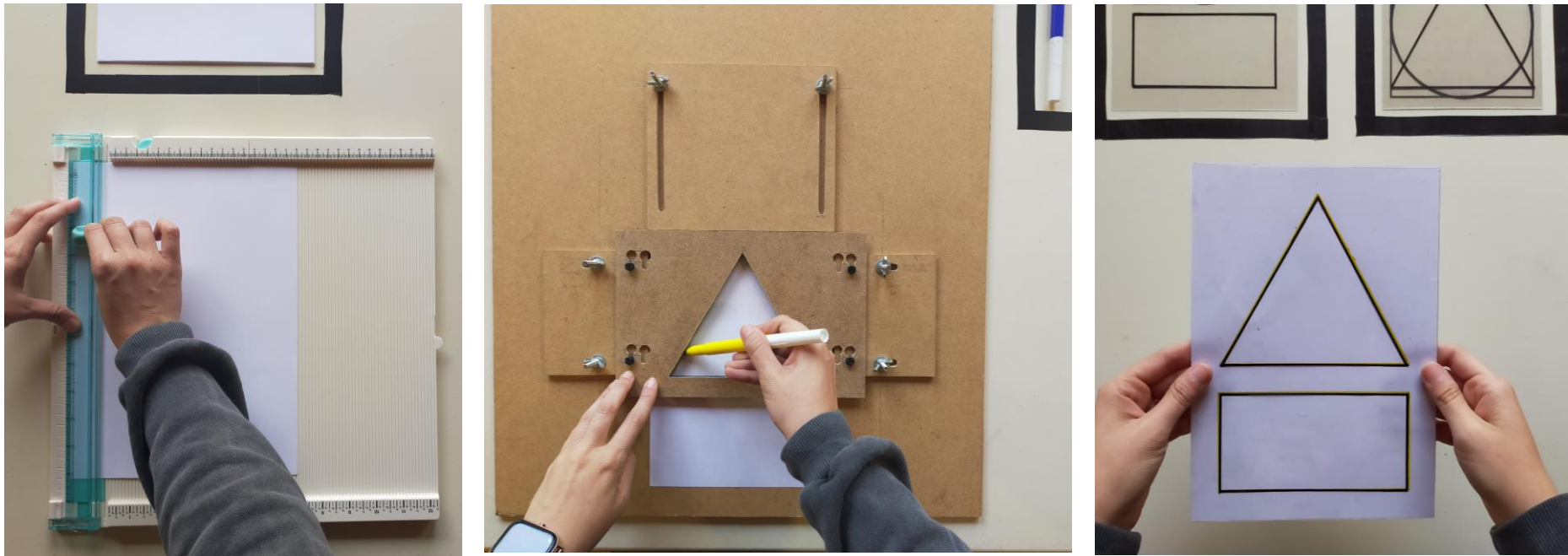


Figura 59. Implementación de la línea de producción final.

Fuente: elaboración propia.

7.3 Análisis de resultados

7.3.1 Disminución progresiva del tiempo:

Tras diseñar y ejecutar las mejoras, mostradas previamente, referidas a los tres puestos de la línea de fabricación, se realizan las simulaciones correspondientes de la implementación progresiva de cada una de ellas, con el objetivo de completar la última dinámica del juego.

En primer lugar, se procede implementando las mejoras correspondientes al puesto que supone el cuello de botella de la línea de fabricación, el puesto 2, referido a la impresión de la señalética. Como se ha podido observar en los resultados de los tiempos medios de preparación de la Tabla 15, el puesto de fabricación principal es el que mayor tiempo de preparación requiere.

Tras la implementación de cada una de las mejoras de este puesto, se lleva a cabo la fabricación de diversos lotes de señales en los que intervienen los cuatro tipos de cambios de la maqueta, realizándose su correspondiente toma de tiempos de preparación, como se muestra en la Tabla 26.

Posteriormente, y, en base a los resultados obtenidos de los tiempos de preparación finales del puesto 2, se lleva a cabo la implementación de las mejoras de los puestos situados aguas arriba y aguas abajo del puesto de fabricación principal.

Como se muestra en la Tabla 26, es tan notable la disminución de los tiempos de preparación del puesto central de la línea, que es preciso mejorar la dinámica de los puestos 1 y 3, ya que el cuello de botella pasa a situarse en el puesto inicial de la línea de fabricación.

En la siguiente tabla aparecen, por lo tanto, los tiempos de preparación medios de cada puesto que se obtienen tras la implementación de cada una de las mejoras.

Es preciso aclarar que los guiones hacen referencia a que la mejora en cuestión no interfiere en la variación de los tiempos de preparación medios correspondientes a ese puesto.

Tabla 26. Disminución progresiva de los tiempos medios de preparación debido a la implementación de mejoras. Fuente: elaboración propia.

Cambio		Tiempos de partida		Mejoras Puesto 1		Mejoras Puesto 2				Mejoras Puesto 3	
		Dinámica de la Etapa 2		Cizalla con métrica		Mariposas de agarre		Plantillas con doble agujero Agujeros en forma de pera Sujeción con pasadores Espumas		Plantillas de verificación	
1	Simple A	P1	1'04"	P1	0'18"	P1	-	P1	-	P1	-
	↓	P2	1'20"	P2	-	P2	1'09"	P2	0'21"	P2	-
	Simple B	P3	0'14"	P3	-	P3	-	P3	-	P3	0'06"
2	Compuesta A	P1	1'11"	P1	0'17"	P1	-	P1	-	P1	-
	↓	P2	1'38"	P2	-	P2	1'22"	P2	0'26"	P2	-
	Simple B	P3	0'12"	P3	-	P3	-	P3	-	P3	0'05"
3	Compuesta A	P1	1'13"	P1	0'20"	P1	-	P1	-	P1	-
	↓	P2	2'40"	P2	-	P2	2'29"	P2	0'49"	P2	-
	Compuesta B	P3	0'15"	P3	-	P3	-	P3	-	P3	0'9"
4	Simple A	P1	1'16"	P1	0'19"	P1	-	P1	-	P1	-
	↓	P2	2'52"	P2	-	P2	2'44"	P2	0'53"	P2	-
	Compuesta B	P3	0'14"	P3	-	P3	-	P3	-	P3	0'07"

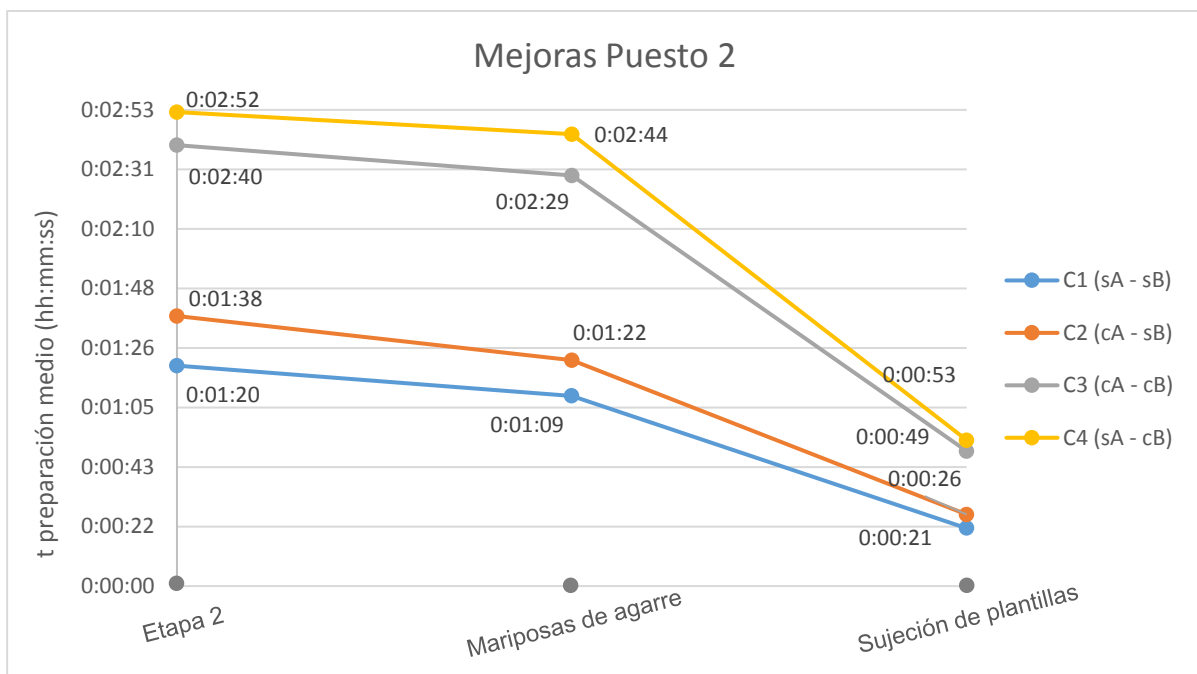
A continuación, en base a los resultados de la tabla anterior, se realiza un análisis gráfico de la disminución progresiva de los tiempos de preparación medios que supone cada una de las mejoras en cada uno de los puestos de la línea de fabricación.

Para ello, se toman como referencia los tiempos de preparación medios obtenidos tras el desarrollo de la dinámica de la Etapa 2 del juego.

Así pues, tras la implementación de las mejoras del puesto 2, se tiene:

Gráfico 1. Disminución del tiempo de preparación medio tras las mejoras del puesto 2.

Fuente: elaboración propia.



De forma lógica y, como muestra el gráfico, el tiempo de preparación medio del puesto 2 es mayor conforme el tipo de cambio incrementa, y con ello, aumenta también el número de operaciones de ajuste que es preciso realizar en la maqueta.

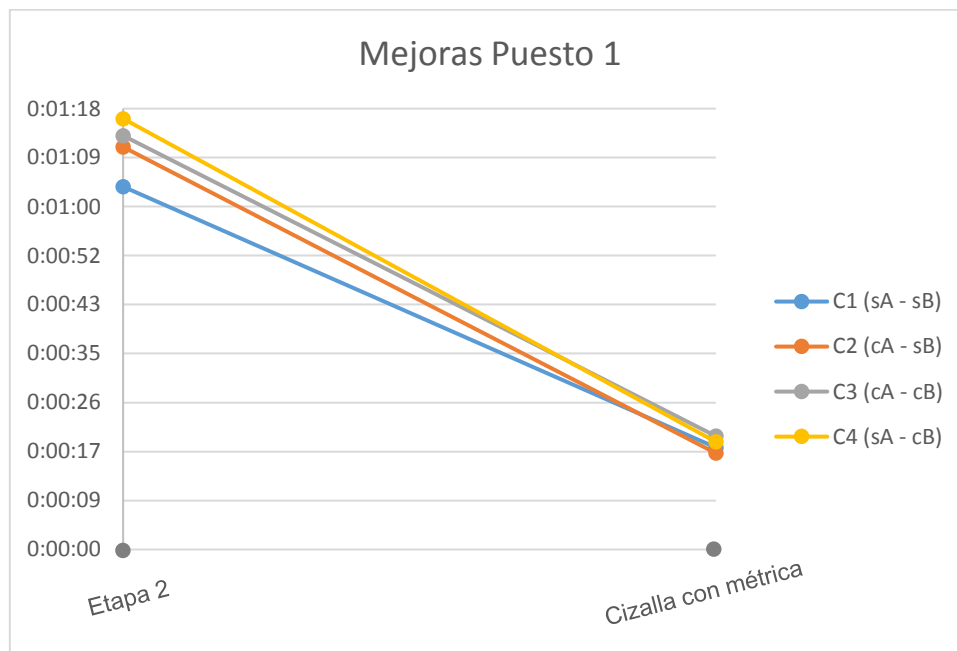
Además, se observa la disminución de tiempo que conlleva la implementación de cada mejora. Si bien, la sustitución de las tuercas por las mariposas de agarre supone una ligera disminución del tiempo de preparación causada por el mejor manejo de estas, es drástica la disminución de tiempo que se produce cuando se implementa la mejora relacionada con el anclaje de las plantillas a la maqueta, pues, como se comentaba anteriormente, el mayor desperdicio de tiempo en la etapa 2 se produce en esta operación.

En la Gráfica 1 podemos observar que, tras la implementación de todas las mejoras del puesto central de fabricación, se pasa de unos tiempos de preparación medios de la maqueta de casi 3' a realizar cualquiera de los cambios de lote en menos de 1'. De este modo, se solventa el cuello de botella producido en el puesto.

Por ello, es necesario mejorar los tiempos de preparación del puesto 1, ya que se prevé que se produzca en él el cuello de botella, al ser superiores sus tiempos de preparación que los tiempos de preparación finales del puesto 2.

Gráfico 2. Disminución del tiempo de preparación medio tras las mejoras del puesto 1.

Fuente: elaboración propia.

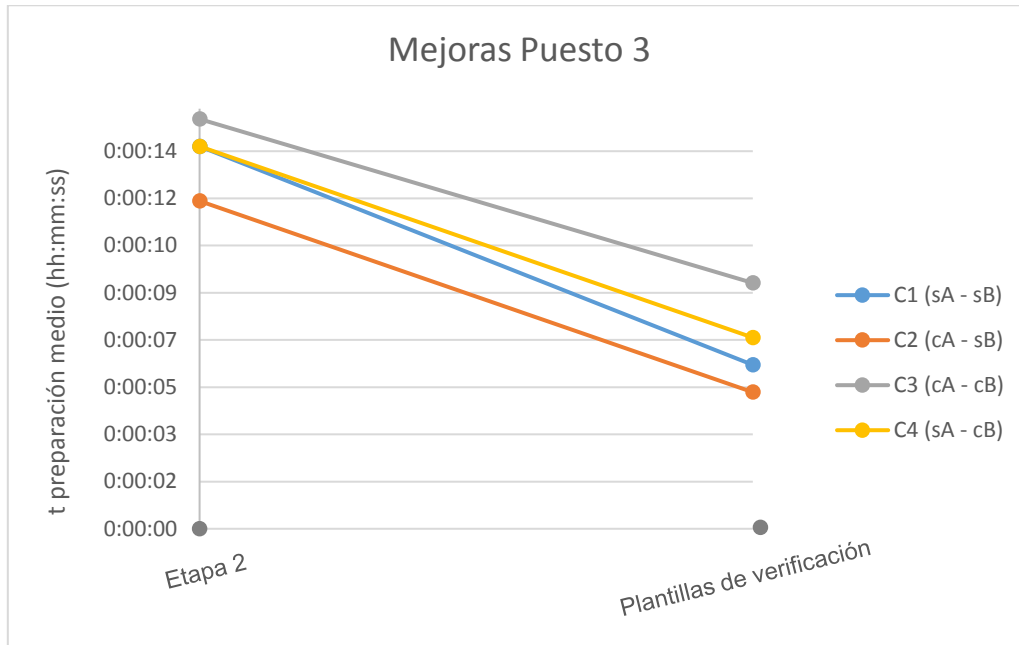


De forma lógica, el tipo de cambio no interviene en los tiempos de preparación medios de este puesto. Como se observa en el Gráfico 2, tras la implementación de la cizalla con métrica, se disminuye en cinco el tiempo de preparación de este puesto, pasando a desempeñar el corte de las placas de las señales en una media de 0'20".

Por último, se implementan las mejoras del puesto 3, que si bien, aunque este puesto parte de los menores tiempos de preparación medios de la línea, su dinámica es sencilla de mejorar incluyendo las plantillas de verificación descritas con anterioridad. Así pues, los tiempos de preparación medios obtenidos tras la incorporación de la mejora se observan en la Gráfica 3.

Gráfico 3. Disminución del tiempo de preparación medio tras las mejoras del puesto 3.

Fuente: elaboración propia.



De igual forma que sucede en el puesto 1, los tipos de cambio no interfieren prácticamente en los tiempos de preparación medios del puesto 3.

Como se muestra, tras la inclusión de las plantillas como método de verificación, se reducen a la mitad los tiempos de preparación individuales del puesto 3, aproximadamente.

Al ser este puesto el que menor carga de trabajo desempeña en la línea de fabricación, al jugador que ocupe el puesto de verificación se le atribuyen las labores de colaboración en la línea, como puede ser el aprovisionamiento de útiles y materiales y la resolución de incidencias.

7.3.2 Comparativa de resultados

Tras analizar gráficamente la disminución progresiva de los tiempos de preparación individuales, se fabrica la **secuencia de señales** mostrada en la Figura 50, implementando progresivamente las mejoras en toda la línea de producción con el objetivo de comparar los tiempos de preparación medios del juego. El orden de implementación de las mejoras corresponde con el mostrado anteriormente.

Tabla 27. Tiempos de preparación medios en la fabricación de una secuencia de señales tras la implementación progresiva de mejoras.

Fuente: elaboración propia.

