



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Máster en Logística

**Estudio de MinecraftEdu y su aplicación
en la construcción de laboratorios
basados en la Escuela Lean.**

Autores:

González Sanz, Álvaro

Muñoz Noriega, Jesús

Tutor:

**Benito Martín, Juan José de
Sanz Angulo, Pedro
Departamento de Organización de
Empresas**

Valladolid, Julio de 2016.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, nos gustaría agradecer a nuestros tutores, Pedro Sanz y Juan José de Benito la oportunidad de realizar este TFM, con una temática diferente a lo habitual, que nos ha permitido trabajar muy cómodos. Además, nos han guiado y ayudado gratamente en la elaboración del mismo siempre que lo hemos requerido.

Agradecer también a nuestros amigos que, generosamente, han colaborado con nosotros en este TFM, en la simulación real de las producciones.

Por último, dedicar el trabajo realizado a nuestras familias, que suponen un apoyo constante en todo lo que hacemos, y sin las cuales no podríamos haber llegado hasta aquí.



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Universidad de Valladolid



RESUMEN Y PALABRAS CLAVE.

Actualmente, las empresas necesitan emplear las Técnicas Lean para lograr grandes mejoras y beneficios, pero para ello es preciso un aprendizaje por parte de sus trabajadores. Comúnmente, este aprendizaje consiste en horas de teoría donde los conceptos son memorizados, pero no asimilados.

Por esta razón, se utiliza la Escuela Lean para mejorar el aprendizaje de estas técnicas. La escuela combina el aprendizaje teórico con la aplicación práctica sobre unos productos especialmente preparados para ello, lográndose así un mejor aprendizaje y comprensión de las herramientas.

Este trabajo utiliza un videojuego, concretamente Minecraft, para simular el trabajo en la Escuela Lean y poder afianzar los conceptos del mismo modo sin necesidad de un entorno físico, facilitando la labor docente. Además, el entorno de Minecraft es dinámico y permite realizar cambios cuando sean necesarios, lo que le permite adaptarse al proceso de enseñanza de las Técnicas Lean y avanzar de forma paralela.

Palabras Clave: Escuela Lean, Docencia, Minecraft, Producción, Lean Manufacturing.

ABSTRACT.

Currently, companies need to use the Lean Techniques for manage improvements and benefits, although these ones had to be learned by the employees. Commonly, this learning is mainly theoretical and the concepts are memorised but not assimilated.

For this reason, the *Escuela Lean* is used to improve the learning of these techniques. The school mixes theorist learning with practical application about products especially prepared for it, which allows to obtain a better learning and understanding of such techniques.

This project uses a videogame, specifically Minecraft, to simulate the work in the Escuela Lean and to support the learning of Lean concepts in the same way without needing a physical environment, which eases the teaching. Moreover, the enviroment of Minecraf is dynamic and allows to do changes if they are needed; this enables to adapt it for the teaching of the Lean Techniques and to advance in parallel to theoretical training.

Keywords: Lean Training, Teaching, Minecraft, Manufacturing, Lean Manufacturing.



ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN.....	15
ANTECEDENTES.....	15
MOTIVACIÓN.....	16
OBJETIVOS Y ALCANCE.....	16
ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.....	17
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	19
1.1. LEAN MANUFACTURING.....	19
1.1.1. <i>Técnicas del Lean Manufacturing.</i>	22
1.1.1.1. Las 5S.....	26
1.1.1.2. SMED.....	28
1.1.1.3. Kanban.....	30
1.1.1.4. Flujo Pieza a Pieza.....	33
1.1.1.5. Picking – Kitting.....	34
1.1.1.6. Kaizen.....	37
1.2. MINECRAFT.....	39
1.2.1. <i>Modos de juego</i>	43
1.2.2. <i>Circuitos de Redstone</i>	46
1.2.3. <i>Comandos</i>	50
1.2.4. <i>MinecraftEdu y Minecraft Education Edition</i>	50
1.3. ESTUDIO DE LA ESCUELA LEAN EN MINECRAFT.....	52
2. ESTUDIO PRÁCTICO.....	57
2.1. SELECCIÓN Y FABRICACIÓN DEL PRODUCTO.....	59
2.2. DESCRIPCIÓN Y FUNDAMENTOS DE LOS MAPAS.....	65
2.2.1. <i>Construcciones Comunes a todos los mapas.</i>	65
2.2.2. <i>Mecanismos Comunes a todos los mapas.</i>	70
2.2.3. <i>Funcionamiento Básico Común a todos los mapas.</i>	77
2.3. PRODUCCIÓN 1.....	79
2.3.1. <i>Diseño y Especificaciones.</i>	79
2.3.2. <i>Procedimientos Técnicos.</i>	81
2.3.3. <i>Fichas de Trabajo Producción 1.</i>	84
2.4. PRODUCCIÓN 2.....	84
2.4.1. <i>Diseño y Especificaciones.</i>	85
2.4.2. <i>Procedimientos Técnicos.</i>	86
2.4.3. <i>Fichas de Trabajo Producción 2.</i>	90
2.5. PRODUCCIÓN 3.....	90
2.5.1. <i>Diseño y Especificaciones.</i>	90
2.5.2. <i>Procedimientos Técnicos.</i>	92
2.5.3. <i>Fichas de Trabajo Producción 3.</i>	95
2.6. PRODUCCIÓN 4.....	95
2.6.1. <i>Diseño y Especificaciones.</i>	95

2.6.2.	<i>Procedimientos Técnicos</i>	101
2.6.3.	<i>Fichas de Trabajo Producción 4</i>	104
3.	RESULTADO DE LAS SIMULACIONES	105
3.1.	ANÁLISIS DE PARÁMETROS.....	105
3.2.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	111
3.2.1.	<i>Preparación de las Producciones</i>	112
3.2.2.	<i>Producción 1</i>	113
3.2.3.	<i>Producción 2</i>	119
3.2.4.	<i>Producción 3</i>	121
3.2.5.	<i>Producción 4</i>	124
3.2.6.	<i>Conclusiones</i>	127
4.	ESTUDIO ECONÓMICO	137
4.1.	INTRODUCCIÓN.....	137
4.2.	PROFESIONALES PARTICIPES DEL PROYECTO.....	137
4.3.	DEFINICIÓN DE LAS FASES.....	138
4.4.	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	139
4.4.1.	<i>Horas efectivas y Tasas horarias del personal</i>	139
4.4.2.	<i>Amortizaciones del equipo informático</i>	140
4.4.3.	<i>Coste del Material consumible</i>	141
4.4.4.	<i>Costes Indirectos</i>	142
4.4.5.	<i>Tiempos asociados a cada fase del proyecto</i>	142
4.5.	COSTES ASIGNADOS A CADA FASE DEL PROYECTO.....	143
4.5.1.	<i>Planificación Inicial</i>	143
4.5.2.	<i>Recogida de Ideas e Información</i>	143
4.5.3.	<i>Desarrollo del Proyecto</i>	144
4.5.4.	<i>Elaboración de la Documentación</i>	145
4.6.	RESULTADOS FINALES.....	145
5.	CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	149
5.1.	CONCLUSIONES.....	149
5.2.	LÍNEAS FUTURAS.....	151
6.	BIBLIOGRAFÍA	153
7.	ANEXOS	157
7.1.	FICHAS DE TRABAJO PRODUCCIÓN 1.....	157
7.2.	FICHAS DE TRABAJO PRODUCCIÓN 2.....	169
7.3.	FICHAS DE TRABAJO PRODUCCIÓN 3.....	182
7.4.	FICHAS DE TRABAJO PRODUCCIÓN 4.....	195
7.5.	TUTORIAL BÁSICO DE MINECRAFT.....	211

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1.1 De izquierda a derecha: Taiichi Ohno, Kiichiro Toyoda, y Henry Ford.	20
Figura 1.2 Representación de la casa de Toyota Production System (TPS). ...	21
Figura 1.3 Los 7 desperdicios del Lean ^[9]	21
Figura 1.4 Cadena de suministros o SMC.	23
Figura 1.5 Esquema de los sistemas de producción Pull y Push.	24
Figura 1.6 Representación gráfica del símil de los problemas de una empresa.	25
Figura 1.7 Representación de las 5S como a) cinco etapas y b) solamente cuatro ^[17] ^[18]	28
Figura 1.8 Efecto del SMED sobre un proceso, reduciendo el tiempo de cambio, el tamaño de lotes, y aumentando la capacidad de producción.	29
Figura 1.9 Ejemplo de tarjetas Kanban.	31
Figura 1.10 Ejemplos de paneles para la colocación de tarjetas Kanban.	33
Figura 1.11 Ejemplo gráfico del Flujo Pieza a Pieza.	34
Figura 1.12 Operario realizando el picking en una máquina recogepedidos.	37
Figura 1.13 Significado de Kaizen = Cambio Mejor.	38
Figura 1.14 Ciclo Deming (PDCA): Planificar, Desarrollar, Controlar, Actuar.	39
Figura 1.15 Logotipos de Minecraft, Mojang y Microsoft.	40
Figura 1.16 Cubo de tierra con césped de 16 x 16 pixels.	41
Figura 1.17 Multitud de los elementos que se pueden obtener en Minecraft.	41
Figura 1.18 Gran parte de las criaturas que aparecen en Minecraft.	42
Figura 1.19 Ejemplos de crafteo y uso de hornos en Minecraft.	42
Figura 1.20 Monitor del inventario del jugador.	43
Figura 1.21 Modos de juego de Minecraft según jugadores.	44
Figura 1.22 Construcción de los edificios de New York con bloques en modo creativo.	45
Figura 1.23 A la izquierda la barra de corazones representa la vida y a la derecha la barra de muslitos representa el hambre del jugador en modo supervivencia.	46
Figura 1.24 Ejemplo del funcionamiento de redstone como cable.	47
Figura 1.25 Puertas lógicas en Minecraft ^[35]	48
Figura 1.26 Salidas de las Puertas Lógicas ^[36]	49
Figura 1.27 Ejemplo de implementación de comandos.	50
Figura 1.28 Logotipos de Minecraft Edu y Minecraft Education Edition.	51
Figura 1.29 Ejemplo de aplicación de Minecraft Edu para enseñanza de a) operaciones matemáticas, b) tabla periódica de elementos químicos.	51
Figura 1.30 Fotografía de las instalaciones de la Escuela Lean y en la que se observan los productos utilizados.	53
Figura 2.1 Apariencia de una vagoneta con cofre.	60

Figura 2.2	Los 16 paneles de cristal de colores disponibles.	61
Figura 2.3	Indicadores de producto: 3 atributos con 2 alternativas.	61
Figura 2.4	Indicadores del Atributo 1: a) hierro, b) oro.	62
Figura 2.5	Indicadores del Atributo 2: a) redstone, b) piedra brillante.	63
Figura 2.6	Indicadores del Atributo 3: a) bola slime, b) crema magma.	63
Figura 2.7	Ejemplo del producto: “Lingote de hierro-Redstone-Crema de Magma”.	64
Figura 2.8	Antesala de entrada.	65
Figura 2.9	Teleportador a la Escuela Lean.	66
Figura 2.10	Bloque de comandos y ejemplo de código de “tp”.	66
Figura 2.11	Cartel de bienvenida y Pre-sala.	67
Figura 2.12	Vista aérea de la Escuela Lean correspondiente a la Producción 1.	67
Figura 2.13	Paredes de la Escuela Lean.	68
Figura 2.14	Vistas a) exterior y b) interior de la sala del responsable de la Escuela Lean.	68
Figura 2.15	Vestuario de la Escuela Lean.	69
Figura 2.16	Estructura y bloques de comandos para la hora y el clima.	70
Figura 2.17	Dispensador de vagonetas, tolva y cofre suministrador.	71
Figura 2.18	Puesto de trabajo estándar.	71
Figura 2.19	Circuito de los puestos de trabajo estándar.	73
Figura 2.20	Área de trabajo estándar de uno de los puestos de operario.	74
Figura 2.21	Trayecto subterráneo de las vagonetas.	74
Figura 2.22	Estantería estándar y mapas de la Escuela Lean.	75
Figura 2.23	Zona de expediciones.	75
Figura 2.24	Funcionamiento de la zona de expediciones.	76
Figura 2.25	Vista aérea de la producción 1.	80
Figura 2.26	Zona de trabajo de la producción 1.	80
Figura 2.27	Colocación de las estanterías de la producción 1.	81
Figura 2.28	Contenido de los cofres de la Prod. 1 de a) operario y b) almacén.	82
Figura 2.29	Vista aérea de la producción 2.	85
Figura 2.30	Zona de trabajo de la producción 2.	86
Figura 2.31	Funcionamiento de la Lámpara de Redstone.	86
Figura 2.32	Contenido de: a) un cofre de puesto y b) un cofre del almacén.	87
Figura 2.33	Vista aérea de la producción 3.	91
Figura 2.34	Distribución de los puestos de la producción 3.	91
Figura 2.35	a) Puesto de trabajo y b) almacén de la producción 3.	92
Figura 2.36	Vista aérea de la producción 4.	96
Figura 2.37	Estantería de la producción 4.	96
Figura 2.38	Puestos de trabajo de la producción 4.	97
Figura 2.39	Línea de Kitting de la producción 4.	97
Figura 2.40	Mecanismo especial de la producción 4.	99

Figura 2.41 Puesto logístico, para visualizar las luces, con el botón de accionamiento.	99
Figura 2.42 a) y b) Negadores del mecanismo especial de la producción 4.	100
Figura 2.43 Ejemplo de kit para el producto: “Lingote de hierro-Redstone-Crema de Magma”.	103
Figura 3.1 Instantes previos a la Producción 1 con todos los empleados en su puesto.	115
Figura 3.2 Exceso de acumulación de productos en curso en un puesto.	116
Figura 3.3 Zona de expediciones con los Productos Terminados en la Producción 1.	116
Figura 3.4 Zona de expediciones con los Productos Terminados en la Producción 2.	120
Figura 3.5 Zona de expediciones con los Productos Terminados en la Producción 3.	123
Figura 3.6 Zona de expediciones con los Productos Terminados en la Producción 4.	125
Figura 3.7 Evolución de los Tiempos en las Producciones.	129
Figura 3.8 Evolución de los Tiempos en los distintos Puestos.	129
Figura 3.9 Calidad en las distintas producciones realizadas.	130
Figura 3.10 Satisfacción del cliente (%) en las producciones realizadas.	131
Figura 3.11 Evolución del espacio físico TOTAL utilizado en el proceso productivo.	131
Figura 3.12 Evolución del espacio físico utilizado en el proceso según las distintas áreas.	132
Figura 3.13 Representación de la relación de los costes.	134
Figura 4.1 Relación de los roles necesarios en el desarrollo del TFM.	137
Figura 4.2 Fases de elaboración del Proyecto.	138
Figura 4.3 Representación de tiempos de cada fase sobre el total del TFM.	146
Figura 4.4 Representación de costes de cada fase sobre el total del TFM. .	146
Figura 4.5 Representación de los diferentes tipos de coste sobre el total del TFM.	147
Figura 7.1 Funcionamiento de la zona de expedición.	164
Figura 7.2 Atributo 1 del producto con indicadores: a) hierro, b) oro.	165
Figura 7.3 Atributo 2 del producto con indicadores: a) redstone, b) piedra brillante.	166
Figura 7.4 Atributo 3 del producto con indicadores: a) bola slime, b) crema magma.	166
Figura 7.5 Producto 1 con atributos: oro-piedra brillante-bola slime.	167
Figura 7.6 Producto 2 con atributos: oro-piedra brillante-crema magma.	167
Figura 7.7 Producto 3 con atributos: oro-redstone-bola slime.	167
Figura 7.8 Producto 4 con atributos: oro-redstone-crema magma.	167

Figura 7.9 Producto 5 con atributos: hierro-redstone-crema magma.	168
Figura 7.10 Producto 6 con atributos: hierro-redstone-bola slime.....	168
Figura 7.11 Producto 7 con atributos: hierro-piedra brillante-crema magma.	168
Figura 7.12 Producto 8 con atributos: hierro-piedra brillante-bola slime.	168
Figura 7.13 Funcionamiento de la zona de expedición.	176
Figura 7.14 Atributo 1 del producto con indicadores: a) hierro, b) oro.	178
Figura 7.15 Atributo 2 del producto con indicadores: a) redstone, b) piedra brillante.	178
Figura 7.16 Atributo 3 del producto con indicadores: a) bola slime, b) crema magma.	179
Figura 7.17 Producto 1 con atributos: oro-piedra brillante-bola slime.	179
Figura 7.18 Producto 2 con atributos: oro-piedra brillante-crema magma... ..	180
Figura 7.19 Producto 3 con atributos: oro-redstone-bola slime.	180
Figura 7.20 Producto 4 con atributos: oro-redstone-crema magma.	180
Figura 7.21 Producto 5 con atributos: hierro-redstone-crema magma.	180
Figura 7.22 Producto 6 con atributos: hierro-redstone-bola slime.....	181
Figura 7.23 Producto 7 con atributos: hierro-piedra brillante-crema magma.	181
Figura 7.24 Producto 8 con atributos: hierro-piedra brillante-bola slime.	181
Figura 7.25 Funcionamiento de la zona de expedición.	189
Figura 7.26 Atributo 1 del producto con indicadores: a) hierro, b) oro.	191
Figura 7.27 Atributo 2 del producto con indicadores: a) redstone, b) piedra brillante.	191
Figura 7.28 Atributo 3 del producto con indicadores: a) bola slime, b) crema magma.	192
Figura 7.29 Producto 1 con atributos: oro-piedra brillante-bola slime.	192
Figura 7.30 Producto 2 con atributos: oro-piedra brillante-crema magma... ..	193
Figura 7.31 Producto 3 con atributos: oro-redstone-bola slime.	193
Figura 7.32 Producto 4 con atributos: oro-redstone-crema magma.	193
Figura 7.33 Producto 5 con atributos: hierro-redstone-crema magma.	193
Figura 7.34 Producto 6 con atributos: hierro-redstone-bola slime.....	194
Figura 7.35 Producto 7 con atributos: hierro-piedra brillante-crema magma.	194
Figura 7.36 Producto 8 con atributos: hierro-piedra brillante-bola slime.	194
Figura 7.37 Funcionamiento de la zona de expedición.	204
Figura 7.38 Atributo 1 del producto con indicadores: a) hierro, b) oro.	205
Figura 7.39 Atributo 2 del producto con indicadores: a) redstone, b) piedra brillante.	205
Figura 7.40 Atributo 3 del producto con indicadores: a) bola slime, b) crema magma.	206
Figura 7.41 Producto 1 con atributos: oro-piedra brillante-bola slime.	206
Figura 7.42 Producto 2 con atributos: oro-piedra brillante-crema magma... ..	207
Figura 7.43 Producto 3 con atributos: oro-redstone-bola slime.	207

Figura 7.44 Producto 4 con atributos: oro-redstone-crema magma.	207
Figura 7.45 Producto 5 con atributos: hierro-redstone-crema magma.....	207
Figura 7.46 Producto 6 con atributos: hierro-redstone-bola slime.....	208
Figura 7.47 Producto 8 con atributos: hierro-piedra brillante-bola slime.	208
Figura 7.48 Kit de componentes del producto: oro-piedra brillante-bola slime.	209
Figura 7.49 Kit de componentes del producto: oro-piedra brillante-crema magma.....	209
Figura 7.50 Kit de componentes del producto: oro-redstone-bola slime.	209
Figura 7.51 Kit de componentes del producto: oro-redstone-crema magma.	209
Figura 7.52 Kit de componentes del producto: hierro-redstone-crema magma.	210
Figura 7.53 Kit de componentes del producto: hierro-redstone-bola slime.	210
Figura 7.54 Kit de componentes del producto: hierro-piedra brillante-crema magma.....	210
Figura 7.55 Kit de componentes del producto: hierro-piedra brillante-bola slime.....	210
Figura 7.56 Visión del jugador en Minecraft.	211
Figura 7.57 Inventario en Minecraft.	212
Figura 7.58 Barra de salud y de comida sobre el inventario de acceso directo del jugador.	216

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 3.1 Resumen de resultados obtenidos en la Producción 1.	117
Tabla 3.2 Resumen de resultados obtenidos en la Producción 2.	120
Tabla 3.3 Resumen de resultados obtenidos en la Producción 3.	122
Tabla 3.4 Resumen de resultados obtenidos en la Producción 4.	125
Tabla 3.5 Diferencia de tiempo medio de ciclo entre la producción 1 y 4 en cada puesto.	127
Tabla 3.6 Resumen de Tiempos de ciclo medios (m:ss) de cada puesto en las 4 producciones.....	128
Tabla 3.7 Coste total invertido en materiales tras cada producción.	134
Tabla 4.1 Cálculo de horas /días/semanas hábiles en el período.....	140
Tabla 4.2 Cálculo de coste del personal por hora y semana.....	140
Tabla 4.3 Cálculo de la amortización de los equipos informáticos.	141
Tabla 4.4 Cálculo de costes de material consumible por trabajador y hora..	141
Tabla 4.5 Cálculo de costes indirectos de servicios.	142
Tabla 4.6 Cálculo de las horas de trabajo necesarias por cada empleado para la elaboración del TFM.....	142
Tabla 4.7 Cálculo de coste total asociado a la FASE I.....	143



Tabla 4.8 Cálculo de coste total asociado a la FASE II.	144
Tabla 4.9 Cálculo de coste total asociado a la FASE III.	144
Tabla 4.10 Cálculo de coste total asociado a la FASE IV.	145
Tabla 4.11 Resumen de resultados finales de horas de dedicación y coste total.	145
Tabla 4.12 Coste Final del TFM con beneficios e impuestos.	147

INTRODUCCIÓN.

La idea original para la realización de este TFM surge del Departamento de Organización de Empresas y Comercialización e Investigación de Mercados de la Escuela de Ingenieros Industriales de Valladolid, por la necesidad de complementar la explicación sobre el funcionamiento del proceso productivo de la Escuela Lean a través de herramientas motivadoras como, por ejemplo, los videojuegos.

ANTECEDENTES.

Con la globalización actual del mundo moderno y el desarrollo competitivo de las empresas en todos los ámbitos que las componen, resulta enormemente necesario la explotación y aprovechamiento máximo de las metodologías y el desarrollo de ideas que permitan a las empresas lograr una mayor eficiencia en sus procesos y una mayor agilidad frente a los cambios del entorno.

Hoy en día, un gran porcentaje de las compañías desarrollan y aplican las técnicas del Lean Manufacturing a fin de convertirse en una “Lean Enterprise”. Estas técnicas persiguen la disminución y minimización de todo tipo de desperdicios en cualquier compañía o proceso productivo. Todo ello contribuye al incremento de la competitividad de las compañías mediante un aumento en la productividad empresarial, la consecuente reducción de los costes y la satisfacción del cliente final.

El futuro del Lean Manufacturing presenta un brillante y próspero recorrido en cualquier ámbito, tradicional o nuevo, que requiera cubrir las necesidades del cliente en competencia con el resto de empresas a través de sus distintas herramientas. Por esta razón, las herramientas Lean no representan prácticas y metodologías estáticas dirigidas por fórmulas, sino que abarcan una filosofía avanzada que permite identificar la percepción de valor de los clientes para ofrecerles los bienes y servicios de la forma más económica y eficiente posible.

La Escuela Lean de la Universidad de Valladolid fomenta y potencia el aprendizaje práctico de todos esos sistemas y metodologías, acercándolos a los alumnos, de forma que sean capaces de analizar un proceso productivo real, discutir, razonar e implementar los procedimientos y métodos convenientes.

MOTIVACIÓN.

Una vez entendida la trascendencia de la aplicación en una empresa o proceso de los métodos Lean, se puede justificar la motivación de la que nace la idea desarrollada en el presente TFM. Ésta no es otra que la de construir una herramienta software basada en los videojuegos que sirva de apoyo a la docencia y al aprendizaje de la filosofía Lean, y su aplicación en un proceso práctico real de forma que les resulte más claro, visual y atractivo.

Se ha seleccionado, como idea original del proyecto, la simulación de un proceso basado en la Escuela Lean que Renault Consulting inauguró en la Universidad de Valladolid, donde se producen diferentes tipos de vehículo a escala. Se ha seguido la línea marcada en un Trabajo Fin de Grado anterior ^[1], fundamentado en la construcción de entornos Lean en Minecraft, con el objetivo de favorecer la función docente y el aprendizaje de unas herramientas Lean concretas.

Por tanto, la justificación con la que nace este TFM es la necesidad de llegar un paso más lejos sobre lo ya realizado, e implementar esos sistemas y herramientas Lean en un proceso práctico, de forma que, además de aprender su aplicación, se pueda valorar su eficacia y aportación al proceso mediante los resultados experimentales de las simulaciones. Esto último es factible por el planteamiento realizado al considerar necesario en este proyecto, la construcción y representación de un proceso en Minecraft en el que se puedan involucrar los alumnos y ser partícipes de las simulaciones como si las realizaran físicamente en la Escuela Lean real.

OBJETIVOS Y ALCANCE.

El principal objetivo de este Trabajo Fin de Máster se centra en la representación y simulación, en el popular videojuego Minecraft, del proceso productivo de una fábrica real, que tiene lugar en la Escuela Lean de Renault Consulting, de la Escuela de Ingenieros Industriales en la Universidad de Valladolid.

El propósito de la construcción de una fábrica basada en la Escuela es el de proporcionar un sistema de apoyo a la docencia en la formación de los alumnos de Grado y Máster en Lean Manufacturing, las herramientas de que se compone y su aplicación en un proceso productivo real. De esta forma, se busca potenciar el interés mostrado por parte de los alumnos en los fundamentos teóricos y facilitar su participación y capacidad de razonar en las

simulaciones prácticas mediante los mapas jugables creados para las distintas producciones.

Entre las múltiples herramientas Lean que se van a implementar, a lo largo de las diferentes producciones realizadas, en la simulación del proceso productivo destacan: las 5S, el sistema Kanban, el SMED, la modificación del lay out de la planta, Just in Time, el sistema de aprovisionamiento kitting, flujo pieza a pieza y la mejora continua que representa en una fábrica el soporte principal del Lean.

Minecraft ofrece versatilidad e infinidad de posibilidades para realizar la construcción de un proceso de este tipo al que poder aplicar las diversas herramientas Lean, lo que permite distinguirse frente a otros métodos docentes por exponer una demostración real de los conocimientos teóricos adquiridos, de un modo práctico, vistoso y novedoso que requiere la participación de los alumnos. Es, por ello, que en la elaboración del TFM resulta interesante cuidar minuciosamente el formato didáctico e instructivo, tanto de los mapas de Minecraft construidos como de la memoria elaborada. Esta última tendrá una estructura y un enfoque orientados hacia el procedimiento formativo recomendado en la aplicación práctica de los mapas elaborados.

Para la demostración del cumplimiento de estos objetivos y confirmar el correcto funcionamiento de los mapas desarrollados de cada producción, se va a desarrollar una simulación práctica con personas reales que permita ilustrar el trabajo desarrollado, identificar problemas en su aplicación real y proponer líneas de actuación futuras.

ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.

Este documento reúne todos los datos del Trabajo Fin de Master realizado bajo el título *Estudio de MinecraftEdu y su aplicación en la construcción de laboratorios basados en la Escuela Lean*. Se pretende que el lector conozca y aprenda a utilizar los distintos mapas de la Escuela Lean creados para este fin, además de poder comprobar los datos y resultados obtenidos en el estudio económico realizado y en una simulación real de las construcciones desarrolladas. A continuación, se expone brevemente el contenido de la presente memoria de TFM.

En el primer capítulo se muestran los *fundamentos teóricos* de las distintas técnicas Lean y del juego de Minecraft utilizado de soporte del proyecto, así como una breve presentación de la Escuela Lean y su origen.

En el segundo capítulo se expone el *estudio práctico* desarrollado, con todo lo que ello conlleva. Se marcan los objetivos de cada mapa realizado, así como su construcción y fundamentos, explicando paso por paso el funcionamiento de todo lo que está incluido en Minecraft, su similitud con la vida real y la forma de entenderlo de cara a los alumnos.

El tercer capítulo incluye el *análisis de parámetros* que se deben estudiar tras las producciones, seguido de los *resultados* obtenidos en una prueba de simulación realizada con personas reales, que aporta datos muy útiles para evaluar la veracidad de lo conseguido en el presente proyecto.

El cuarto capítulo recoge el estudio económico del desarrollo del proyecto completo, lo que permite obtener un precio final para todo el trabajo realizado.

Tras ello, se incluyen las conclusiones más relevantes del trabajo realizado y las posibles líneas futuras que pueden surgir a partir de él, y se presenta la bibliografía utilizada en la elaboración del proyecto y su memoria.

Finalmente, se presentan los anexos del trabajo, que incluyen un tutorial básico de Minecraft, enfocado a la realización de las producciones, y las fichas de trabajo de las distintas producciones, con todos los datos y funciones imprescindibles para su realización.

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

Renault Consulting y la Universidad de Valladolid inauguraron en 2014, en la Escuela de Ingenierías Industriales de la UVA, la primera Escuela de aprendizaje Lean en España. En ella se trata de enseñar cómo eliminar de los procesos (productivos, logísticos o de servicio) todo aquello que no aporte valor para, de este modo, ganar en competitividad.

El presente Trabajo Fin de Máster parte del propósito de implementar dicha Escuela Lean, y sus distintas producciones, en uno de los videojuegos actuales de mayor éxito mundial, Minecraft. Todo ello, con la finalidad de apoyar la labor docente exponiendo de forma más visual y dinámica la metodología, las herramientas utilizadas y los objetivos que se persiguen en esta escuela.

En este capítulo se explican los conceptos fundamentales para ubicar y entender el desarrollo del TFM. Los puntos que se introducen son: el Lean Manufacturing y las distintas técnicas empleadas, el videojuego Minecraft utilizado como soporte para la simulación y la descripción de la Escuela Lean objeto del estudio.