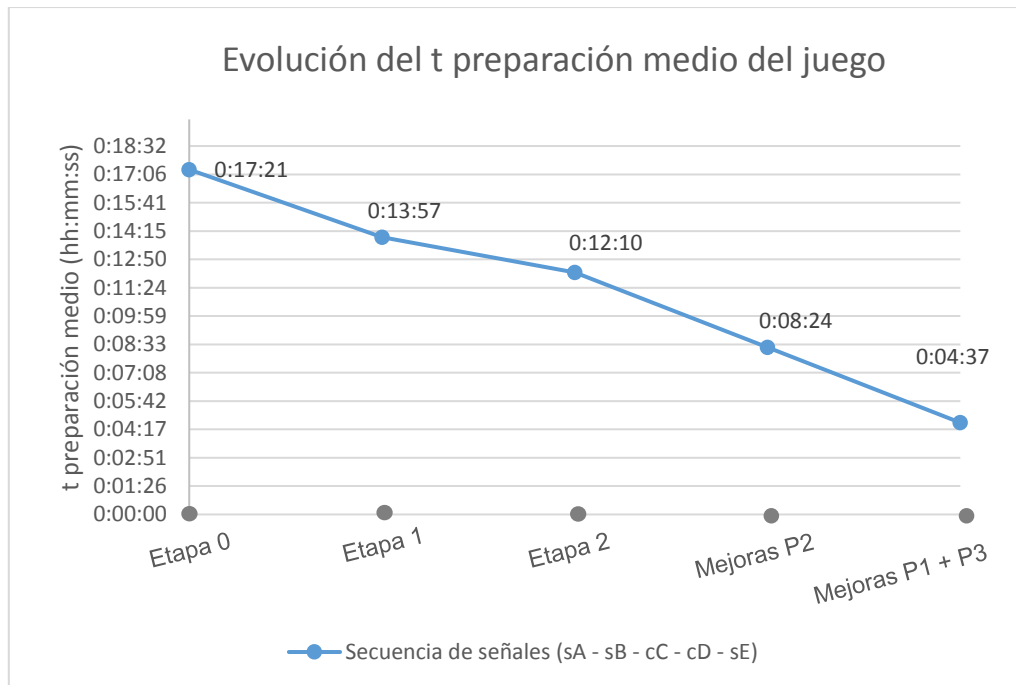
Tipo de Cambio	Dinámica inicial		Dinámica con maqueta	Mejoras		
	Etapa 0	Etapa 1	Etapa 2	Puesto 2		Puesto 1 + Puesto 3
				Mariposas de agarre	Plantillas con doble agujero Agujeros en forma de pera Sujeción con pasadores Espumas	Cizalla con métrica Plantillas verificación
1 + 4 + 3 + 2	17' 21" 09"	13' 57" 05"	12' 10" 07"	11' 25" 16"	8' 24" 16"	4' 37" 09"

En base a los resultados de la Tabla 27, donde se añaden los tiempos de preparación medios obtenidos tras la implementación de las mejoras de cada puesto de la línea, podemos observar la disminución progresiva que se produce desde el inicio del juego, en la Etapa 0, hasta el final del mismo.

De igual forma que se hizo anteriormente, se grafican los resultados de tiempo de preparación medio, obteniendo:

Gráfico 4. Tiempo de preparación medio en la fabricación de una secuencia de señales.

Fuente: elaboración propia.



Como se ha mencionado anteriormente, los tiempos presentes en el Gráfico 4 hacen referencia al tiempo de preparación medio global que se precisa para fabricar una **secuencia de cinco señales** en la que intervienen los cuatro tipos de cambio existentes.

Como se concluyó en apartado 7.1 tras realizar la comparativa de la dinámica inicial (etapa 0 y etapa 1) con la dinámica con aporte de material (etapa 2), es necesario seguir disminuyendo los tiempos medios de preparación ya que, aunque en la etapa 2 se incluye la maqueta para uniformizar la calidad de los productos y equilibrar el tiempo de preparación empleado en la fabricación de cada tipo de señal, se producen



elevados desperdicios de tiempo en el proceso de fabricación y, sobre todo, en las operaciones de ajuste para el intercambio de plantillas.

Partiendo de un tiempo medio de preparación de 12'10" en la etapa 2, donde el puesto 2 supone el cuello de botella de la línea, se consigue disminuir en aproximadamente 4' el tiempo medio de preparación, tras la implementación de las mejoras de ese puesto y solventando la muda que se produce en el intercambio de plantillas.

Aun así, el tiempo de preparación sigue siendo elevado, pues el cuello de botella pasa a estar en el puesto 1, que ralentiza en gran medida el ritmo de producción.

Como se muestra en el Gráfico 4, tras atacar el nuevo cuello de botella e implementar las mejoras de los puestos 1 y 3 de la línea, se consigue pasar de un tiempo medio de preparación inicial de 17'21" a realizar la fabricación de la secuencia de las cinco señales en 4'37".

Esto quiere decir que, tras el empleo de la técnica SMED y la implementación progresiva de las mejoras, se disminuye en 4 el tiempo de preparación medio empleado en la fabricación de los lotes y se consigue realizar cualquier tipo de cambio en menos de 1'.

El objetivo del juego se ha logrado, pero como se sabe, la filosofía del Lean Manufacturing y con ello, la de la mejora continua, promueven la mejora y evolución continua de los procesos, que han de estar en constante revisión.

En esta línea, el presente trabajo tendría que ser evaluado de nuevo, proponiendo nuevas mejoras enfocadas en la disminución de los tiempos de preparación y optimización de las operaciones de la línea de fabricación, continuando así con el carácter dinámico de esta filosofía.



8. ESTUDIO ECONÓMICO

8.1 Introducción

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño y fabricación de un serious game que sirva de apoyo al aprendizaje de una de las principales técnicas del Lean Manufacturing, el SMED.

Al tratarse de un proyecto, tanto de diseño como de implementación, en el estudio económico es preciso tener en cuenta tanto las horas de diseño y planificación del juego como las horas de fabricación física de este, los equipos empleados, los materiales utilizados para su construcción y el personal involucrado en cada una de las fases del proyecto.

Además, al tratarse de un juego físico que va a ser manipulado por diversos usuarios, el desgaste por uso y el fallo de las piezas que lo conforman es un factor importante para tener en cuenta. De este modo, existirá un coste por mantenimiento que hace referencia al repuesto de aquellos ítems que es preciso sustituir para que el juego permanezca en correcto estado.

A la hora de analizar el personal que interviene en el desarrollo del proyecto, hay que tener en cuenta no sólo al responsable del diseño, fabricación y coordinación del juego, sino también a los usuarios que participan en las simulaciones de ensayo que sirven para mejorar aspectos relacionados con el diseño y la dinámica del juego.

8.2 Elaboración del proyecto: fases

En este apartado se determinan y se explican las fases que componen un proyecto de este tipo. Esta tarea es imprescindible para que, en el próximo apartado, resulte más sencillo evaluar los costes del proyecto.

8.2.1 Surgimiento de la idea de elaboración del proyecto

En esta etapa se plantea la necesidad de elaborar un juego serio como complemento al aprendizaje en las aulas de formación de Lean Manufacturing. Se explican los conceptos que ha de abordar el juego, las características que ha de tener y los objetivos que se pretenden alcanzar con su desarrollo.



Se busca al personal encargado de diseñar la dinámica y elaborar una maqueta en la que se puedan implementar las herramientas de la técnica SMED.

Además, en la fase de concepción del proyecto, se realiza un estudio de viabilidad de este, con el propósito de analizar si su elaboración es factible o no, determinando los recursos que implica su elaboración, tanto personales como materiales.

8.2.2 Búsqueda de información

Terminada la primera fase y habiendo decidido que el proyecto es viable, se procede a la recopilación de la información necesaria para su posterior desarrollo.

Se comienza buscando bibliografía relacionada con la técnica que ha de abordar el proyecto. Una vez sentados los conceptos del SMED que han de abordarse en el juego y conocer ejemplos prácticos de empresas en las que se han implantado mejoras para la disminución del tiempo de preparación de sus procesos, se busca información relativa a los juegos serios, así como ejemplos existentes de estos que sirvan de inspiración para el proyecto presente.

8.2.3 Análisis y diseño del juego

En esta fase se analiza la información obtenida durante la planificación del proyecto y se clasifica según su relevancia, con el objetivo de clarificar las ideas y facilitar el proceso de diseño del juego.

Posteriormente, se realizan analogías de líneas de producción reales que se puedan simular mediante una maqueta portátil. Antes de elegir la opción que se va a llevar a cabo, es preciso estudiar con detalle las limitaciones de cada una de ellas. Tras evaluarlas, se elige una opción sencilla, factible de fabricar y que tenga relación con el mundo de la ingeniería. La opción elegida se adapta a las características pedidas y con ella se ponen en juego conceptos del SMED: la fabricación de señales de seguridad en el trabajo.

Esta producción es simple y pone en juego factores de diferenciación que son útiles para formar diversos lotes de producción: formas, colores y posicionamiento.



8.2.4 Diseño de la maqueta

Una vez elegido el producto final, se diseña la dinámica del juego para poner en práctica los conceptos y las herramientas que conforman el SMED.

El juego se estructura en 3 fases, desde una producción simple contando con el mínimo material posible, hasta una producción en la que se incluye una maqueta que simula el proceso de imprenta de las señales de seguridad.

El siguiente paso es, por lo tanto, diseñar dicha maqueta. Se emplea un software de diseño 3D para fijar las tolerancias geométricas y dimensionales que han de tener las piezas que la componen para lograr la producción fijada en la anterior fase.

8.2.5 Construcción de la maqueta

Tras haber concretado el diseño de la maqueta, el siguiente paso es construirla. Para ello, es preciso determinar previamente los materiales, útiles, herramientas y piezas necesarios para fabricarla.

En esta fase, hay que tener en cuenta, tanto los materiales empleados como las horas dedicadas a su elaboración.

8.2.6 Realización de simulaciones

Antes de comenzar con las simulaciones, es preciso fijar unas instrucciones básicas de juego. Esta fase es fundamental para que los jugadores sepan cómo actuar ante cualquier tipo de escenario.

En esta fase se ha de tener en cuenta el tiempo y el personal empleado en realizar las simulaciones.

8.2.7 Análisis de resultados y propuesta de mejoras.

Tras la realización de las simulaciones, es preciso analizar los resultados de los tiempos de preparación obtenidos en la fabricación de las diversas señales.

En esta fase, por lo tanto, se ha de tener en cuenta el coste del personal que interviene en la propuesta de las mejoras y en el estudio y valoración de estas, así como las horas empleadas en modificar y mejorar la dinámica del juego hasta darle la forma definitiva para que se alcancen los objetivos previstos.

Las fases 6 y 7 se repetirán, por lo tanto, tantas veces como sean necesarias hasta que el tiempo de preparación disminuya notablemente y se considere aceptable.

8.3 Estudio económico

Tras conocer cada una de las fases que conforman el proyecto, el siguiente paso es asociar los costes directos e indirectos a cada una de ellas, elaborando de este modo el estudio económico del proyecto.

Para poder llegar a calcular el coste total del proyecto, es preciso evaluar previamente diferentes aspectos que intervienen en la obtención de este:

1. Cálculo del coste de operación
2. Costes indirectos
3. Coste del equipo empleado y cálculo de sus amortizaciones
4. Coste de los materiales

Antes de calcular de cada uno de los apartados, es preciso contabilizar el número de días y horas efectivas anuales, para referir los cálculos a términos horarios.

Tabla 28. Días y horas efectivas anuales.

Fuente: elaboración propia.

Concepto		Días
Año		365
Periodo no laborable	- Fines de semana	-96
	- Vacaciones	-20
	- Festivos	-14
	- Asuntos propios	-2
Total días año		233
Total horas año (8 horas/día)		1.864

8.3.1 Cálculo del coste de operación

En este apartado se detallará el coste horario del personal involucrado en el desarrollo del proyecto. De este modo, será sencillo calcular posteriormente el coste de



operación del proyecto, teniendo en cuenta el número de horas que los trabajadores han realizado en cada fase del proyecto.

Para ello, se dividirá el coste anual que le supone a una empresa contratar a los trabajadores involucrados en el desarrollo del proyecto entre el total de las horas efectivas con las que cuenta un año, previamente estimadas.

Para lograr el desarrollo del proyecto se ha considerado personal diverso:

- *Director de proyecto:* entre las labores de dirección del proyecto, el Ingeniero Industrial encargado de este puesto elabora el estudio de viabilidad de este y aprueba su diseño.
- *Supervisor del proyecto:* otro Ingeniero Industrial se encarga de realizar las labores de supervisión del proyecto. Colaborando con el director del proyecto, se encarga de vigilar su correcto funcionamiento tras su implementación.
- *Colaborador de fabricación:* un operario de marquería se encarga de fabricar el proyecto una vez concluido su diseño. El colaborador de fabricación sigue las directrices del director y el supervisor del proyecto para cumplir en todo momento con las especificaciones.
- *Colaborador de desarrollo:* cuatro operarios de línea de producción son los encargados de participar en las simulaciones del proyecto antes de su implementación final, con el objetivo de ayudar a perfeccionar su dinámica.

Teniendo en cuenta los sueldos brutos anuales de cada convenio colectivo correspondientes a los puestos ocupados por los trabajadores en el proyecto, se calcula el coste horario que supone contratar al personal involucrado en el proyecto. Es preciso tener en cuenta que el coste total anual será la suma del sueldo bruto anual y el porcentaje que contribuye a la seguridad social, a cargo de la empresa:

Tabla 29. Coste horario de los trabajadores. Fuente: elaboración propia.

Ocupación	Sueldo bruto anual	Seguridad social c/ empresa (23 %)	Coste anual	Coste horario
Director del proyecto (Ingeniero Industrial)	46.000 €	10.580 €	56.580 €	30,35 €/h
Supervisor del proyecto (Ingeniero Industrial)	28.000 €	6440 €	34.440 €	18,48 €/h
Colaborador de fabricación (Operario marquetería)	18.000 €	4140 €	22.140 €	11,88 €/h
Colaborador de desarrollo (x4) (Operario línea producción)	18.000 €	4140 €	22.140 €	11,88 €/h

Tras conocer el coste horario que supone contratar a cada uno de los profesionales, se realiza una estimación de las horas que desarrolla cada uno de ellos en cada fase.

Tabla 30. Desempeño de los trabajadores según la fase. Fuente: elaboración propia.

Ocupación	Horas dedicadas							Horas/ trabajador
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	
Director del proyecto	10	10	15	15	15	10	15	90
Supervisor del proyecto	10	50	70	100	25	30	15	300
Colaborador de fabricación	-	-	-	-	100	-	-	100
Colaborador de desarrollo 1	-	-	-	-	-	30	15	45
Colaborador de desarrollo 2	-	-	-	-	-	30	15	45
Colaborador de desarrollo 3	-	-	-	-	-	30	15	45
Colaborador de desarrollo 4	-	-	-	-	-	30	15	45
Total horas/ fase	20	60	85	115	140	160	90	670

8.3.2 Costes indirectos

Es preciso contabilizar los gastos referidos a los consumos de electricidad de los equipos empleados en la elaboración del proyecto. Para ello, hay que conocer la potencia que consume cada uno de ellos.

Tabla 31. Horas de utilización de los equipos según la fase. Fuente: elaboración propia.

Equipo	Potencia consumida	Horas dedicadas/ fase							Total Horas
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	
Equipo informático 1	220 W	10	10	15	15	10	10	15	85
Equipo informático 2	220 W	10	50	70	100	20	20	15	285
Taladro	750 W	-	-	-	-	30	-	-	30
Sierra de calar	600 W	-	-	-	-	70	-	-	70

Así pues, dependiendo del número de horas de uso, se calcula posteriormente, fase a fase, el consumo y su coste correspondiente. Para ello, hay que tener en cuenta que el precio medio de la electricidad en España es aproximadamente 0,14 €/kWh con el IVA incluido.

8.3.3 Coste del equipo empleado y cálculo de sus amortizaciones

Además, hay que tener en cuenta la depreciación del valor los equipos debido a su uso. En la siguiente tabla se muestran los equipos empleados en el proceso de diseño del juego y durante su desarrollo.

Tabla 32. Coste total de los equipos empleados en el proyecto. Fuente: elaboración propia.

Concepto		Coste ud.	Uds.	Coste total
Equipos informáticos	Ordenador portátil HP Pavilion	650 €	1	650 €
	Ordenador portátil Acer 5 EX215	569 €	1	569 €
Software	Microsoft Windows 8	99,8 €	2	199,6 €
	Microsoft Office	99 €	2	198 €
	Licencia estudiante Catia V5	120 €	2	240 €

Equipos para la fabricación	Taladro Bosch EasyDrill 1200	100 €	1	100 €
	Sierra de calar Bosch PST 650	55 €	1	55 €
COSTE TOTAL				1891,6 €

Para la amortización de los equipos, se tienen en cuenta los términos regulados por la Agencia Estatal de Administración Tributaria relativos a la vida útil máxima de cada elemento. De este modo, y considerando una amortización de cuota lineal, observamos en la siguiente tabla la amortización anual y horaria de cada uno de los equipos.

Tabla 33. Amortizaciones anuales y diarias de los equipos.

Fuente: elaboración propia.

Concepto		Coste total	Periodo de años de vida útil máx.	Amort. anual	Amort. horaria
Equipos informáticos	Ordenador portátil HP Pavilion	650 €	8 años	81,25 €	0,044 €
	Ordenador portátil Acer 5 EX215	569 €	8 años	71,13 €	0,038 €
Software	Microsoft Windows 8	99,8 €	6 años	16,63 €	0,009 €
	Microsoft Office	99 €	6 años	16,5 €	0,009 €
	Licencia estudiante Catia V5	120 €	6 años	20 €	0,011 €
Equipos para la fabricación	Taladro Bosch EasyDrill 1200	100 €	8 años	12,5 €	0,007 €
	Sierra de calar Bosch PST 650	55 €	8 años	6,87 €	0,004 €
AMORTIZACIÓN TOTAL				258,01 €	0,239 €

8.3.4 Coste de los materiales

Otro de los costes que es necesario contabilizar para la realización del estudio económico del proyecto es el de los materiales utilizados en su fabricación y durante su puesta en marcha (materiales consumibles).

En la Tabla 34 se muestra el precio unitario y total de los ítems empleados.

Tabla 34. Coste total de los materiales.

Fuente: elaboración propia.

	Material	Precio unitario	Cantidad	Precio total
Fabricación	Tijeras	5 €	2 Uds.	10 €
	Regla métrica	2 €	3 Uds.	6 €
	Cronómetro	8 €	1 Ud.	8 €
	Cizalla con métrica	20 €	1 Ud.	20 €
	Papeles de colores autoadhesivos	1,75 €	1 Uds.	1,75 €
	Tablero fibrapan espesor 5mm	5,1 €/m ²	1,5 m ²	7,65 €
	Panel espesor 3mm	7,18 €/m ²	0,8 m ²	5,75 €
	Tornillo cabeza avellanada 5x40	0,18 €/Ud.	10 Uds.	1,8 €
	Tuerca M5	0,03 €/Ud.	10 Uds.	0,3 €
	Mariposa M5	0,15 €/Ud.	10 Uds.	1,5 €
	Perno M5	0,8 €/Ud.	4 Uds.	3,2 €
	Arandelas lana para M5	0,07 €/Ud.	20 Uds.	1,4 €
	Caja organizadora	3,25 €/Ud.	1 Ud.	3,25 €
	Set de 5 mini limas para madera	3,30 €/Ud.	1 Ud.	3,30 €
Consumible	Papel cartulina blanco A4 300 g/m ²	24 €/100 Uds.	1	24 €
	Papel cartulina cuadriculado A4	10 €/50 Uds.	1	10 €
	Pack dibujo	3 €	3	9 €
	Pack Rotuladores de colores	1,95 €	2	3,9 €
	Láminas plástico transparente	12 €/12 Uds.	1	12 €
Coste Total				142,8 €

8.3.5 Coste asignado a cada fase del proyecto.

Teniendo en cuenta los costes de los apartados anteriores se calcula finalmente el coste total que supone el proyecto. Conociendo las horas realizadas por cada trabajador, así como las horas de funcionamiento de cada equipo en cada fase, se calcula, para cada una de ellas, el coste total asociado.

Fase 1: surgimiento de la idea de elaboración del proyecto

En la Fase 1, en la que tiene lugar el surgimiento de la idea del proyecto, intervienen el director del proyecto y el supervisor de este, ambos Ingenieros Industriales. Durante esta fase, se le da forma a la idea inicial de elaborar un juego serio mediante el cual se aprenda el SMED.

Director y supervisor trabajan conjuntamente en una tormenta de ideas para encaminar lo que, posteriormente, conformará el juego. En esta fase, se realiza el estudio de viabilidad del proyecto y se establecen los requisitos básicos que ha de cumplir el juego: ha de ser portátil y de un material ligero fácilmente transportable.

El único equipo empleado en el desarrollo de esta fase son dos ordenadores y sus respectivos softwares, la herramienta de trabajo de los ingenieros.

Tabla 35. Coste Total Fase 1. Fuente: elaboración propia.

Tipo de coste	Concepto	€/Ud.	Horas	Coste total
Operación	Director proyecto	30,35 €/h	10	303,5 €
	Supervisor proyecto	18,48 €/h	10	184,8 €
Indirecto	Equipo informático 1/ 220 W	0,14 €/kWh	10	0,31 €
	Equipo informático 2/ 220 W	0,14 €/kWh	10	0,31 €
Amortización	Equipo informático 1	0,044 €/h	10	0,44 €
	Equipo informático 1	0,038 €/h	10	0,38 €
	Software 1	0,029 €/h	10	0,29 €
	Software 2	0,029 €/h	10	0,29 €
Coste total Fase 1				490,32 €

Fase 2: búsqueda de información

De igual forma que en la fase anterior, en la Fase 2, director y supervisor trabajan conjuntamente con sus respectivos equipos para desempeñar el trabajo.

El supervisor se encarga de buscar la información de interés sobre el proyecto, tanto de la técnica SMED y empresas que la implementen en sus líneas de producción, como de los juegos serios y ejemplos de estos.

El supervisor se reúne puntualmente con el director para mostrarle el contenido obtenido, decidiendo conjuntamente en qué dirección va a continuar el proyecto en la siguiente fase.

Tabla 36. Coste Total Fase 2. Fuente: elaboración propia.

Tipo de coste	Concepto	€/Ud.	Horas	Coste total
Operación	Director proyecto	30,35 €/h	10	303,5 €
	Supervisor proyecto	18,48 €/h	50	924 €
Indirecto	Equipo informático 1/ 220 W	0,14 €/kWh	10	0,308 €
	Equipo informático 2/ 220 W	0,14 €/kWh	50	4,62 €
Amortización	Equipo informático 1	0,044 €/h	10	0,44 €
	Equipo informático 1	0,038 €/h	50	1,9 €
	Software 1	0,029 €/h	10	0,29 €
	Software 2	0,029 €/h	50	1,45 €
Coste Total Fase 2				1.236,51 €

Fase 3: análisis y diseño del juego

En la Fase 3 se cuenta con el mismo personal y equipo que en las fases anteriores.

Una vez realizada la búsqueda de información, se procede a analizarla y a clasificarla según su relevancia en relación con el proyecto.

El supervisor, bajo las directrices del director del proyecto, realiza el diseño del juego y le da forma a las fases que lo componen, definiendo la dinámica de cada una de ellas y los objetivos que se pretenden alcanzar.

Tabla 37. Coste Total Fase 3. Fuente: elaboración propia.

Tipo de coste	Concepto	€/Ud.	Horas	Coste total
Operación	Director proyecto	30,35 €/h	15	455,25 €
	Supervisor proyecto	18,48 €/h	70	1.293,6 €
Indirecto	Equipo informático 1/ 220 W	0,14 €/kWh	15	0,46 €
	Equipo informático 2/ 220 W	0,14 €/kWh	70	2,16 €

Amortización	Equipo informático 1	0,044 €/h	15	0,66 €
	Equipo informático 1	0,038 €/h	70	2,66 €
	Software 1	0,029 €/h	15	0,44 €
	Software 2	0,029 €/h	70	2,03 €
Coste Total Fase 3				1.757,26 €

Fase 4: diseño de la maqueta

Teniendo clara la idea de juego que se va a realizar y el producto que se va a fabricar, previamente definido, en la Fase 4 se realiza el diseño de la maqueta que constituye el elemento principal de la última dinámica del juego.

Antes de proceder a su fabricación, ingeniero y supervisor trabajan mediante un software de diseño 3D que permite realizar fácilmente modificaciones en el diseño, de forma que el resultado de la fabricación sea el producto especificado.

Tabla 38. Coste Total Fase 4. Fuente: elaboración propia.

Tipo de coste	Concepto	€/Ud.	Horas	Coste total
Operación	Director proyecto	30,35 €/h	15	455,25 €
	Supervisor proyecto	18,48 €/h	100	1.848 €
Indirecto	Equipo informático 1/ 220 W	0,14 €/kWh	15	0,46 €
	Equipo informático 2/ 220 W	0,14 €/kWh	100	3,08 €
Amortización	Equipo informático 1	0,044 €/h	15	0,66 €
	Equipo informático 1	0,038 €/h	100	3,8 €
	Software 1	0,029 €/h	15	0,44 €
	Software 2	0,029 €/h	100	2,9 €
Coste Total Fase 4				2.314,59 €

Fase 5: construcción de la maqueta

Teniendo clara la idea del diseño de la maqueta que va a formar parte del juego, se procede a su fabricación.

Puesto que los materiales elegidos en el diseño de la maqueta son la madera y sus derivados, la fabricación de esta la va a llevar a cabo un operario de marquetería, especializado en el trabajo con herramientas propias de un carpintero.

Aparte de contabilizar el coste debido al personal involucrado y los equipos utilizados en su desarrollo, hay que tener en cuenta el coste del material empleado en la fabricación de la maqueta, especificado con anterioridad en la Tabla 34.

El material de fabricación se imputa en su totalidad en esta fase ya que, en las fases anteriores no se emplea ninguno de los materiales especificados.

Tabla 39. Coste Total Fase 5. Fuente: elaboración propia.

Tipo de coste	Concepto	€/Ud.	Horas	Coste total
Operación	Director proyecto	30,35 €/h	15	455,25 €
	Supervisor proyecto	18,48 €/h	25	642 €
	Colaborador fabricación	11,88 €/h	100	1.188 €
Indirecto	Equipo informático 1/ 220 W	0,14 €/kWh	10	0,308 €
	Equipo informático 2/ 220 W	0,14 €/kWh	20	0,616 €
	Taladro/ 750 W	0,14 €/kWh	30	3,15 €
	Sierra de calar/ 600 W	0,14 €/kWh	70	5,88 €
Amortización	Equipo informático 1	0,044 €/h	10	0,44 €
	Equipo informático 2	0,038 €/h	20	0,76 €
	Software 1	0,029 €/h	10	0,29 €
	Software 2	0,029 €/h	20	2,03 €
	Taladro	0,007 €/h	30	0,21 €
	Sierra de calar	0,004 €/h	70	0,28 €
Material	Material fabricación juego	-	-	83,9 €
Coste Total Fase 5				2.383,11 €

Fase 6: realización de las simulaciones

Para realizar las simulaciones, se cuenta con cuatro colaboradores de desarrollo que harán las veces de operarios de línea de producción. Bajo su punto de vista, los colaboradores exponen los inconvenientes y las mejoras que ellos realizarían.

El objetivo de las simulaciones es mejorar los aspectos del juego que no hayan resultado satisfactorios para que los alumnos le saquen el máximo provecho.

Además, en esta fase se incluye el coste del material consumible que se precisa durante las simulaciones, con el que se lleva a cabo la fabricación del producto final.

Tabla 40. Coste Total Fase 6. Fuente: elaboración propia.

Tipo de coste	Concepto	€/Ud.	Horas	Coste total
Operación	Director proyecto	30,35 €/h	10	303,5 €
	Supervisor proyecto	18,48 €/h	30	554,4 €
	Colaborador desarrollo 1	11,88 €/h	30	356,4 €
	Colaborador desarrollo 2	11,88 €/h	30	356,4 €
	Colaborador desarrollo 3	11,88 €/h	30	356,4 €
	Colaborador desarrollo 4	11,88 €/h	30	356,4 €
Indirecto	Equipo informático 1/ 220 W	0,14 €/kWh	10	0,31 €
	Equipo informático 2/ 220 W	0,14 €/kWh	20	0,62 €
Amortización	Equipo informático 1	0,044 €/h	10	0,44 €
	Equipo informático 1	0,038 €/h	20	0,76 €
	Software 1	0,029 €/h	10	0,29 €
	Software 2	0,029 €/h	20	0,58 €
Material	Material consumible juego	-	-	58,9 €
Coste Total Fase 6				2.345,4 €

Fase 7: análisis de resultados y propuesta de mejoras

Antes de la puesta en funcionamiento del juego como método didáctico del SMED, es preciso analizar los resultados obtenidos de los tiempos de preparación.

En base a esto, los colaboradores de desarrollo, junto con el supervisor y el jefe del proyecto trabajan para mejorar aspectos relacionados con su diseño o dinámica.

Tabla 41. Coste Total Fase 7.

Fuente: elaboración propia.

Tipo de coste	Concepto	€/Ud.	Horas	Coste total
Operación	Director proyecto	30,35 €/h	15	455,25 €
	Supervisor proyecto	18,48 €/h	15	277,2 €
	Colaborador desarrollo 1	11,88 €/h	15	178,2 €
	Colaborador desarrollo 2	11,88 €/h	15	178,2 €

	Colaborador desarrollo 3	11,88 €/h	15	178,2 €
	Colaborador desarrollo 4	11,88 €/h	15	178,2 €
Indirecto	Equipo informático 1/ 220 W	0,14 €/kWh	15	0,462 €
	Equipo informático 2/ 220 W	0,14 €/kWh	15	0,462 €
Amortización	Equipo informático 1	0,044 €/h	15	0,66 €
	Equipo informático 1	0,038 €/h	15	0,57 €
	Software 1	0,029 €/h	15	0,44 €
	Software 2	0,029 €/h	15	0,44 €
Coste Total Fase 6				1.448,28 €

8.4 Coste total

Finalmente, se calcula el coste total de la elaboración del proyecto, como resultado de la suma de los costes parciales de las siete fases que lo componen.

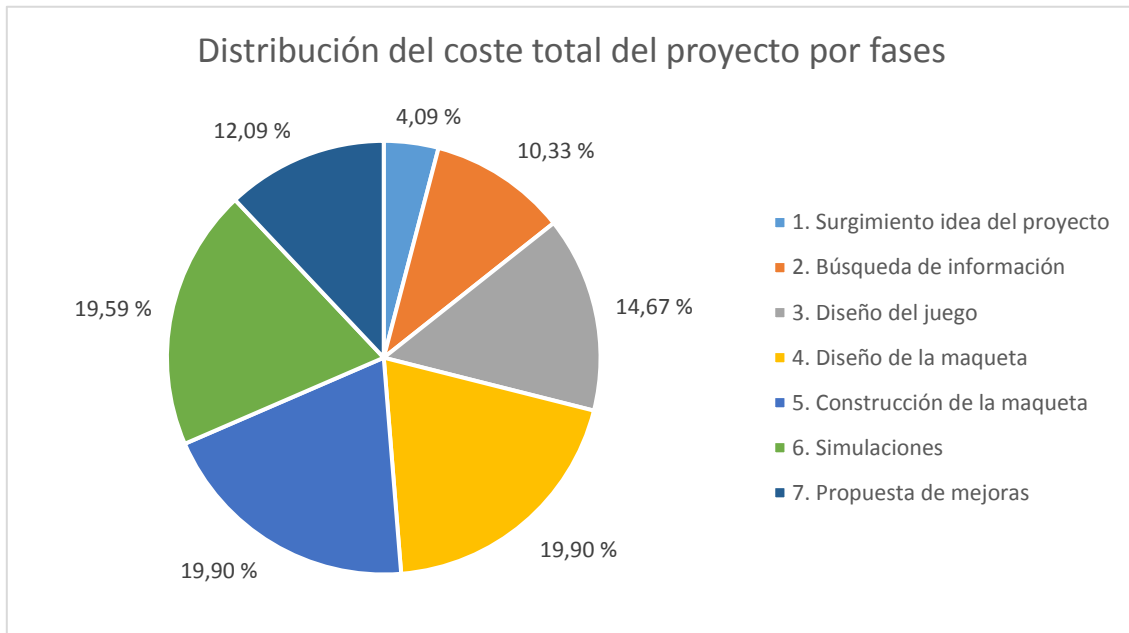
Tabla 42. Coste Total del Proyecto. Fuente: elaboración propia.

Coste Total Fase 1	490,32 €
Coste Total Fase 2	1.236,51 €
Coste Total Fase 3	1.757,26 €
Coste Total Fase 4	2.314,59 €
Coste Total Fase 5	2.383,11 €
Coste Total Fase 6	2.345,40 €
Coste Total Fase 7	1.448,28 €
Coste Total Proyecto	11.975,47 €

Para una mejor percepción del coste que supone la realización de cada una de las fases, se realiza un gráfico de sectores de los costes parciales de cada una de ellas, en los cuales se muestra el porcentaje que representan frente al coste total.