1.1. LEAN MANUFACTURING.

El *Lean Manufacturing* es un modelo de gestión basado en la utilización óptima de los recursos para lograr un objetivo, eliminando o reduciendo así los distintos despilfarros propios de un proceso de producción de un bien o servicio [2].

Su nombre proviene de la palabra inglesa “lean”, que significa magro, esbelto, ágil, sin grasa. Lean Manufacturing hace referencia, por tanto, a una producción eficiente con el mínimo de pérdidas y desperdicios, reduciendo tiempos y asegurando siempre la calidad.

Tiene su origen en Japón, concretamente en el Japón de mediados del Siglo XX, siendo su iniciador y mayor exponente Taiichi Ohno, Figura 1.1. Este ingeniero mecánico japonés empezó trabajando en la fábrica de telares de la familia Toyoda, fundadores de Toyota Motor Company.

La fábrica de telares de los Toyoda era de las más eficientes del mundo, debido, en gran medida, a las automatizaciones instaladas en las máquinas que se encargaban de crear los telares. Uno de los mayores inconvenientes en el desempeño de los trabajos de la fábrica, era la facilidad de los hilos del

telar para romperse. Este contratiempo solo se podía detectar mediante la vista del operario, por lo que ocurría asiduamente, dando lugar a elevados tiempos de parada de la máquina para solucionar el problema. La solución que los Toyoda plantearon fue la parada automática de la máquina al detectar que el hilo se había roto, logrando así reducir notablemente los tiempos de parada y desperdicios de material.

A pesar de estas mejoras, Taiichi Ohno comprobó que antes de la Segunda Guerra Mundial la productividad de las fábricas estadounidenses era muy superior a las de las japonesas, aunque normalmente se lograba en detrimento de la variedad de productos. El más claro ejemplo es Ford Motor Company, representado por una famosa frase de su fundador Henry Ford, Figura 1.1: “El cliente puede comprar un coche del color que desee, siempre y cuando sea negro”.

Una vez finalizada la Guerra, Ohno viajó a Estados Unidos, donde aprendió de los referentes más importantes del país, como Frederick Taylor, W.A. Shewart o el propio Henry Ford [3].

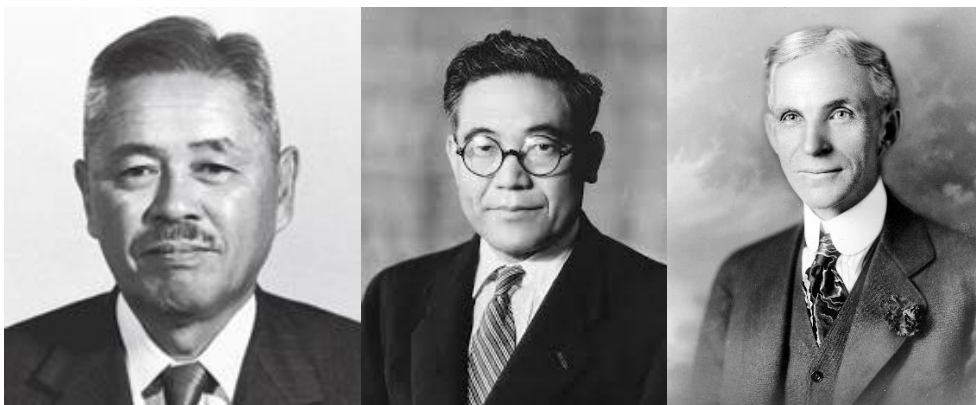


Figura 1.1 De izquierda a derecha: Taiichi Ohno, Kiichiro Toyoda, y Henry Ford.

Entonces, Taiichi Ohno junto con Shigeo Shingo, otro ingeniero de Toyota Motor Company, emprendieron la incorporación de las técnicas de producción de Ford aprendidas, con un enfoque diferente denominándose Toyota Production System (TPS). Se desarrollaron nuevos conceptos de producción orientados hacia el cliente y apoyados en la importancia de: los inventarios, la variedad de productos, la motivación de los empleados, la configuración de las máquinas y la eliminación de desperdicios y actividades sin valor. En la Figura 1.2 representativa de la filosofía TPS se muestran los cimientos y pilares en que se asientan para la consecución de unos objetivos. Todas esas técnicas y herramientas que incluye esta metodología se describen, a continuación, en el apartado [1.1.1 Técnicas del Lean Manufacturing](#) [4] [5] [6].

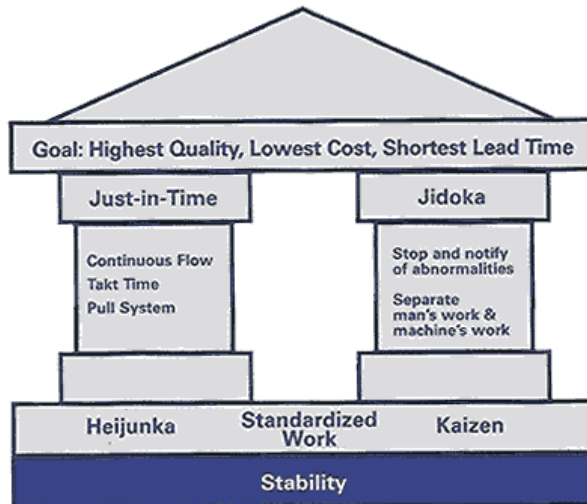


Figura 1.2 Representación de la casa de Toyota Production System (TPS).

A partir de todas esas bases, se desarrolla el concepto del Lean Manufacturing por parte de sus creadores J.P. Womack y Daniel T. Jones autores, en la última década del Siglo XX, de los dos libros destacados que lo definen: “La máquina que cambió el mundo” [4] y “Lean Thinking” [7], que siguen siendo muy utilizados en la actualidad.

DESPILFARROS DEL LEAN MANUFACTURING.

Los principios y herramientas de las técnicas Lean tienen como objetivo principal reducir y evitar las actividades que no agregan valor añadido al producto o servicio, lo que se conoce como despilfarros. Para la identificación de las fuentes que generan las faltas de productividad se definen las siguientes categorías de despilfarros, Figura 1.3 [6] [8] [9]:



Figura 1.3 Los 7 despilfarros del Lean [9].

- **Sobreproducción:** producir algo que el cliente no demanda o hacerlo antes de tiempo conlleva recursos que pueden ser utilizados en otras funciones.
- **Transporte:** el movimiento de materiales es una tarea que consume recursos, no aporta valor añadido y, además, aumenta la posibilidad de errores.
- **Inventario:** las materias primas, productos terminados o productos intermedios almacenados no aportan ningún valor añadido y suponen un gasto de recursos de la empresa, afectando a la tesorería y a las necesidades de espacio de almacenamiento.
- **Esperas:** los tiempos de espera en los que no se da valor añadido al producto aumentan el tiempo de ciclo de producción y pueden ocasionar acumulaciones de material entre procesos.
- **Sobreproceso:** proporcionar al producto o servicio de especificaciones superiores a las requeridas por el cliente produce un aumento de los costes y los tiempos de fabricación que no es valorado por el cliente.
- **Retrabajo:** los productos que no cumplen las condiciones de calidad necesitan de un reproceso con lo que se aumentan los costes y los tiempos de producción, y se disminuye la capacidad disponible.
- **Movimientos:** los movimientos que realizan los operarios en sus puestos de trabajo que no aportan ningún valor añadido al producto son innecesarios y conllevan pérdidas de recursos y tiempo.

A veces, se incluye un octavo despilfarro, que consiste en la **mala utilización del talento y la capacidad de las personas**. Esto ocurre, por ejemplo, cuando un trabajador ocupa un puesto en el que no desarrolla todo su potencial, o cuando sus capacidades no son suficientes para ese puesto de trabajo. También, puede suceder que el trabajador tenga unas habilidades más adecuadas para un puesto de trabajo distinto al que ocupa.

1.1.1. TÉCNICAS DEL LEAN MANUFACTURING.

Las Técnicas Lean se encargan de buscar y minimizar los despilfarros en las organizaciones, habitualmente con herramientas relativamente sencillas y a veces demasiado evidentes. A continuación, se introducen algunas de las

técnicas Lean más importantes y comúnmente utilizadas, desarrollando más profundamente aquellas aplicadas en el presente TFM [2] [7].

Previamente a describir algunas de las técnicas, es preciso conocer el significado de la **Cadena de Suministros** o SCM (*Supply Chain Management*). Este concepto consiste en la integración de la red de instalaciones y medios de distribución que tiene por función la obtención de materiales, su transformación en productos intermedios y terminados, y la distribución de esos productos finales a los consumidores (Figura 1.4). Engloba, por tanto, a todos los integrantes del proceso productivo desde los primeros proveedores de materia prima hasta los clientes finales, pasando por cualquier intermediario que aporte algún servicio a la organización [2] [7].



Figura 1.4 Cadena de suministros o SMC.

Uno de los pilares fundamentales de la metodología Lean es la **máxima calidad**, es decir, conseguir cero errores desde la primera fabricación. Asimismo, la **mejora continua** es un factor básico, que implica la búsqueda constante de mejoras, el desarrollo de soluciones óptimas para los inconvenientes y problemas que surgen, así como su revisión y su continuo progreso hacia la perfección [6].

Otro de los puntos fuertes de la metodología es el **JIT** o **JAT** (*Just In Time* o *Justo A Tiempo*), donde cada material o pieza llega justo en el momento que va a ser usado y únicamente se producen los elementos que se necesitan. Con ello, se reducen el stock al mínimo, llegando, en ocasiones, incluso al stock ideal de 0. Es un proceso complejo, pues requiere de una fuerte capacidad logística, un gran compromiso y mucha organización, tanto interna como externa, con proveedores y demás terceros. Todo ello, con la finalidad de evitar fallos, retrasos y suspensiones del proceso productivo a causa de la falta de suministros, que acarrearían importantes costes [4] [6].

El Just in Time implica una integración externa en la cadena de suministros con la programación de producción de los proveedores y la demanda de los clientes. La nivelación de oferta y demanda conlleva una gran capacidad de respuesta, una mejor utilización de los transportes y

recursos humanos disponibles y la necesidad de menores inventarios y áreas de almacenamiento [2] [10] [11].

La teoría **Jidoka** (*automatización con un toque humano*) es otra de las cualidades fundamentales del Lean, cuya esencia se basa en asegurar el control de la calidad, impidiendo que los defectos continúen en el proceso productivo. Para ello, se utilizan recursos humanos, tecnología para la automatización o un acoplamiento de ambos capaz de descartar los productos defectuosos. Esa teoría contrasta con las prácticas habituales en las que la inspección de calidad se realizaba únicamente a final de la línea, con la pérdida de recursos que ello supone [2] [7] [10].

El **Heijunka** (*Hei=Transformación; Jun=Nivel; Ka=Plano*) es un concepto que consiste en la eliminación de la desigual distribución de la carga de trabajo mediante una producción continua y eficiente. También, se busca la nivelación de la programación de la producción, en lo que se refiere a volumen y variedad de los productos [2] [10] [12].

Desde el punto de vista de la producción, la **flexibilidad** de una línea de proceso está fuertemente relacionada con los tiempos de preparación de las máquinas y de procedimiento de los operarios. Por tanto, se utilizan herramientas para la optimización y normalización, de forma que contribuyan notablemente a las actividades de mejora, reduciendo esos tiempos. En algunos casos, se busca la homogeneidad en las competencias de los operarios, de modo que se gane flexibilidad gracias a su versatilidad ante diferentes puestos.

Dentro de la filosofía de las empresas, existen diferentes sistemas de operación en la metodología Lean, por ejemplo, muchas apuestan por el sistema conocido como tipo “**Pull**”, que implica trabajar siempre bajo demanda, es decir, produciendo únicamente los pedidos de los clientes, Figura 1.5. Con ello, se evita la generación de productos almacenados, como ocurre en el sistema tipo “**Push**”, en el que es el producto el que se lanza al mercado para atraer al consumo por parte de los clientes [2] [7].

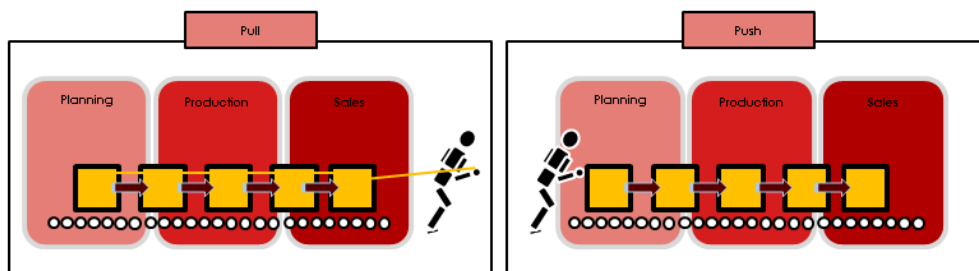


Figura 1.5 Esquema de los sistemas de producción Pull y Push.

También son ampliamente utilizados los **Mapas de Flujo de Valor** o **VSM** (*Value Stream Mapping*), que son representaciones gráficas que permiten desglosar las distintas tareas que se realizan en una producción, los flujos que tienen lugar, así como los almacenes intermedios y tiempos de operación y de esperas. De este modo, se permite analizar con facilidad los procesos y tiempos que realmente aportan valor añadido al producto e identificar aquellos que no lo hacen, posibilitando la opción de reducir estos últimos con mayor simplicidad [2] [13] [14].

Con ello, se destacan las fuentes de despilfarro presentes en la organización, que en muchas ocasiones no son conscientes de ellas, y que van a ser objeto de eliminación mediante acciones Lean. Para entender estos conceptos se utiliza el símil de la navegación de un barco, que representa la empresa, a través del mar, donde los despilfarros son los escollos que se encuentran en el fondo (véase Figura 1.6).



Figura 1.6 Representación gráfica del símil de los problemas de una empresa.

El nivel del mar representa los stocks mínimos de materias primas y productos terminados imprescindibles en la empresa para vencer los despilfarros que tienen lugar en la misma. De esa forma, el nivel de stock necesario para que la empresa sea capaz de satisfacer a sus clientes será mayor cuantos más despilfarros o escollos haya en la organización [6].

Por tanto, al reducirse ese nivel de stock, proliferan los problemas como consecuencia del derroche de recursos que acontece y el barco tiene muchas dificultades para la navegación. Es interesante, por ello, identificar esas causas y minimizarlas para reducir los niveles necesarios en pos de un mejor funcionamiento del barco y de la empresa.

Aparte de las técnicas mencionadas, a continuación, se explican aquellas empleadas en el estudio práctico de este TFM como son las 5S, el SMED, el Kanban, el flujo pieza a pieza, el Picking-Kitting y Kaizen.

1.1.1.1. LAS 5S.

Las **5S** es una técnica de calidad que establece procedimientos para conseguir mejoras en los espacios de trabajo y, de este modo, una mayor eficiencia y rendimiento del proceso productivo [15].

Esta técnica se basa en la aplicación, de forma progresiva y constante, de una serie de etapas consecutivas desde los puestos de trabajo de los operarios hasta en la totalidad de la empresa, según los objetivos que se definan y el ámbito de aplicación. Con estas herramientas se busca transitar de un estado inicial caótico y desordenado a un espacio final ordenado y limpio en el que se establecen los estándares para mantener los procedimientos y la disciplina constituidos.

A partir de las nuevas condiciones de trabajo se busca conseguir mejoras en niveles de calidad, eliminación de tiempos muertos, reducción de costes, aumento de la productividad y una mayor facilidad de operación para los empleados.

Al igual que en todas las técnicas Lean, es básico y fundamental una conciencia y un compromiso personal por parte de cada uno de los empleados, desde los niveles más elementales hasta la alta dirección.

El nombre de 5S se debe a que es una herramienta con origen en Japón, y cada una de las etapas de que se compone hace referencia a una palabra japonesa que comienza por la "S". Los 5 términos japoneses son: *Seiri*, *Seiso*, *Seiton*, *Seiketsu* y *Shitsuke*, y corresponden a los siguientes procedimientos:

- **Seiri** (*Separar*): en esta primera etapa se recopilan todos los objetos y elementos de la zona de trabajo, se separan y clasifican en distintos grupos según sea de habitual su utilización.

De este modo, se desechan o venden los objetos que no se utilizan nunca y se llevan a su lugar de origen aquellos que se encontraban en una ubicación errónea. Además, los elementos útiles de uso común y los que no son tan habituales están identificados y separados.

- **Seiton (Organizar):** en esta segunda fase, muy ligada a la primera, se toman los objetos clasificados y se les asigna con exactitud un lugar concreto y único. Habitualmente, se utilizan etiquetas para identificar los objetos que se ubican en cada lugar con el objetivo de que sean retornados siempre que no se utilicen y estén disponibles para el siguiente.

Los objetos utilizados a diario se ubicarán en los lugares más cercanos y accesibles al puesto de trabajo mientras que, al disminuir el grado de utilización se irán colocando en lugares que sean menos directamente alcanzables. Así, estos últimos estarán siempre a disposición, pero en lugar que no obstaculizan el trabajo más rutinario.

- **Seiso (Limpiar):** esta tercera etapa se centra en la limpieza del puesto de trabajo y su mantenimiento a diario bajo la responsabilidad del empleado.

Todo el personal debe tener conciencia de la importancia de un ambiente limpio en su puesto, que proporciona calidad y seguridad. Entonces, cada uno tiene el deber de retirar cualquier tipo de suciedad que exista antes y después de cada operación realizada y convertirlo en un hábito.

- **Seiketsu (Estandarizar):** esta etapa se encarga de mantener los logros alcanzados con la aplicación de las tres primeras “S”. Es necesario implantar procedimientos de actuación documentados que permitan conservar los resultados obtenidos para evitar la tendencia natural de vuelta al desorden.

De este modo, se crean estándares de trabajo que permitan conocer siempre a los trabajadores las pautas que tienen que llevar a cabo para cumplir con las especificaciones que marca el sistema 5S. Además, se recogen, analizan y archivan los posibles fallos que puedan ocurrir con el objetivo de mantener el sistema.

- **Shitsuke (Autodisciplina):** es, probablemente, la etapa más importante de todas. Significa convertir en hábito el empleo y utilización de los métodos que han sido establecidos y estandarizados previamente. Es la fase más difícil de conseguir, puesto que requiere los valores de compromiso y disciplina diaria por parte de los empleados para garantizar la calidad y seguridad de forma permanente.

El Shitsuke representa el puente de unión entre las 5S y el concepto de la mejora continua, ya que implica un mantenimiento del buen hacer para no volver al estado inicial a lo largo del tiempo.

Existen formas de estimular y promover esos hábitos y valores entre el personal como son: formación periódica, revisiones rutinarias de cumplimiento, otorgar premios por los logros conseguidos y la propia autosatisfacción de los empleados al sentirse involucrados en la empresa [7] [15] [16] [17].

Normalmente, en la fase inicial de implantación del ciclo de las 5S en un puesto de trabajo, se hace especial hincapié en las tres primeras etapas, ya que son las que requieren el empleo de más esfuerzo y tiempo dedicado. Por ello, es aconsejable implementar de forma no simultánea la metodología en cada una de las áreas de la empresa. Tras ello, el cuarto paso documenta y comprueba el cumplimiento de todo el trabajo previo. Por último, la quinta etapa, que no requiere dedicar mucho tiempo al día ni grandes esfuerzos, es la clave para que, apoyándose en todo lo realizado anteriormente, se mantenga el sistema en buen estado a lo largo del tiempo [2].

Por esta razón, se suele considerar al Shitsuke como la fase común que soporta en el tiempo todo el ciclo descrito y no únicamente como una etapa. Esto se puede observar en la Figura 1.7.

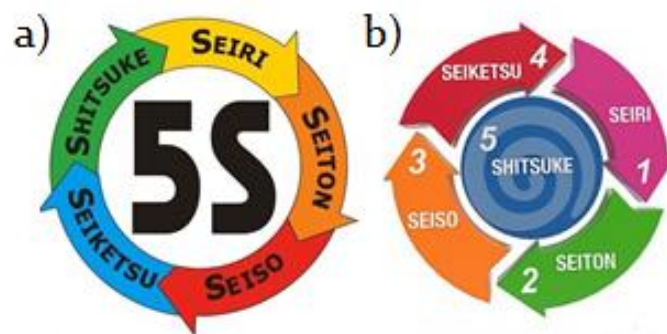


Figura 1.7 Representación de las 5S como a) cinco etapas y b) solamente cuatro [17] [18].

1.1.1.2. SMED.

El **SMED** (*Single-Minute Exchange of Die*) es una de las técnicas más exitosas basada en la reducción del tiempo desperdiciado en los cambios de herramienta, de proceso o en la preparación de las máquinas [2] [6]. Su

significado literal corresponde a que el cambio debe realizarse en tiempos inferiores a los 10 minutos, es decir, no llegar a valores con dos dígitos.

El tiempo de cambio concierne desde que se acaba la última pieza de una serie inicial hasta que se obtiene la primera pieza sin defectos de la siguiente serie. Para la implantación de esta técnica se requieren una serie de pasos.

En primer lugar, es necesario diferenciar entre las operaciones que se realizan con la máquina parada, operaciones internas, y aquellas que se llevan a cabo mientras la máquina está en funcionamiento, operaciones externas.

Después, se convierten algunas de las operaciones internas en externas siempre que no supongan un compromiso de seguridad y se puedan realizar de igual forma con la máquina funcionando.

Por último, se organizan las herramientas y materiales que soportan las operaciones externas y se perfeccionan y estandarizan todos los aspectos de la etapa de preparación, con el fin de reducir al mínimo el tiempo de las operaciones internas ^{[19] [20] [21]}.

La aplicación de esta herramienta guarda relación con el objetivo de mejorar el lead-time y de reducir stocks. Por tanto, cuanto mayor sea el tiempo de cambio, más limitación tendrá la empresa ante los cambios de proceso, viéndose obligada a trabajar con lotes cada vez mayores. Por el contrario, al disminuir el tiempo para el cambio de modelo, aumenta la capacidad de la empresa para realizar más cambios, trabajar con lotes más pequeños y planificar stocks y plazos de entrega menores (Figura 1.8). También se puede aplicar con el fin de aumentar la capacidad de producción de la línea de proceso ^[20].

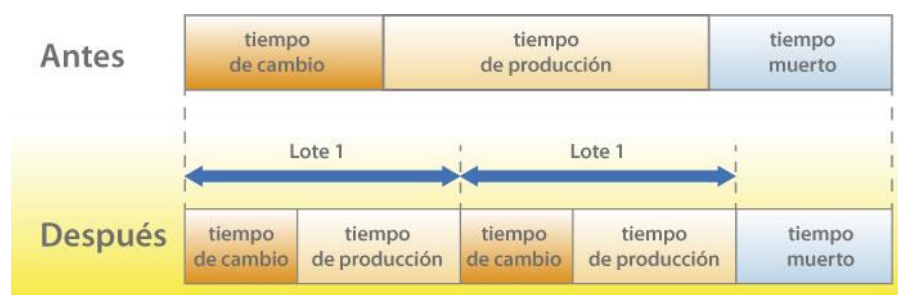


Figura 1.8 Efecto del SMED sobre un proceso, reduciendo el tiempo de cambio, el tamaño de lotes, y aumentando la capacidad de producción.

1.1.1.3. KANBAN.

El **Kanban** (*tarjetas visuales*) es un sistema de control y programación sincronizada de la producción basado en tarjetas. Son instrucciones constantes que se dirigen de un proceso a otro, y que se diseñan según los requerimientos del cliente.

El objetivo capital es la gestión general de cómo se van completando las diferentes tareas de una línea de producción mediante órdenes de trabajo. Así, todos los procesos cogen el material requerido de la operación anterior para producir sólo lo necesario para las etapas posteriores. Con ello, una orden de trabajo sólo se cumple por la necesidad de la siguiente operación; en caso contrario, no se procesa el material.

Se utilizan pequeños tamaños de lotes, con bajos tiempos de aprovisionamiento con lo que se consigue sincronizar el flujo de material de forma continua desde los proveedores hasta la línea de producción final [2] [22]. Con esto, se logra minimizar el despilfarro del inventario, ya que producir únicamente cuando es requerido conlleva a una reducción de los stocks intermedios.

Además, se simplifican las tareas administrativas mediante las órdenes de trabajo Kanban para el lanzamiento y aprovisionamiento de pedidos con los proveedores. También, al tratarse de un sistema “Pull” se facilita el flujo continuo y se ayuda a la nivelación del proceso, destapando muchos de los posibles fallos.

El funcionamiento del Kanban se basa en el uso de tarjetas, las cuales están identificadas y organizadas por los responsables de logística. Cada tarjeta estandarizada contiene toda la información necesaria para el correcto funcionamiento del método.

Estas tarjetas varían en función de las necesidades de la empresa y los clientes; por tanto, serán diferentes en los puestos de cada una de las áreas conteniendo la información requerida [23]. Así, esas tarjetas pueden ser de formato, tamaño, contenido y complejidad muy diferentes en distintas empresas o incluso dentro de la misma. En la Figura 1.9 se observan algunos ejemplos de tarjetas utilizadas.

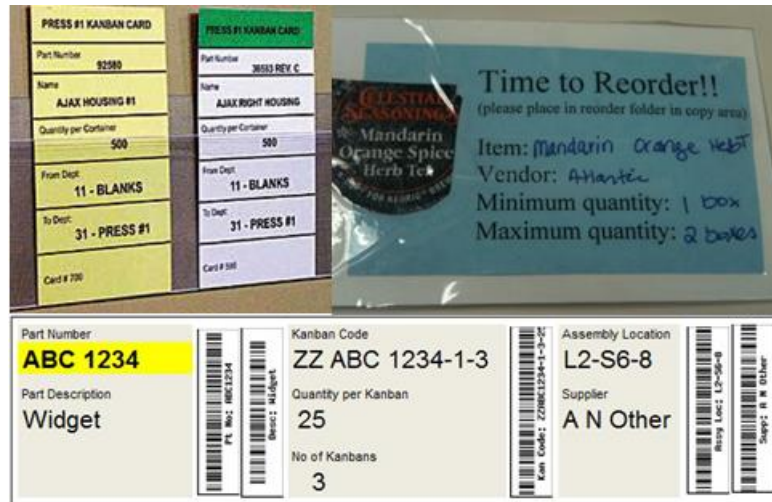


Figura 1.9 Ejemplo de tarjetas Kanban.

La correcta implementación de la herramienta Kanban está basada en una serie de reglas o principios. La primera de ellas impide mandar producto defectuoso a las etapas posteriores del proceso y reclama su salida de la línea de producción para evitar los costes derivados de los materiales, el equipo y la mano de obra utilizada.

El segundo principio del Kanban establece que las etapas subsecuentes del proceso únicamente requerirán las materias primas y componentes necesarios. Es decir, sólo se requerirá material al proceso anterior en la cantidad indispensable y en el momento adecuado.

Otro de los fundamentos restringe a cada una de las etapas a producir sólo la cantidad de producto que sea requerida por el proceso consecutivo cuando llegue el pedido, evitando posibles despilfarros por sobreproducción o exceso de stock.

La cuarta regla del Kanban implica optimizar la producción de forma que se pueda fabricar solamente la cantidad pedida por los procesos siguientes en el momento requerido. Esto supone mantener al equipo y trabajadores de tal forma que puedan producir el pedido en el instante deseado.

El quinto fundamento busca evitar las especulaciones sobre si la etapa subsecuente va a precisar más o menos material la siguiente vez. Tampoco se accede a que el proceso posterior solicite al anterior un comienzo más temprano de la producción del lote. Por tanto, es básico un balance y nivelado óptimo de la producción.

En el último de los cimientos del Kanban interesa estabilizar y racionalizar los procesos. Esto es debido a que los defectos surgen cuando no se dan

esas condiciones; entonces, si el trabajo no está estandarizado seguirán dándose elementos defectuosos de forma constante [2] [7] [24].

Inicialmente, en la aplicación del Kanban en un proceso, las cajas con los elementos y componentes necesarios para comenzar la producción se encuentran ubicadas en cada puesto de trabajo, correctamente etiquetadas.

Las cantidades almacenadas en cada caja varían en función del tamaño, nivel de utilización y tiempo de reabastecimiento. De este modo, el tiempo de reposición tiene que ser necesariamente inferior al de consumo de la caja en el puesto, para asegurar el flujo continuo y evitar paradas. Cada puesto consta de un número de cajas optimizado según el tipo de proceso, la rotación de las piezas y la organización de los flujos de material de la planta.

Cuando el operario de un puesto consume una caja completa, debe informar para que los responsables de logística se encarguen de la reposición, ya sea en un puesto anterior o en el almacén, y la devuelvan al puesto. Esto mismo ocurre con las cajas completas de elementos o componentes terminados en un puesto y que serán material de entrada de las operaciones siguientes. Es decir, el responsable de logística se encargará de, una vez se ha llenado o repuesto la caja de ese producto, llevarla al puesto de origen que generó el pedido [22].

En cuanto a las formas aplicadas en la actualidad para que los operarios informen a los responsables de logística de la reposición de las cajas, la más común consiste en sacar la tarjeta Kanban de la ranura de la caja en la que se inserta. Esta tarjeta se coloca en un buzón o en un panel de tarjetas que será propio del puesto o común a varios. En este momento, la tarjeta se convierte en una orden de pedido por parte del operario de un determinado material, y sólo se quitará del panel una vez se complete el pedido para insertarla de nuevo en la ranura de la caja [25].

Generalmente, el responsable de logística comprueba constantemente la presencia de tarjetas en el buzón o panel, Figura 1.10. Estos paneles incluyen facilidades, como, por ejemplo, señales visuales de colores que indican la urgencia del pedido o diferencian aquellos que son más críticos de forma general [26].

Por ejemplo, en el caso de un puesto con 3 cajas de stock de un material, la luz verde indica la presencia de una de las tarjetas, la luz amarilla corresponde a la necesidad de reposición de dos tarjetas de ese material y la luz roja representa una urgencia de reposición, dado que las tres tarjetas de ese material se encuentran en el panel.



Figura 1.10 Ejemplos de paneles para la colocación de tarjetas Kanban.

Sin embargo, existen otros métodos, como, por ejemplo, la utilización de paneles inteligentes con sensores que permiten al responsable logístico gestionar todos los Kanban, de una o varias áreas, desde el ordenador de un puesto logístico. Esto es debido a la distancia entre puestos, el tiempo de reposición y el número de referencias del proceso.

Otra forma de informar a los encargados logísticos de un pedido, sin quitar la tarjeta de la caja, consiste en la utilización de elementos visuales (como una luz), sonoros o simplemente colocando la caja vacía en otro lugar para que se la lleven a reponer [26]. Este último caso es más común para reposición directa del propio almacén.

Cualquiera de los métodos enunciados puede ser válido, en función de las necesidades y requerimientos del proceso de producción de una empresa, proporcionando control, organización, solidez y eficiencia a la cadena productiva [22] [24].

1.1.1.4. FLUJO PIEZA A PIEZA.

El flujo pieza a pieza o también conocido como **One Piece Flow** (OPF) es una técnica que se basa en la fabricación de un producto pasando entre las distintas etapas del proceso de forma continua y unitaria [2] [4]. El concepto significa que la organización sólo debe procesar aquello que el cliente quiere, con las cantidades solicitadas y en el tiempo requerido.

Se implanta creando células de trabajo, Figura 1.11, para minimizar los inventarios, intermedios y finales, y el lead time reduciendo los tiempos de espera sin valor añadido entre operaciones y la necesidad de transportes. Con ello, el stock intermedio se reduce prácticamente al en curso y al stock

de seguridad. También, se favorece la simplicidad de la gestión de los flujos y la mejora de la calidad, ya que permite detectar y corregir antes los defectos.

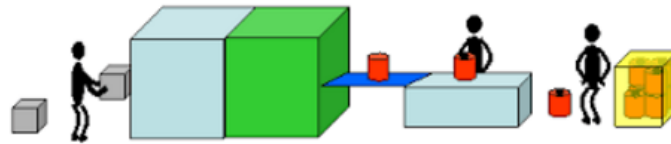


Figura 1.11 Ejemplo gráfico del Flujo Pieza a Pieza.

El OPF trabaja de forma conjunta con el JIT y el equilibrado de las líneas para conseguir un ritmo de trabajo sincronizado en toda la fábrica. Es imprescindible regularizar y coordinar esas técnicas para optimizar los resultados y evitar dificultades de retrasos y despilfarros de tiempo.

Una de las principales desventajas del OPF es que un mal equilibrado, el fallo en un puesto o una descoordinación frenan la producción de toda la línea; es importante, por ello, lograr un control preciso de la línea. Por ejemplo, un desequilibrio en la carga de trabajo de un puesto conlleva a tiempos de operación superiores y, con ello, la formación de un tapón o cuello de botella, que produce el retraso de toda la línea de producción [6].

1.1.1.5. PICKING – KITTING.

El **Picking** es una parte del proceso de la cadena de suministro que consiste en la recogida, preparación y consolidación de cargas que forman un pedido de cliente. Incluye todo el conjunto de operaciones destinadas a seleccionar, extraer y acondicionar las mercancías unitarias de las estanterías o lugares de ubicación [27].

Esta actividad es de suma importancia debido a que afecta notablemente a la productividad de toda la cadena logística. Por ello, es imperioso su estudio y optimización dado que, en muchas ocasiones, se convierte en el cuello de botella. Una de las tareas que supone gran parte del coste de las operaciones de picking es el desplazamiento por el almacén para la conformación del pedido [28]. Para minimizar los problemas de desplazamientos y transportes innecesarios se han desarrollado las siguientes modalidades:

- **Picking por oleadas.** Es la consolidación de cargas de los pedidos solicitados mediante una lista de picking y está basado en la

minimización de los desplazamientos mediante la utilización de rutas óptimas, evitando pasar dos veces por el mismo lugar.

- **Batch Picking.** Se trata de una extracción conjunta y agrupada de la carga de todos los pedidos para después separar y preparar los pedidos con las cantidades exactas en una zona de desconsolidación.
- **Pick to Box.** Es, igualmente, una extracción conjunta y agrupada de las referencias de todos los pedidos con la diferencia de que se introducen directamente en las cajas de envío en el mismo lugar de extracción de los materiales, evitando así el proceso de separación posterior.
- **Pick to Voice.** El picking se basa en un sistema de guía por sonido que permite a los trabajadores tener las dos manos libres. Los operarios mediante una diadema reciben por voz la posición a la que deben dirigirse y la cantidad de unidades a tomar, y confirman la correcta recogida utilizando también la voz.
- **Pick by Light.** Consiste en un sistema de guía visual para el operario mediante bombillas que indican las ubicaciones exactas del almacén donde debe recoger los artículos y la cantidad de los mismos. Disponen de un botón de verificación de la recogida correcta de la carga.

Extrapolando a un proceso de fabricación, los clientes a los que hay que proveer son los puestos de operación y el picking se realiza con el objetivo de proporcionar a los operarios todos los materiales que necesitan conjuntamente. De este modo, se realiza un único transporte para proveer completamente a cada puesto, sin necesidad de desplazamiento para cada referencia ni de proporcionar al puesto más cantidad de la requerida.

Por otra parte, el **Kitting** se trata de un concepto directamente relacionado con el Picking, que consiste en las actividades de preparación de los kits necesarios en un proceso de fabricación.

Los objetivos que se persiguen mediante los procesos de preparación de kits son la eliminación de tiempos residuales relacionados con la inactividad de la máquina por la selección inválida de componentes, la correcta selección del kit desde el inicio del proceso productivo y la eliminación del tiempo necesario para la selección de los componentes adecuados.

La prioridad es la eliminación de despilfarros en la cadena de montaje, asegurándose que no se produce inactividad en las máquinas como consecuencia de problemas con el kitting. Después, se busca optimizar el tiempo necesario en el proceso de preparación de kits [29].

En una cadena de montaje el sistema Picking implica hacer llegar a cada uno de los puestos las cajas con un número de componentes determinado, que se irán reponiendo a medida que sean consumidos, ayudándose de distintas herramientas como, por ejemplo, el Kanban. A diferencia de esto, en el Kitting se optimiza el proceso de reposición y control de stock al máximo, de forma que a cada puesto de trabajo llegan los materiales y componentes exactos que requiere utilizar en cada momento [2] [27].

Esto significa que el puesto tendrá un stock cero, pues sólo le llegarán las piezas que necesite en cada instante, y en el momento exacto (JIT). Esto convierte al kitting en una actividad crítica, lo que implica la necesidad de una gran organización y sincronización, con una logística muy avanzada y un control total sobre toda la producción.

Al igual que en el OPF, el Kitting tiene importantes ventajas, entre las que destaca una disminución al mínimo del stock de materias primas en cada uno de los puestos de trabajo, lo que también genera un ahorro del espacio necesario en los puestos.

Por el contrario, siguiendo al OPF, una de las principales desventajas del Kitting es que cualquier fallo o desincronización del proceso retrasa toda la producción, pues una mala preparación del kit de componentes necesarios impide continuar el proceso.

La elevada complejidad del sistema y una alta posibilidad de ocurrencia de fallos hacen que sea muy difícil mantener un proceso con los sistemas de kitting y OPF simultáneamente. Sin embargo, una exquisita organización permite el funcionamiento del proceso productivo como una única máquina con producción continua, stocks intermedios y de componentes muy reducidos y recorte de los despilfarros. Todo ello, junto con un trabajo constante y gran implicación de todos los estamentos de la empresa multiplica la productividad de la organización.

En cuanto al modo de aplicación del Picking y del Kitting, lo más común en el primero es que se realice mediante una máquina recogedora de pedidos (Figura 1.12), una carretilla, un carrito o simplemente las manos del propio operario, en función de la naturaleza del caso en que se aplique.



Figura 1.12 Operario realizando el picking en una máquina recogepedidos.

Respecto al segundo, cada empresa realiza un Kit específico a su proceso, que recoge todas las piezas necesarias para la fabricación. Este Kit puede ser común para toda la cadena, creándose en el inicio y que se desplace a lo largo de todos los puestos hasta el final del proceso, o un Kit estático del que se abastecen todos los puestos, que será repuesto cada vez que se vacíe.

Además, estos kits pueden ser tanto externos como internos, dependiendo de la empresa, el producto y las instalaciones. Incluso es posible que, debido a la complejidad de una producción y una multitud de puestos, se utilicen diferentes kits en distintas áreas del proceso. También, ocurre que algunas partes del proceso de producción no requieren un Kitting o simplemente no es eficiente (por ejemplo, en el caso de componentes muy voluminosos o pesados); entonces, sólo se aplica en las áreas en las que sí lo sea [6].

Generalmente, los componentes y piezas pequeñas como tornillos, arandelas, tuercas, remaches, etc., no son considerados en el kitting y, por tanto, se encuentran ubicados directamente en los puestos en que se requieran. Esto es debido a que no ocupan apenas espacio, que no es relevante tener stock por su bajo coste y dadas sus dimensiones son elementos que el operario necesita tener excedente porque fácilmente se pueden caer, perder o romper. Sin embargo, cuando las piezas y componentes utilizadas en el puesto al completo se introducen en el Kit, se denomina Full Kitting.

1.1.1.6. KAIZEN.

El **Kaizen** es una filosofía que representa la práctica de la mejora continua en una organización. Se origina tras la Segunda Guerra Mundial,

época en la que Japón se enfrentaba a muchos problemas en su industria. El nacimiento de la JUSE, Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros, supuso la base para el desarrollo de la nueva metodología con el objetivo de conseguir la mejora del sistema empresarial [2] [7] [30].

El Kaizen se reconoció mundialmente como uno de los soportes más importantes de las estrategias competitivas a largo plazo de las organizaciones. Kaizen significa Cambio Mejor (Figura 1.13), entendiéndose como tal los cambios realizados en las empresas por todo el mundo, todos los días y en todas partes. Esto quiere decir que todas las personas que forman parte de la empresa se implican en llevar a cabo las mejoras de forma constante a lo largo del tiempo y en todas y cada una de las áreas de que se compone la empresa.

Una de sus principales características es la obtención de grandes resultados como consecuencia de muchos pequeños cambios acumulados a lo largo del tiempo de aplicación de sus herramientas. No obstante, no debe caerse en el error de considerar que únicamente se engloban los pequeños cambios debido a que los que mayor impacto generan son los proyectos dirigidos por la alta dirección [6] [31].

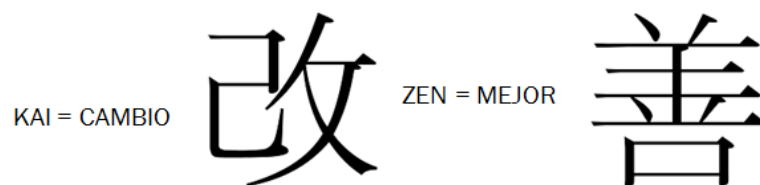


Figura 1.13 Significado de Kaizen = Cambio Mejor.

Los principios fundamentales que deben aplicarse siempre en la filosofía del Kaizen son los siguientes [31] [32]:

- Comprensión de la situación actual y optimización de los recursos.
- Trabajo en equipo y aporte constante de sugerencias para la mejora.
- Disciplina y compromiso personal. Es básica la integración y la participación activa de los empleados en todas las etapas, de forma que la moral se vea reforzada continuamente.
- Basado en datos y en la gestión con hechos.
- Rapidez para la toma de medidas de contención e implementación de soluciones a las causas raíz de los problemas.
- Metodología basada en círculos de calidad (PDCA) (Figura 1.14).

- Plan (Planear): se establecen metas, análisis de situación actual y de problemas y definición de planes de acción.
- Do (Hacer): corresponde al trabajo de campo de la mejora, se ejecuta y registra el plan de acción definido y documentado.
- Check (Verificar): se analizan los resultados un tiempo después de la implementación, comprobando respecto al objetivo planteado en la situación inicial.
- Act (Actuar): tras obtener los resultados se toman las decisiones pertinentes en cuanto a las necesidades de modificaciones para la mejoría y su estandarización [32].

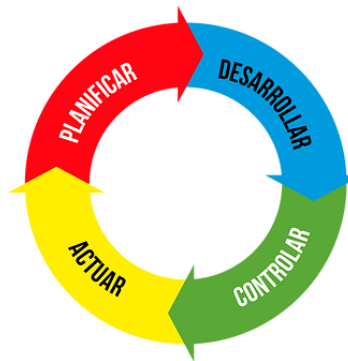


Figura 1.14 Ciclo Deming (PDCA): Planificar, Desarrollar, Controlar, Actuar.

Son la disciplina y la constancia lo que diferencian la filosofía Kaizen de otras metodologías, debido a que, tras solucionar un problema, se busca la mejora continua sin esperar a que surjan nuevos contratiempos. Además, es imprescindible una alta disposición y un compromiso fiel por parte de todos los niveles de la organización, debido a que todos se encuentran involucrados en el Kaizen, comenzando por la alta dirección [30].

Una vez descritos los fundamentos del Lean y las herramientas clave para su aplicación, en el siguiente apartado se introduce el videojuego Minecraft y sus características esenciales para comprender la utilización del mismo como soporte de las simulaciones de la Escuela Lean.

1.2. MINECRAFT.

Minecraft es un videojuego que salió al mercado mediante una versión alpha en 2009 y que tuvo su versión definitiva en 2011. Actualmente es propiedad de Microsoft, entidad que pagó en 2015 la cantidad de 2.500 millones de dólares por Mojang, el estudio independiente creador de

Minecraft ^[33]. Markus Alexej Persson fue el fundador de Mojang y, por tanto, creador y desarrollador de Minecraft en su primera etapa.



Figura 1.15 Logotipos de Minecraft, Mojang y Microsoft.

El interés de Microsoft por este juego nace de la gran aceptación entre el público, ya que los últimos estudios desarrollados por New York Times reflejan que se continúa vendiendo el juego en cifras de 10.000 copias al día, lo que lleva a superar los 100 millones de usuarios registrados en el juego en sus distintas plataformas a lo largo de todo el mundo. Estas cifras del fenómeno Minecraft permiten explicar por qué se ha convertido en el tercer videojuego más vendido de la historia, por detrás del Tetris y Wii Sports ^[34].

Su gran éxito se debe a su libertad de juego, ya que se trata de un “sandbox”, es decir, un juego que permite al jugador manipular el entorno a su antojo y donde el límite lo pone prácticamente su imaginación ^[34]. Esta característica ha permitido que el juego vaya más allá de ser un juego “indie”, nombre que se da a los juegos independientes que se caracterizan por ser creados por pequeñas empresas o incluso grupos de personas sin grandes apoyos financieros. A veces, incluso, se da el caso de juegos creados por personas que se dedican a ello, pero realizados como hobby en sus ratos libres.

Al tratarse de un juego así, en sus inicios no disponía de unos buenos gráficos; de hecho, todo el mundo Minecraft está formado por cubos pixelados. Cada uno de estos bloques (algunos pueden variar) está formado por 16 píxeles de lado, limitando enormemente su apariencia (véase Figura 1.16). Cada bloque equivale a un cubo de 1 metro de lado en el juego.

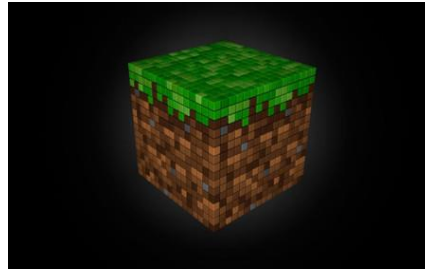


Figura 1.16 Cubo de tierra con césped de 16 x 16 pixels.

Pero esto, que en cualquier otro videojuego sería un problema, en Minecraft forma parte de su magia, por lo que se ha mantenido este sistema hasta el presente. También, existen paquetes de texturas externos para modificar su apariencia, pero la esencia del mundo cúbico se mantiene.

Al igual que ocurre con los paquetes de texturas, existen numerosos “mods” desarrollados por usuarios individuales de internet que permiten implementar en el juego nuevas funciones, elementos, interacciones, criaturas, etc. Este conjunto de nuevas posibilidades de usuarios anónimos unidas a las continuas actualizaciones y ampliaciones llevadas a cabo por los desarrolladores del juego terminan por hacer de Minecraft un mundo sin fin.

Los elementos con los que interactuar en Minecraft no se limitan sólo a los cubos, sino que hay multitud de objetos a utilizar, tales como comida, armas, armaduras, etc. (véase Figura 1.17).

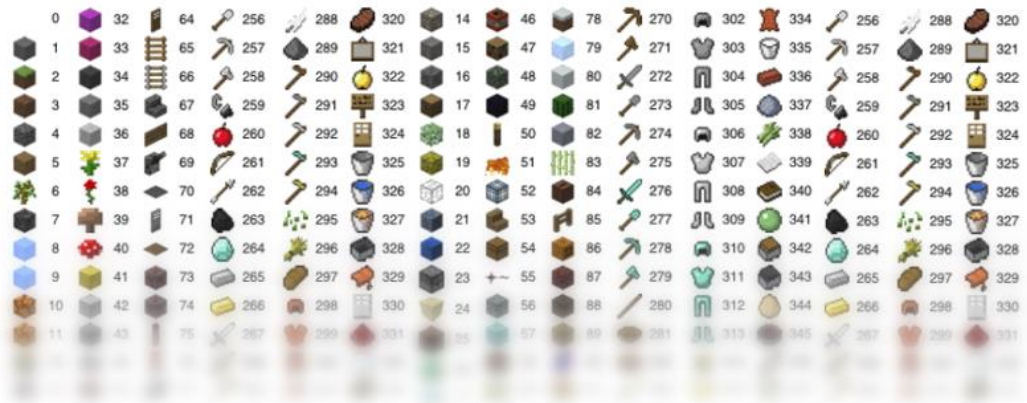


Figura 1.17 Multitud de los elementos que se pueden obtener en Minecraft.

Además, dentro del juego hay entidades como animales, aldeanos y monstruos; estos últimos pueden dañar al jugador en función de la modalidad de juego elegida de entre los distintos tipos de que dispone Minecraft. En la Figura 1.18 se pueden observar la gran mayoría de las criaturas que aparecen en el juego.



Figura 1.18 Gran parte de las criaturas que aparecen en Minecraft.

Por último, es importante mencionar que no todos los objetos o bloques de Minecraft se obtienen de forma simple y directa, sino que a veces es necesario “craftearlos”; de esta palabra deriva la mitad del nombre del propio juego. El “crafteo” consiste en la obtención de objetos o bloques complejos a partir de otros más simples colocados en la combinación de posiciones correspondiente, mediante la utilización de un bloque llamado “mesa de trabajo”. A continuación, se muestra en la Figura 1.19 cómo se craftearía un pico de hierro a partir de 2 palos de madera y 3 lingotes de hierro colocados en una posición determinada.



Figura 1.19 Ejemplos de crafteo y uso de hornos en Minecraft.

Hay otras acciones similares al crafteo, como por ejemplo, el uso de los hornos. Para ello, se introduce un objeto en el horno y mediante la combustión de otro material, generalmente carbón, se lleva a cabo el proceso de transformación del material en uno procesado y refinado. En la Figura 1.19 se puede ver un ejemplo en el que los bloques de mena de hierro son procesados a lingotes de hierro por medio de la combustión del carbón.

De este modo, se logra que la obtención de ciertos bloques u objetos esté supeditada a la fabricación o utilización de otros elementos más simples, que

pueden ser obtenidos directamente, consiguiendo así una mayor complejidad de los procesos que se pueden llevar a cabo en el juego.

El jugador dispone, en todo momento, del inventario que se observa en la Figura 1.20, en el cual se pueden almacenar hasta 36 objetos diferentes, tantos como huecos hay. La fila inferior de este almacén representa el inventario de acceso directo, ya que el hueco que se seleccione en cada momento va a ser el objeto que tenga en la mano el jugador. El resto de espacios de la zona superior, corresponden a la equipación que lleva puesta el jugador (izquierda) y la propia zona de crafeo (derecha) [35].



Figura 1.20 Monitor del inventario del jugador.

1.2.1. MODOS DE JUEGO

El juego de Minecraft se basa principalmente en la construcción, destrucción e interacción con los bloques de que se compone un escenario sin fin simulando un mundo abierto.

Desde el punto de vista del número de jugadores, Minecraft ofrece la posibilidad del juego para un jugador o para multijugador (Figura 1.21). Dentro de ambas opciones existen varias modalidades de juego que se explican a continuación.

Para la opción de multijugador se requiere de servidores Minecraft que permiten a los usuarios jugar en línea con otra gente a través de la red de internet. Existen dos formas mediante las que jugar en el modo multijugador:

- **Conexión local:** permite a los jugadores conectarse a través de una red local al servidor creado y controlado por uno de ellos. En este caso, los jugadores son libres de hacer lo que quieran en el modo de juego seleccionado por el jugador que creó el servidor.

- Servidores externos: son creados, dirigidos y manipulados a partir de ordenadores externos. Cuando éste pertenece a un usuario particular, se trata de un servidor privado, mientras que los servidores públicos son gestionados por un conjunto de administradores, con ordenadores dedicados exclusivamente a ello. Para entrar en ellos, los jugadores tan solo necesitan la dirección IP del servidor, conexión a internet y registrarse como usuarios. En estos servidores la libertad de los jugadores puede estar limitada a los modos de juego implementados y definidos por los creadores.

Para el desarrollo de este TFM, se ha creado un servidor externo privado, siendo dirigido y manejado siempre por uno de nosotros.

Además, dado el éxito del juego, han proliferado en la actualidad multitud de servidores y mapas multijugador con muchas variantes de minijuegos. La comunidad de Minecraft se encuentra muy activa y a diario se desarrollan nuevas ideas y mapas para jugar en la red; como se ha mencionado anteriormente, el límite está en la imaginación.



Figura 1.21 Modos de juego de Minecraft según jugadores.

Las 3 modalidades de juego básicas que existen son: creativo, supervivencia y extremo, si bien es cierto que son las dos primeras las más ampliamente utilizadas por los jugadores. Dada la infinidad de posibilidades que ofrece el juego, se desarrollan cada vez más variantes de estas modalidades.

El primer modo es el “**modo creativo**”, única modalidad en los inicios del juego. En este modo el jugador es invulnerable, se permite la posibilidad de volar y tiene a su disposición todos los bloques y elementos de forma infinita. Es una modalidad típicamente usada para la construcción de forma rápida y fácil, sin necesidad de enfrentarse a los enemigos del juego, alimentarse, ni

tener que buscar y obtener los materiales necesarios para construir. El desarrollo y construcción de los mapas de este TFM se lleva a cabo en modo creativo. En la Figura 1.22 se observa la construcción de la ciudad de New York en modo creativo con bloques de Minecraft.



Figura 1.22 Construcción de los edificios de New York con bloques en modo creativo.

El segundo modo es el “**modo supervivencia**”, en el que el jugador tiene vida y puede ser dañado por los monstruos y otros elementos del mundo, como las caídas desde cierta altura o inmersión en lava. En este modo es necesario alimentarse constantemente para mantener la vida alta y no morir, por lo que es imprescindible encontrar fuentes de alimento renovables. En cualquier caso, si el jugador muere, pierde todos los objetos que llevaba en el inventario y reaparece en el punto de inicio.

Además, en supervivencia todos los recursos y elementos necesarios para sobrevivir y construir se deben encontrar y fabricar por el mundo, lo que aumenta la dificultad. En este modo también hay objetos que no se pueden obtener de ninguna forma, y que sólo están disponibles en el creativo.

El objetivo de esta modalidad del juego se basa en subsistir en el mundo superando todas esas diversas dificultades y adversidades que se presentan. Además, existen dos enemigos finales a los que vencer para completar los últimos logros del juego. En este modo hay 4 categorías de dificultad posibles:

- Pacífico: no aparecen monstruos en ningún momento y la barra indicadora del hambre del jugador baja muy lentamente. Esta barra permite, cuando está llena, que el jugador recupere la vida y hace que la pierda cuando está vacía. Estas barras indicadoras se observan en la Figura 1.23. Para el desarrollo de este TFM, utilizaremos esta

dificultad ya que no nos interesa que aparezcan monstruos en los mapas de la Escuela Lean construidos.



Figura 1.23 A la izquierda la barra de corazones representa la vida y a la derecha la barra de muslitos representa el hambre del jugador en modo supervivencia.

- Fácil: aparecen monstruos, pero estos causan poco daño al jugador y la barra de hambre baja también lentamente.
- Normal: los monstruos aparecen en mayor cantidad y causan más daño y la barra de hambre baja de forma más rápida.
- Difícil: los monstruos aparecen en grandes cantidades y causan mucho daño y la barra de hambre baja muy rápidamente.

El tercer modo de juego es el “**modo extremo**”, cuyas características y condiciones de juego son exactamente iguales que en el “modo supervivencia”, a excepción de que la dificultad es siempre la más difícil y que el juego termina tras la primera muerte del jugador, no pudiendo reaparecer como en el otro modo [35].

1.2.2. CIRCUITOS DE REDSTONE

Uno de los puntos más fuertes de Minecraft es la creación de circuitos y mecanismos mediante Redstone o Piedra roja. El Redstone es un material rojo que se puede encontrar en modo supervivencia, y tiene dos aplicaciones fundamentales.

La primera aplicación imita la función de un cable. La colocación de redstone en cubos consecutivos, de forma horizontal, crea una línea capaz de transmitir la electricidad desde una fuente de generación, como puede ser una antorcha, una palanca o un botón, hasta un elemento capaz de consumirla, por ejemplo una lámpara, un raíl activador de vagonetas o un pistón. También se puede transportar la energía entre dos puntos situados a distintos niveles de altura utilizando para ello bloques colocados en escalera

que permitan subir la señal de *redstone*. Ambos casos se pueden ver en la Figura 1.24.

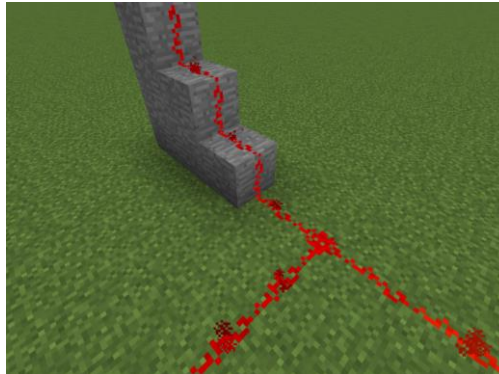


Figura 1.24 Ejemplo del funcionamiento de redstone como cable.

La segunda aplicación es como material de crafeo para generar objetos que interactúen con la energía eléctrica dentro del juego. Por ejemplo, se pueden fabricar antorchas de *redstone* para suministrar energía constante, o repetidores para aumentar la señal de energía de una palanca y que llegue más lejos, o retrasar la actuación de esa señal para controlar los tiempos de un circuito.

Con la *redstone*, y los objetos que se obtienen de ella, se pueden hacer verdaderos circuitos dentro del juego. Algunos simples, como abrir una puerta o mover un pistón, y otros tan complejos como nos permita el juego. Las posibilidades de implementar circuitos en el juego están limitadas por las puertas lógicas que se pueden crear. Esas puertas lógicas posibles se muestran a continuación en la Figura 1.25.

MineCraft Logic Gates

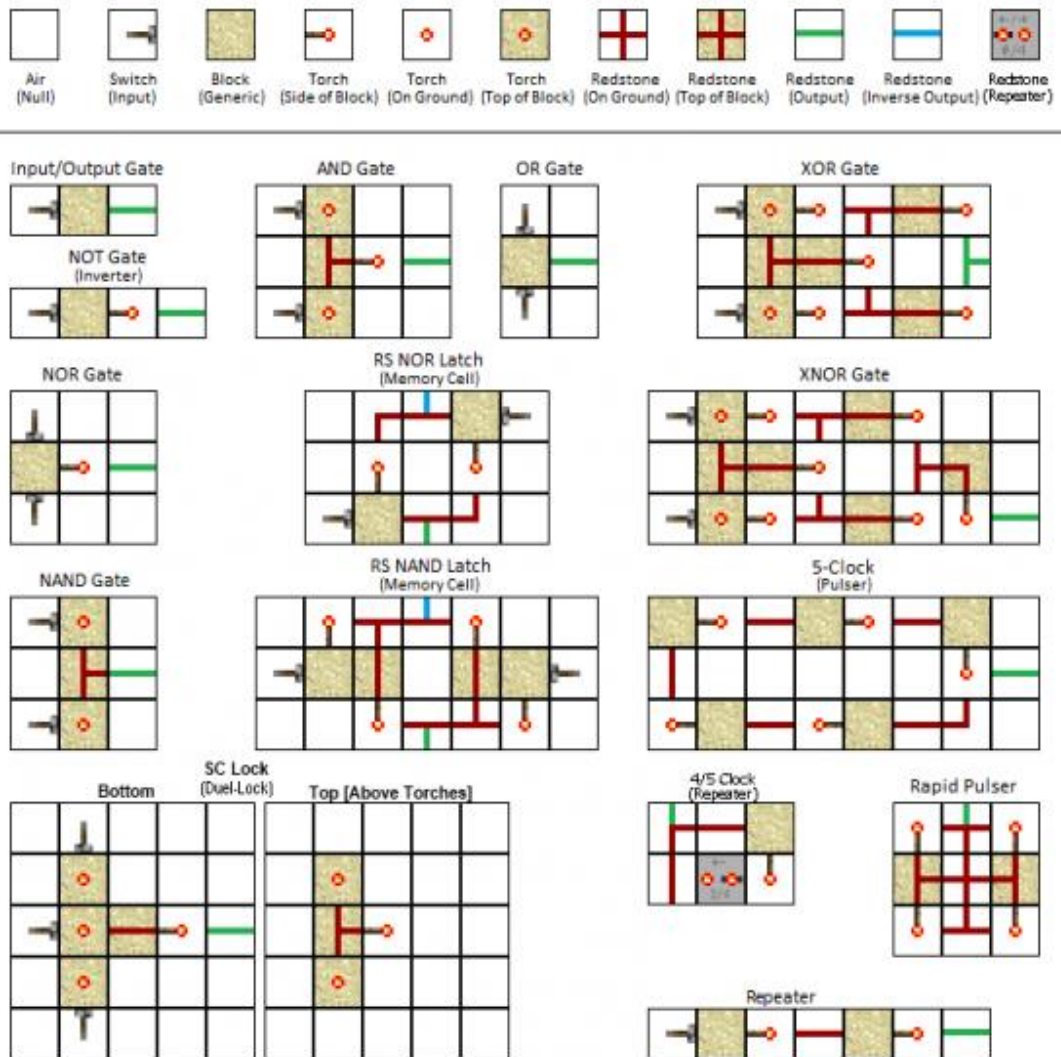


Figura 1.25 Puertas lógicas en Minecraft [35].