Gráfico 5. Distribución del coste total del proyecto por fases.

Fuente: elaboración propia.



Como se muestra en el gráfico anterior, los valores de costes más elevados se alcanzan en las fases 4, 5 y 6, relativas al diseño y la construcción de la maqueta, así como de la simulación del juego. Cada una de estas fases supone casi un 20% del coste total del proyecto, que es debido al elevado número de horas que se precisan para completar su desarrollo, traducidas en un incremento del coste de operación.

9. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS

9.1 Conclusiones

Tras la realización del presente Trabajo de Fin de Máster, que, como se sabe, conlleva el diseño, fabricación e implementación de un juego que simula la producción de señales de seguridad en el trabajo, se realiza una síntesis de todas aquellas conclusiones obtenidas, con el fin de determinar si el juego didáctico cumple con los objetivos para los cuales fue diseñado:

- Se ha diseñado y fabricado un juego que cumple las características necesarias para poder implementar en él las diferentes fases que componen el SMED y sus herramientas.

El hecho de que la producción elegida sean diferentes lotes de señales de seguridad facilita la diferenciación de los lotes de fabricación con parámetros simples y visuales como lo son las formas y los colores.

Además, al ser las señales de seguridad en el trabajo un producto de dos dimensiones, el diseño y la fabricación de los componentes del juego no ha presentado muchas complicaciones.

- Al tratarse de un juego que se compone de un material de sencillo diseño y pequeñas dimensiones, se ha conseguido un juego de carácter portátil y fácil de transportar.

Esto supone una gran ventaja de cara a las formaciones, que pueden darse en cualquier ubicación, sin necesidad de movilidad de los usuarios.

- Se ha logrado transmitir los diversos conocimientos que abarca el SMED de forma amena y divertida.

No solo se ha realizado un diseño teórico del juego, sino que se ha implementado, realizado múltiples simulaciones físicas en las que los usuarios han participado de forma activa, analizando los problemas e inconvenientes tras el desarrollo de cada una de las dinámicas y proponiendo mejoras que suponen una disminución del tiempo de preparación de los diversos lotes.

- El hecho de que los usuarios, para el correcto desempeño de su puesto, conozcan en profundidad las reglas del juego, así como los objetivos que se pretenden alcanzar tras su desarrollo, hace que se involucren en su totalidad en el aprendizaje de las herramientas del SMED.
- Se ha conseguido que los jugadores adquieran los conceptos que comprende la técnica del SMED y desarrollen las habilidades que requiere sin ser conscientes del esfuerzo desarrollado, gracias a la metodología de aprender jugando.
- Al participar los jugadores de forma activa dentro de la línea de fabricación, se consigue que estos sean capaces de determinar en qué puesto de la línea se produce el cuello de botella y qué ajustes suponen mudas, al analizar cuáles son las operaciones que más tiempo de preparación requieren.

Además, se consigue observar en tiempo real la efectividad de las mejoras que se proponen tras ser implementadas y analizar sus resultados.

- Al diseñar un juego que abarca una línea de fabricación con diversos puestos, se ha fomentado el trabajo en equipo y la cooperación para conseguir un objetivo conjunto.
- Se determina de forma sencilla qué operaciones son internas y suponen una parada en la fabricación. Además, se consigue analizar qué operaciones internas son fácilmente convertibles a externas y no es preciso parar la producción para realizarlas.
- Se consigue localizar cuáles son las operaciones elementales de ajuste que mayor tiempo de preparación precisan y diseñar mejoras que supongan una disminución considerable del tiempo desempeñado en su realización.
- Se ha logrado disminuir notablemente la gran diferencia inicial relativa a la carga de trabajo de cada uno de los puestos de la línea de fabricación, equilibrándose tras la finalización del juego.
- Se ha conseguido homogeneizar el tiempo de preparación de los diferentes tipos de lotes y salvar la gran diferencia que suponía en un principio la fabricación de las señales compuestas y las señales de obligación.

- Tras el desarrollo de todas las dinámicas del juego y la implementación de cada una de las mejoras de este, se consigue disminuir en 4 el tiempo de preparación inicial, pasando de realizar la fabricación de una secuencia de cinco señales de un tiempo de 17'21" a 4'37".

Esto supone que, tras la implementación de las mejoras en la línea de fabricación, se consigue cuadruplicar el número de señales fabricadas en el tiempo inicial de 17'21".

- Por último, se han elaborado estándares de trabajo para cada puesto, en los que se muestran detalladamente las operaciones elementales que los jugadores han de realizar para emplear un valor de tiempo pequeño en el desempeño de su puesto.

Documentar la manera actual en la que se realizan las operaciones facilita la localización de posibles fallos y su mejora tras revisiones posteriores; pues, como se sabe, la filosofía de la mejora continua implica una revisión constante de los procesos.

9.2 Líneas futuras

El hecho de haber terminado el desarrollo del juego no supone una finalización de este. Esto es debido a que nunca se llegará a la manera óptima de operar, pues siempre habrá algo que se pueda mejorar.

Es por ello por lo que, en este apartado se proponen aspectos futuros que suponen una alternativa a la forma en la que se han desarrollado las fases del juego o una modificación de las dinámicas ya existentes:

Como bien se sabe, en la fase 4 del proyecto, correspondiente al diseño del juego, se realiza un modelado CAD de la maqueta que se fabrica posteriormente en la fase 5 del mismo, para incluirla en la etapa 2 que corresponde a la dinámica con ayuda de material.

Como se cuenta con este diseño, se propone fabricar la maqueta, así como las plantillas correspondientes, mediante impresión 3D, lo que va a suponer modificaciones en diversos aspectos:



- Esto supondría una gran mejora del diseño y la calidad de los productos fabricados mediante el juego, ya que las desviaciones geométricas y dimensionales con respecto al diseño serían mucho menores fabricando la maqueta mediante una herramienta computerizada que las que han resultado de fabricar este elemento de una forma completamente manual.
- Sería factible ampliar la gama de tipos de señales a fabricar. Las plantillas de prohibición, que en un principio fueron descartadas por resultar complicada su fabricación manual, se podrían incorporar al juego, puesto que su fabricación no supondría ningún inconveniente teniendo su diseño CAD.
- Se va a producir una disminución notable del tiempo de fabricación de la maqueta pues, al estar compuesta por piezas de grosores y dimensiones pequeñas, el tiempo empleado en la impresión 3D de la misma sería bastante menor que el empleado en su construcción manual, para la que se ha precisado un total de 140 horas.
- Teniendo en cuenta la disminución del tiempo de ejecución de la fase 5, correspondiente a la fabricación de la maqueta y todos sus componentes, se va a disminuir el coste parcial que supone el desarrollo de esta fase.

Este coste, que supone el 19,9% del coste total del proyecto, no se debe al coste del material utilizado para su desarrollo, ya que se realiza con materiales bastante económicos, sino al gran número de horas empleadas para su fabricación, que se traducen en un incremento notable del coste de operación.

Por último, se propone seguir implementando mejoras en el puesto principal de fabricación, en el que se encuentra la maqueta diseñada.

Como se sabe, los ajustes de la maqueta para los cambios de lote, aunque se hayan mejorado notablemente, están formados por múltiples operaciones elementales en las que interviene el jugador de forma manual.

El posicionamiento de los ajustadores es una de las operaciones que mayor precisión requiere pues, un anclaje incorrecto de estos a la maqueta desencadena:

- Posicionamiento incorrecto de la placa al delimitar de forma errónea el espacio de trabajo.



- Posibilidad de que la distancia entre los pasadores, que los ajustadores presentan para el anclaje de las plantillas, no corresponda con los agujeros de estas.

Todo ello da lugar a un cúmulo de inexactitudes que conllevan un reajuste de la maqueta. Esto se traduce en un incremento del tiempo de preparación de esta y en obtener productos terminados que no cumplen las especificaciones dimensionales y geométricas.

Por este motivo, se considera la posibilidad de automatizar este ajuste y delimitar las diferentes posiciones de los ajustadores mediante finales de carrera para que la exactitud sea la mayor posible.



10. REFERENCIAS

[1] HERNÁNDEZ MATÍAS, Juan C. y VIZÁN IDOLPE, Antonio, 2013. *Lean Manufacturing: conceptos, técnicas e implantación* [en línea]. Madrid: EOI Escuela de Organización Industrial [consulta: 1 diciembre 2020]. Disponible en:

<https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/20730/lean-manufacturing-concepto-tecnicas-e-implantacion>

[2] LIKER, Jeffrey K., 2004. *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. University of Michigan, EE. UU.: McGraw-Hill. ISBN 0-07-139231-9

[3] ARRIETA, J., 2012. Las 5s pilares de la fábrica visual. *Revista Universidad EAFIT* [en línea]. Medellín, Colombia: 35(114), pp. 35-48 [consulta: 15 diciembre 2020]. Disponible en:

<https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1073>

[4] SHIGEO SHINGO, 1985. *A revolution in Manufacturing: The SMED System*. Norwalk, EE. UU.: Productivity Press. ISBN: 0-915299-03-8

[5] Cámara de Comercio de Valladolid, 2016. *SMED: Cambio Rápido de Útil o de Fabricación*. Máster en Lean Manufacturing, Universidad de Valladolid.

[6] GALLARDO LÓPEZ, José A., 2018. *Teorías del juego como recurso educativo*. Congreso virtual Internacional sobre Innovación Pedagógica y Praxis Educativa [en línea]. Universidad Pablo de Olavide, Sevilla [consulta: 8 enero 2021]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/324363292_TEORIAS_DEL_JUEGO_COMO_RECURSO_EDUCATIVO

[7] DÖRNER, Ralf, et al., 2016. *Serious Games: Foundations, Concepts and Practice*. University of Wiesbaden, Germany.: Springer. ISBN 978-3-319-40611-4

[8] CHACÓN, Paula, 2008. El juego didáctico como estrategia de enseñanza y aprendizaje. *Revista Nueva Aula Abierta* [en línea]. Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Caracas: no 16 [consulta: 4 enero 2021]. Disponible en:



<http://www.e-historia.cl/cursosudla/13-EDU413/lecturas/06%20-%20EI%20Juego%20Didactico%20Como%20Estrategia%20de%20Ense%C3%B1anza%20y%20Aprendizaje.pdf>

[9] AQLAN, F., y WALTERS, E. G., 2017. *Teaching Lean Principles through Simulation Games*. ASEE, Annual Conference & Exposition [en línea]. Colombus, Ohio [consulta: 13 enero 2021]. Disponible en:

<https://peer.asee.org/teaching-lean-principles-through-simulation-games>

[10] BADURDEEN, Fazleena, et al., 2010. Teaching Lean Manufacturing With Simulations and Games: A survey and Future Directions. *SAGE Publications* [en línea]. University of Kentucky, EE. UU.: volumen: 41, issue:4, page(s): 465-486 [consulta: 14 enero 2021]. Disponible en:

<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1046878109334331?journalCode=sagb>

[11] GUENAGA, M., et al., 2013. Serious Games para el Desarrollo de Competencias Orientadas al Empleo. *Innova* [en línea]. Universidad de Deusto, Bizkaia: VAEP-RITA Vol. 1, Núm. 1, pags: 35 -42 [consulta: 15 enero 2021]. Disponible en:

http://www.innova.deusto.es/images/archivos/201303_uploads_VAEP-RITA_2013_V1_N1_A6.pdf

[12] BOE, R.D. 485/1997. *Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo*. [Consulta 20 enero 2021]: Disponible en:

<https://www.boe.es/buscar/pdf/1997/BOE-A-1997-8668-consolidado.pdf>

11. ANEXO: PLANOS DE LA MAQUETA

Como se sabe, previo a la fabricación de la maqueta empleada en el puesto principal de fabricación de la línea, empleada desde la etapa 2 del juego, se ha realizado un diseño CAD de esta.

Finalmente se muestran varios planos del conjunto correspondientes, en los que se pueden observar las especificaciones geométricas y dimensionales de cada una de las partes que la conforman, así como del montaje de todas ellas. De este modo, se tiene:

11.1 Plano de montaje: versión inicial – 001

En él aparece en 3D un explosionado de la maqueta de la que se parte en la etapa 2 del juego, es decir, sin haberle realizado mejoras. Como se muestra, figuran todas las piezas que conforman el conjunto numeradas con su marca correspondiente, que a su vez figura en la lista de materiales.

En este plano no aparecen cotas, la idea es tener noción del número de piezas, descripción y secuencia de montaje de todas ellas.

11.2 Plano de conjunto: versión inicial– 002

En este plano se muestra una vista de planta y de alzado del conjunto de la maqueta en su versión inicial. En este caso, no se acota por completo el conjunto, sino que solo aparecen las cotas externas del mismo con el objetivo de conocer las dimensiones de la maqueta.

11.3 Plano de despiece – 003

En este tercer plano se encuentran acotadas la vista de planta y alzado de la base, el ajustador vertical y el ajustador horizontal. Como estas tres piezas no se modifican tras las mejoras de la maqueta, el plano de despiece es válido tanto para la versión inicial como para la versión mejorada de la maqueta.

En este caso la acotación se realiza completa pero las piezas normalizadas (tornillos, tuercas y arandelas) no figuran.

11.4 Plano de plantillas simples: versión inicial – 004

Teniendo en cuenta que las plantillas empleadas para dibujar las formas de las señales son intercambiables, se muestran en un plano diferente al plano de despiece. En este caso figura la versión inicial de las plantillas simples, De igual forma que para el plano 003, se muestran la acotación.

11.5 Plano de plantillas compuestas: versión inicial – 005

Plano análogo al plano 004. En él se muestra la geometría de las plantillas compuestas iniciales.

11.6 Plano de montaje: versión mejorada – 006

El plano número 006 es análogo al plano 001. En este caso se muestra un explosionado de la maqueta en su versión mejorada. Así pues, las tuercas son sustituidas por mariposas de agarre y los tornillos de sujeción de las plantillas, por pasadores con cabeza.

Este montaje es el que se emplea con la versión mejorada de las plantillas que figuran en el plano 008.

11.7 Plano de conjunto: versión mejorada – 007

De igual modo que en el caso anterior, este plano es análogo que el plano 002 pero en él aparece el conjunto en su versión mejorada.

11.8 Plano de plantillas mejoradas – 008

Por último, se muestra un plano donde figura la geometría y acotación de la nueva versión de las plantillas, en las que los agujeros pasan a tener forma de pera y una misma plantilla pasa a valer tanto para señales simples como para compuestas.