Estas puertas lógicas comprueban señales de entrada frente a otras y en función del criterio característico generan una única señal de salida Figura 1.26.

- **PUERTA ON/OFF:** si la entrada está en ON, la salida es ON y si la entrada está en OFF, la salida es OFF.
- **PUERTA NOT:** es un inversor, la salida es ON si la entrada está en OFF y viceversa.
- **PUERTA OR:** la salida es ON si tan sólo una de las entradas es ON.
- **PUERTA NOR:** la salida es ON si ninguna de las entradas está en ON.
- **PUERTA AND:** la salida es ON si todas sus entradas están en ON.
- **PUERTA NAND:** la salida es ON si tan solo una de las entradas es OFF.
- **PUERTA XOR:** la salida es ON si sus entradas son diferentes o el número de entradas ON es impar.
- **PUERTA XNOR:** la salida es ON si sus entradas son iguales o el número de entradas ON es par.
- **PUERTA IMPLIES:** la salida es ON a menos que la primera entrada esté en ON y la segunda esté en OFF.

A	ON	ON	Off	Off
B	ON	Off	ON	Off
NOT A	Off	Off	ON	ON
A OR B	ON	ON	ON	Off
A NOR B	Off	Off	Off	ON
A AND B	ON	Off	Off	Off
A NAND B	Off	ON	ON	ON
A XOR B	Off	ON	ON	Off
A XNOR B	ON	Off	Off	ON
A IMPLIES B	ON	Off	ON	ON

Figura 1.26 Salidas de las Puertas Lógicas ^[36].

Se trata de las puertas lógicas básicas utilizadas en electrónica e informática y permiten que sea posible llegar a realizar mecanismos muy complejos combinándolas entre ellas. Por ejemplo, personas de la comunidad de Minecraft han logrado mecanismos capaces de “imprimir” fotos dentro del juego o crear un ordenador funcional, empleando para ello muchas horas de trabajo y fuertes conocimientos.

Para el desarrollo de este TFM no es necesaria la implementación de circuitos de ese nivel de complejidad; no obstante, sí que se emplearán diversos mecanismos y circuitos para automatizar los puestos de trabajo de la simulación de la Escuela Lean, como se detallará más adelante ^[35].

1.2.3. COMANDOS

Aparte de los circuitos de *redstone*, es importante mencionar la existencia de los comandos, que a menudo pueden ser utilizados conjuntamente. Los comandos son funciones avanzadas que se activan al introducir en la consola de comandos (letra T) unos códigos determinados siguiendo la nomenclatura propia del lenguaje, Figura 1.27.

Estos comandos permiten manipular y modificar la realidad y las circunstancias del juego de muchísimas formas diferentes hasta límites definidos por los conocimientos y las ideas del propio usuario. Esto mismo ocurre como con cualquier otro lenguaje de programación, puesto que no deja de ser un lenguaje similar.

Algunos de los comandos más comunes permiten cambiar el clima y la hora del día, teletransportar jugadores entre dos puntos alejados, modificar el modo de juego, etc. Los comandos y bloques de comandos utilizados en la elaboración de este TFM se explican más adelante, en el capítulo [2. Estudio Práctico](#).

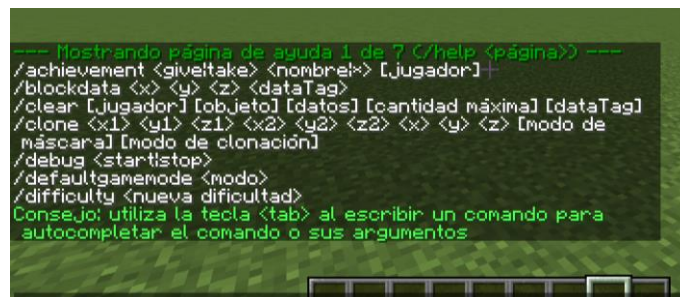


Figura 1.27 Ejemplo de implementación de comandos.

1.2.4. MINECRAFTEDU Y MINECRAFT EDUCATION EDITION

MinecraftEdu y Minecraft Education Edition son dos versiones de Minecraft enfocadas en la educación y surgidas por el potencial que ofrece el juego, donde la creación no tiene límites. Se han desarrollado con el objetivo de facilitar el aprendizaje de los alumnos en clase, especialmente de los más jóvenes ^[37]. La diferencia entre las dos versiones mencionadas es que la primera fue concebida por profesores de la comunidad mientras que la segunda fue creada por la empresa Microsoft.



Figura 1.28 Logotipos de Minecraft Edu y Minecraft Education Edition.

La idea de estos juegos es que los alumnos aprendan habilidades útiles para su vida diaria y enseñanzas, de forma práctica, divirtiéndose con el videojuego. El nivel de interés y entusiasmo que provoca en los jóvenes la utilización del juego representa para los alumnos un gran aliciente por aprender lecciones que de la forma convencional no les resultan atractivas.

Minecraft Edu consiste en un escenario perfecto donde tiene lugar la colaboración de los alumnos y profesores que interactúan para crear retos y completarlos. Además, se proporciona un ambiente favorable para el aprendizaje puesto que los alumnos se sienten cómodos para probar los desafíos, acertar y, sobretodo, fallar.

Esta nueva metodología permite desarrollar habilidades cognitivas, como la memoria, la planificación y la concentración. Se potencia, además, la destreza visual, la creatividad, la coordinación espacial, el autocontrol, la conciencia urbana y la toma de decisiones. Todo ello con aplicación docente en las ramas de ciencias y letras, como, por ejemplo, el aprendizaje de operaciones matemáticas (Figura 1.29), el desarrollo de los conceptos matemáticos de área, perímetro y volumen, la utilización de libros para reforzar la lectura y escritura, comprensión de algoritmos y motores de búsqueda, programación básica, conocimiento de obras artísticas e históricas, estudio de geografía, biología, química, etc.

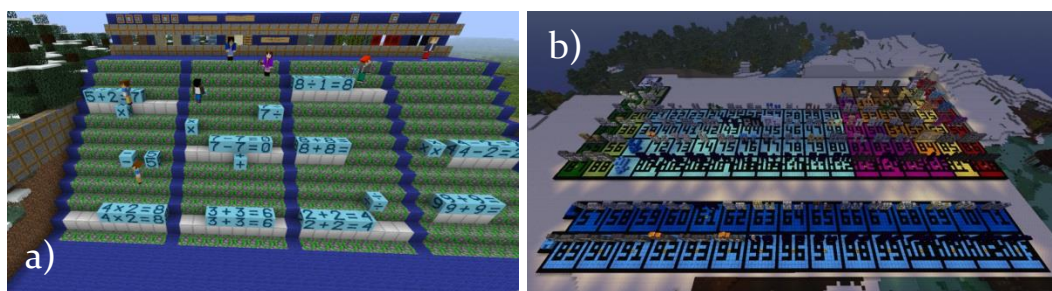


Figura 1.29 Ejemplo de aplicación de Minecraft Edu para enseñanza de a) operaciones matemáticas, b) tabla periódica de elementos químicos.

Otro de los puntos fuertes de la utilización de Minecraft Edu es el fomento del trabajo en equipo, la coordinación entre los alumnos y el desarrollo de las

relaciones entre alumnos y profesores de forma más efectiva a la conseguida por actividades tradicionales.

Este recurso didáctico ha sido adoptado ya en muchas escuelas e institutos principalmente de países del Norte de Europa como Suecia, Finlandia o Noruega, entre otros. Los resultados obtenidos entre los alumnos con esta nueva forma de enseñanza han sido sorprendentemente exitosos. Tanto es así, que el comienzo de su aplicación en las aulas se ha visto impulsada en numerosos países, entre ellos España. A raíz de ello, profesores de distintas universidades, como la University of Liverpool ^[38] o la Universidad de Murcia ^{[39] [40]}, han desarrollado en los últimos años numerosos artículos de investigación de esta metodología, afrontando sus múltiples aplicaciones y las claves del éxito del fenómeno Minecraft en las clases.

En el presente TFM se utiliza Minecraft Education Edition, caracterizado por la posibilidad de utilizar servidores con capacidad de hasta 40 jugadores en un mismo mapa, siendo controlados totalmente por el “host”, que en este caso es el profesor.

En el siguiente y último apartado de los fundamentos teóricos, se especifica en que consiste, cómo funciona y que objetivos plantea la Escuela Lean que se quiere simular en este TFM.

1.3. ESTUDIO DE LA ESCUELA LEAN EN MINECRAFT.

La Escuela Lean es una estancia situada en la Sede Francisco Mendizábal de la Escuela de Ingenierías Industriales (EII) de Valladolid, inaugurada en enero de 2014. Este recinto creado por Renault Consulting surge como uno más de los acuerdos de colaboración establecidos entre esta empresa y la Universidad de Valladolid desde 2004. Se trata de la primera Escuela instalada en España y se apoya en la experiencia acumulada en este tipo de formaciones docentes en otros países dentro de la Alianza Renault - Nissan.

El objetivo principal de esta Escuela es el de difundir la cultura Lean con las herramientas y técnicas que implementa, fomentar su aprendizaje y conseguir su aplicación de forma práctica y dinámica. El lean permite la mejora de la producción, identificando y eliminando aquellos procesos que no aportan valor al producto; por ello, la Escuela nació con el fin de ser un arma y referente en formación para mejorar la competitividad y la eficiencia de las empresas siguiendo el camino de la excelencia operacional.

La empresa Renault Consulting, en su dilatada experiencia, contempló la falta de una formación práctica adecuada y suficiente por parte de las empresas en el ámbito del Lean. Entonces, a partir de su vocación por ayudar a las organizaciones a fomentar la eficiencia económica, el desarrollo de su personal y la satisfacción de los clientes, se consideró una necesidad la creación de este espacio siguiendo el modelo de otros países.

Los alumnos a los que van dirigidos estos cursos son profesionales y representantes de empresas, tanto de ámbito industrial como de cualquier otro, que llegan a la Escuela para aprender y poder aplicar novedades en sus empresas. Además, debido al convenio establecido con la Universidad de Valladolid, también se da formación a profesores y estudiantes de Grado y Máster.

Las modalidades de formación de la Escuela Lean, orientadas fundamentalmente a la empresa, permiten a los alumnos formarse en un ambiente muy próximo a la verdadera fábrica y poner en práctica las herramientas de mejora continua y de resolución de problemas, más allá de los contenidos teóricos adquiridos.

La Escuela Lean, Figura 1.30, consta de un aula de formación y 2 talleres de producción, uno de montaje y ensamblado y el otro de simulación de máquinas semiautomáticas. Todo ello otorga un ambiente industrial que favorece el aprendizaje acelerado de los alumnos siguiendo la metodología del “*Learning by doing*” y el concepto de «Observar, Comprender y Actuar» [41] [42] [43].



Figura 1.30 Fotografía de las instalaciones de la Escuela Lean y en la que se observan los productos utilizados.

Existen dos tipos de artículos para fabricar en las simulaciones de producción realizadas. El primero de esos productos es el denominado “Solectrón”, que consiste en un cilindro compuesto de diversas piezas de colores, y el segundo producto son los vehículos que se observan en la Figura 1.30, imitando la industria automovilística a pequeña escala con sus correspondientes procedimientos de fabricación.

Ambos productos han sido diseñados, estudiados y preparados para que puedan surgir dificultades reales en el proceso de fabricación, ya sean fallos de especificaciones, problemas con algunas piezas o dificultades en los puestos. Todo ello permite a los alumnos hacer frente a los inconvenientes a medida que van ocurriendo, buscando hacerles reflexionar para solventar los escollos mediante la metodología Lean aprendida.

Entre cada una de las producciones llevadas a cabo, se analizan los resultados obtenidos respecto de los objetivos iniciales, se estudian los fallos y defectos cometidos en la producción y se recogen las ideas y percepciones de los alumnos implicados. Con todo eso se buscan soluciones y se toman decisiones consensuadas para mejorar o eliminar fallos en la siguiente producción. Así, se consigue potenciar en los alumnos la creatividad y la capacidad de resolver problemas empleando para ello conocimientos fundamentados, lo que acentúa la efectividad lograda en esta metodología de enseñanza.

Los alumnos del Master de Logística de la Universidad de Valladolid realizaron un curso en la Escuela Lean dentro de la asignatura de Métodos Avanzados de Producción. El curso consiste en 5 sesiones en las que se incluye la simulación de 3 producciones, fabricando como productos los vehículos a escala. El resto de las sesiones son empleadas para el análisis de fallos, la búsqueda de mejoras, la toma de decisiones y la aplicación de herramientas y métodos.

El objetivo de cada producción es la fabricación de 30 vehículos de los modelos requeridos por el cliente y con las especificaciones de calidad exigidas en un tiempo de 1 hora, con un tiempo de ciclo de 2 minutos. Para ello, los alumnos se organizan entre los siguientes cargos: 1 responsable de equipo, 6 operarios para los puestos, 4 logísticos y 4-5 cronometradores.

En el presente TFM se ha desarrollado una simulación de esta Escuela Lean en el videojuego Minecraft, con el objetivo de permitir a los alumnos de la Universidad conocer su funcionamiento y metodología desde el aula. Con esto, se les concede la oportunidad de visualizar un escenario similar a la realidad e interactuar entre ellos para conseguir, de forma virtual, los mismos propósitos.

En concreto, se han creado 4 mapas, emulando cada una de las producciones realizadas en el curso, que implementan, de forma progresiva, las mejoras en la Escuela para poder conseguir los objetivos y especificaciones finales. Además, se dota a los alumnos de un cierto grado de libertad para que puedan desarrollar, orientados por el profesor, las ideas y mejoras que implementarían entre las diferentes producciones a partir de los conocimientos adquiridos.

En el siguiente capítulo se describe el estudio práctico de los 4 mapas de simulación de las producciones en la Escuela Lean, con las explicaciones teóricas que fundamentan todos los movimientos realizados en el presente TFM.



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Universidad de Valladolid

2. ESTUDIO PRÁCTICO.

En primer lugar, dada la posibilidad de que gran parte de los alumnos no estén familiarizados con Minecraft y, por tanto, no sepan manejarlo, se proporciona un tutorial con los controles y nociones básicas necesarias para el desempeño de la simulación. Este tutorial se enfoca, principalmente, en la enseñanza del manejo del personaje y la realización de acciones imprescindibles para las producciones, obviando el resto de maniobras o actividades del juego original innecesarias en nuestro caso.

El objetivo del tutorial es que el alumno sea capaz de operar con su personaje de forma autónoma y correcta e impedir problemas derivados de posibles fallos con la utilización de Minecraft. Este tutorial se encuentra en el [Anexo 7.5](#) de esta memoria. Además, se proporciona un PDF individual para la entrega del mismo a los alumnos que realicen la simulación.

Para la simulación en Minecraft del proceso realizado en el curso de la Escuela Lean, se diseñan una serie de mapas que corresponden a cada una de las diferentes producciones realizadas en la realidad. A cada uno de esos mapas le corresponden unos fundamentos teóricos en los que se basan, y una preparación práctica para que, al igual que en la Escuela, surjan inconvenientes en las producciones y existan múltiples posibilidades de mejora mediante la aplicación de las técnicas Lean. Todos los mapas desarrollados comparten algunas características y normas comunes, además de poseer otras específicas relativas a cada producción.

En estos mapas se ha considerado que, para un mejor control del proceso, el profesor dispone del modo de juego superior o “creativo”, mientras que todos los alumnos utilizan el “modo supervivencia”. Esta decisión permite dotar de mayor realismo a la simulación, evitando que los alumnos puedan modificar los mapas, romper bloques o implementar trampas, ya sea a conciencia o por accidente, sin el permiso del profesor. De esta forma, se asegura un adecuado funcionamiento de la simulación, sin ayudas externas y siguiendo la orientación proporcionada por el profesor y los autores de los mapas.

En los siguientes puntos se explican la forma de elaboración y construcción, las especificaciones y el funcionamiento de cada uno de los mapas, así como las instrucciones a seguir para la simulación. Esas instrucciones corresponden a un plan de trabajo, es decir, una serie de pautas específicas de cada producción para cada uno de los cargos y puestos en la simulación. Además, se trata de la única información que se proporciona

a los alumnos, antes de cada producción, a modo de hoja de instrucciones y normas para el correcto desempeño del trabajo en una fábrica real.

La realización de estos mapas tiene por función el desarrollo y simulación, en cuatro sesiones, o cinco si se incluye un día de aprendizaje del manejo de Minecraft, del curso Lean de la Escuela, con las cuatro producciones correspondientes. El profesor será el encargado de enseñar, orientar y guiar a los alumnos hacia la aplicación de las distintas técnicas necesarias para lograr mejoras en el proceso productivo simulado.

Como punto de partida, se propone una presentación del mapa construido, por parte del profesor, con las explicaciones y conceptos previos de las técnicas que se quieren enseñar o repasar. Tras ello, el profesor se encarga de asignar los diferentes puestos entre los alumnos, explicándoles su cometido, a partir de las fichas correspondientes a cada producción; estas fichas están recogidas en los [Anexos 7.1, 7.2, 7.3 y 7.4](#).

Una vez que todos los alumnos tienen claras sus funciones y responsabilidades y se han familiarizado con el puesto, se lleva a cabo la producción correspondiente. Tras la realización de cada una de las producciones, se recogen los datos y resultados obtenidos para su análisis. De esta forma, son puestos en común y estudiados de forma genérica por todo el grupo, y analizados más en profundidad por las partes implicadas. Además, se busca plantear objetivos para la próxima producción, desarrollar la implementación de posibles mejoras y buscar soluciones a problemas reales.

Después de cada producción y a partir de su experiencia, de las competencias adquiridas y del análisis de los resultados, los alumnos deberán proponer las mejoras que implementarían en la siguiente producción y la forma en que se aplicarían; en esta fase, los alumnos serán guiados por el profesor para llegar a las ideas desarrolladas en los mapas que se han construido. Si los alumnos no fueran capaces de llegar a esos objetivos, el profesor se encargará de explicar teóricamente las técnicas que se van a aplicar en la producción posterior.

En caso de que los alumnos propongan ideas, planteamientos o mejoras innovadoras que el profesor considere oportunas y convenientes, éste puede concederles libertad en el mapa para realizar esas modificaciones precisas y consensuadas. No obstante, este último caso es complicado de llevar a cabo, puesto que requiere conocimientos por parte de los alumnos, no solo de las técnicas Lean, sino también de diferentes aspectos de Minecraft que les permitan implementar las ideas. Aun así, existe esta opción dado el caso

concreto en que los alumnos tengan las nociones suficientes de Minecraft para ejecutarlo.

El propósito final de cada una de las sesiones de trabajo consiste en comprobar, a partir de hechos y datos reales, la mejora de los resultados que se obtienen en cada producción a raíz de la implantación de diferentes herramientas y técnicas Lean. Para la elaboración de este TFM, se ha llevado a cabo la simulación de todas las producciones en los mapas de Minecraft construidos, con un grupo de 12 personas, para comprobar y demostrar que se cumplen los objetivos del curso de la Escuela Lean. Los resultados obtenidos se visualizan en el capítulo [3. Resultado de las Simulaciones](#).

2.1. SELECCIÓN Y FABRICACIÓN DEL PRODUCTO.

El producto seleccionado para su fabricación en el proceso de la simulación de la Escuela Lean en Minecraft, debe reunir ciertas condiciones que le proporcionen una similitud a la realidad:

- *Complejidad*. El producto debe ser ciertamente complejo, de forma que posibilite la aparición de fallos humanos en el montaje y otros problemas en la cadena. Además, esto permite que los tiempos de producción en cada uno de los puestos de la cadena no sean demasiado bajos, dotando de realismo al proceso.
- *Proceso de producción fácilmente divisible en etapas*. Esto permite asignar y repartir, entre todos los puestos, las subtareas en que se divide el proceso principal y facilita la medición de los tiempos. Además, se favorece la posibilidad de futuros reequilibrados de carga de trabajo debido a la fácil intercambiabilidad de tareas entre puestos.
- *Calidad fácilmente comprobable*. Dada la dificultad de implementación fiel del proceso productivo en Minecraft y la complejidad del producto, la calidad del mismo se debe poder determinar fácilmente mediante plantillas, de una forma rápida y que no conlleve muchos errores.
- *Utilización de múltiples materiales*. El producto debe estar formado por muchas referencias diferentes, al menos unas 3 por cada puesto, para dotar de realismo y proporcionar más complejidad en el almacén.
- *Diversidad de la familia de productos*. El producto debe presentar diferentes especificaciones o atributos, tal y como ocurre en la mayoría

de las empresas, que se ven obligadas a seguir estrategias de diversificación y diferenciación para sobrevivir. En el presente TFM se trabaja, al igual que en el curso de la Escuela Lean, con una diversidad de 8 dentro de la familia de producto.

- *Facilidad de transporte en Minecraft.* Uno de los principales problemas de la simulación en Minecraft es conseguir que el producto se transporte de forma automática manteniéndose intacto en el proceso. Para ello, se considera necesario emplear vagonetas sobre raíles con cofres contenedores, en cuyo interior se realiza el montaje de piezas del producto, quedando entonces limitadas sus dimensiones al tamaño del cofre, Figura 2.1. El cofre se considera como la base de trabajo sobre la que se montan las piezas del producto.

Así, las dimensiones máximas posibles del producto fabricado son 27 (3x9) cuadrados de un cofre de Minecraft. No obstante, se puede dotar de variabilidad y complejidad al producto dado que en cada uno de esos huecos o cuadrados se pueden ubicar uno o varios elementos.

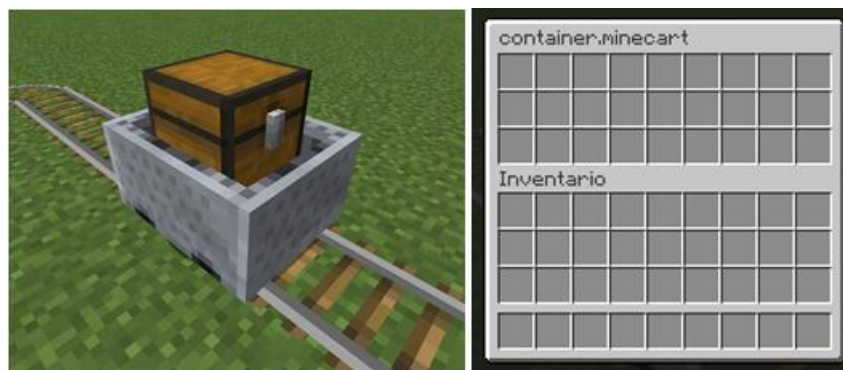


Figura 2.1 Apariencia de una vagoneta con cofre.

Dada la limitación del producto a únicamente los 27 huecos del cofre, se contempló otra posible alternativa que mejorase esta característica. Esa otra opción implica la utilización de *mods* que permiten implementar cofres con el doble y el triple de capacidad que el normal, en vagonetas. El propósito, en esas condiciones, era diseñar un producto que formase un dibujo pixelado con los cuadrados del cofre, pudiendo representar, por ejemplo, un vehículo.

Esa alternativa, a pesar de ser convincente, fue descartada basándose en el hecho de que se requería la instalación en Minecraft de dos *mods* diferentes, diseñados por usuarios particulares de la comunidad del videojuego, que no se encontraban actualizados a la última versión de Minecraft en el momento de desarrollo del presente TFM. Además, el funcionamiento de todo el trabajo realizado en este proyecto quedaría

supeditado a la labor de personas anónimas externas que desarrollan y actualiza los *mods*, en lugar de al juego original.

A partir de todas las características y limitaciones contempladas previamente, se ha diseñado el tipo de producto fabricado en la simulación de la Escuela Lean en Minecraft. Para la representación del producto se utilizan paneles de cristal como piezas o componentes principales, puesto que son sencillos de manejar, apilables de hasta 64 por hueco y tienen una gran variedad en Minecraft según el tipo de color, con 16 diferentes, Figura 2.2.

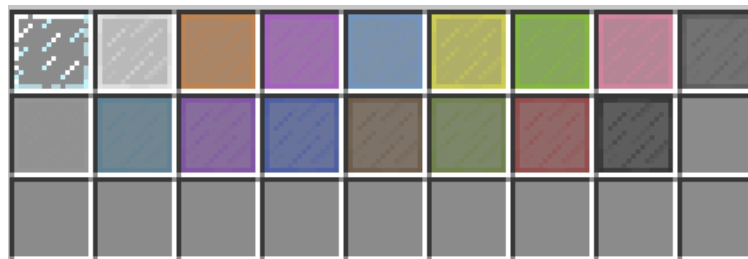


Figura 2.2 Los 16 paneles de cristal de colores disponibles.

En primer lugar, teniendo en cuenta que el producto se debe desarrollar en una cuadrícula 3x9, se decidió tomar la primera columna para marcar el indicador de cada producto, equivalente a la matrícula en los vehículos de la Escuela. Para los productos se definieron 3 atributos posibles con 2 alternativas cada uno, lo que significa una diversidad de 8 productos distintos. Para señalar esos atributos se tomaron 6 indicadores diferentes, representados por elementos de Minecraft, Figura 2.3. Estas parejas de elementos tienen formas similares para cada atributo, de forma que sean fáciles de manejar y visualizar.



Figura 2.3 Indicadores de producto: 3 atributos con 2 alternativas.

Para reunir las características mencionadas y otorgar la complejidad necesaria al producto, cada uno de los atributos define una característica diferente del producto. Entonces, para cada producto se codifica la posición de los paneles en el producto, su color y la cantidad en cada hueco, siendo los indicadores los encargados de informar de las características que debe tener cada producto.

ATRIBUTO 1. El indicador se sitúa en la fila 1 y columna 1 (1-1) y puede estar representado por un lingote de hierro o un lingote de oro. Este atributo asigna la colocación de los paneles del color principal y los del secundario en el producto. En la Figura 2.4 se puede observar como cada indicador se refiere a una colocación predeterminada, representando, en este caso, el blanco al color principal y el negro al color secundario. No obstante, destacar que este atributo solo indica la distribución o dibujo que forman los paneles, ya que los colores principal y secundario vienen determinados con el atributo 2.

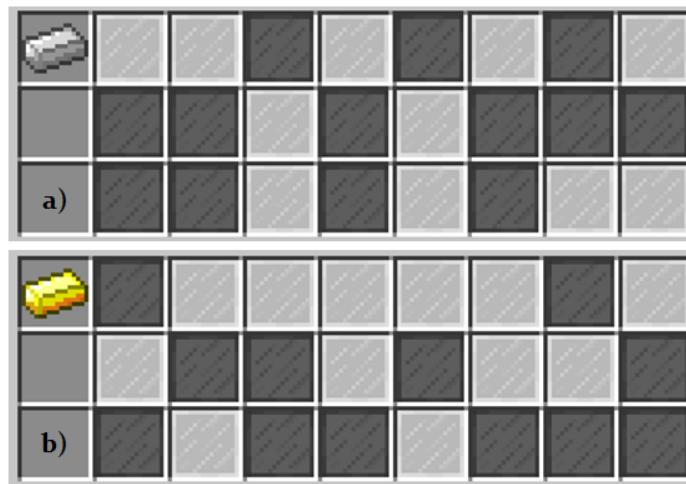


Figura 2.4 Indicadores del Atributo 1: a) hierro, b) oro.

ATRIBUTO 2. El indicador se sitúa en la fila 2 y columna 1 (2-1) y es representado mediante los elementos de piedra roja (*Redstone*) o piedra brillante (*Glowstone*). Estos indicadores determinan el color principal y secundario, situados en las segundas y terceras filas respectivamente de las imágenes de la Figura 2.5, para cada uno de los puestos de la cadena de producción. El color principal se mantiene igual en cada puesto para ambos indicadores, pero el secundario varía según sea el atributo 2, por lo que cada puesto dispone de un máximo de 3 colores diferentes (piezas). Los puestos a los que se asigna cada pareja de colores vienen numerados en las filas 1 de la Figura 2.5, en la que 1 piedra roja/brillante se refiere al puesto 1, 2 piedras rojas/brillantes indican el puesto 2, 3 piedras rojas/brillantes señalan el puesto 3 y así sucesivamente hasta el 5.



Figura 2.5 Indicadores del Atributo 2: a) redstone, b) piedra brillante.

ATRIBUTO 3. El indicador se sitúa en la fila 3 y columna 1 (3-1) y es representado mediante una Bola de Slime (verde) o Crema de Magma (amarillo-rojo). Este atributo indica el número de paneles que se colocan en cada hueco del producto. Se puede comprobar en la Figura 2.6, como se establece la cantidad de paneles de cristal en cada hueco para cada uno de los indicadores. Este atributo solo se refiere a las cantidades de paneles en cada hueco, cualesquiera que sean los colores correspondientes, por lo que los colores mostrados en la Figura 2.6, son elegidos aleatoriamente a modo de ejemplo.

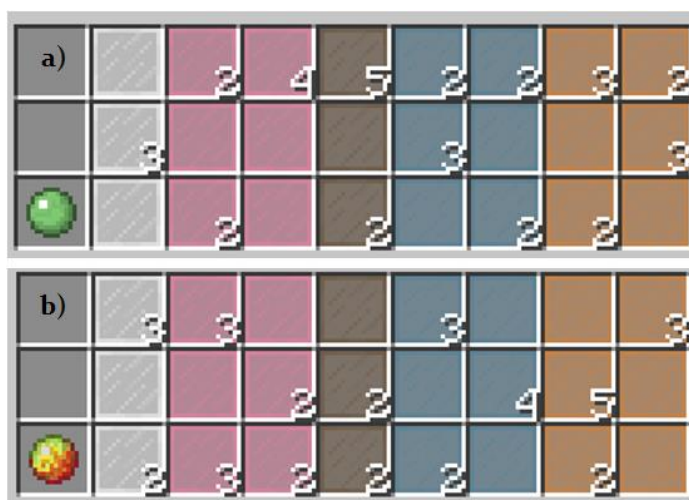


Figura 2.6 Indicadores del Atributo 3: a) bola slime, b) crema magma.

Una vez definido el producto, es importante remarcar que está diseñado para que sea fácilmente divisible en subtareas que serán repartidas entre los diferentes puestos. No obstante, esta subdivisión de tareas puede ser objeto de modificación y reorganización, si así se requiere, a lo largo de las

diferentes producciones llevadas a cabo en la simulación. Inicialmente, se parte de una asignación de todos los subprocesos entre cada uno de los puestos de la cadena, en la forma que se muestra a continuación.

- **PUESTO 1.** Es el responsable de colocar los indicadores del producto, en la columna 1 y del montaje inicial del producto, perteneciente a la columna 2.
- **PUESTO 2.** Se encarga del montaje de componentes de las dos tareas consecutivas, es decir, las columnas 3 y 4 del cofre.
- **PUESTO 3.** Se ocupa tan solo del ensamblaje de las piezas de la columna 5.
- **PUESTO 4.** Se dedica al acoplamiento de componentes de las 2 columnas siguientes del producto, es decir la 6 y 7.
- **PUESTO 5.** Se encarga de colocar los paneles de las 2 últimas partes del producto, es decir, las columnas 8 y 9 del cofre.

Tras ello, el **puesto 6**, responsable de la calidad, se encarga de verificar, por medio de plantillas, la correcta fabricación del producto, por lo que no añade componentes al mismo en ninguna de las columnas.

Por último, se muestra, en la Figura 2.7, como ejemplo, uno de los 8 productos construido teniendo en cuenta las especificaciones de los atributos explicados. En concreto, el producto corresponde a los indicadores “*Lingote de hierro-Redstone-Crema de Magma*”.

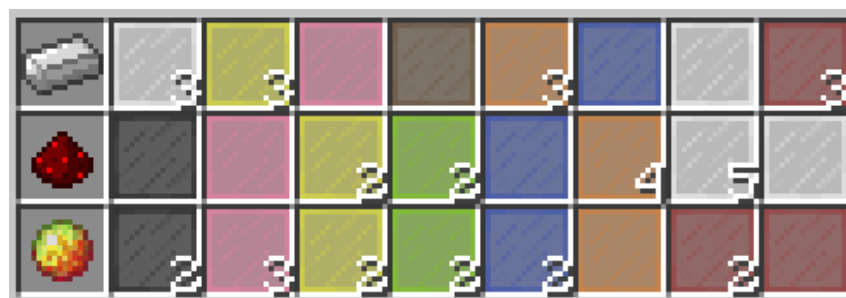


Figura 2.7 Ejemplo del producto: “*Lingote de hierro-Redstone-Crema de Magma*”.

2.2. DESCRIPCIÓN Y FUNDAMENTOS DE LOS MAPAS.

En este apartado se explica la base principal de los mapas desarrollados, es decir, todos aquellos mecanismos y elementos genéricos que tienen en común los mapas de cada producción. En los apartados posteriores se describirán minuciosamente cada uno de ellos, así como sus características específicas y las diferencias implementadas entre ellos.

En primer lugar, se describe el mapa genérico creado de la Escuela, señalando cada lugar construido y los mecanismos utilizados en común para cada producción. Finalmente, se explican las normas básicas para el funcionamiento de las respectivas producciones en Minecraft. Es importante señalar que estos mapas se han desarrollado en la versión 1.9 de Minecraft, por lo que para la simulación de las producciones se requiere ejecutar el juego en esa versión, ya que permite emplear correctamente todos los componentes implementados.

2.2.1. CONSTRUCCIONES COMUNES A TODOS LOS MAPAS.

Al entrar en Minecraft, cada nuevo jugador aparece o “*spawnea*” en una zona concreta con unas coordenadas determinadas; éste también es el punto en el que reaparecen los jugadores tras morir en el juego. Una vez iniciado, se puede modificar ese punto mediante comandos, pero la primera vez siempre será en el mismo punto. Por ello, y para evitar que los jugadores puedan perderse o interactuar con partes del mapa que no tienen relación con el TFM, se ha construido la antesala a la Escuela Lean de la Figura 2.8.

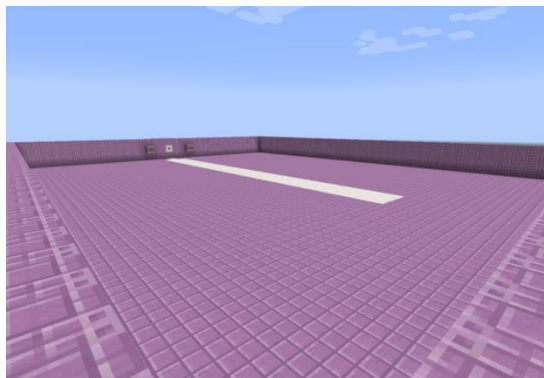


Figura 2.8 Antesala de entrada.

Este recibidor consiste en una gran plaza de color morado, en el centro de la cual aparecen los nuevos jugadores, que son guiados mediante un camino blanco por la parte central hasta el siguiente punto. Este sitio consiste en un

muro con dos carteles de recibimiento (Figura 2.9): uno informa de los creadores del mapa y autores de este trabajo, y el otro indica la instrucción de pulsar el botón central para llegar a la escuela Lean.



Figura 2.9 Teleportador a la Escuela Lean.

El botón está asociado a un bloque de comandos, escondido tras la pared, que se activa al ser pulsado por el jugador. En el interior del bloque de comandos, Figura 2.10, se encuentra el siguiente código:

```
tp @p 0,5 4 0,5
```

Estos bloques de comandos, Figura 2.10, son unos cubos especiales introducidos solamente por el dueño del servidor y las personas con permiso de administrador (OP dentro del juego). Los bloques son fundamentales puesto que activan códigos automáticamente al ser activados, eliminando la necesidad de que el profesor sea el encargado de escribirlos continuamente en la consola de comandos y facilitando su trabajo en las producciones.



Figura 2.10 Bloque de comandos y ejemplo de código de “tp”.

Los bloques de comandos funcionan de forma similar a los mecanismos de Redstone, pues se activan al llegarles una señal eléctrica. Esto puede suceder tras pulsar un botón, palanca, placa de presión o mediante un sensor de luz solar.

En este caso, el código el “*tp*” representa la acción de teletransportar, actuando sobre el jugador cuyo nombre aparezca escrito después, y teletransportándolo hasta las coordenadas indicadas al final del comando, que corresponden a los ejes X Y Z respectivamente. En este bloque de comandos se utiliza “@*p*” de forma genérica, en lugar del nombre del jugador, para que afecte a la persona más cercana al ser activado, en este caso al que pulsa el botón. Al final se implementan las coordenadas (XYZ) correspondientes al punto 0,5 0,5, con una altura de 4 cubos.

Esas coordenadas pertenecen a una sala previa a la entrada a la Escuela Lean, en la que se da la bienvenida a los alumnos al mapa creado para esa producción, tal y como se muestra en la Figura 2.11.



Figura 2.11 Cartel de bienvenida y Pre-sala.

A continuación, al salir de esta zona, los jugadores observan la nave en la que se ha construido la Escuela Lean, Figura 2.12.



Figura 2.12 Vista aérea de la Escuela Lean correspondiente a la Producción 1.

Como se observa en la Figura 2.12, la Escuela no dispone de techo. Se ha optado por construirla de esta forma por dos motivos: el primero, para

disponer de luz solar y no depender de antorchas que proporcionan peor visibilidad, y el segundo, para obtener una mejor visión aérea del proceso y facilitar la tarea de tomar las fotos y realizar vídeos.

En la pared del fondo de la Escuela se ha dibujado la palabra “LEAN”, recordando el concepto fundamental a desarrollar, mientras que en la pared lateral izquierda se realiza la inscripción del número de producción correspondiente, Figura 2.13.

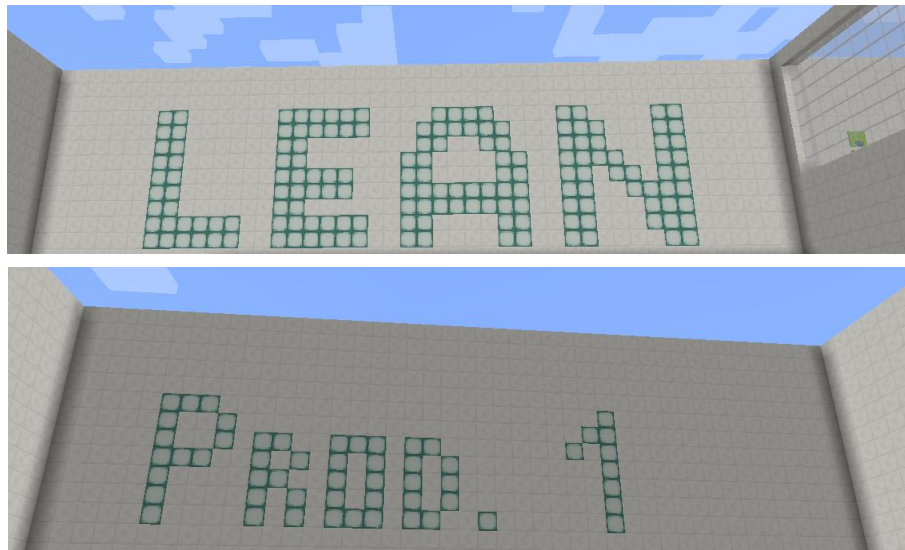


Figura 2.13 Paredes de la Escuela Lean.

También, se dispone, al fondo a la derecha, de una sala grande de dos pisos, equivalente al despacho del responsable de la Escuela, Figura 2.14, utilizada para ver el proceso completo sin necesidad de volar y tener, por tanto, el “modo creativo”.

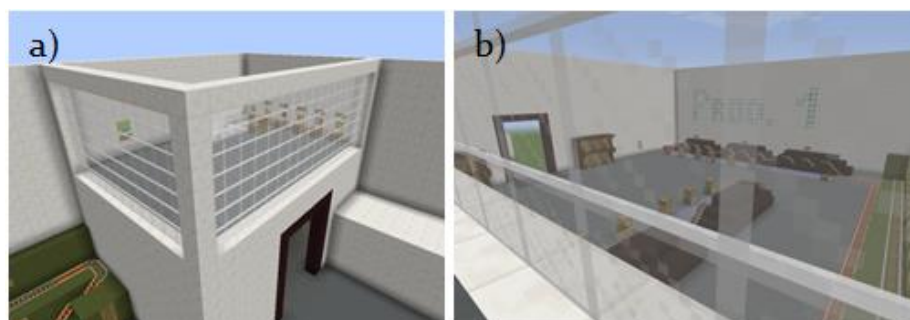


Figura 2.14 Vistas a) exterior y b) interior de la sala del responsable de la Escuela Lean.

En la parte superior de esta sala hay 7 cofres: 6 de ellos muestran el significado de los atributos y el séptimo refleja un ejemplo de un producto completo, por si fuera necesario para volver a explicar a los alumnos los

productos a fabricar (los descritos en el apartado [2.1 Selección y Fabricación del producto](#)).

La simulación de la Escuela consta también de un compartimento de vestuarios, Figura 2.15, en el que los alumnos se ponen los respectivos uniformes en función del puesto de trabajo asignado. Trabajar con el personal uniformado, como ocurre en cualquier fábrica, además de proporcionar realismo, permite distinguir visualmente los diferentes roles desempeñados por los empleados en cada producción.

En la Figura 2.15 se observan las diferentes indumentarias: los operarios visten de color gris, los logísticos de color negro, el responsable de producción de color azul, y el profesor de color amarillo. Los cronometradores no llevan un uniforme específico, aunque sí se provee un cofre con botas de seguridad para ellos.



Figura 2.15 Vestuario de la Escuela Lean.

En la Figura 2.15, el cofre ubicado a la derecha del vestuario contiene comida para todos los empleados, ya que, como se ha comentado anteriormente, se trabaja en el modo “supervivencia” de Minecraft y puede darse la posibilidad de que tengan que comer en algún momento de la producción.

Las construcciones y lugares descritos hasta el momento son comunes a todas las producciones y su aspecto y función son idénticos en cada una de ellas. A continuación, se detalla el funcionamiento de los distintos mecanismos, comunes a todos los mapas.

2.2.2. MECANISMOS COMUNES A TODOS LOS MAPAS.

En primer lugar, se utiliza un mecanismo para fijar la hora del día y el clima que hay en Minecraft, para obtener la máxima luz y visibilidad posible en cada momento. Para ello, se utilizan dos bloques de comandos, escondidos en la parte trasera de la escuela, Figura 2.16. Ambos bloques se encuentran unidos por una conexión de *redstone* a un sensor de luz solar, establecido en modo nocturno, de forma que emite una señal eléctrica siempre que no detecte la luz solar.

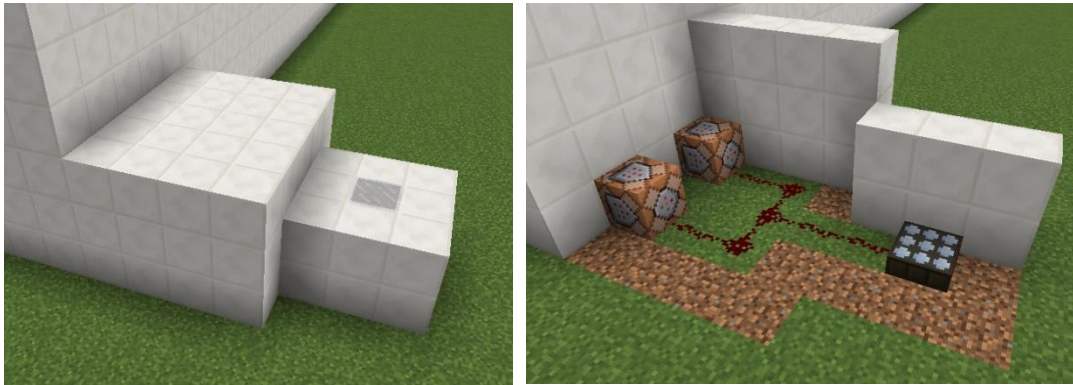


Figura 2.16 Estructura y bloques de comandos para la hora y el clima.

Los códigos implementados en cada uno de los bloques de comandos son los siguientes:

time set day

El comando *time set* se utiliza para fijar la hora en Minecraft, mientras que mediante la palabra *day* se especifica que sea de día, en concreto por la mañana. Por tanto, siempre que empieza a anochecer en el juego el sensor emite una señal eléctrica que actualiza la hora automáticamente, haciendo que constantemente sea de día y se trabaje con mucha luminosidad.

weather clear

Este segundo comando actúa de la misma forma, modificando el clima cuando éste no sea despejado. Así, por ejemplo, al empezar a llover se emite la señal eléctrica que activa el comando y el clima cambia de forma automática a despejado, permitiendo trabajar con total visibilidad.

Otro de los mecanismos comunes para todas las producciones es el dispensador de vagonetas inicial, previo al puesto 1, para evitar que el operario tenga que estar colocando este objeto sobre los raíles para cada producto. Este dispensador se activa con una señal eléctrica y envía

directamente una vagoneta con cofre al puesto 1. En la Figura 2.17, se observa tanto el exterior como el interior del mecanismo dispensador.

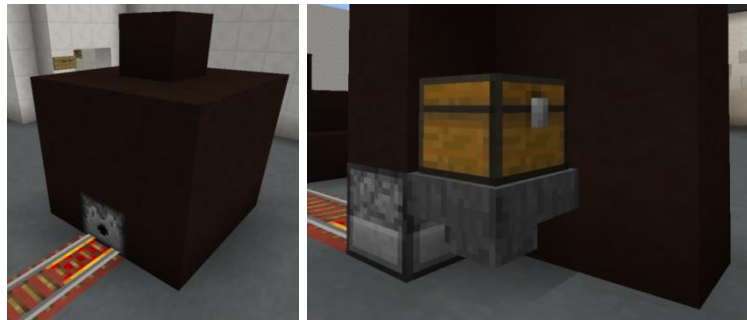


Figura 2.17 Dispensador de vagonetas, tolva y cofre suministrador.

El funcionamiento del dispensador es bastante simple: a partir de una señal lanza un objeto aleatorio de los que contiene en su interior, en este caso, una vagoneta con cofre; si al soltar la vagoneta, existe un raíl justo delante, la vagoneta sale impulsada sobre esa vía. Además, se coloca en la salida un raíl impulsor activado que proporciona la suficiente fuerza y velocidad a la vagoneta para subir la rampa que llega al puesto 1.

Dado que el dispensador solo puede contener un máximo de 9 vagonetas, se utiliza una tolva y un cofre con capacidad de hasta 5 y 27 vagonetas respectivamente. La tolva, Figura 2.17, se encarga de tomar los objetos que extrae del cofre situado encima de ella y los envía hacia el bloque donde está enganchada su salida, en este caso el dispensador. Este mecanismo tiene la función de suministrar vagonetas al dispensador hasta que éste queda completo, en caso de que se realicen producciones de más de 9 productos.

El mecanismo más utilizado en todas las producciones es el de la Figura 2.18, que consiste en la representación de los puestos de trabajo de los operarios y el almacén intermedio entre cada uno de ellos.



Figura 2.18 Puesto de trabajo estándar.

Cada uno de los puestos consta de diversas subidas y bajadas con raíles impulsores por los que circula la vagoneta. Así, se aprovecha la capacidad de los raíles impulsores de acelerar o frenar las vagonetas en función de si se encuentran o no activados.

Un raíl impulsor únicamente proporciona velocidad a las vagonetas cuando ocurre uno de los siguientes casos:

- La vagoneta se encuentra en movimiento, circulando en una dirección, entonces, es impulsada al pasar por encima de este raíl activado. Esto es de utilidad para aumentar la energía de las vagonetas en movimiento en todos los mapas cuando tienen que recorrer distancias largas.
- El raíl impulsor activado se encuentra conectado a otro raíl, de cualquier tipo, y a un muro de inicio. Esta situación no se utiliza en este TFM dado que es incompatible con el circuito desarrollado en cada mapa con múltiples paradas y arranques de la vagoneta.
- La vagoneta parte de una posición inclinada, que por acción de la gravedad obtiene la suficiente fuerza para arrancar. Entonces, el raíl impulsor, cuando es activado, se encarga de suministrar la energía para que coja velocidad. Éste es el caso en el que se fundamentan todos los puestos de trabajo de la simulación, puesto que es el único modo que permite que la vagoneta se detenga al llegar al puesto, para posibilitar el trabajo al operario, y arranque hacia el siguiente puesto cuando el trabajador haya realizado su tarea.

Por esa última razón, los puestos de trabajo se han diseñado compuestos de varias subidas y bajadas, denominadas *montañas*. No obstante, para representar el puesto de trabajo y que cumpla con su función tan solo es necesaria una de las *montañas*, el resto corresponden a la simulación de las esperas de productos intermedios entre cada uno de los puestos. De esta forma, se permite trabajar al operario en la *montaña* de la izquierda mientras se acumulan en cola, sin amontonarse, tantos productos intermedios como *montañas* con raíl impulsor haya. Por ejemplo, en la Figura 2.18, la zona de la izquierda corresponde al lugar de la vagoneta de trabajo, y las dos *montañas* restantes de la derecha son los espacios disponibles para almacenar una cola de hasta dos productos.

Para realizar el avance entre puestos de las vagonetas con el producto, una vez ha terminado el operario su función, se utiliza un mecanismo de *redstone* que activa el trabajador mediante un botón. Al presionar el botón, se

activa el raíl impulsor en que se encuentra la vagoneta de trabajo, y ésta avanza hacia el siguiente puesto. A su vez, las vagonetas que estaban en cola en el propio puesto avanzan una *montaña* hacia la *montaña* de trabajo del operario.

Con el fin de evitar problemas de amontonamiento o choque de vagonetas de producto, se implementan temporizadores en el circuito de avance de los productos. Estos mecanismos temporizadores, que se encuentran ocultos bajo la estructura del puesto de trabajo, se pueden observar en la Figura 2.19. Consiste en la utilización de repetidores en serie colocados en sentido opuesto al normal, por lo que, en lugar de amplificar la señal eléctrica, la retrasan en el tiempo de forma proporcional al número de repetidores empleados.



Figura 2.19 Circuito de los puestos de trabajo estándar.

Debido al empleo de temporizadores, tras pulsar el botón, la vagoneta de trabajo parte inmediatamente hacia el siguiente puesto, mientras que la primera vagoneta de cola tarda unos segundos en cambiar de posición. Con ello, se asegura encontrar libre la ubicación de trabajo y su respectivo raíl impulsor desactivado, con lo que se frena en dicha posición. Del mismo modo sucede tras unos segundos el avance de la segunda vagoneta en espera hasta el primer puesto de cola.

Los seis puestos de trabajo de la Escuela tienen delimitada su zona de ejecución mediante el color morado en el suelo, tal y como se observa en la Figura 2.20. También, se puede ver que los cofres de las distintas piezas necesarias en cada puesto se colocan, fuera de la zona morada, de espaldas a los operarios cuando están trabajando.



Figura 2.20 Área de trabajo estándar de uno de los puestos de operario.

Esos cofres almacenan, en cada puesto del proceso de producción, sus correspondientes 3 referencias necesarias, a excepción del puesto 6 de calidad, que únicamente dispone de un cofre con el libro de registro de los productos.

Entre los puestos que se encuentran más alejados, el recorrido realizado por las vagonetas está diseñado de forma subterránea. Con ello, se evita que el trayecto de la vagoneta se cruce por la sala a nivel del suelo, previniendo posibles accidentes y choques con trabajadores que obligarían a paralizar la producción. Las zonas por las que la vagoneta pasa a nivel del suelo, baja o sube del túnel subterráneo se señalizan con el suelo en color rojo y se protegen con cristales rojos a su alrededor, Figura 2.21.

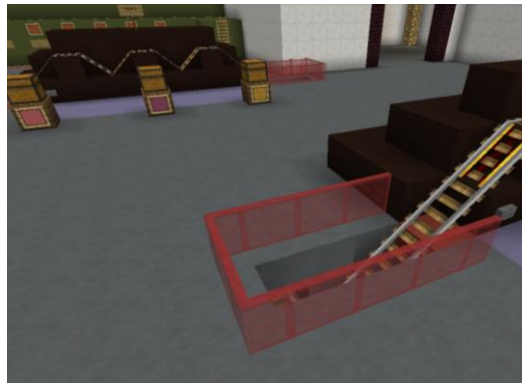


Figura 2.21 Trayecto subterráneo de las vagonetas.

En todas las producciones realizadas se considera que hay suficientes materiales en los almacenes de la Escuela y, por tanto, no es necesario tener que pedir suministro a los proveedores, o lo que es lo mismo, se tiene un JIT perfecto respecto a proveedores puesto que en el almacén hay siempre todo lo necesario.

Los almacenes en los que se guardan los componentes necesarios para la producción, Figura 2.22, constan de estanterías de madera, cofres para cada tipo de material y los respectivos carteles indicadores de contenido. La cantidad y la ubicación de las estanterías y la distribución de los cofres en su interior pueden ser objeto de modificación entre las diferentes producciones.

También, se utilizan planos de situación de “Usted está AQUÍ”, Figura 2.22, distribuidos por los mapas de la Escuela para una mejor orientación de los trabajadores.



Figura 2.22 Estantería estándar y mapas de la Escuela Lean.

Una vez terminado el producto y revisado en el puesto de calidad, se almacena para su salida a cliente en la pared frontal de la Escuela. Para ello, se ha construido una zona de expediciones, Figura 2.23, que contiene los productos expedidos a cliente ordenados de forma consecutiva y recoge la información final de cada producción. Permite visualizar, de forma instantánea, la cantidad de productos fabricados en la producción, así como el resultado del análisis de calidad para cada uno de ellos.



Figura 2.23 Zona de expediciones.

En la Figura 2.23 se observa que esta zona se compone de la misma vía por la que circulan las vagonetas hasta terminar en una pared de la parte superior. A lo largo del recorrido, existen 30 carteles, correspondientes a las posiciones de las vagonetas de productos, en función del orden de salida del proceso de producción. La capacidad máxima de cada producción es

establecida en 30 unidades, que se consideran suficientes para la realización de la simulación del curso Lean.

En la zona de expediciones se requiere una persona, que en primera instancia es el profesor, encargada de organizar la salida de los productos a cliente y comprobar que se corresponden los pedidos recibidos. Además, el profesor es el encargado de lanzar los pedidos de producto de los clientes al responsable de la cadena de producción.

Para organizar la salida de productos a cliente, el encargado toma de un cofre, situado a la derecha de esta zona de expediciones, bloques del color de la estantería e indicadores verdes y rosas, Figura 2.24. Esos indicadores se utilizan para señalar, dentro de los marcos correspondientes, si el producto expedido cumple con las especificaciones (verde), o tiene algún defecto (rosa).

Los bloques verdes se utilizan para bloquear el paso de la vagoneta una vez haya llegado a su posición correspondiente. Entonces, cada vez que llega un producto nuevo, su vagoneta frena contra la pared, y el encargado de esta zona debe quitar el raíl anterior a la vagoneta y colocar 2 bloques verdes, como se representa en la Figura 2.24. De este modo, la siguiente vagoneta también frena contra la nueva pared y se repite el proceso para cada producto.



Figura 2.24 Funcionamiento de la zona de expediciones.

2.2.3. FUNCIONAMIENTO BÁSICO COMÚN A TODOS LOS MAPAS.

Una vez descritas las estructuras que forman los mapas, se procede a explicar su modo de funcionamiento de forma genérica. El profesor debe proporcionar esta explicación a los alumnos, de modo similar a la charla que un jefe da a sus empleados para organizar un día de trabajo.

En primer lugar, se asignan los puestos de trabajo de cada alumno, que se pueden mantener o cambiar a lo largo de las distintas producciones. Una vez elegidos los puestos, deben ir al vestuario y equiparse con su uniforme correspondiente.

El profesor debe explicar individualmente la función y responsabilidades de cada puesto y ayudar a los alumnos con las dudas que les surjan. También, les ha de entregar las fichas de instrucciones correspondientes a cada producción, de forma que los alumnos tengan clara su función y puedan practicar en su ocupación de forma previa a las producciones, lo que les permitirá adquirir la destreza necesaria.

Como se ha indicado anteriormente, el profesor tiene la función de representar al cliente, por lo que debe hacer los pedidos cada cierto tiempo. Este tiempo entre pedidos se denomina *Takt Time*, y equivale a tiempo de 1 minuto en las distintas producciones.

El *Takt Time* se corresponde con el intervalo de tiempo que tarda un producto en salir de la cadena de producción para satisfacer la fecha de entrega del cliente [1]. Este valor se obtiene de la relación del tiempo de trabajo disponible para una producción entre el número de pedidos del cliente. En este caso, para una producción de 30 productos en un tiempo de 30 minutos, el *Takt Time* es el siguiente:

$$TT = \frac{30 \text{ productos}}{30 \text{ minutos}} = 1 \text{ producto/minuto} \quad [1]$$

Por tanto, el profesor hace pedidos de cliente al responsable cada minuto, a lo largo de toda la producción, utilizando, por ejemplo, el chat del juego. La labor de cliente junto con el trabajo de la zona de expediciones, son las tareas que desempeña el profesor durante las producciones. Esto es así para proporcionar una mayor capacidad de reacción al sistema debido a que permite al profesor tener la información necesaria de forma instantánea para poder alertar, en caso de alguna desviación, a los alumnos encargados de planificar la producción.

El responsable de la línea de producción es el encargado de decidir la producción de la línea de montaje en función de las necesidades que le llegan

del cliente y las restricciones impuestas en cada producción, como por ejemplo el trabajo por lotes. El propósito final del responsable es la correcta planificación de la producción de modo que pueda satisfacer todos los pedidos de cliente, independientemente del orden seguido, y que no resten productos en stock.

Al inicio de cada producción, se parte de 5 productos en curso, correspondientes a cada uno de los puestos, para que todos comiencen a trabajar a la vez. Los 5 productos iniciales son elegidos también por el responsable, previamente al inicio de la producción y antes de recibir los pedidos del cliente.

Los operarios deben trabajar en sus respectivos puestos de la línea de montaje, aplicando los métodos y herramientas de trabajo especificadas en las fichas de cada producción. Además, tienen obligación de comunicar los sucesos o problemas que sucedan durante las producciones.

La función de los logísticos es la de proveer, en todo momento, de materiales y componentes a cada uno de los puestos de la línea. También, si el profesor lo cree oportuno, deben encargarse de la zona de expediciones.

Las tareas, reglamentos y condiciones de trabajo concretos de los cargos de operario, responsable y logístico se explican detalladamente, a continuación, en las instrucciones específicas para cada producción.

En cambio, los cronometradores se dedican, en todas las producciones, a la toma de tiempos característicos de la operación de cada puesto de la línea de montaje, así como a la realización de cálculos de los parámetros y al análisis de los resultados para valorar la función de los operarios.