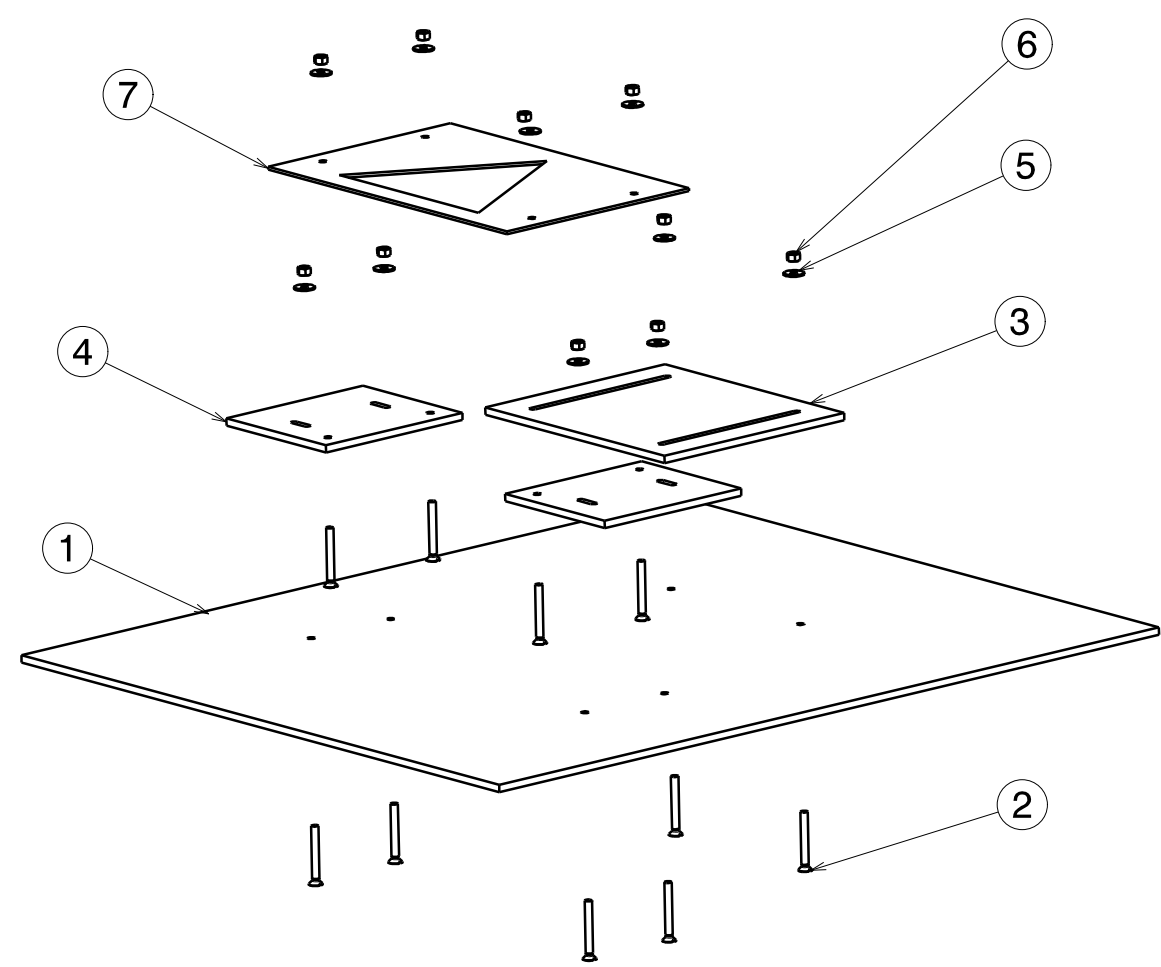
H G F E D C B A

4

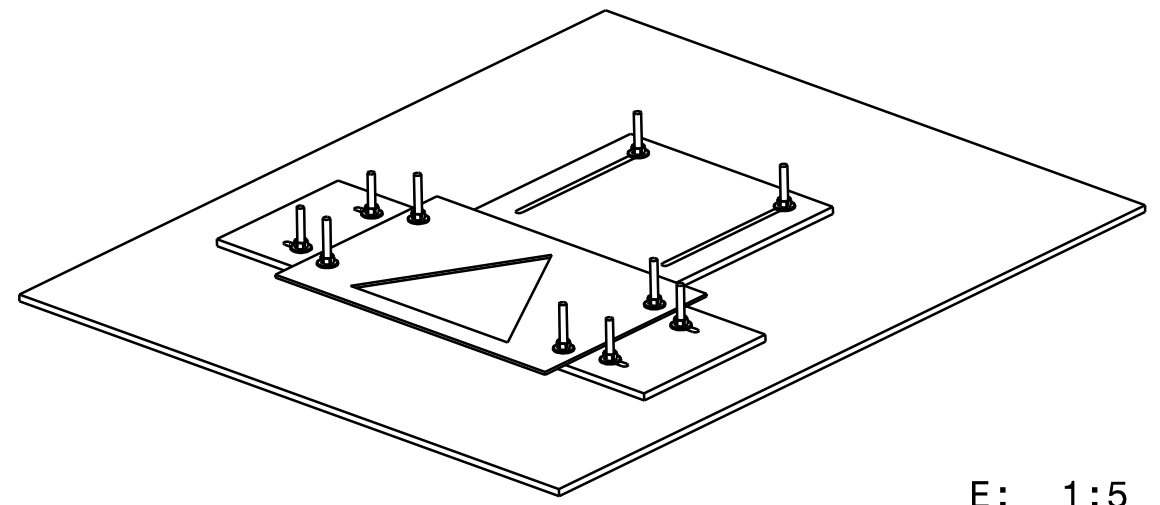
3

2

1



E: 1:5



E: 1:5

N.º	Nombre	Cantidad	Material
1	Base	1	MDF-Fibrapan
2	ISO 2009 Tornillo cabeza plana avellanada M5x40	10	Acero
3	Ajustador Vertical	1	MDF-Fibrapan
4	Ajustador Horizontal	2	MDF-Fibrapan
5	ISO 7090 Arandela achaflanada 5x15	10	Acero
6	ISO 4032 Tuerca hexagonal M5	10	Acero
7	Plantilla intercambiable simple o compuesta (Tipos: A/B/C/D)	1	MDF-Fibrapan

Proyecto Serious game para el aprendizaje del SMED	Fecha 05/2021	Nº 001	Máster Ing. Industrial Universidad de Valladolid
Plano Plano de montaje Versión inicial	Escala 1:5	Tamaño A3	Autor Paula Gavilán Gavilán

H G F E D C B A

4

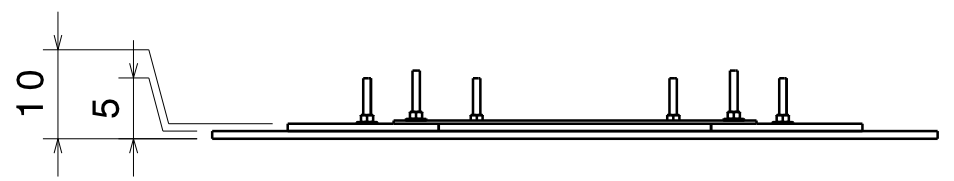
3

2

1

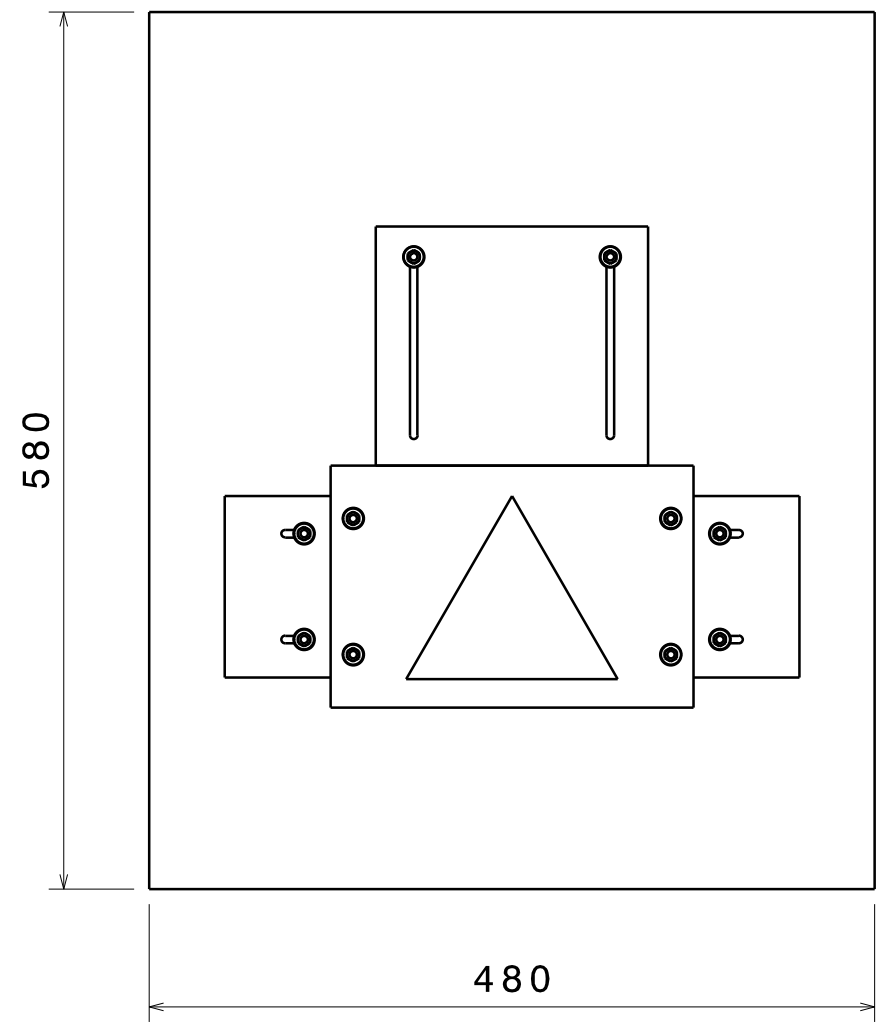
H G F E D C B A

4



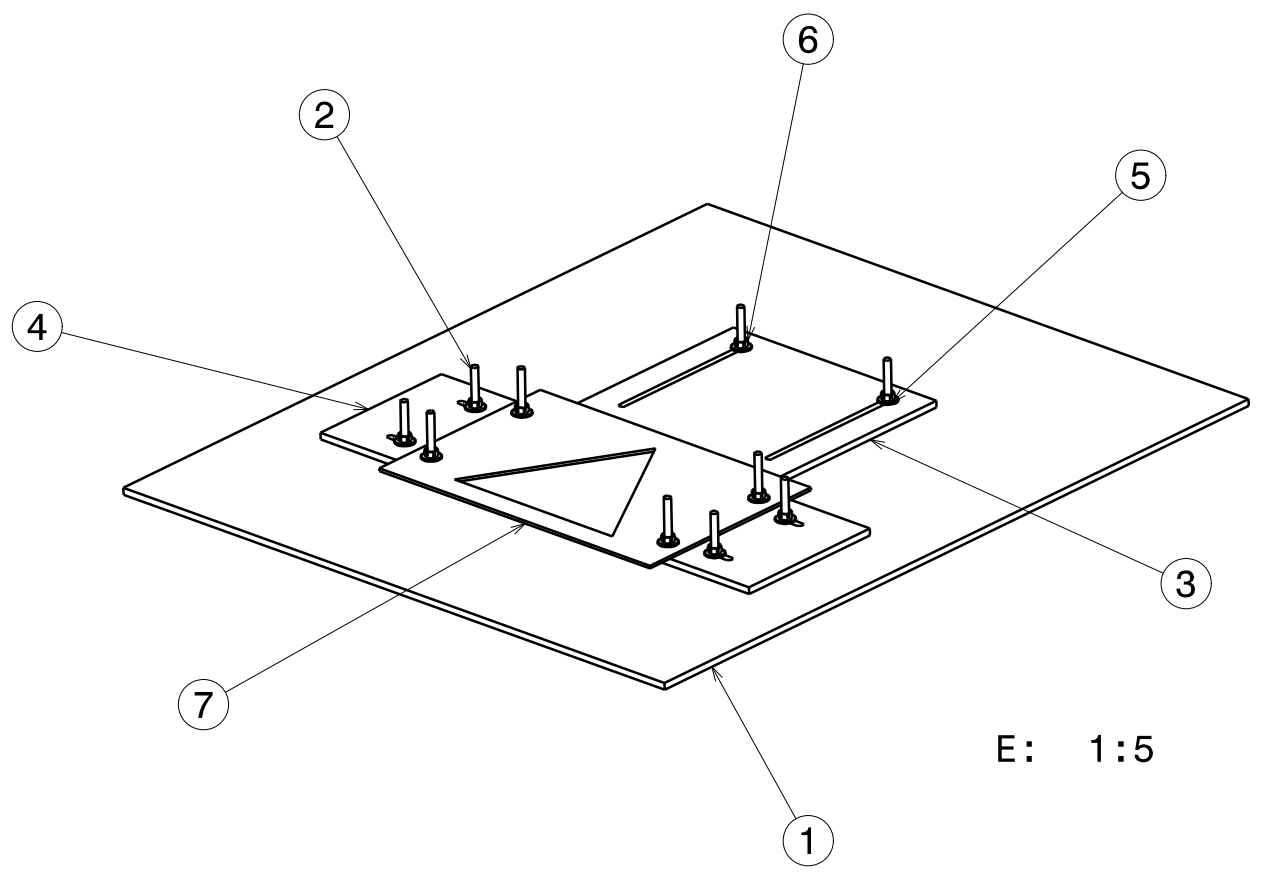
E: 1:5

3



E: 1:5

2



E: 1:5

1

N.º	Nombre	Cantidad	Material
1	Base	1	MDF-Fibrapan
2	ISO 2009 Tornillo cabeza plana avellanada M5x40	10	Acero
3	Ajustador Vertical	1	MDF-Fibrapan
4	Ajustador Horizontal	2	MDF-Fibrapan
5	ISO 7090 Arandela achaflanada 5x15	10	Acero
6	ISO 4032 Tuerca hexagonal M5	10	Acero
7	Plantilla intercambiable simple o compuesta (Tipos: A/B/C/D)	1	MDF-Fibrapan

Proyecto Serious game para el aprendizaje del SMED	Fecha 05/2021	Nº 002	Máster Ing. Industrial Universidad de Valladolid
Plano Plano de conjunto Versión inicial	Escala 1:5	Tamaño A3	Autor Paula Gavilán Gavilán