Dado que se trata de una simulación en Minecraft, no es posible determinar los tiempos relativos a todas las subtareas que realiza un operario para cada producto. Entonces, los cronometradores se ocupan de medir los tiempos de las tareas completas realizadas por cada operario, en lugar de las pequeñas actividades. Por ello, no son objeto de aplicación de mejoras aquellas cuestiones relacionadas con los movimientos de los operarios, la ergonomía y la facilidad de cambio de herramientas.

Todas aquellas proposiciones de mejora y sugerencias presentadas por los alumnos, no previstas en los siguientes mapas, como reequilibrados o modificaciones físicas, son consideradas por el profesor, que decide, en última instancia, si se pueden llevar a cabo o no.

Al terminar cada producción, el profesor revisa los productos enviados a cliente para verificar el correcto funcionamiento del control de calidad. También, recoge los datos obtenidos en la producción para su exposición a los alumnos y su posterior análisis.

Una vez finalizada la última producción, se realiza un balance de la situación final y se compara respecto del estado inicial; de esta forma, se pueden obtener conclusiones relevantes sobre las distintas simulaciones.

En este apartado se han descrito todas las características comunes en cada uno de los mapas. En los puntos posteriores, se desarrollan, en detalle, las particularidades de cada producción. Además, en el capítulo [3. Resultado de las Simulaciones](#), se analizan los resultados obtenidos tras poner en práctica esta simulación de las producciones en Minecraft.

2.3. PRODUCCIÓN 1.

La Producción 1 consiste en la primera toma de contacto de los alumnos con la simulación de la Escuela Lean en Minecraft. El mapa representa el proceso de producción con los elementos básicos que permiten sacar el trabajo, pero sin herramientas ni metodologías de mejora.

Por ello, en condiciones normales, esta producción es caótica, con múltiples fallos y sin conseguir alcanzar los objetivos y especificaciones del cliente en tiempo y forma.

2.3.1. DISEÑO Y ESPECIFICACIONES.

En primer lugar, se muestra la vista aérea de la Escuela en la Figura 2.25, con la distribución de puestos y almacén correspondiente a la primera producción. En este apartado sólo se describen las partes específicas del primer mapa, ya que las comunes se han explicado en el apartado previo.



Figura 2.25 Vista aérea de la producción 1.

Como se observa en la Figura 2.25, los puestos de trabajos son iguales y estandarizados para todos los puestos. Se encuentran separados en 3 zonas de la sala: la primera corresponde solo al puesto 1; la segunda incluye, ligeramente separados, a los puestos 2 y 3; y la tercera comprende los puestos 4, 5 y 6 sin desaprovechamiento de espacio entre medias. La salida del puesto 6 se dirige directamente a la zona de expediciones.

Tal y como se aprecia en la Figura 2.26, en las zonas de trabajo, los cofres, que contienen los materiales necesarios para el puesto, están situados sobre cubos de madera en los que se indica el material que albergan los cofres en su interior mediante un marco.

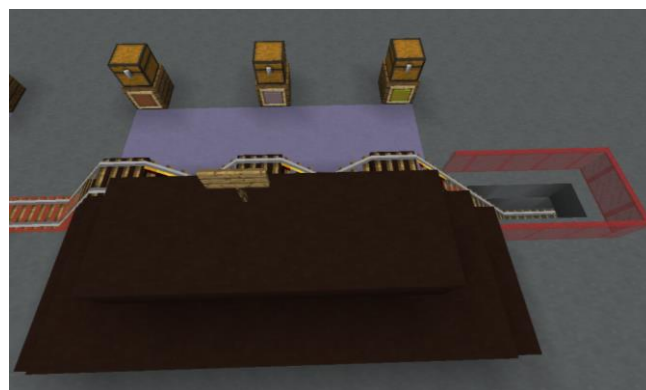


Figura 2.26 Zona de trabajo de la producción 1.

Por otro lado, se dispone de 3 estanterías de almacén, en la pared trasera de la sala, para los cofres de todos los materiales, identificados de igual manera que los cofres de los puestos, Figura 2.27.



Figura 2.27 Colocación de las estanterías de la producción 1.

2.3.2. PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS.

Este mapa, al corresponder a la primera producción, representa una fábrica en un estado inicial algo caótico, similar al estado en el que se encuentran numerosas empresas: falta de procedimientos, metodologías, pocas mejoras técnicas o tecnológicas que faciliten el trabajo. La línea de montaje de producto y el almacén de materiales permiten llevar a cabo el trabajo de fabricación, pero en condiciones muy lejanas a las óptimas, lo que se traduce en multitud de fallos y problemas. Se comienza con esta producción, un tanto desordenada, para hacer ver a los alumnos el amplio margen de mejora que existe y fomentar su apetencia de progreso en las siguientes producciones.

En esta configuración no existe ninguna forma específica de avisar a los logísticos de que un puesto se ha quedado sin materiales en el cofre para trabajar. Esto supone un problema en la producción, fomentando que los alumnos busquen, de forma voluntaria, una solución al inconveniente a partir de las técnicas aprendidas en clase. Dado este caso, el profesor puede cederles ciertos materiales o sugerirles un método de aviso para facilitar el trabajo, como puede ser inicialmente la utilización del chat de Minecraft para avisar de los materiales necesarios y el puesto.

Por otra parte, los cofres del almacén general y de los puestos contienen el material indicado en la etiqueta, pero en cantidades aleatorias y que varían de un cofre a otro. Además, contienen múltiples materiales desordenados de otros cofres e incluso materiales no necesarios en la producción, que hace que los cofres se encuentren desordenados, mezclados, sin cantidades reguladas y en estado caótico, lo que dificulta el trabajo de los empleados. En la Figura 2.28-a, se observa un ejemplo de un cofre de operario de paneles verdes y en la Figura 2.28-b un cofre del almacén de paneles rosas en estado de desorden total.



Figura 2.28 Contenido de los cofres de la Prod. 1 de: a) operario y b) almacén.

También, en relación con los cofres ubicados en el almacén se puede observar la falta de organización de los colores, sin ningún orden ni patrón que facilite a los logísticos la tarea de localizar un material rápidamente. Además, se cuenta con 6 cofres de materiales de otros colores no utilizados en el proceso de producción, pero que despistan al estar mezclados con el resto.

Con esta falta de organización del almacén de trabajo se fomenta que los alumnos recurran a la aplicación de las 5S. La forma en que se puede llegar a implantar este sistema sigue dos caminos:

- De forma previa a la producción, el profesor puede conceder a los alumnos un cierto tiempo para que apliquen, si creen necesario, la metodología 5S. Una vez terminen las mejoras, se lleva a cabo la producción y se analizan las ventajas de implantar dicha herramienta Lean.
- La otra posibilidad consiste en que el profesor no deje libertad inicial a los alumnos para aplicar las 5S, de forma que se lleve a cabo esta primera producción con el grado de desorden descrito. Con ello, se permite a los alumnos equivocarse y valorar las consecuencias de ese tipo de inconvenientes, que fácilmente pueden llegar a parar la producción, por ejemplo, por una simple falta de suministro.

En ambos casos, ya sea antes o después, se demuestra a los alumnos la importancia de la necesidad de orden y limpieza constante en el puesto de trabajo y los almacenes.

Respecto a la distribución del almacén, es evidente que la disposición inicial es totalmente errónea: existe mucha distancia entre los puestos y de estos a las estanterías, lo que se traduce en demoras notables de tiempo. La posición inicial es una reproducción de la utilizada en la Escuela Lean en la primera producción, buscando fomentar la importancia del *lay out* en la planta productiva.

Esta disposición de los puestos se verá modificada en los mapas posteriores para verificar la relevancia que posee en los resultados. En este mapa inicial, los alumnos no podrán modificar esa disposición por su cuenta, debido a la complejidad que ello supone y para que puedan valorar las desventajas de un mal diseño inicial de la distribución y los perjuicios que supone a largo plazo.

Por último, desde el punto de vista de la producción, destaca el método de trabajo utilizado con la posibilidad de tener esperas intermedias de producto en las distintas etapas. En el diseño de los puestos, cada uno dispone de 3 *montañas* con freno para posicionar las vagonetas de producto, lo que se traduce en una zona de trabajo, correspondiente a la bajada más cercana al botón, y un máximo de 2 esperas intermedias de producto en cada puesto.

Esta posibilidad de tener esperas intermedias en los puestos permite ocultar errores que se produzcan durante la realización del trabajo, sin que se puedan poner soluciones, e incrementa los tiempos y costes de stock de material en curso necesarios.

Con esto se busca concienciar al alumno de que las esperas intermedias no son la solución óptima de trabajo, sino un parche para asegurar el flujo y permitir un trabajo constante cuando el resto de condiciones no son perfectas. A partir de ese conocimiento, el alumno accede a resolver los problemas de producción para conseguir reducir al máximo el stock intermedio, y no al revés.

También, en lo que se refiere al proceso de producción, en este primer día existe la limitación de trabajar en lotes de 4 productos; es decir, con el mismo indicador para el atributo 1. Esta limitación se debe a la simulación del problema que representan los cambios de máquina en un proceso de producción, por lo que para obtener un cierto rendimiento se necesita trabajar por lotes.

En este caso, se establece que el cambio de máquina representa un tiempo igual a 4 veces el *takt time*. Entonces, el responsable de la producción tiene una gran limitación para cumplir los pedidos de cliente, ya que está

obligado a producir en lotes de 4, incurriendo en despilfarros del proceso tales como: sobreproducción, inventario, esperas y retardo en el envío del pedido a cliente.

Finalmente, con respecto a la función de los logísticos, se implanta la limitación de que en cada reposición solo pueden coger materiales del almacén de un único color, en una cantidad máxima de carga de 30 unidades. Con esta norma se prepara la mentalidad del alumno para comprender la importancia, en este proceso, de la utilización del Kitting en el último mapa.

A partir de esta primera producción caótica, en cada uno de los siguientes mapas se implementarán mejoras que contribuirán a la optimización del proceso. En algunos casos, las mejoras son más evidentes y necesarias que en otros, pero la realidad es que todas aportan para hacer más fácil el trabajo. En el apartado [3. Resultado de las Simulaciones](#), se analizarán las conclusiones obtenidas en la simulación práctica realizada del mapa.

2.3.3. FICHAS DE TRABAJO PRODUCCIÓN 1.

La ficha de trabajo correspondiente a la producción 1 se encuentra en el [Anexo 7.1](#). También, al igual que el resto de fichas, se incluye como un PDF individual para facilitar la impresión para los alumnos.

Estas fichas asociadas a cada una de las producciones incluyen las instrucciones básicas a seguir por todos los trabajadores de la planta, así como los conocimientos específicos necesarios de cada puesto de forma individual. Es conveniente entregarlas a los alumnos con tiempo suficiente para que puedan familiarizarse con ellas antes de iniciar la producción.

2.4. PRODUCCIÓN 2.

En la Producción 2 se comienza el desarrollo y la aplicación de mejoras al proceso productivo. Para ello, se parte de la experiencia y el conocimiento previo adquiridos por los alumnos en la primera producción.

Inicialmente, se tienen en cuenta los errores básicos más graves que han sucedido en la simulación anterior, para centrarse en su corrección. Por tanto, en el mapa ya se incorporan las primeras modificaciones y rectificaciones en los mecanismos, herramientas y procedimientos utilizados en el proceso.

En este caso, se continúa lejos de cumplir con los objetivos y especificaciones marcados por el cliente para la producción, aunque se dan pequeños pasos orientados hacia ello.

2.4.1. DISEÑO Y ESPECIFICACIONES.

En primer lugar, se muestra la vista aérea de la Escuela en la Figura 2.29, correspondiente a la segunda producción y con la misma distribución de los puestos y el almacén que en la primera producción. Como ya sucedió con la primera producción, en éste apartado sólo se describen las partes específicas que se han introducido en el mapa respecto a la parte común.



Figura 2.29 Vista aérea de la producción 2.

En la Figura 2.29 ya se aprecia, a simple vista, alguna diferencia en las zonas de trabajo con respecto a lo anterior, debido a la implantación del sistema Kanban en el proceso.

Para la aplicación del Kanban se utiliza una señal luminosa que permite alertar a los logísticos del agotamiento del material. En la Figura 2.30 se observa la modificación del área de cofres de material en los puestos, dado que se dispone de 2 cofres superpuestos y una lámpara de *redstone* en la zona superior por cada uno de los materiales necesarios con la palanca que permite encenderla o apagarla. También, en la parte superior de los cofres se localizan los carteles, a ambos lados, con las etiquetas del material correspondiente.

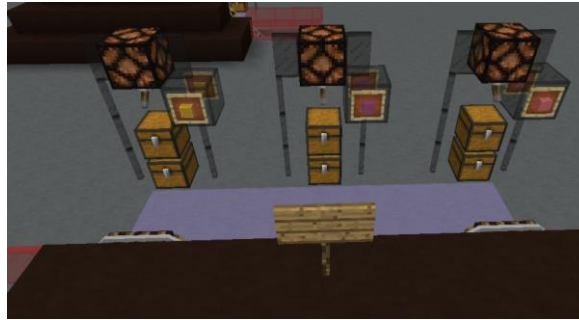


Figura 2.30 Zona de trabajo de la producción 2.

Como se observa en la Figura 2.31, la lámpara tiene una palanca accesible por ambos lados del cofre para que los operarios puedan encenderla cuando vacíen un cofre de material y los logísticos puedan apagarla tras la reposición.

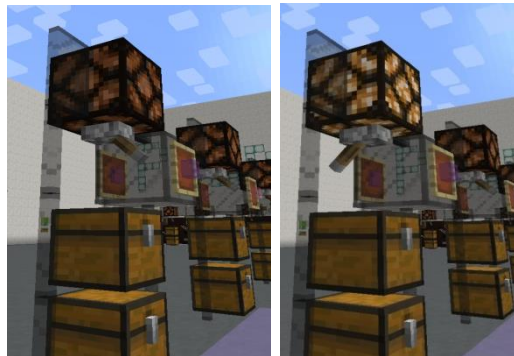


Figura 2.31 Funcionamiento de la Lámpara de Redstone.

Conviene destacar que se han sustituido los paneles de cristal, utilizados como etiquetas en los carteles de los cofres para indicar el material, por bloques de cristal que favorecen una mejor visualización del color del material.

2.4.2. PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS.

En esta segunda producción, la distribución de los puestos y estanterías en la Escuela se mantiene respecto a la anterior, para reforzar la importancia del diseño de un correcto *lay out* inicial. Es conveniente que los alumnos analicen las diferencias que existen entre las distribuciones iniciales y las que se utilizan en las últimas producciones, dado que, con toda probabilidad, las primeras ideas de mejoras que planteen correspondan a acercar directamente los puestos y estanterías.

Por otro lado, se añade una mejora visual de las etiquetas, correspondiente a la aparición de cubos de cristal en los indicadores en lugar de los paneles utilizados. Aunque esto no representa un problema en la primera producción, se comprueba que los colores se distinguen mejor utilizando cubos en lugar de paneles. Se trata de pequeños cambios sencillos y económicos que facilitan el trabajo de operarios-logísticos y que permiten aumentar el rendimiento de la producción reduciendo fallos humanos.

Las principales modificaciones implementadas en esta segunda producción con respecto a la primera, corresponden a la utilización de las herramientas Lean de las 5S y el Kanban.

Seguramente, los alumnos ya hayan comenzado a implementar las 5S en el primer mapa de forma inconsciente al ordenar los cofres, retirar elementos erróneos o colocar los materiales de forma que les sea más cómodo. Su aplicación pretende eliminar todos esos problemas relacionados con errores de producción de los operarios y de suministro de materiales, manteniendo el sistema a lo largo del tiempo. En la Figura 2.32-a se puede observar el resultado en el contenido de un cofre de operario que solo contiene el material necesario en una cantidad fijada y en la Figura 2.32-b, se visualiza un cofre del almacén, con mucha cantidad del único componente que le corresponda.



Figura 2.32 Contenido de: a) un cofre de puesto y b) un cofre del almacén.

Sin embargo, en esta segunda producción, aunque ya todo el contenido está ordenado, aún no se han separado en el almacén los cofres con materiales útiles para la producción de aquellos que contienen materiales innecesarios. Esto es debido a que, al igual que en la vida real, no es del todo sencillo deshacerse de tantos materiales ineficaces para este proceso dadas sus propiedades, o que simplemente suponen mucho valor económico y se deben gestionar o vender adecuadamente. Con ello, se sigue representando

una pequeña dificultad en la tarea de los logísticos que tienen paneles de 6 colores que no se utilizan, aunque mucho menor que antes dado que el contenido de los cofres está ordenado.

En cualquier caso, la imposibilidad, por el momento, de deshacerse de ellos supone un despilfarro de inventario, además de posibles problemas relacionados con la dificultad para venderlos y su obsolescencia. Es importante que los alumnos entiendan el concepto, dado que se pueden encontrar con esa situación en la vida laboral al comprar materiales o herramientas que no sirven o no necesitan, lo que implica un desaprovechamiento de los recursos de la empresa.

Por otra parte, la implantación del Kanban representa una mejora muy relevante con respecto al mapa anterior, debido a la necesidad de un sistema que permita la transmisión de información entre logísticos y operarios de forma constante y eficiente.

Además de la falta del sistema de comunicación, cuando el operario avisaba por voz o por el chat al logístico de la falta de material, existía el problema de que se quedara sin recursos en el puesto para seguir trabajando hasta la reposición del cofre. Con el uso del sistema Kanban se elimina ese problema, ya que cada puesto dispone de un sistema de doble cofre que permite al operario seguir cogiendo recursos del segundo cofre, mientras el logístico repone el primero.

Es importante que el tiempo empleado por los logísticos en localizar la falta de material en un puesto y reponerlo sea inferior al tiempo que tarda el operario en consumir el segundo cofre de material; en caso contrario nos encontraríamos con el mismo problema que en la producción 1. Para ello, se emplea un sistema de luces que permite a los operarios notificar inmediatamente la falta de material en el puesto.

Este sistema de luces consiste en un mecanismo simple cuyo funcionamiento se explica en el apartado anterior [2.4.1. Diseño y especificaciones](#). Cuando en un puesto se agota el material de uno de los cofres, el operario se encarga de accionar la palanca que enciende la luz de aviso para que el logístico identifique rápidamente que en ese puesto se necesita material. Por su parte, el logístico, una vez identificada y resuelta la necesidad en el menor tiempo posible, desactiva la palanca para apagar la luz y devolver el sistema al estado inicial.

El sistema de luces utilizado es una adaptación que difiere ligeramente del Kanban empleado en una fábrica real debido a los motivos que se exponen a continuación. En primer lugar, el Kanban utiliza etiquetas o tarjetas

fácilmente manipulables y visibles para los trabajadores, que no se puede implementar directamente en Minecraft. Entre las opciones que se pueden utilizar, la más semejante a una tarjeta es un cartel; éste proporciona mucha visibilidad, pero no permite la movilidad deseada, ya que al trasladarle pierde el mensaje escrito.

También podría optarse por un libro escrito, aunque el comportamiento es el contrario al de los carteles; un libro se puede mover fácilmente, pero dificulta mucho la visibilidad, puesto que requiere tomarle del cofre al inventario y abrirle para leer el contenido. En definitiva, estas alternativas no permiten lograr una implantación eficiente de un Kanban en Minecraft, puesto que dificultan y retrasan el proceso en lugar de hacer la tarea más sencilla, por lo que son descartadas.

Otra alternativa que se contempló consistía en aplicar un Kanban que utilizara un panel luminoso común a los puestos y que se activara al colocar las tarjetas. Esta opción, aunque permite ahorrar cierto tiempo con respecto a la anterior, también se descartó debido a la imposibilidad, por distancias, de utilizar un cofre común para todos los puestos, y a la incapacidad de simular en Minecraft la emisión de diferentes señales luminosas en función del puesto que coloque la tarjeta.

Por esta razón, se decidió relajar la restricción de simular fielmente un sistema Kanban real y se optó por la implantación de un procedimiento más práctico y eficiente, con la misma esencia del sistema y un funcionamiento basado en objetivos iguales de facilitar el suministro de materiales a los puestos. Fruto de esta decisión, se implantó en Minecraft el sistema descrito anteriormente de dobles cofres y aviso por activación de lámparas.

A partir de todas las mejoras aplicadas en esta producción, se logra obtener una mayor organización de la línea de producción, lo que fomenta un inicio hacia el perfeccionamiento del trabajo, con la reducción de las principales causas de fallos en la producción y los despilfarros por inventarios y retrabajos. Además, se minimiza el despilfarro de tiempos muertos de los operarios y tiempos de desorden de los logísticos al solucionar los problemas de abastecimiento de materiales. En el apartado [3. Resultado de las Simulaciones](#), se analizan las conclusiones obtenidas en la simulación práctica realizada del mapa.

2.4.3. FICHAS DE TRABAJO PRODUCCIÓN 2.

La ficha de trabajo correspondiente a la producción 2 se encuentra en el [Anexo 7.2](#). Al igual que el resto de fichas, se incluye como un PDF individual para facilitar la impresión para los alumnos.

2.5. PRODUCCIÓN 3.

En esta tercera producción se prosigue con el desarrollo y avance del proceso productivo comenzado anteriormente. Al igual que en el anterior mapa, se parte de mayor cantidad de conocimientos que permiten enfocar y orientar los esfuerzos dedicados a la mejora hacia una dirección concreta.

Además, los resultados de la anterior producción posibilitan la oportunidad de valorar y verificar la efectividad de las mejoras implementadas hasta ahora. De esta forma, las siguientes herramientas y métodos de mejora a aplicar pueden desarrollarse a partir de lo anterior; en caso contrario, habría que retroceder a situaciones anteriores.

En este punto, las novedades implementadas no buscan solamente corregir errores, que cada vez son menores, sino que también se centran bastante en la optimización del proceso y el mayor aprovechamiento de los recursos disponibles.

A continuación, se desarrolla la explicación de los cambios y reformas implementados en el mapa con respecto a los anteriores para el cumplimiento de los objetivos y especificaciones.

2.5.1. DISEÑO Y ESPECIFICACIONES.

En la realización de esta producción se implementan importantes modificaciones en la distribución de la escuela, tal y como se puede observar en la vista aérea de la Figura 2.33. En este apartado se describen todas las partes específicas introducidas en el mapa con respecto a las desarrolladas anteriormente.



Figura 2.33 Vista aérea de la producción 3

La modificación más importante y evidente en esta producción es el cambio en la disposición de los puestos en planta, de una distribución más lineal y espaciada a la forma de U de la línea productiva que se observa en la Figura 2.34.



Figura 2.34 Distribución de los puestos de la producción 3

Otro cambio también importante es la disminución de la máxima capacidad de esperas intermedias en cada puesto, pasando de las 3 *montañas* anteriores a las 2 actuales, correspondientes a la zona de trabajo y a una única espera de producto intermedio. De esta forma, se logra reducir el área necesaria para cada puesto, Figura 2.35, por lo que los cofres de materiales y los sistemas Kanban de luces se colocan más próximos.

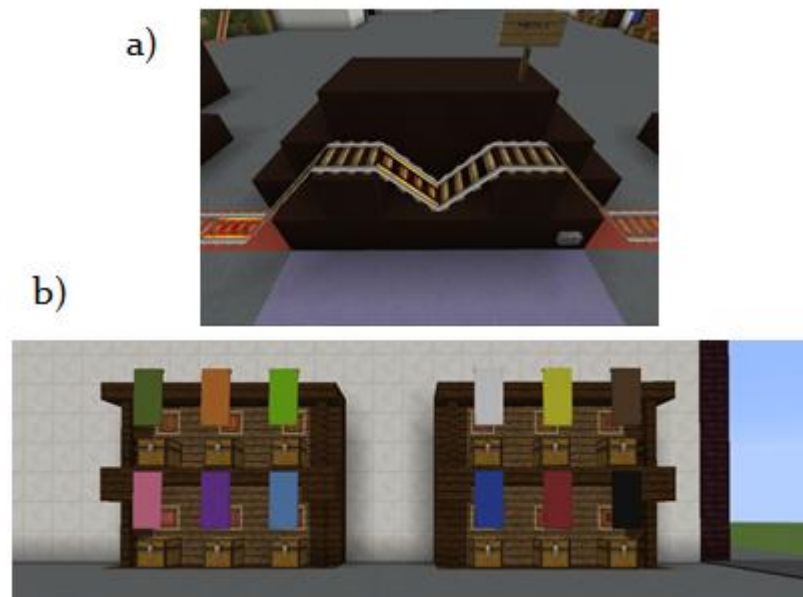


Figura 2.35 a) Puesto de trabajo y b) almacén de la producción 3

Además, al retirar del almacén de materiales los cofres de paneles de colores no utilizados en el proceso, es suficiente con 2 estanterías, Figura 23.5-b, por lo que se suprime la tercera utilizada hasta el momento.

Asimismo, en la Figura 2.35-b se observa el último cambio destacado introducido en el mapa, que consiste en la instalación de estandartes de colores sobre los cofres de las estanterías, coincidiendo con el color del cristal del respectivo cofre. Igualmente, se siguen manteniendo los marcos con los indicadores de cristal utilizados hasta entonces.

2.5.2. PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS.

En primer lugar, se analiza el cambio más importante y notorio del mapa, que es el cambio en la distribución de línea productiva y almacén. La posición de los puestos de trabajo ha sido cambiada dando lugar a una distribución en U, proporcionando ventajas como la reducción de tiempos de ciclo al disminuir las distancias intermedias, un mayor aprovechamiento del área disponible en la Escuela y más comodidad para los logísticos con un espaciamiento menor entre puestos.

Además, debido al ordenamiento y organización del almacén de materiales, se suprime una de las estanterías, desarrollando completamente la metodología 5S iniciada anteriormente. En esta organización, se han descartado y excluido del almacén todos los materiales que no son utilizados

en el proceso productivo, permitiendo recolocar, en menor espacio, los cofres de materiales necesarios.

Los alumnos deben concienciarse de que, aunque estos cambios parezcan instantáneos en la simulación, generalmente conllevan una gran inversión por parte de la empresa como consecuencia de las obras y reformas necesarias para trasladar los puestos a la nueva disposición, la gestión de los materiales que no se utilizan, etc.

Una de las modificaciones más simples que se ha introducido consiste en la utilización de estandartes como ayuda visual para mejorar la identificación de los colores del material en cada uno de los cofres. Con ello, se facilita el trabajo de los logísticos en la reposición de materiales a los puestos y se minimiza la aparición de errores debidos a equivocación en el color. También, los estandartes de colores permiten la identificación del cofre requerido, a simple vista y largas distancias, con lo que se reduce el tiempo empleado en buscarle.

Además, a partir de esta producción, se modifican las condiciones impuestas a los logísticos, permitiéndoles hacer el picking de más de un tipo de material en cada viaje (hasta ahora solo podían coger un único color), aunque se mantiene la carga máxima que transportan en el inventario de 30 paneles. Por tanto, al realizar 2 reposiciones de material por cada viaje al almacén, se consigue reducir notablemente la distancia recorrida por los logísticos.

Con respecto al propio proceso de producción, aparecen tres grandes novedades: la disminución de las colas intermedias de producción, la distribución de la cadena en forma de U y la aplicación del SMED en el proceso.

La primera de ellas, como se ha descrito en el apartado anterior [2.5.1. Diseño y especificaciones](#), consiste en la eliminación de una de las esperas en cada puesto de trabajo. En esta producción se ha limitado la posibilidad de almacenar stock intermedio en los puestos, ya que se considera que el sistema creado es lo suficientemente estable para aguantar un mayor ritmo y funcionar correctamente con un único producto en espera. Obviamente, para lograrlo se requiere una mayor coordinación de todas las etapas del proceso, un correcto equilibrado del mismo, la minimización de errores y la reducción de los tiempos de producción.

Además, la nueva distribución en U permite una mayor centralización de todo el proceso y de sus empleados, proporcionando importantes ventajas: la minimización del espacio requerido y el coste asociado, una reducción de los

desplazamientos de productos y distancias recorridas por los empleados y el fomento del apoyo entre trabajadores permitiendo reducir, mediante la colaboración, los tiempos de resolución de posibles problemas.

Una última novedad consiste en la aplicación de la herramienta SMED, que permite reducir notablemente el tiempo empleado en el cambio de máquina o de herramienta del dispensador. Gracias a esta mejora, a partir de esta producción se simula un tiempo de cambio de máquina necesario equivalente al *takt time*. Por este motivo, no se requiere stock de seguridad durante el cambio, ya que el tiempo de ciclo hasta lograr la pieza nueva es igual al que se produce en procesar el producto anterior. De este modo, no solo se reducen aún más los productos intermedios, si no que el jefe de producción puede ordenar la producción de productos individuales al no tener ya la limitación de trabajar en lotes de 4.

Entre los despilfarros del proceso que se consiguen disminuir con la aplicación de todos estos cambios, destaca la reducción del espacio necesario para la línea y de los movimientos de transporte realizados por los productos y los logísticos. Además, la liberación de gran parte del espacio empleado de la Escuela permite su utilización en otras funciones, como pudiera ser, por ejemplo, duplicar la producción con otra línea de trabajo.

También, se disminuye el despilfarro en fallos de calidad y tiempo empleado, como consecuencia de errores en el abastecimiento de materiales por parte de los logísticos. La reducción de tiempos con las facilidades implementadas favorece el aumento de la productividad, pudiendo compatibilizar con otras funciones y competencias.

Además, el despilfarro que más fuertemente se disminuye es el de los inventarios, tanto los de productos y materiales intermedios como los de stock final, debido a la sobreproducción de los lotes.