H G F E D C B A

4

3

2

1

H G F E D C B A

4

3

2

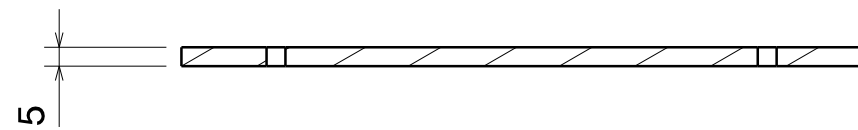
1

4

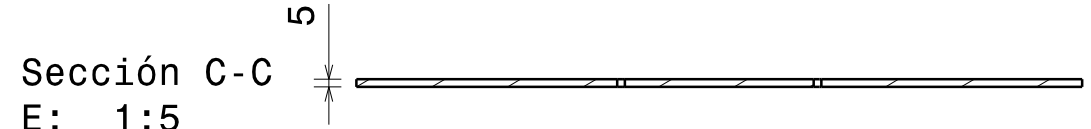
3

2

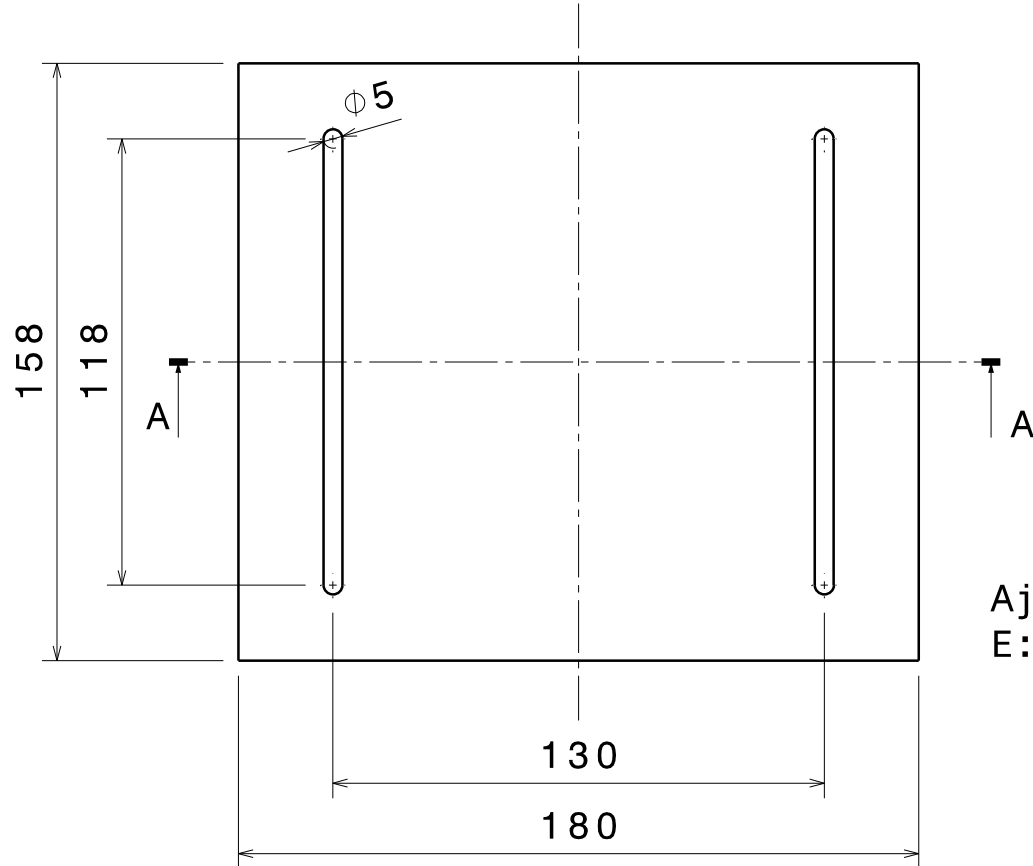
1



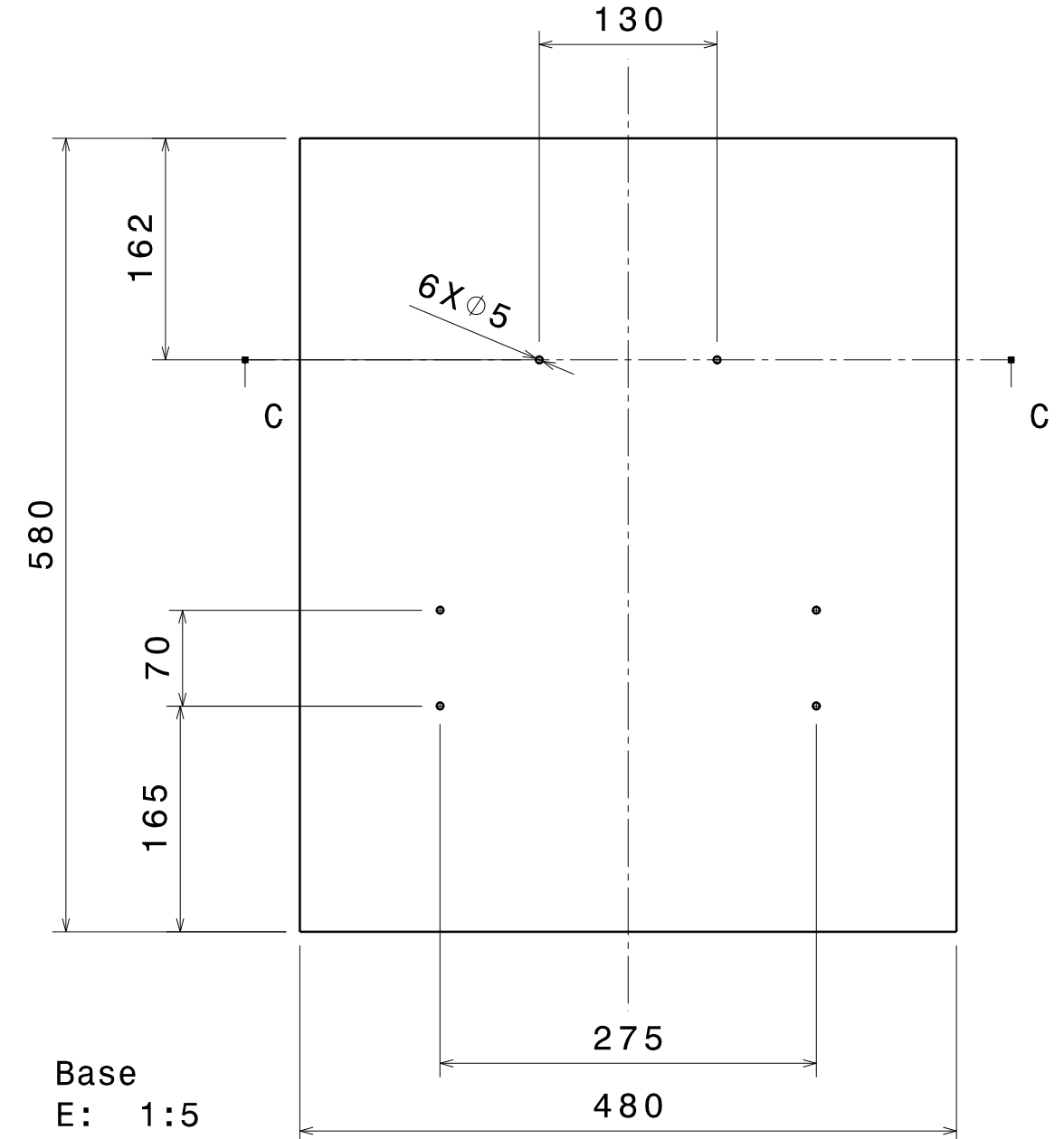
Sección A-A
E: 1:2



Sección C-C
E: 1:5

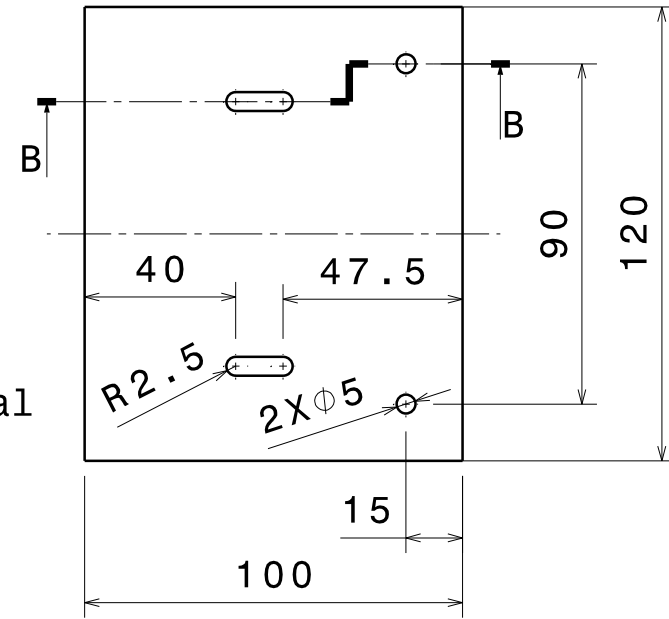
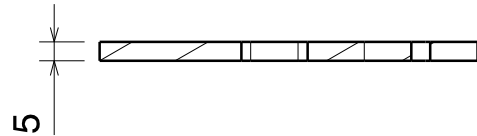


Ajustador vertical
E: 1:2



Base
E: 1:5

Sección B-B
E: 1:2



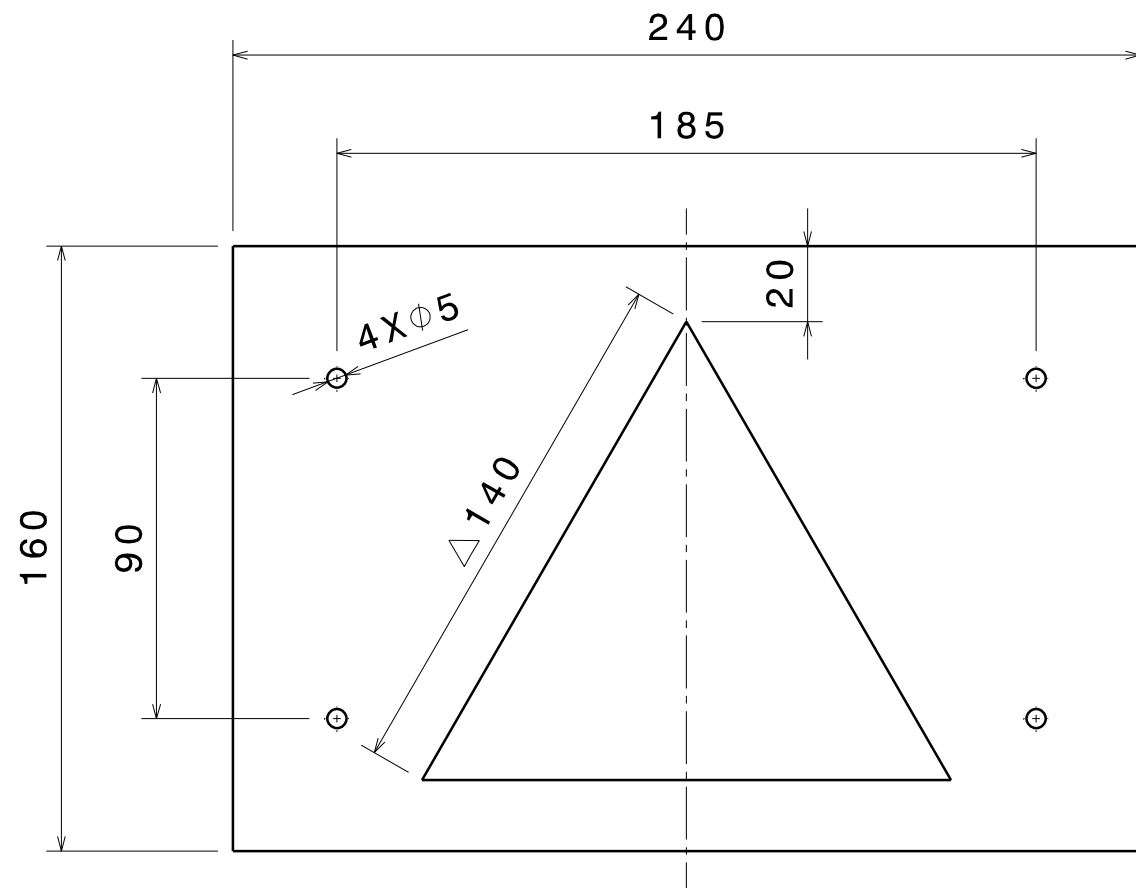
Ajustador horizontal
E: 1:2

Proyecto Serious game para el aprendizaje del SMED	Fecha 05/2021	Nº 003	Máster Ing. Industrial Universidad de Valladolid
Plano Plano de despiece v. inicial y mejorada	Escala 1:2 1:5	Tamaño A3	Autor Paula Gavilán Gavilán

H G F E D C B A

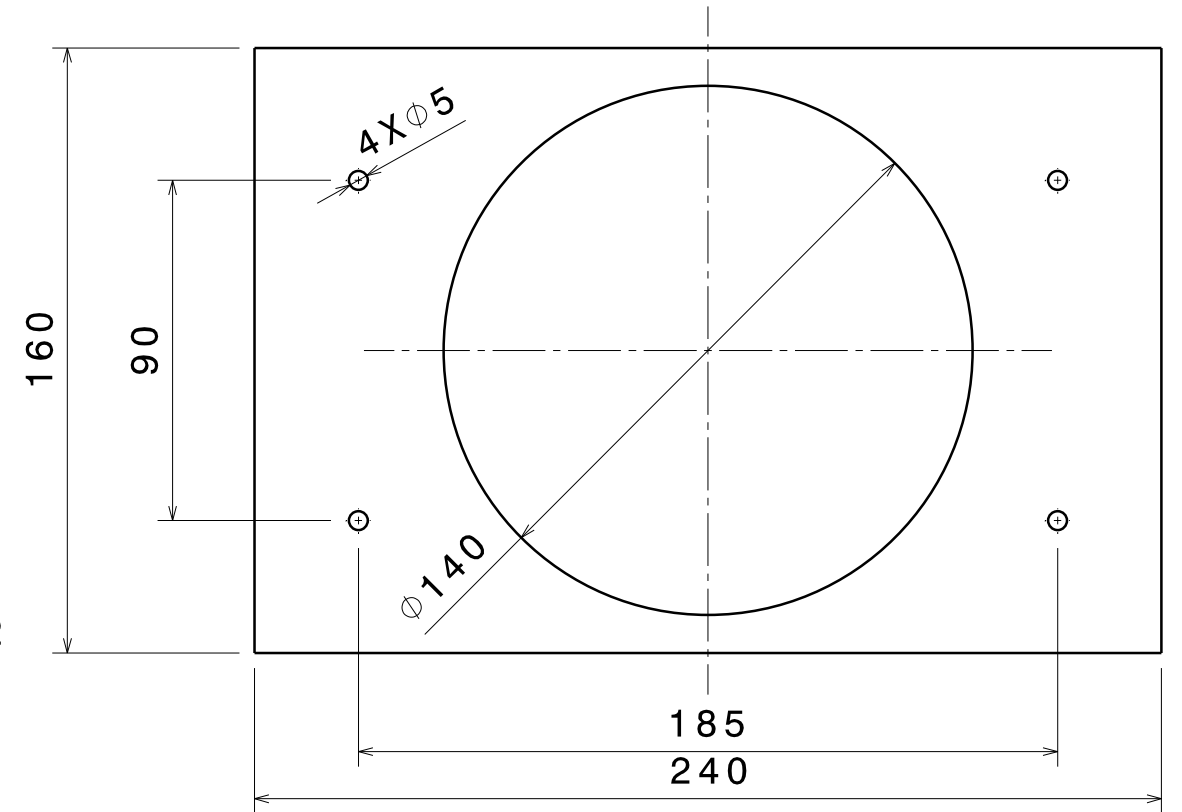
Nota 1: Todas las plantillas tienen un espesor de 2 mm.

Nota 2: los taladros y las formas de las señales que figuran en las vistas son pasantes

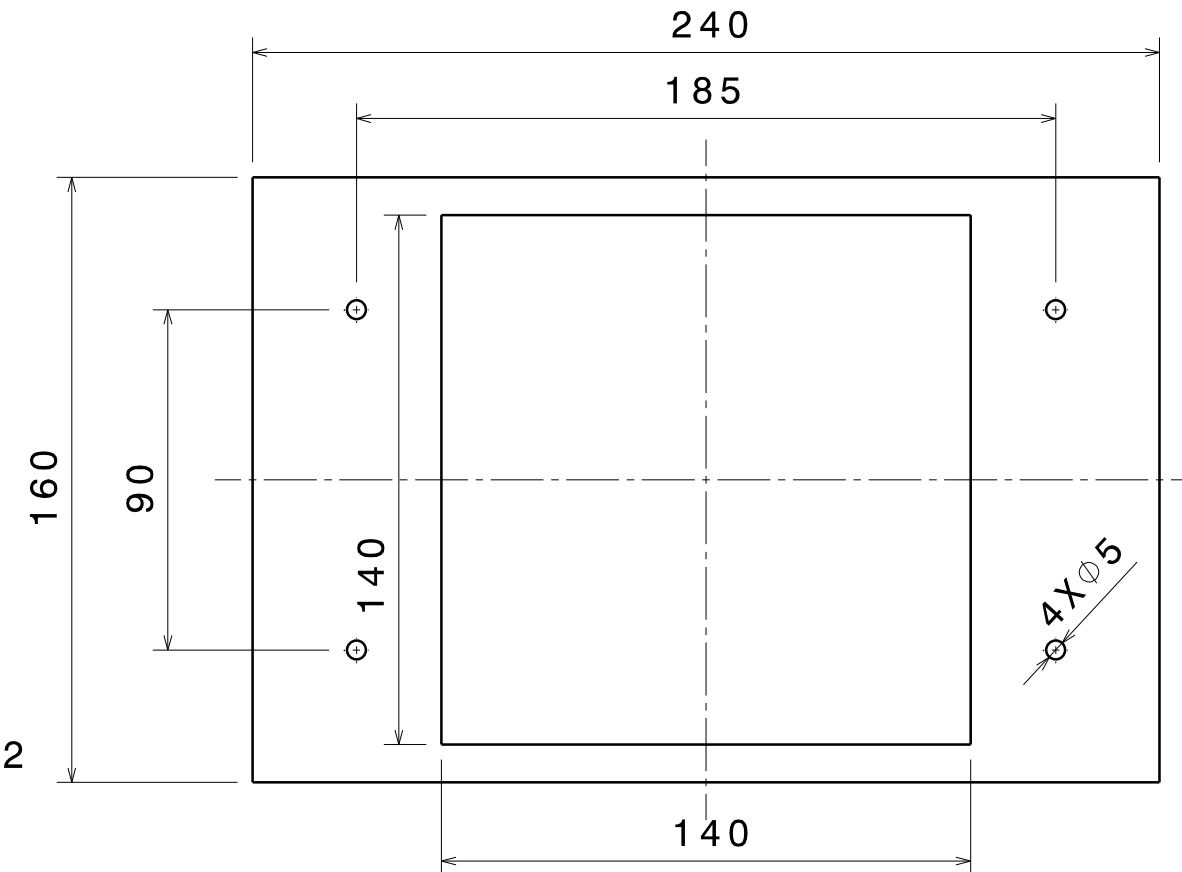


TIPO A
E: 1:2

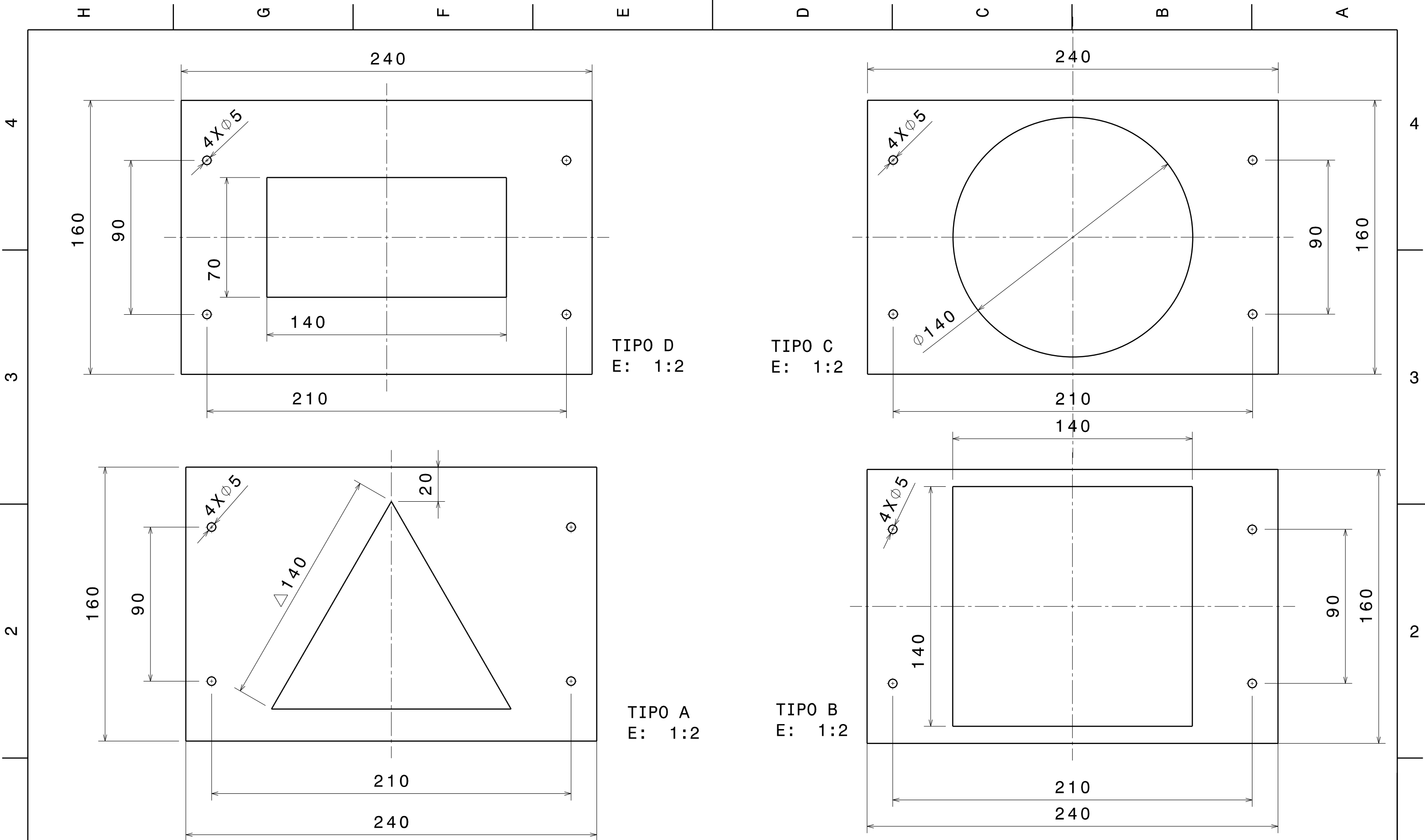
TIPO C
E: 1:2



TIPO B
E: 1:2



Proyecto Serious game para el aprendizaje del SMED	Fecha 05/2021	Nº 004	Máster Ing. Industrial Universidad de Valladolid
Plano Plantillas simples Versión inicial	Escala 1:2	Tamaño A3	Autor Paula Gavilán Gavilán