En teoría, en los resultados obtenidos de esta producción se debería conseguir la satisfacción casi total de los pedidos de cliente, además de lograrse una gran mejora respecto a las dos anteriores. En el apartado [3. Resultado de las Simulaciones](#), se analizan las conclusiones obtenidas en la simulación práctica realizada del mapa. Sin embargo, dado que todavía existe un margen de mejora para obtener el máximo rendimiento, se continúa la optimización del proceso en una cuarta y última producción.

2.5.3. FICHAS DE TRABAJO PRODUCCIÓN 3.

La ficha de trabajo correspondiente a la producción 3 se encuentra en el [Anexo 7.3](#). De nuevo, se incluye como un PDF individual para facilitar la impresión para los alumnos.

2.6. PRODUCCIÓN 4.

En esta última producción se busca conseguir el punto óptimo del proceso productivo para la simulación realizada en Minecraft, de forma que permita cumplir los objetivos marcados en la producción y satisfacer plenamente las especificaciones de los clientes.

A partir de todo el trabajo realizado en las tres producciones anteriores, el análisis de resultados, los conocimientos adquiridos y los obstáculos superados, se pueden desarrollar e implementar en el proceso cambios muy exigentes y precisos, que otorguen el salto de calidad perseguido al proceso.

Estos cambios, desarrollados a continuación, implican desde grandes transformaciones en el proceso y sus procedimientos, hasta el reajuste de pequeños y minuciosos detalles que doten a la simulación de un sistema óptimo para el mayor aprovechamiento de los recursos disponibles y la consecución ideal de los propósitos.

2.6.1. DISEÑO Y ESPECIFICACIONES.

En la Figura 2.36 se muestra la vista aérea del mapa creado para la cuarta y última producción. En este caso se han vuelto a modificar la distribución de los puestos y las estanterías, además de añadir nuevos elementos. En este apartado se detallan todas las partes específicas introducidas en el mapa con respecto a los mapas anteriores.



Figura 2.36 Vista aérea de la producción 4.

En primer lugar, se han modificado las estanterías de forma que tienen capacidad para mayor cantidad de cofres, Figura 2.37. Además, la colocación de todos los cofres de materiales de forma consecutiva, sin espacios entre medias ha permitido la utilización de una única estantería, en lugar de las 2 utilizadas hasta el momento.



Figura 2.37 Estantería de la producción 4.

En los puestos se han llevado a cabo dos principales modificaciones. En primer lugar, se ha reducido al mínimo su tamaño, eliminando la opción de tener esperas de producto intermedio entre cada uno de ellos. Por otra parte, debido a esta minimización de tamaño, se ha transformado la distribución de la cadena de producción hasta una serie lineal de puestos ubicada, completamente, contra la pared lateral de la Escuela.

Además, se ha implantado otra novedad en cada uno de los puestos, que corresponde a la palanca que se observa en la Figura 2.38. Esas palancas activan, de forma individual, una luz de señalización de cada puesto trabajo,

ubicada, dentro de la pared, en su parte superior; esta luz indica que el operario ha terminado su trabajo en el producto que tiene delante. A su vez, la palanca activa un circuito correspondiente a otro mecanismo mayor, que se explica detalladamente a continuación.



Figura 2.38 Puestos de trabajo de la producción 4.

Antes de explicar el funcionamiento de dicho circuito, en la Figura 2.39 se muestra el sistema de kitting implantado en el proceso, línea amarilla situada en frente de la línea de producción, para el suministro de los materiales exactos a cada uno de los puestos; esta línea sustituye los cofres utilizados hasta el momento en cada puesto. Se observa, en la parte derecha, la zona para la preparación del kitting, junto a la estantería de materiales indicada anteriormente.

El sistema de kitting construido se basa en el mismo mecanismo empleado para los puestos de trabajo, descrito detalladamente en la sección de Mecanismos Comunes a todos los mapas del apartado [2.2 Descripción y fundamentos de los mapas](#). En resumen, este dispositivo se fundamenta en la utilización de pequeñas *montañas* con frenos en la bajada, aprovechando la capacidad que permite Minecraft de parada y arranque de las vagonetas en esas condiciones.



Figura 2.39 Línea de Kitting de la producción 4.

Dado el funcionamiento perfectamente sincronizado del OPF, requerido para la implantación de ese sistema en Minecraft, se necesita un circuito complejo basado en la utilización de las puertas lógicas de los lenguajes informáticos, descritas en el apartado [1.2.2 Circuitos de Redstone](#).

Para ello, se requiere un mecanismo similar al empleado en los puestos en las primeras producciones, pero de forma que permita sincronizar a los 6 puestos a la vez. Por tanto, se ha construido un sistema en el que intervienen todos los componentes del kitting y de la línea de producción cuyo objetivo es el movimiento de las vagonetas de producto y de kitting de forma sincronizada al terminar todos los empleados con sus respectivos trabajos.

Cada uno de los operarios dispone de la palanca, indicada anteriormente, que acciona al terminar su trabajo, activando con ello una parte del circuito. Esta palanca envía dos señales, una que enciende la luz situada encima del puesto, y otra que se dirige al circuito de las puertas lógicas. Una vez que todos los puestos han terminado con su trabajo respectivo, es decir, que todas las luces de los puestos se encuentran encendidas, se activa el mecanismo que presenta el siguiente funcionamiento:

En primer lugar, se utiliza la puerta lógica “AND” que emite una señal eléctrica solamente cuando recibe señal de los dos caminos de *Redstone* precedentes, es decir, que entran en la puerta. Cada uno de esos caminos de *Redstone* pertenece al circuito individual que sale de las palancas de los operarios y que se activa cuando el operario ha terminado el trabajo. Además, debido a la imposibilidad de comparar las señales de los 6 puestos directamente con una puerta “AND”, la comparación de los circuitos se realiza dos a dos, obteniendo de cada comparación una señal resultante. Estas señales resultantes siguen el mismo proceso de confrontación dos a dos con las demás resultantes, repitiendo el proceso hasta que quede una señal única.

Todo eso conforma un mecanismo triangular en forma de tarta con distintos niveles, Figura 2.40, cuya única señal de salida se activa cuando todas las palancas de los puestos de operarios se encuentran activadas al haber terminado estos su trabajo.

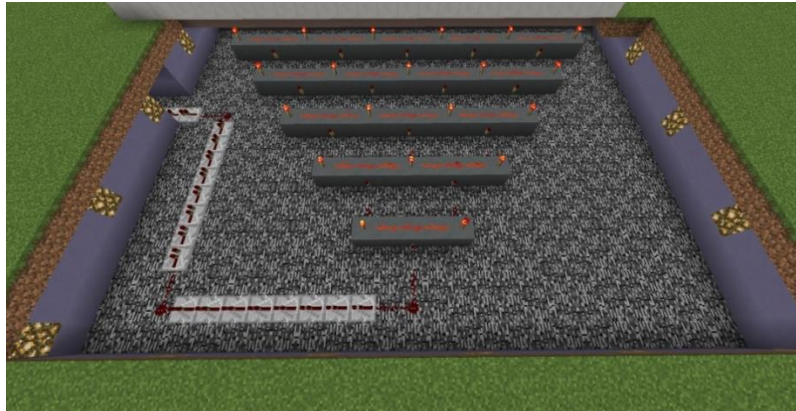


Figura 2.40 Mecanismo especial de la producción 4.

Uno de los inconvenientes que surgen en la implantación del mecanismo es que la activación de las palancas envía una señal eléctrica constante, es decir, que debe ser desactivada manualmente. Entonces, el sistema necesita una señal tipo pulsador para funcionar correctamente, al igual que las utilizadas en los puestos de las producciones anteriores. Esto se debe a que la señal tipo pulsador permite controlar que las vagonetas avancen y paren exactamente en el siguiente puesto; de lo contrario, con una señal constante podrían avanzar varios puestos antes de detenerse, arruinando la producción.

Dado que los operarios de cada uno de los puestos no terminan su trabajo exactamente al mismo tiempo, no se pueden sustituir las palancas por un pulsador de señal instantánea. Por ello, la solución proporcionada al problema consiste en mantener las 6 palancas de los puestos para proveer al sistema de una señal constante y, a su vez, habilitar un botón en un puesto logístico, en la zona central de la fábrica (Figura 2.41) con vistas de todos los puestos, que haga las veces de pulsador. Entonces, la señal de este pulsador se añade también al mecanismo de la Figura 2.40, proporcionando un nivel más de comparación.



Figura 2.41 Puesto logístico, para visualizar las luces, con el botón de accionamiento.

Este botón ha de ser pulsado por un logístico justo después de que se active la última de las palancas de los puestos; de esta forma, se emite una

señal de corta duración que permite encender todo el sistema y, con ello, que las vagonetas reciban el impulso para avanzar al siguiente puesto. En el caso de que se active el botón sin estar todas las palancas de operarios activadas, el sistema no se enciende debido a la negativa de la comparación de señales en las puertas lógicas “AND”.

La señal que sale del mecanismo descrito anteriormente debe ser cambiada de signo para conseguir activar los puestos de trabajo; para ello, se introduce un negador, Figura 2.42-a, que apaga la señal eléctrica cuando le llegue señal del circuito y viceversa.

Una vez cambiada de signo, esa señal llega por los circuitos subterráneos hasta conectar con cada raíl impulsador (en las bajadas de los puestos) o con los mecanismos que sea necesario activar. En cada uno de esos puntos de conexión, se consigue el funcionamiento y la aplicación del impulso, en el momento adecuado, mediante la utilización de un nuevo negador de la señal. En la Figura 2.42-b se observa el negador correspondiente a la señal que llega al último puesto de la cadena.



Figura 2.42 a) y b) Negadores del mecanismo especial de la producción 4.

Además de suministrar energía a los raíles impulsores de los puestos de la cadena principal, el mecanismo también proporciona energía a los raíles impulsores de la línea de Kitting. De esta forma, se consigue que las vagonetas de ambas líneas se muevan de forma simultánea, simétrica y sincronizada para cada uno de los puestos. Además, la línea de Kitting cuenta con una parada y una vagoneta más, correspondientes a la zona de preparación del Kitting.

El dispensador de vagonetas de salida, utilizado en las producciones anteriores, se activa también con el mecanismo al hacerle llegar impulsos por

una rama del circuito, lo que permite automatizar todo el proceso. A lo largo de todo este sistema de circuitos se introducen múltiples repetidores para amplificar la señal y retrasar en el tiempo su acción, cuando sea necesario, para evitar el choque de vagonetas.

Es importante remarcar que, dada la complejidad del circuito y el tiempo de reacción en Minecraft de las puertas lógicas y demás mecanismos implementados, al utilizar todo este mecanismo se crea un retardo apreciable desde que se pulsa el botón hasta que todo el circuito recibe la señal y las vagonetas se ponen en movimiento. Este retardo de la acción del mecanismo es inevitable, por lo que la única medida posible a tomar es no tener en cuenta ese tiempo, de aproximadamente 15 segundos, entre productos tanto a la hora de trabajar como en el análisis de los datos finales (por ejemplo, aumentando el *takt time* una cantidad de tiempo igual a la duración del retardo y no teniendo en cuenta ese tiempo a la hora de cronometrar).

El resto de los elementos del mapa se mantienen iguales respecto a las anteriores producciones, a excepción de una pequeña ampliación exterior de la pared lateral izquierda de la Escuela para disimular todos los mecanismos descritos anteriormente.

2.6.2. PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS.

En esta última producción son varias las herramientas, técnicas y modificaciones realizadas: el Kitting y OPF como principales y otras secundarias que se comentan a continuación.

En primer lugar, las estanterías se han modificado, adecuándolas al proceso de kitting para el que son requeridas, lo que permite disminuir su número y cambiar su localización a una zona contigua a las líneas de proceso. Así, se facilita en gran medida la implantación de la línea de Kitting y se minimiza el espacio de la Escuela empleado para este proceso. De cara a los alumnos, este cambio representa una reforma mediante la inversión de la empresa en esta nueva estantería, que resiste un peso mayor y, por tanto, más cofres, con lo que se mejora el aprovechamiento del espacio.

También se logra un mejor aprovechamiento del espacio gracias a la notoria reducción del tamaño de todos los puestos y a la agrupación de todos los componentes del proceso en el mínimo área posible en un lateral de la sala. No obstante, a pesar de la reducción del espacio ocupado por los puestos respecto a anteriores producciones, la construcción de la línea de kitting, de similares dimensiones, reduce ese efecto.

El diseño de la línea de kitting implantada está condicionada, principalmente, por las limitaciones de construcción con bloques del juego, puesto que en la vida real es común que este Kitting pueda llegar más cómodamente al operario, y requiriendo menos espacio.

Algo similar ocurre con el puesto del logístico diseñado con el objetivo de pulsar el botón para el avance del sistema, una vez han realizado el trabajo todos los operarios, debido a que no se puede implementar que ese sistema sea capaz de guardar la señal de los botones hasta que sea pulsado el último de los 6 puestos. En la Escuela real bastaría con construir una cinta que transporte los kits a una velocidad optimizada para el proceso, o simplemente que sean los operarios los que vayan empujando las cajas del kitting al puesto siguiente. Entonces, al ser un puesto implementado únicamente para la simulación en Minecraft, se recomienda que no se tenga en cuenta en los resultados de las simulaciones el tiempo empleado en ello, ni se considere un puesto específico.

Para finalizar, se detallan las metodologías a seguir para las dos principales herramientas Lean implementadas en este mapa: el OPF y el Kitting. El *One Piece Flow* requiere una exquisita coordinación y equilibrio entre las etapas del proceso, ya que un único fallo en uno de los puestos produce un retraso de toda la cadena. Análogamente ocurre en la simulación de Minecraft, dado que si uno de los puestos tiene dificultades o trabaja a un ritmo inferior al del resto de la cadena se ocasiona un retraso a los demás operarios que hayan activado antes la palanca de avance.

Sin embargo, las ventajas que proporciona el trabajo con OPF son muy satisfactorias, ya que se consigue reducir al mínimo el stock de producto intermedio, minimizando con ello los costes asociados de la producción. Además, se logra eliminar por completo la posibilidad de que se produzca el problema de colisión de vagonetas en cola en el puesto que sea cuello de botella.

Por otra parte, el Kitting es una gran mejora tecnológica para la línea de producción que favorece la disminución del stock de componentes en el puesto en cada instante, hasta la cantidad necesaria para un único producto. Cabe recordar, que las piezas y componentes del almacén no se consideran stock, dado que se simula el suministro de materiales según la ideología *Just in Time* con el proveedor, recibiendo en el almacén directamente los materiales esenciales para la producción, con muy poco margen de tiempo, lográndose un stock mínimo. Por tanto, los costes asociados al inventario de cada pieza se contabilizan desde que salen del almacén hasta que son utilizadas en el producto, es decir, prácticamente solo el en curso.

Otro de los puntos fuertes del correcto funcionamiento del kitting consiste en la supresión total de los fallos y equivocaciones de piezas en el montaje por parte de los operarios. Esto se debe a que, en cada uno de los puestos, el trabajador se limita solamente al montaje, dado que recibe únicamente las piezas específicas del producto, evitando, de este modo, que se pierda tiempo en pensar y escoger las piezas necesarias para cada producto. Entonces, las posibles equivocaciones del operario son fácilmente identificables al comprobarse que faltan o sobran piezas en el kitting correspondiente.

Respecto a la forma de preparación de los kits, se puede dejar a elección de los alumnos la configuración base de un kit, de forma que puedan comprobar las dificultades para obtener un diseño cómodo y sencillo para todos. En cualquier caso, el diseño planteado en este TFM para la elaboración de los kits propone un modelo de kit sencillo y fácil de trabajar.

El kit seleccionado se basa en plantillas semejantes a las elaboradas para cada uno de los 8 productos, y consiste en la colocación de las piezas del producto según los puestos; en la Figura 2.43 se observan los materiales que corresponden a cada puesto. La disposición de los componentes se realiza ubicando los materiales de cada puesto en la primera de sus respectivas columnas de trabajo, situando siempre el material del color principal en la primera fila y el secundario en la segunda. Por ejemplo, el puesto 4 que se encarga del montaje de las columnas 6-7, tiene sus materiales agrupados en la columna 6, mientras que el puesto 5 que se ocupa del montaje de la 8-9 tiene todos sus materiales acumulados en la columna 8. La excepción es el puesto 1 que monta las columnas 1-2 y sus materiales están repartidos entre ambas al contener, además, los indicadores de producto.

La Figura 2.43 corresponde al Kitting del mismo producto que se ha utilizado como ejemplo de plantilla en el apartado [2.1 Selección y Fabricación del producto](#).

























	P1	P2	P3	P4	P5		
							
							
							

Figura 2.43 Ejemplo de kit para el producto: “Lingote de hierro-Redstone-Crema de Magma”.

Con esta última producción se logran optimizar los recursos disponibles en la Escuela, disminuyendo en gran medida todos los despilfarros cometidos en las anteriores simulaciones. Los principales desperdicios abordados y minimizados en esta cuarta producción son el espacio requerido para el proceso, el tiempo de ciclo necesario, los inventarios de piezas y productos intermedios, los fallos en las especificaciones de los productos y, con ello, los recursos empleados en el retrabajo.

Con todo esto, se considera alcanzado un alto nivel de automatización y optimización de la fábrica mediante las técnicas Lean empleadas, aunque se requiere la constante mejora continua a lo largo del tiempo, aspecto clave en la metodología Lean. No obstante, estas suposiciones teóricas se comprueban y contrastan en la simulación de los mapas creados para cada producción en el apartado [3. Resultado de las Simulaciones](#), obteniéndose las conclusiones oportunas.

2.6.3. FICHAS DE TRABAJO PRODUCCIÓN 4.

La ficha de trabajo correspondiente a la producción 4 se encuentra en el [Anexo 7.4](#). Al igual que el resto de fichas, se incluye como un PDF individual para facilitar la impresión para los alumnos.

3. RESULTADO DE LAS SIMULACIONES.

Una vez se ha terminado el desarrollo y construcción de los mapas de cada una de las 4 producciones en Minecraft, según las características y especificaciones descritas en el capítulo [2. Estudio Práctico](#), se han llevado a la práctica las simulaciones de dichos mapas.

El objetivo principal del diseño y construcción de estos mapas en Minecraft es facilitar la labor docente y el aprendizaje de los conceptos y herramientas Lean, permitiendo que los alumnos puedan simular el funcionamiento de la Escuela Lean desde el aula y trabajar con las herramientas Lean implementadas. De esta forma, los alumnos pueden conocer la actividad que se desarrolla en la Escuela Lean antes de visitarla, o simplemente trabajar en ella de forma virtual en el caso de que no tengan la oportunidad de conocerla.

Por ello, en el desarrollo del presente TFM se han simulado de forma real cada uno de los mapas definidos en el capítulo anterior con el objetivo de comprobar su correcto funcionamiento, corregir posibles errores y verificar que se consiguen los resultados y aprendizajes deseados. Con este propósito, en esta fase se han implicado hasta 12 personas que representan a los alumnos de una clase y se han seguido rigurosamente los procedimientos e instrucciones establecidos en esta memoria.

A continuación, se disponen los parámetros y elementos a analizar después de cada una de las producciones para comprobar el funcionamiento y el cumplimiento de los objetivos. A partir de estos parámetros se realiza la comparación final entre las 4 producciones simuladas, lo que permite obtener conclusiones pertinentes acerca del trabajo realizado.

3.1. ANÁLISIS DE PARÁMETROS.

Los diferentes parámetros a analizar después de la simulación de las producciones sirven como indicadores de la situación de la fábrica en cada momento. Su objetivo es comprobar que en las respectivas producciones de la Escuela se obtienen mejoras, de forma progresiva, gracias a las Técnicas Lean aplicadas, reforzando con ello su aprendizaje en los alumnos.

Los parámetros a determinar en las producciones de esta simulación se han seleccionado, entre múltiples opciones, en función de la posibilidad y facilidad de recoger los datos, dadas las limitaciones que ofrece Minecraft en algunos aspectos. A continuación, se enumeran y explican los datos a recoger

y los parámetros que se tienen en cuenta para la comparación entre las distintas producciones.

La primera variable recogida y estudiada es el **tiempo**. Entre los muchos parámetros diferentes, a partir de la medida del tiempo, se utilizan los siguientes:

- Tiempo de ciclo: es el tiempo en el que se ejecuta el trabajo que aporta valor a un producto en cada uno de los puestos.
- Tiempo de fabricación (*lead time*): es el tiempo que transcurre desde que el puesto 1 recibe el pedido de un producto hasta que es fabricado y enviado a la zona de expediciones.
- Otros tiempos útiles que proporcionan información acerca de ciertas situaciones de la producción como, por ejemplo, el tiempo ocioso de los operarios por un desequilibrio de la línea o por fallos en logística.

Teóricamente, todas las mejoras implementadas en el proceso en las distintas producciones contribuyen a una progresiva reducción del tiempo de ciclo y, en consecuencia, del tiempo de fabricación.

Entre la primera y segunda producción se solucionan los problemas de abastecimiento de los logísticos por medio del Kanban. Este hecho, afecta significativamente a la disminución de tiempos ociosos debido a la falta de suministro de componentes y materias primas. La aplicación de las 5S permite reducir de forma relevante el tiempo de ciclo y, por tanto, de fabricación del producto.

Los cambios implementados entre la segunda y la tercera producción no alteran directamente los parámetros de tiempo indicados, aunque el rediseño del layout contribuye colateralmente a su reducción. Por su parte, las modificaciones realizadas antes de la cuarta producción sí que influyen notablemente sobre el tiempo de ciclo y de fabricación del proceso, especialmente la línea de kitting, dado que reducen la dificultad en el trabajo de los operarios. En la cuarta producción, la actividad de los operarios se reduce a montar las piezas concretas que les llegan; por ello, en cada puesto solamente disponen de un único cofre, por lo que el tiempo empleado es menor que al tener que abrir varios cofres.

Por último, se miden otros tiempos que dependen de las diferentes causas que los provocan. Por ejemplo, a partir de la segunda producción los tiempos en los que un operario se encuentra parado por falta de abastecimiento de material deben ser minimizados. Otro caso es el tiempo

ocioso del operario como consecuencia de un mal equilibrado de la línea, que debe ser eliminado a partir de una solución adecuada, como puede ser un reequilibrado de las cargas de trabajo. Aunque estos tiempos dependen de sucesos concretos ocurridos en la producción, son útiles para valorar las causas y adquirir conocimientos acerca del proceso. Por ello, se sugiere controlar los siguientes tiempos.

- Tiempo ocioso de los operarios, por diferentes causas.
- Tiempos de trabajo y ocioso de los logísticos, según la carga de trabajo.
- Tiempo de parada total debido a problemas en la producción.

Para una mayor precisión de esos tiempos se recomienda realizar la media entre varias medidas del mismo procedimiento. En el caso de la producción 4, el tiempo de retardo debido al mecanismo utilizado no debe tenerse en cuenta en el análisis y comparación de datos puesto que se trata de una limitación de Minecraft.

Otro de los factores importantes en el análisis final es la **calidad**. Garantizar la calidad y el cumplimiento de las especificaciones del cliente es uno de los pilares fundamentales en una empresa moderna; en una empresa Lean resulta clave asegurar que el trabajo se realiza bien a la primera y evitar, de este modo, la necesidad de reprocesos.

En este proyecto se consideran 3 categorías del producto en función de la calidad: productos sin defectos, productos con defectos detectados y productos con defectos no detectados. Este factor no considera dónde se encuentra el defecto, ni la cantidad de ellos, aunque esos datos son registrados por el puesto de calidad en su documentación.

- Producto sin defectos: es el objetivo buscado en todas las producciones que requiere de un proceso sin errores para satisfacer directamente el pedido de cliente.
- Producto con defectos detectados: es aquel que presenta errores o fallos de especificación descubiertos en el puesto de calidad. Este producto es enviado a un retrabajo para corregir los defectos encontrados, lo que conlleva un sobrecoste y un retraso temporal del envío a cliente.
- Producto con defectos no detectados: este caso se considera el peor de todos, puesto que el producto defectuoso ha sido enviado al cliente sin que sea detectado por el departamento de calidad, lo que implica una futura reclamación y deterioro de la imagen de la empresa en el mercado.

Para analizar este parámetro de calidad se comprueban, tras cada producción, todos los productos de la zona de expediciones para conocer la

cantidad de productos pertenecientes a cada caso. El proceso desarrollado entre las distintas producciones se orienta hacia una reducción de la cantidad de productos defectuosos. Con ello, se busca elevar el nivel de calidad de las producciones hasta un punto óptimo alcanzado con el uso del Kitting.

Un factor directamente ligado con los dos anteriores es la **satisfacción del cliente**. Por lógica, el consumidor demanda un producto sin ningún defecto y servido en el plazo acordado. Entonces, la satisfacción del cliente se mide mediante los siguientes indicadores: si el pedido ha sido fabricado, si el producto cumple las especificaciones correctamente y si ha salido en el tiempo fijado. Por tanto, se definen las categorías en que se engloban los clientes, en función de los casos descritos según la calidad:

- *Cliente satisfecho*: se corresponde con los productos sin defectos y aquellos pedidos que se encuentran correctamente en fabricación al final de la producción.

- *Cliente insatisfecho*: se traduce en los productos defectuosos o aquellos que no han sido fabricados.

- *Cliente no conforme (reclamación)*: se refiere a los productos defectuosos no detectados a tiempo.

Desde el punto de vista económico y funcional de una fábrica real, es muy importante analizar como parámetro fundamental el **espacio destinado a cada trabajo**. De este modo, en cada producción se analizan distintas áreas empleadas:

- Área de trabajo de los operarios.
- Área de máquinas o puesto de trabajo.
- Área de zona de expediciones.
- Área de almacenamiento, tanto el principal como el de los operarios.
- Área total utilizada.

El área de trabajo de los operarios se disminuye únicamente tras la aplicación de modificaciones en las máquinas entre la tercera y cuarta producción.

El área de la zona de expediciones se mantiene constante durante todas las producciones, ya que no se implementa ninguna modificación que le afecte. Esta área puede ser o no considerada en el análisis del área total dado que representa los productos que salen directamente a cliente y solo se utiliza para la comprobación de los productos al final de la producción.

El área de almacenamiento intermedio de los operarios está relacionada con los cambios que se implementan en las máquinas o puestos en la última producción, y el área del almacén general varía en los cambios en las estanterías realizados en las producciones 3 y 4.

Por último, el área total empleada en el proceso de producción depende de la distribución en planta de los puestos y estanterías, la cual es ampliamente modificada en las producciones tercera y cuarta.

Otro de los puntos de interés en una fábrica real es el **personal** requerido para el proceso en cada momento, con la constante intención de reducir su cantidad al mínimo necesario para abaratar los costes. En el análisis de personal se computan los operarios, los empleados logísticos y el responsable. En principio, el profesor y los cronometradores no se incluyen en este recuento.

El objetivo respecto a este parámetro es la progresiva disminución del número de empleados logísticos en la planta, debido al diseño realizado de los mapas y las condiciones y mejoras implementadas en cada producción, que simplifican su trabajo y, por tanto, reducen la necesidad de logísticos. Por ejemplo, si en la primera producción se considera que 4 logísticos son suficientes, este número se va reduciendo paulatinamente hasta trabajar únicamente con 2 en la producción con kitting¹.

En relación a la cantidad de empleados está el factor de **equilibrado de las líneas**, que al ser ajustado permite reducir, también, el número de operarios. El producto está diseñado para que sea posible, fácil y viable la modificación del equilibrado de las líneas. Por ejemplo, aumentar la carga de trabajo del puesto 1 asignándole también la del puesto 3, lo que permitiría eliminar esta última ocupación. Además, llegado cierto punto de aseguramiento de la calidad absoluta en todo el proceso se podría pensar en suprimir el puesto de calidad o asignarle otras tareas.

El inconveniente que ofrece el reequilibrado de la línea por parte de los alumnos en estas simulaciones es que conlleva la modificación de elementos en los mapas de Minecraft, como, por ejemplo, los almacenes intermedios, y para ello es necesario tener alguna noción básica del juego. En cualquier caso, existe la posibilidad de llevarlo a cabo y su aplicación se deja a elección del profesor y la capacidad de los alumnos para realizarlo.

También, es un factor muy importante en las empresas el **dinero** y la gestión económica de las inversiones realizadas. Por ello, se examina y

¹ En este último caso, la persona encargada de dar al botón de avance de todo el circuito de vagonetas no se considera logístico, sí solamente realiza esa tarea.

determina el dinero necesario a invertir por la empresa para comenzar la producción y aquel que se encuentra invertido en el proceso al final de la misma.

Para poder llevar a cabo ese análisis, se fija un valor de 100€ a cada pieza del producto final (panel de cristal o indicador), un valor de 2.000€ a cada vagoneta en curso y un valor de 7.000€ a cada producto terminado pero no vendido; es decir, correspondiente a una sobreproducción por una mala planificación. De este modo, se puede calcular cuánto dinero necesita la empresa para comenzar la producción y cuánto dinero queda invertido en ella tras la producción.

En este punto, conviene recalcar que las piezas y componentes tomados del almacén se consideran propiedad de la empresa a partir del momento en el que salen del almacén para ser utilizadas; hasta ese momento, son posesión del proveedor que las suministra. Igualmente ocurre con las vagonetas que salen del primer puesto para transportar el producto. Por tanto, todos estos reaprovisionamientos de materiales del almacén no se tienen en cuenta en el parámetro económico.

Un indicador cualitativo importante en la evaluación del resultado de las producciones son las diferentes **incidencias** que ocurren durante su desarrollo y que no se ven reflejadas en ninguno de los parámetros anteriores. Estas incidencias son aleatorias, generalmente debidas a las ciertas limitaciones de la producción, de los propios alumnos, u otro tipo de situaciones aisladas que son interesantes de analizar. En cualquier caso, el objetivo del estudio de dichas observaciones es el análisis en grupo para encontrar su **causa raíz** y suprimirla.