Nota 1: Todas las plantillas tienen un espesor de 2 mm.
 Nota 2: los taladros y las formas de las señales que figuran en las vistas son pasantes

Proyecto Serious game para el aprendizaje del SMED	Fecha 05/2021	Nº 005	Máster Ing. Industrial Universidad de Valladolid
Plano Plantillas compuestas Versión inicial	Escala 1:2	Tamaño A3	Autor Paula Gavilán Gavilán

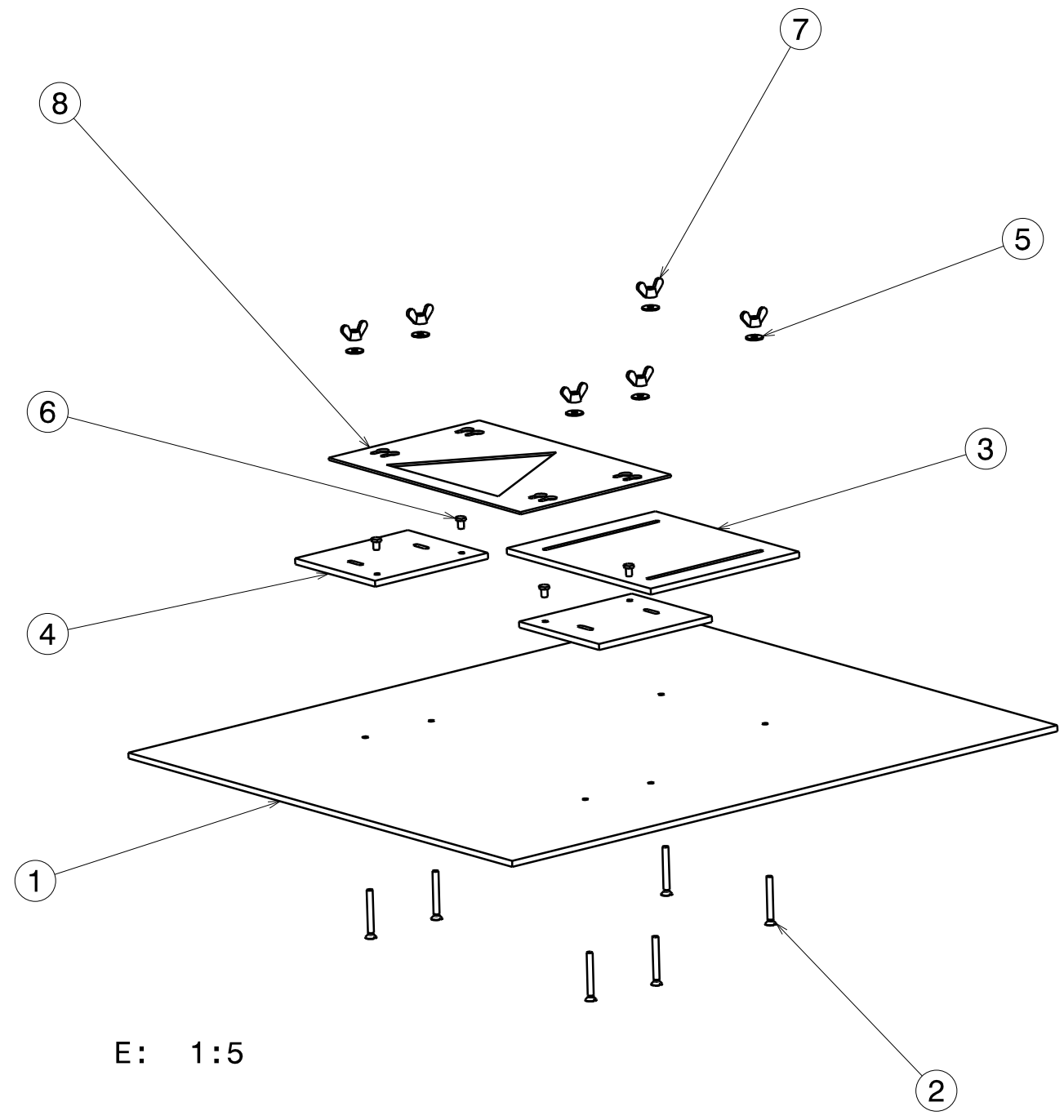
H G F E D C B A

4

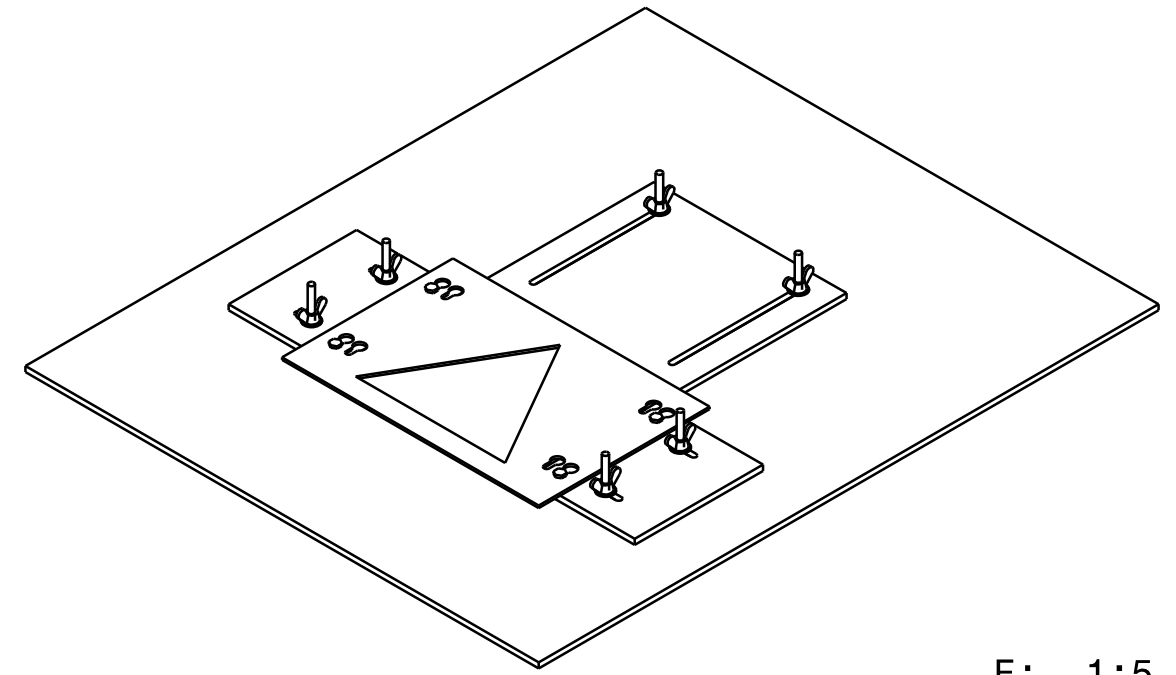
3

2

1



E: 1:5



E: 1:5

N.º	Nombre	Cantidad	Material
1	Base	1	MDF-Fibrapan
2	ISO 2009 Tornillo cabeza plana avellanada M5x40	6	Acero
3	Ajustador Vertical	1	MDF-Fibrapan
4	Ajustador Horizontal	2	MDF-Fibrapan
5	ISO 7090 Arandela achaflanada 5x15	6	Acero
6	ISO 8746 Pasador M5	4	Acero
7	DIN 315 Tuerca mariposa M5	6	Acero
8	Plantilla intercambiable (Tipo: Am/Bm/Cm/Dm)	1	MDF-Fibrapan

Proyecto Serious game para el aprendizaje del SMED	Fecha 05/2021	Nº 006	Máster Ing. Industrial Universidad de Valladolid
Plano Plano de montaje Versión mejorada	Escala 1:5	Tamaño A3	Autor Paula Gavilán Gavilán

H G F E D C B A

H

G

F

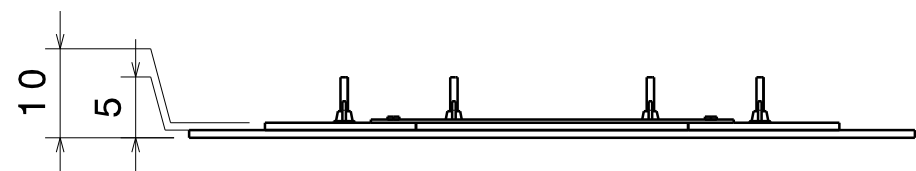
E

D

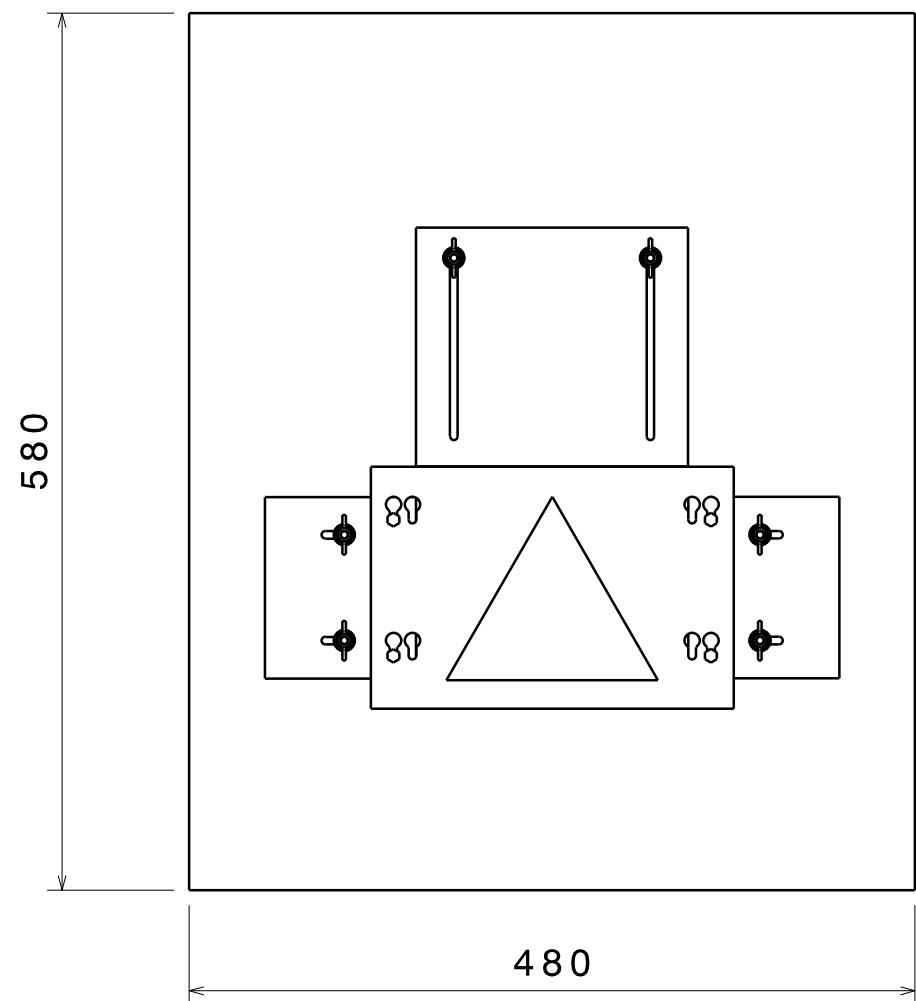
C

B

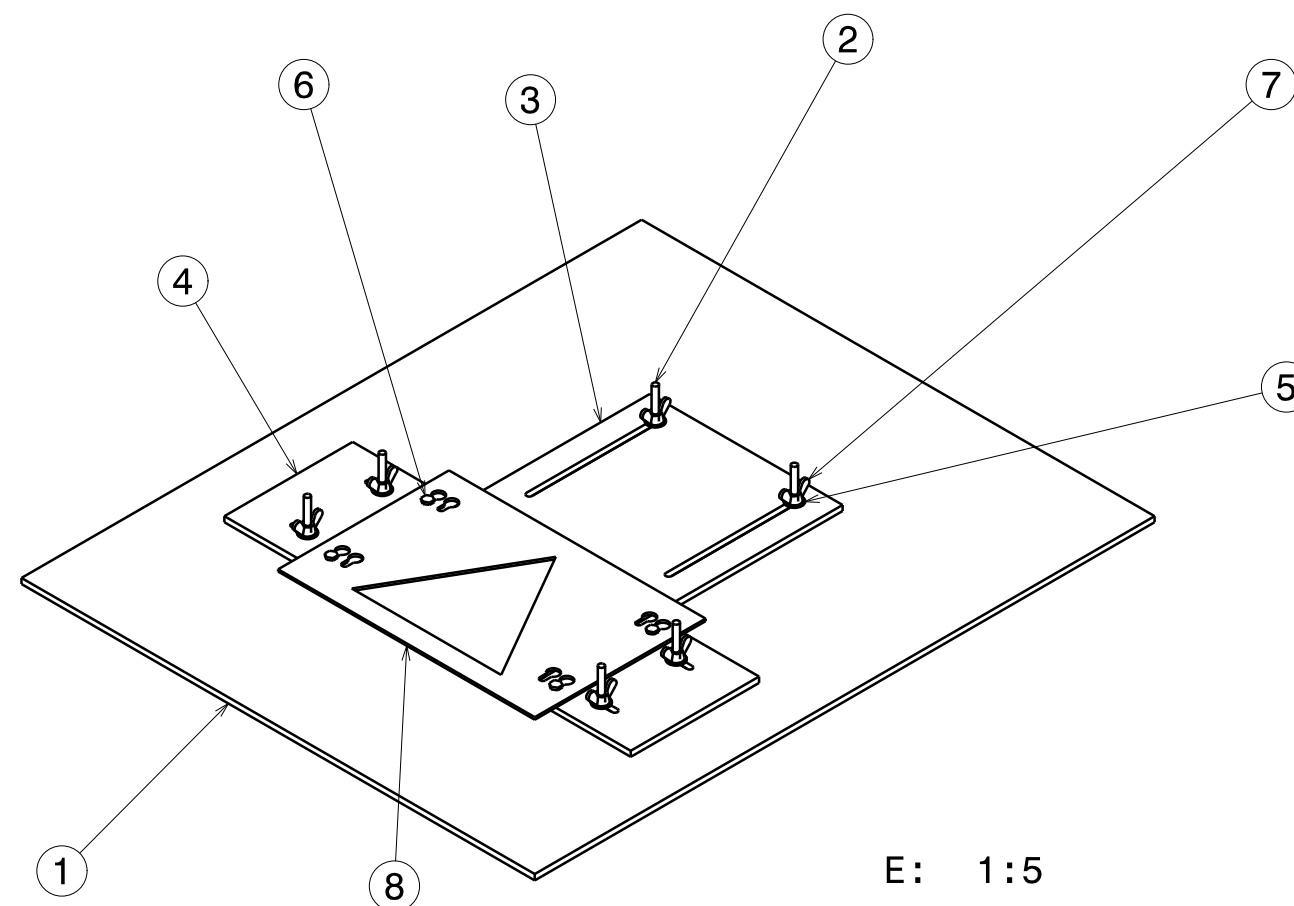
A



E: 1:5



E: 1:5



E: 1:5

N.º	Nombre	Cantidad	Material
1	Base	1	MDF-Fibrapan
2	ISO 2009 Tornillo cabeza plana avellanada M5x40	6	Acero
3	Ajustador Vertical	1	MDF-Fibrapan
4	Ajustador Horizontal	2	MDF-Fibrapan
5	ISO 7090 Arandela achaflanada 5x15	6	Acero
6	ISO 8746 Pasador M5	4	Acero
7	DIN 315 Tuerca mariposa M5	6	Acero
8	Plantilla intercambiable (Tipo: Am/Bm/Cm/Dm)	1	MDF-Fibrapan

Proyecto Serious game para el aprendizaje del SMED	Fecha 05/2021	Nº 007	Máster Ing. Industrial Universidad de Valladolid
Plano Plano de conjunto Versión mejorada	Escala 1:5	Tamaño A3	Autor Paula Gavilán Gavilán

H

G

F

E

D

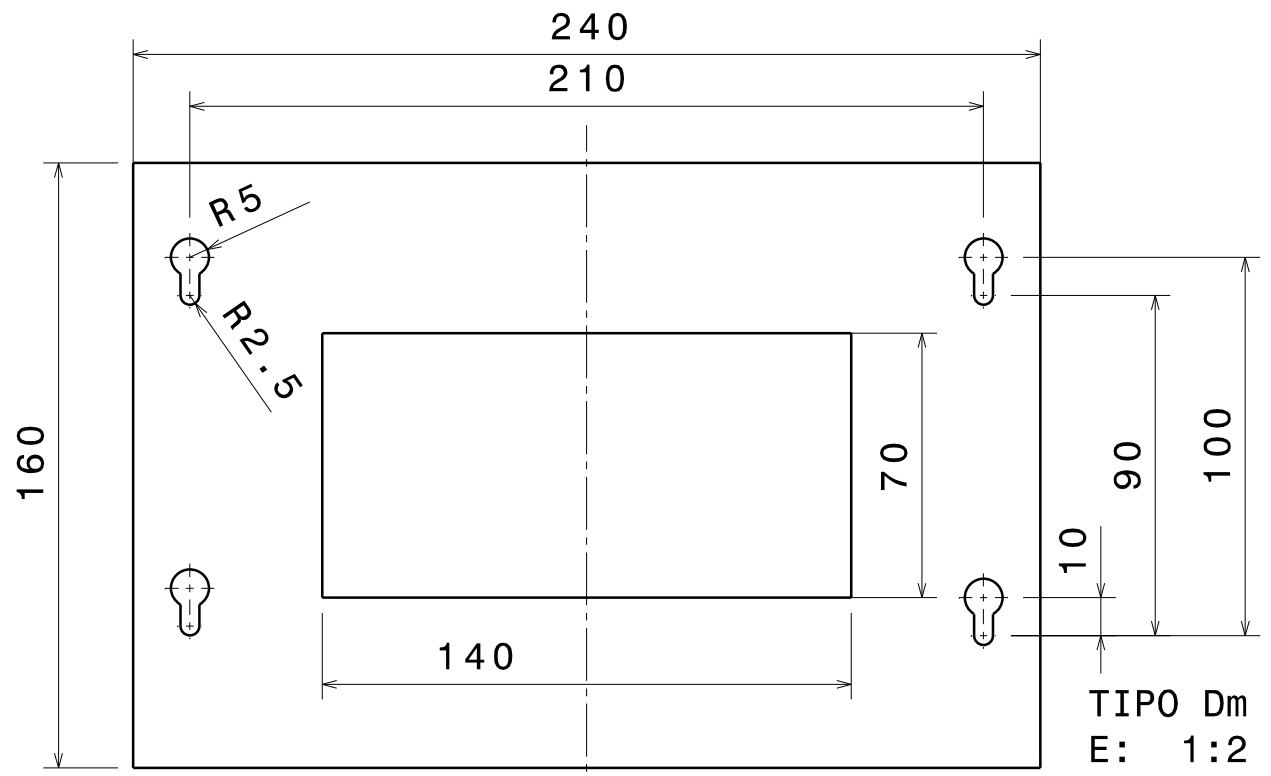
C

B

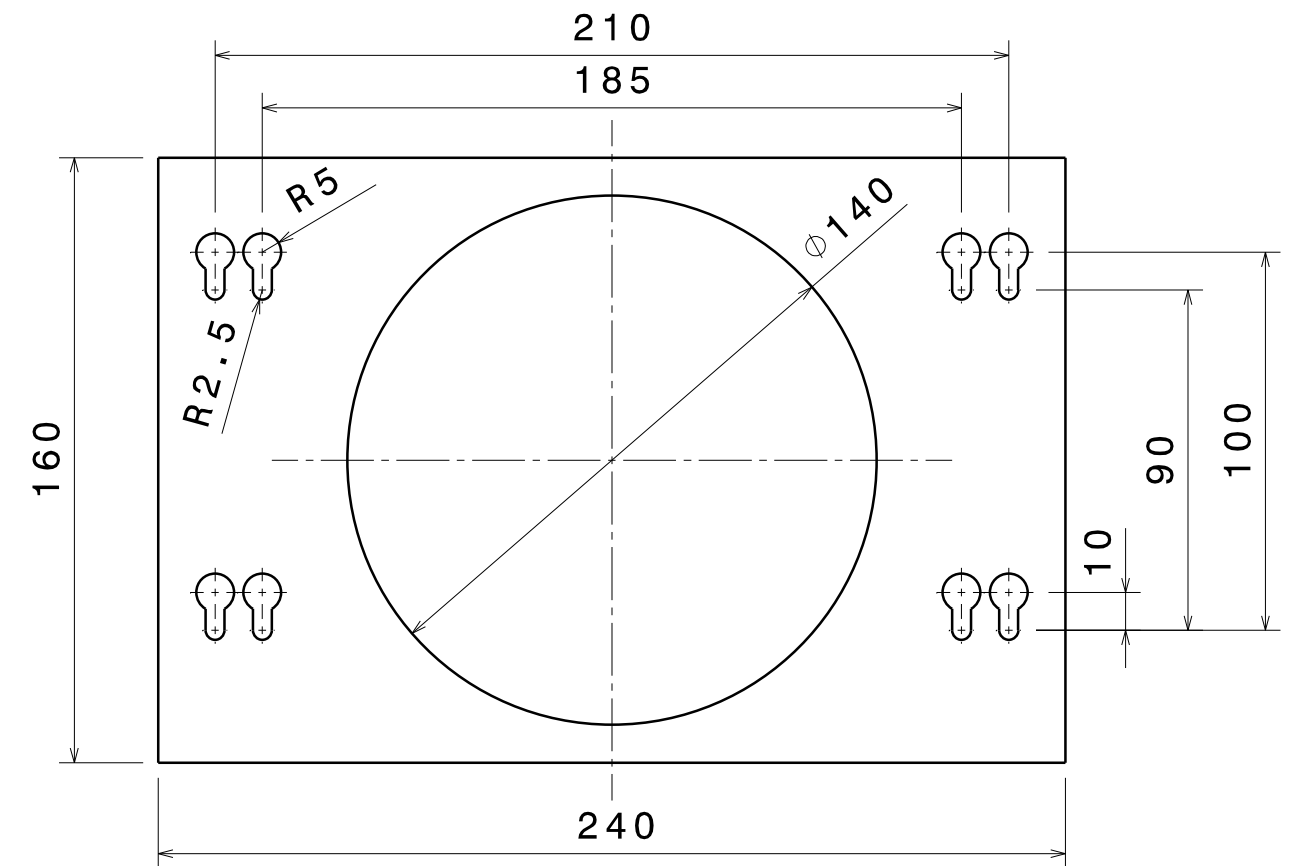
A

H G F E D C B A

4

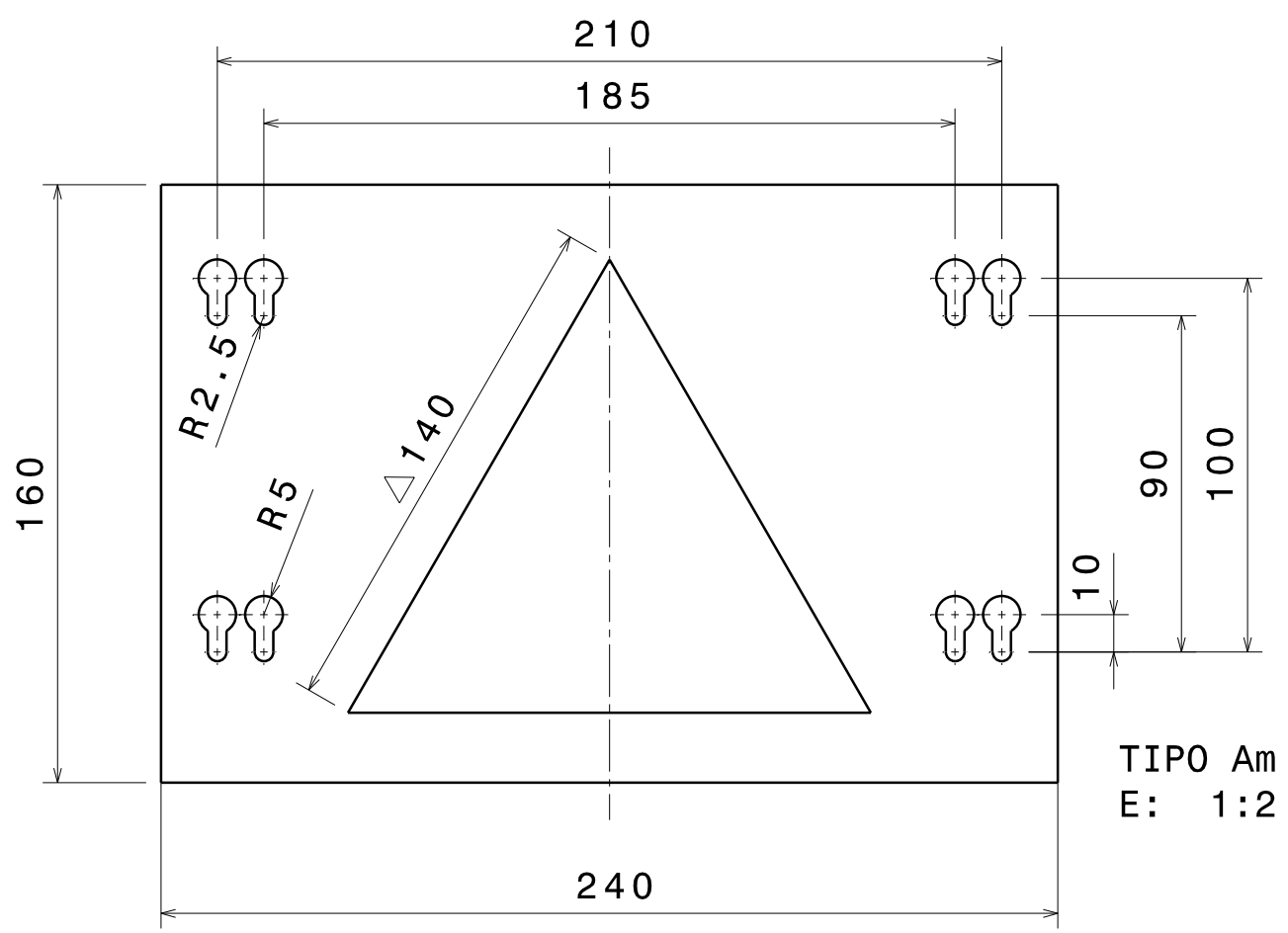


TIPO Dm
E: 1:2

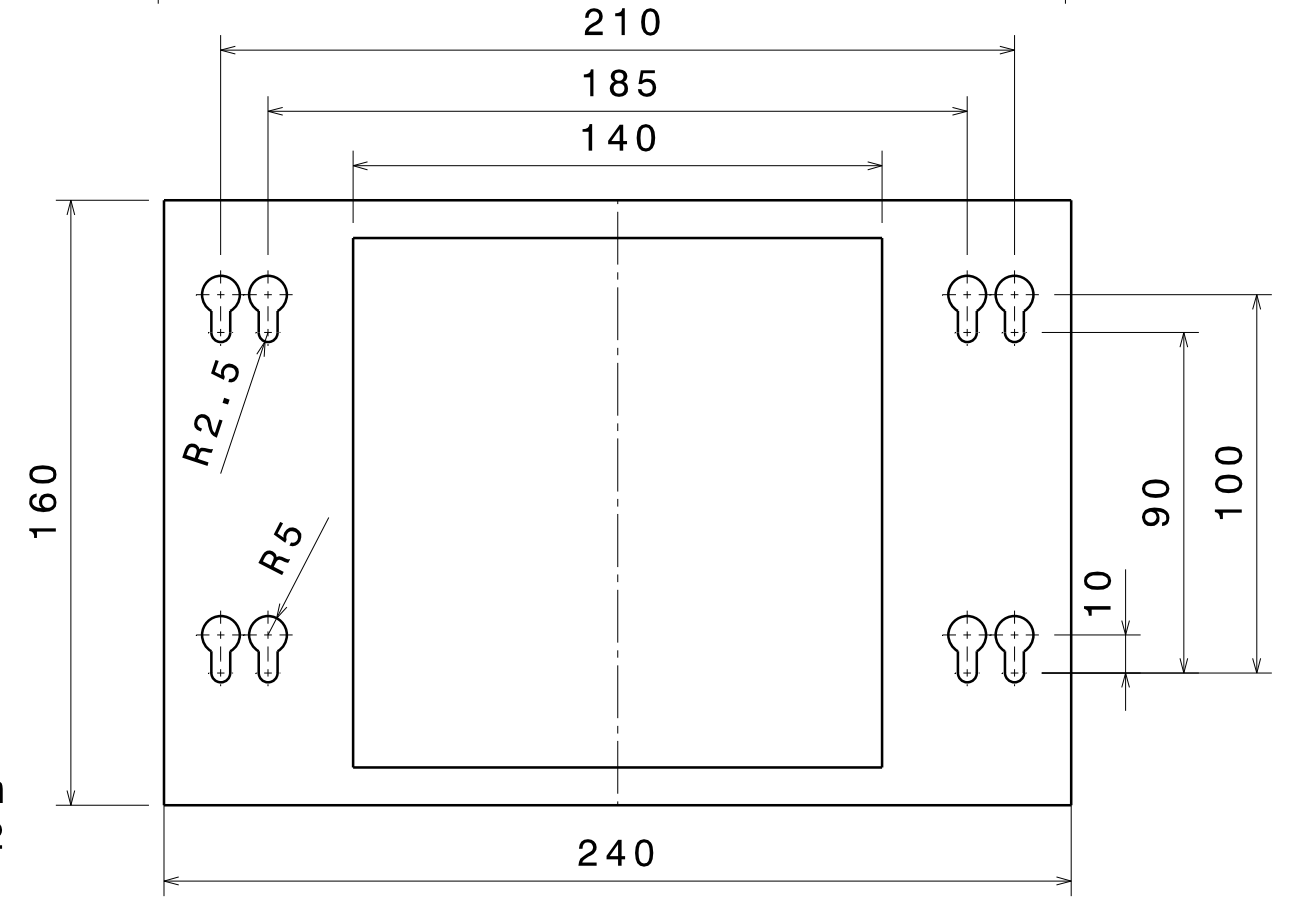


TIPO Cm
E: 1:2

3



TIPO Am
E: 1:2



TIPO Bm
E: 1:2

2

1

Nota 1: todas las plantillas tienen un espesor de 2 mm.
Nota 2: los taladros y las formas de las señales que figuran en las vistas son pasantes.

Proyecto Serious game para el aprendizaje del SMED	Fecha 05/2021	Nº 008	Máster Ing. Industrial Universidad de Valladolid
Plano Plantillas Versión mejorada	Escala 1:2	Tamaño A3	Autor Paula Gavilán Gavilán

H G F E D C B A