El último parámetro a interpretar, que guarda cierta relación con el anterior, son las **ideas propuestas por los alumnos**. La finalidad de las simulaciones realizadas es estimular y promover en los alumnos el interés por mejorar un proceso productivo a partir de los conocimientos adquiridos previamente para debatir y consensuar en grupo la obtención de conclusiones razonadas. Por ello, se recoge como un parámetro útil a mostrar la aportación de ideas y planteamientos nuevos por parte de los alumnos, independientemente de que al final hayan sido o no aplicados tras la revisión y consejo del profesor.

Finalmente, el análisis y estudio de resultados queda abierto para la inclusión de cualquier otro parámetro característico, propuesto por los alumnos, que pueda resultar interesante y eficaz en el objetivo de mejorar el proceso productivo. Para ello, teniendo en cuenta las posibilidades que ofrece

la simulación en Minecraft que, en ocasiones, difieren bastante de las que brinda la producción real.

A continuación, se lleva a cabo el análisis de todos los parámetros descritos anteriormente para unos resultados concretos, obtenidos en la simulación real de las producciones realizadas de la Escuela Lean en Minecraft.

3.2. COMPARACIÓN DE RESULTADOS.

En la elaboración de este proyecto se ha realizado un experimento de prueba con hasta 12 personas que participaron y trabajaron en la simulación de los mapas confeccionados de las 4 producciones. La finalidad de la experiencia era comprobar el correcto funcionamiento de los mapas creados y el cumplimiento de los propósitos marcados inicialmente, con gente real que representa a los alumnos de una clase.

Las personas que participaron en las simulaciones fueron recopiladas por amistad con los autores del TFM, por lo que, en general, la mayoría no disponía de conocimientos sobre logística y sus técnicas Lean, y muchos de ellos tampoco conocían el juego Minecraft, utilizado de soporte de la simulación. Estas condiciones son las óptimas, ya que permiten hacer las comprobaciones con personas en una situación similar a la que se pueden encontrar habitualmente los alumnos en una clase de Grado o Máster.

Por ello, los resultados y conclusiones obtenidas en este ensayo son perfectamente extrapolables a los conseguidos en una clase normal de alumnos y el análisis realizado se puede asemejar perfectamente. Además, por medio de esta simulación se pudo verificar la calidad y funcionalidad de las instrucciones elaboradas de Minecraft y las respectivas a cada producción que se recogen en los [Anexos](#) de este TFM.

A continuación, se comenta la simulación realizada de las distintas producciones, haciendo hincapié en los parámetros de estudio planteados en el apartado [3.1 Análisis de Parámetros](#), y en los sucesos reseñables ocurridos de cada una de ellas.

3.2.1. PREPARACIÓN DE LAS PRODUCCIONES.

Previamente al inicio de la simulación de la producción 1, se contemplan varias cuestiones. En primer lugar, se buscó la forma para proporcionar a todos los compañeros la posibilidad de entrar en el juego Minecraft, ya que solamente 4 personas disponían de él anteriormente.

En segundo lugar, a cada uno de los participantes se les entregó el [Tutorial de Minecraft](#) y las [Fichas de Trabajo de las Producciones](#), con varios días de antelación a la simulación, de forma que pudieran leerlo para tener las nociones básicas necesarias tanto de Minecraft como de la Escuela Lean. Además, se comprobó que todos los integrantes del experimento dispusieran de conexión a internet y Skype con auriculares y micrófono para establecer la comunicación necesaria antes, durante y después de cada producción.

Para la simulación de los mapas desarrollados se utilizó un servidor particular creado y administrado desde el ordenador personal de Álvaro, con una capacidad de 20 personas, por lo que todos los participantes trabajaban conectados al servidor desde su domicilio. Una vez se consiguió, solucionando diversos problemas de conexión, que todos los integrantes entrasen en el servidor de Minecraft y en la conversación de Skype, se procedió a repartir los roles y recordar brevemente las funciones de forma individual.

De antemano, es importante mencionar que los autores del TFM se encargaron de los puestos de mayor trascendencia en la fábrica de forma que pudieran asignar los puestos de la mejor forma y guiar a los compañeros en lo que pudieran necesitar. Además, una vez comenzada la simulación de las producciones, fue necesaria la reasignación de algún puesto debido a problemas aislados, originados por factores externos como la potencia del ordenador y la conexión a internet.

En las producciones solamente se otorgó la capacidad de volar en Minecraft a los responsables del TFM para que tuvieran visión de toda la Escuela en caso de que fuera necesario algún control, y a otro jugador encargado de grabar la producción desde la altura. Las funciones ejercidas por los autores del TFM fueron las siguientes: Álvaro fue responsable de la producción y encargado del control de la fábrica y Jesús empezó desempeñando el rol de cliente y encargado de la zona de expediciones.

En cuanto a la asignación de los puestos de operario de la línea de producción, no se realizó de forma aleatoria, sino que se estudiaron, de forma concisa, las características y aptitudes necesarias. Los puestos de trabajo considerados de menor dificultad son el 1, 3 y 6: esto se debe a que el puesto

1 solo monta una columna y los indicadores de atributo, lo cual facilita mucho su trabajo, mientras que el puesto 3 se encarga del montaje de una columna, y el puesto 6 de calidad solo tiene la función de revisar el producto, y requiere un tiempo inferior.

Se considera que el cuarto puesto es el más crítico de la línea y que puede suponer el cuello de botella, debido a que tiene el montaje de dos columnas del producto y que el puesto 3, al tener menos carga, le suministra productos más rápidamente de los que puede absorber. A partir de esas consideraciones, se decidió asignar los puestos más críticos, 1, 4 y 5 a personas que conociesen Minecraft y pudieran realizar las tareas con más soltura.

El puesto 2 fue asignado a una persona sin ningún conocimiento previo del juego, para evaluar las diferencias, sabiendo que sus posibles retrasos de tiempo no afectarían al puesto 3 ya que, aunque también estaba ocupado por una persona novata, entraña menos dificultad. Lo mismo sucede con el puesto 6.

Respecto al puesto de logístico, dado que en la primera producción se requieren 4 personas, se eligieron 2 compañeros con conocimientos de Minecraft y 2 sin ellos, buscando mantener esa proporción en el resto de las siguientes producciones.

Por último, las simulaciones realizadas consisten en 15 minutos de cada producción para la fabricación de 15 pedidos de cliente, es decir 1 cada minuto (*takt time*). A diferencia de cómo se realiza en el curso real de la Escuela Lean, en estas producciones no se cuenta con stock inicial de producto terminado, por lo que se consideran satisfechos los pedidos de cliente que al terminar el tiempo de producción se encuentren en curso en la línea. La duración del tiempo de producción y, por consiguiente, la cantidad de pedidos de cliente, puede ser aumentada por el profesor si lo estima oportuno, ya que para estas simulaciones se fijó en 15 minutos dada la dificultad de gestionar la tarea de tantas personas a través de internet.

3.2.2. PRODUCCIÓN 1.

En esa primera producción el número de empleados requeridos son un total de 12 personas, que se reparten de la siguiente forma: 6 operarios de los puestos, 4 logísticos para el suministro de material, 1 encargado de hacer de cliente y un responsable del proceso productivo.

Inicialmente, en la preparación de los 5 productos en curso con los que comienza cada uno de los puestos la producción se detectó un problema de cuello de botella en el puesto 3. Este hecho imprevisto en el puesto, teóricamente, más simple era debido a una mala conexión del ordenador del operario que impedía que Minecraft funcionase de forma fluida. Por esa razón, Jesús intercambió su cargo de cliente con el operario del tercer puesto de la línea y su cargo de responsable de expediciones se le reasignó a Álvaro. El compañero que representa el cometido de cliente elaboró un listado de 15 productos aleatorios que iba a pedir al responsable paulatinamente a lo largo de la producción.

Además, en los instantes previos al comienzo de la producción, los logísticos se organizaron y repartieron para proveer de materiales a cada puesto; para comunicarse entre ellos y recoger los pedidos del operario utilizaron tanto Skype como el chat de Minecraft. De esta forma, cuando el operario se iba quedando sin piezas en el puesto podía avisar por voz al logístico y una vez que se le terminaban todas las piezas escribía el pedido en el chat, especificando el puesto que las solicitaba y el material a reponer.

Este método de comunicación facilita en gran medida el trabajo de los operarios y logísticos, puesto que no se había implementado ninguna forma específica para notificar los pedidos. Esta es la razón por la que durante esta producción se obtuvieron menos errores de aprovisionamiento de lo que en un principio se podía esperar. No obstante, el inconveniente principal de este sistema es que había un exceso de ruido provocado por múltiples conversaciones simultáneas, lo que en ocasiones dificultaba mucho el entendimiento.

También, se permitió a los logísticos aplicar, bajo su propia iniciativa, unas precarias 5S en los almacenes antes de empezar la producción. Se trata de una escueta organización y colocación de los materiales en las cajas del almacén en conjuntos de 30 unidades para facilitarles la tarea de coger los materiales de reposición. Aunque algunos operarios también copiaron esta idea, ninguno de los empleados optó por deshacerse de los productos inservibles que había en las cajas, lo cual se atribuye a la falta de conocimiento de las 5S.

En la Figura 3.1 se observa la Escuela Lean de la producción 1 en instantes previos al comienzo, en los que cada empleado se centra en su trabajo y en preparar su ocupación.



Figura 3.1 Instantes previos a la Producción 1 con todos los empleados en su puesto.

Tras la preparación previa, tuvo lugar el inicio de la producción de la que, a continuación, se reseñan los sucesos más importantes.

A pesar de la libertad que se les otorgó y del elevado número de logísticos empleado, aunque fueron más eficientes de lo esperado, no se consiguió evitar la aparición de fallos. Aparte de un elevado desorden a la hora de organizarse entre ellos y con los operarios, y de la molestia acústica y visual ocasionada al resto de empleados por las voces y el chat, varios operarios tuvieron algún tiempo ocioso en la producción de su puesto por tener que esperar a la reposición.

En una ocasión, producto de la descoordinación, dos de los logísticos respondieron al mismo pedido y repusieron dos veces el mismo cofre. También, hubo errores en el suministro de paneles de cristal, por equivocación de los colores, lo que conlleva a retrasos en la producción de los puestos. Además, dado que se contaba con hasta 4 empleados logísticos para realizar la reposición, gran parte del tiempo se encontraban

desocupados. De todo esto, se concluye que se utiliza un exceso de recursos humanos y la necesidad de un método estandarizado para reponer los materiales de los puestos y una organización de la tarea de los logísticos.

Por otra parte, los operarios tuvieron problemas relacionados, principalmente, con el uso de las vagonetas de producto. Por ejemplo, hasta en dos ocasiones, los operarios pulsaron más de una vez al botón de avance con lo que tuvieron que salir de su zona de trabajo para terminar el producto en el siguiente puesto de su compañero. Además, uno de los operarios, dado un retraso en su producción, acumuló un exceso de productos intermedios en cola, lo que produjo el choque de las vagonetas (Figura 3.2).

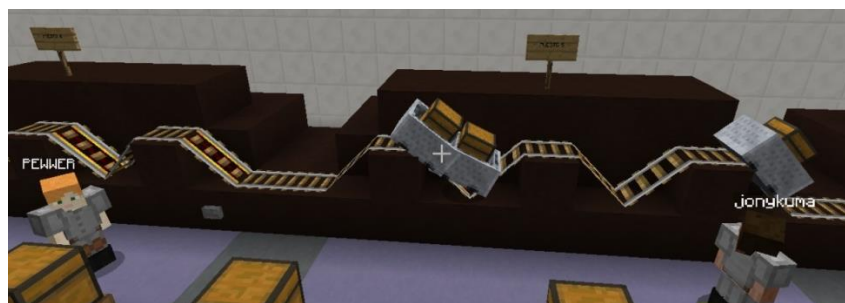


Figura 3.2 Exceso de acumulación de productos en curso en un puesto.

Además, una vez finalizada la primera producción, se descubrió que el operario del puesto 2 había incumplido los estándares de trabajo exigidos, cogiendo más peso del permitido con más de 3 piezas a la vez. Por esta razón, en el puesto no se acumulaban productos y sacaba pronto su producción, que se refleja en la obtención de tiempos bajos; por ello, los tiempos no son verídicos ni fiables para esta producción. En las siguientes producciones se esclarecen mejor los estándares utilizados para evitar esos fallos por descuidos.

En la Figura 3.3 se observan los productos fabricados en la zona de expediciones como resultado de la primera producción.



Figura 3.3 Zona de expediciones con los Productos Terminados en la Producción 1.

A continuación, en la Tabla 3.1, se resumen los resultados recogidos en esta producción de los parámetros descritos anteriormente.

	Puesto 1	Puesto 2	Puesto 3	Puesto 4	Puesto 5	Puesto 6
Tiempo ciclo (m:ss)	1:07	1:27	0:52	1:18	1:21	1:05

	Cantidad
Productos Terminados	11
Productos OK	7
Productos NOK	3
P. con Fallo no detect.	1
Productos en curso	4
Sobreproducción	1
Pedidos sin cubrir	1

	Nº trabajadores
Operarios	6
Logísticos	4
Responsable	1
Cliente	1
TOTAL	12

	Cientes
Cientes Satisfechos	10
Cientes Insatisfechos	4
Cientes con Reclamación	1

	Área (m ²)
Zona Máquinas	240
Zona Operarios	180
Almacén Intermedio	60
Almacén General	42
Zona Expediciones	188
ÁREA TOTAL	2417

Tabla 3.1 Resumen de resultados obtenidos en la Producción 1.

Es importante matizar que algunos de los resultados obtenidos en esta primera producción han sido bastante mejores de lo esperado y de lo que ocurrirá habitualmente en la simulación de este mapa. Esto se debe a que los resultados no se han visto muy afectados por los fenómenos de sobreproducción y del trabajo por lotes, así como el número de productos fabricados.

En cuanto al número de productos terminados fabricados en la línea, es más elevado de lo que se esperaba por ser la primera vez y ligeramente superior al de la segunda producción, lo que va en contra del sentido de las mejoras realizadas. Sin embargo, este resultado se justifica como consecuencia de la no aplicación fiel, en esta primera producción, de los estándares y normas de trabajo implantados, como se comenta anteriormente en los sucesos reseñables.

Respecto a los productos finales de no conformidad de la calidad se trata de un número lógico para una primera producción, pudiendo ser normal incluso que fuera peor. El producto con reclamación por fallo no detectado a tiempo se debe a un fallo en el pedido a la línea de producción, pues el producto está fabricado correctamente, pero no es la variedad pedida por el cliente.

En cuanto a la baja sobreproducción obtenida con respecto al resto de producciones se atribuye, principalmente, a dos causas. La primera de ellas, corresponde a la experiencia previa de Álvaro en el puesto de responsable de los pedidos de producción en la Escuela Lean y a ser uno de los diseñadores de los mapas, lo que le permitía conocer de antemano la complejidad de planificar los pedidos y cómo minimizar los problemas que surgen.

La segunda causa de la baja sobreproducción, y posiblemente la más relevante, corresponde a la suerte en la elección aleatoria de los pedidos de cliente, que minimizó las consecuencias habituales en el trabajo por lotes de 4 productos. Así, a mitad del desarrollo de la producción, cuando aún quedaban 7 productos por fabricar, había 5 productos en almacén que nadie había pedido (sobreproducción). Esto último es lo lógico debido a que los pedidos iniciales del responsable de la fábrica, previos al comienzo de la producción, se realizan sin saber los pedidos del cliente, a lo que se añade la limitación del trabajo por lotes. Sin embargo, en la segunda mitad de la producción los pedidos realizados por el cliente coincidieron perfectamente con los lotes que se estaban fabricando y con los productos que estaban en el almacén por sobreproducción.

De este modo, de los 5 últimos pedidos de cliente realizados, se fabricó uno de ellos, otro no se pudo producir ya que implicaba un cambio de herramienta tras terminar el lote anterior (del que restaba aún 1 producto) y los otros 3 se correspondían con los 3 productos que quedaban en el almacén terminado. Por ello, se alude a la suerte y a la aleatoriedad en el resultado de sobreproducción, cuyos efectos son bastante más notables en la segunda producción al continuar con el trabajo en lotes de 4. El análisis y comparación de las áreas requeridas para el proceso productivo se realiza de forma conjunta para todas las producciones en el apartado [3.2.6 Conclusiones](#).

El resto de parámetros obtenidos se encuentran dentro de las previsiones esperadas en la realización de los mapas de las producciones. Así, los tiempos de ciclo medios obtenidos del trabajo de cada puesto son razonables y esperados ya que se encuentran dentro de los límites calculados en pruebas que se realizaron previamente durante la elaboración de los mapas. Se observa que existe gran margen de mejora de estos tiempos, con la optimización realizada del proceso y la experiencia adquirida por los operarios a lo largo de las simulaciones. Los puestos con más carga de trabajo (2, 4 y 5) son los que obtienen los tiempos superiores. Además, se acentúan los tiempos de los operarios novatos en Minecraft (2 y 6), que se encontraron con dificultades en el manejo del personaje. Los puestos 1 y 3 con menor carga y

más experiencia de los empleados son los que obtienen tiempos más bajos, como era de esperar.

3.2.3. PRODUCCIÓN 2.

En la segunda producción se mantuvieron los mismos cargos que en la primera, con la diferencia de que se redujo en una unidad la cantidad de logísticos, debido a las conclusiones obtenidas en la anterior producción y a las mejoras que se van a aplicar. Por tanto, el número de trabajadores en esta segunda producción fue de 11.

Al igual que en la primera producción, se permitió a los logísticos colocar los materiales de las cajas del almacén en conjuntos de 15 unidades para facilitar su recogida durante la producción. Esta vez, dadas las mejoras con la implementación del Kanban, se prohibió hablar directamente con los operarios tanto por voz como a través del chat.

Tras la preparación previa, se llevó a cabo la producción en la que destacan una serie de sucesos. En esta ocasión, el trabajo de los logísticos, a pesar de ser uno menos, fue más organizado debido a una mayor comunicación entre ellos y a que se repartieron por zonas para reponer a los operarios. Con ello, se consiguió eliminar los fallos de descoordinación en la reposición de un puesto como, por ejemplo, acudir dos logísticos a realizar la misma tarea o desatender un pedido por un malentendido.

Debido a la implantación del Kanban y la estandarización de la cantidad de material en los cofres en cada puesto, se eliminaron por completo los tiempos ociosos de los operarios de parada por falta en el suministro de material. En relación a la aplicación de las 5S, no se aprecian grandes diferencias con respecto a la primera producción, dado que ya se les permitió ligeramente pre-organizar sus cajas de material.

No obstante, se redujeron los errores en el suministro debidos a las confusiones de los colores de los materiales y a la mezcla de diferentes piezas desordenadas en los cofres. Únicamente, se produjo un error de color en la reposición del puesto 4, que fue rápidamente comunicado por el operario y subsanado por el logístico. A partir de esta producción, se eliminan completamente esos problemas por los colores debido, en gran medida, a que se utilizan los estandartes de colores en las estanterías y se eliminan del almacén los 6 paneles de colores diferentes no utilizados.

En esta producción, no hubo incidentes importantes en el trabajo de los operarios que, ésta vez, siguieron correctamente las normas y estándares impuestos. A continuación, en la Tabla 3.2 se resumen los resultados finales recogidos en esta producción.

	Puesto 1	Puesto 2	Puesto 3	Puesto 4	Puesto 5	Puesto 6
Tiempo ciclo (m:ss)	1:03	1:25	0:46	1:09	1:10	0:58

	Cantidad
Productos Terminados	9
Productos OK	8
Productos NOK	1
P. con Fallo no detect.	0
Productos en curso	9
Sobreproducción	4
Pedidos sin cubrir	1

	Nº trabajadores
Operarios	6
Logísticos	3
Responsable	1
Cliente	1
TOTAL	11

	Cientes
Cientes Satisfechos	13
Cientes Insatisfechos	2
Cientes con Reclamación	0

	Área (m ²)
Zona Máquinas	240
Zona Operarios	180
Almacén Intermedio	60
Almacén General	42
Zona Expediciones	188
ÁREA TOTAL	2417

Tabla 3.2 Resumen de resultados obtenidos en la Producción 2.

En la Figura 3.4 se observan los productos fabricados en la zona de expediciones como resultado de la segunda producción.



Figura 3.4 Zona de expediciones con los Productos Terminados en la Producción 2.

A la vista de estos datos, se deducen varios resultados de interés. En primer lugar, como era de esperar, al respetar las normativas no se han fabricado tantos productos como en el caso anterior. Por tanto, aún se continúa lejos de completar en tiempo la producción de los 15 pedidos del cliente. No obstante, la tasa de calidad de los productos fabricados ha mejorado con respecto a la primera producción, debido a las mejoras

aplicadas y al hincapié que se ha realizado sobre los empleados, previo a la producción, para disminuir los errores en el suministro y en el montaje.

Los resultados en esta segunda producción son muy cercanos a lo que se espera que ocurra de forma habitual, a diferencia de los obtenidos en la producción 1, que no reflejaban fielmente la realidad, dadas las circunstancias que tuvieron lugar y que provocaron que fuesen mejores que los segundos. En este caso, hay bastante sobreproducción de productos que no han sido pedidos por el cliente, dado que la limitación en el cambio de máquina implica que se continúe trabajando en lotes de 4 unidades que permiten poca flexibilidad de producción. Además, para conseguir cumplir los pedidos de cliente, fue necesario empezar antes a fabricar los dos productos restantes del lote anterior, lo que da lugar a una mayor sobreproducción.

El área utilizada para la implantación del proceso productivo en esta segunda producción se mantiene exactamente igual que en la primera, debido a que no se dan cambios en la distribución física.

El resto de parámetros obtenidos siguen estando dentro de las previsiones esperadas en la realización de los mapas de las producciones.

Los tiempos de ciclo medios de esta producción para cada uno de los puestos no se desvían de la lógica seguida en la primera producción. En este caso, son ligeramente inferiores, lo que se atribuye a una mayor experiencia y destreza en el puesto por parte de los operarios. No obstante, los tiempos obtenidos, a excepción del puesto 3, que corresponde al más simple, siguen siendo superiores al *takt time* del proceso, por lo que el número de productos fabricados no puede alcanzar en ningún caso a los pedidos realizados por el cliente.

Por todo ello, se considera que en la segunda producción se ha tenido una clara mejoría en la calidad de los productos y en la reducción de tiempos ociosos; además, se ha conseguido reducir el personal gracias al progreso realizado con el Kanban y las 5S.

3.2.4. PRODUCCIÓN 3.

En esta tercera producción se mantuvieron los mismos puestos y el número de cargos que en la segunda, por lo que el número total de trabajadores sigue siendo de 11.

Nuevamente, se permitió a los logísticos colocar los materiales del almacén en conjuntos de 15 unidades para una mayor facilidad en su manipulación. Además, debido a que las estanterías del almacén están relativamente lejos de la línea de producción, se les sugirió que uno se encargara de visualizar las notificaciones de luz del kanban para avisar a sus compañeros, desde el centro de la cadena, mientras ellos se ocupaban de preparar y llevar los materiales a los puestos. De este modo, y junto a la autorización para la utilización del picking de varios materiales de forma simultánea, los logísticos pudieron cumplir con las reposiciones en tiempo y forma, a pesar de la distancia existente entre el almacén y los puestos.

Únicamente tuvo lugar un error insignificante en el desempeño de los logísticos; éste se debió a que una lámpara se mantuvo encendida tras la reposición, lo que produjo cierta confusión. Por ello, se considera un éxito en la producción la implementación de las mejoras en el sistema Kanban, los estandartes y el Picking de materiales. Además, tras la producción se observa que existe un margen para seguir reduciendo el número de empleados necesarios, dado que uno de los logísticos solo se ocupaba de avisar y dirigir a los otros, por lo que con una distribución en planta óptima de la cadena se hubiera podido reducir aún más la plantilla.

A continuación, en la Tabla 3.3 se resumen los resultados finales de los parámetros recogidos en esta producción.

	Puesto 1	Puesto 2	Puesto 3	Puesto 4	Puesto 5	Puesto 6
Tiempo ciclo (m:ss)	0:57	1:16	0:45	1:04	1:06	0:49

	Cantidad
Productos Terminados	13
Productos OK	12
Productos NOK	1
P. con Fallo no detect.	0
Productos en curso	5
Sobreproducción	3
Pedidos sin cubrir	0

	Nº trabajadores
Operarios	6
Logísticos	3
Responsable	1
Cliente	1
TOTAL	11

	Cientes
Cientes Satisfechos	14
Cientes Insatisfechos	1
Cientes con Reclamación	0

	Área (m ²)
Zona Máquinas	192
Zona Operarios	108
Almacén Intermedio	36
Almacén General	28
Zona Expediciones	188
ÁREA TOTAL	1432

Tabla 3.3 Resumen de resultados obtenidos en la Producción 3.

En la Figura 3.5 se observan los productos fabricados en la zona de expediciones como resultado de la tercera producción.



Figura 3.5 Zona de expediciones con los Productos Terminados en la Producción 3.

Como se observa en los datos, se obtiene una sobreproducción de 3 productos, cifra inferior a la de la segunda producción, aunque se considera una reducción insuficiente respecto de lo esperado por la utilización del SMED que permite trabajar sin lotes. Este hecho se atribuye a un fallo humano en la planificación de la producción y a las circunstancias concretas que tuvieron lugar en la misma.

En primer lugar, el azar quiso que 2 productos de los 5 en curso con los que se inicia la producción no fueran demandados en ningún pedido de cliente, por lo que no se les pudo dar salida y se quedaron en el almacén.

El tercer producto de sobreproducción fue debido a un fallo en el pedido del responsable de producción a la fábrica, puesto que realizó por duplicado el mismo pedido. Por ello, se considera que la aplicación del SMED sí que fue un éxito, ya que se disminuyó la sobreproducción, aunque no lo hizo del todo por las razones enumeradas, que ocurrieron de forma aislada y por causas ajenas a su aplicación.

La otra novedad principal utilizada es la disminución del área requerida para el proceso productivo en un 40% respecto a la primera producción. Ésta reducción se logró porque las máquinas de trabajo fueron dispuestas en forma de U para conseguir optimizar el área utilizada y reducir las distancias a recorrer, tanto por los logísticos como por las vagonetas de producto y sus tiempos asociados.

El número de productos terminados en el tiempo de producción se ha elevado de forma notable respecto a las anteriores fabricaciones, debido a una mayor estandarización del proceso. Con ello, los valores de productos terminados que cumplen con las especificaciones de calidad han mejorado también de forma considerable. Además, se mantiene el objetivo del número de reclamaciones 0 referentes al envío de productos a cliente con defectos no detectados en la línea.

El resto de parámetros obtenidos se mantienen dentro de las previsiones esperadas en la realización del mapa de esta producción. Los tiempos de ciclo medios en los puestos de la cadena productiva continúan la tendencia de las dos primeras producciones; son valores de un orden similar, que prosiguen descendiendo, poco a poco, como consecuencia de una mayor experiencia de los operarios en el puesto, de la estandarización aplicada a la forma de trabajo y de las mejoras implementadas en el proceso.

En esta producción, la mitad de los puestos de la cadena (1, 3 y 6) tienen de media un tiempo de ciclo inferior al *takt time* de 1 minuto, lo que nos acerca a la fabricación de la cantidad de productos requerida.

3.2.5. PRODUCCIÓN 4.

En esta producción se aplican los cambios más importantes en el modo de funcionamiento del proceso productivo. En primer lugar, se reduce la plantilla hasta 10 trabajadores, eliminando uno de los 3 logísticos de la anterior producción. Ahora, los 2 restantes se encargan exclusivamente de preparar el montaje de los kits. El botón responsable de activar el circuito será pulsado, tras cada tiempo de ciclo, por Álvaro, que continúa también encargándose de la zona de expediciones y del puesto de responsable de planta.

Dado un intento fallido previo, al introducir varios errores, por parte de los 2 logísticos en la preparación de los kits, se produjo un intercambio de puestos entre Jesús, operario en el puesto 3, y uno de los dos logísticos de la producción. Con esta permuta, la producción continuó funcionando correctamente en el puesto 3 y se consiguió que los kits salieran en el tiempo correspondiente y preparados sin ningún error de materiales.

Puesto que el circuito instalado tiene un retraso de 20 segundos desde que se pulsa el botón hasta que avanzan las vagonetas, los pedidos en esta ocasión se empezaron a realizar cada minuto y 20 segundos (*takt time* + retardo). Esta mecánica sólo se realizó durante un par de pedidos, ya que la producción era tan rápida que, inmediatamente, se decidió que el cliente realizara los pedidos cada minuto sin añadir tiempo suplementario por el retardo del circuito. De este modo, se permite utilizar un *takt time* inferior, pudiendo producir mayor cantidad de productos en el mismo tiempo

A partir de las pruebas y mediciones previas realizadas, los autores del presente TFM conocían que los tiempos de operación en esta última producción con el Kitting iban a ser muy bajos lo que, unido al hecho de

trabajar sin lotes, permitía llegar sin problema a la producción deseada para cumplir los pedidos de cliente. Por ello, utilizando el sistema de producción Pull, se trabajó, en este caso, para un cliente con 21 pedidos (*takt time* inferior), manteniendo las mismas condiciones que el resto de producciones.

A continuación, en la Tabla 3.4 se los resultados finales recogidos en esta producción.

	Puesto 1	Puesto 2	Puesto 3	Puesto 4	Puesto 5	Puesto 6
Tiempo ciclo (m:ss)	0:36	0:41	0:31	0:39	0:47	0:43

	Cantidad
Productos Terminados	15
Productos OK	14
Productos NOK	1
P. con Fallo no detect.	0
Productos en curso	6
Sobreproducción	0
Pedidos sin cubrir	0

	Nº trabajadores
Operarios	6
Logísticos	2
Responsable	1
Cliente	1
TOTAL	10

	Cientes
Cientes Satisfechos	20
Cientes Insatisfechos	1
Cientes con Reclamación	0

	Área (m ²)
Zona Máquinas	120
Zona Operarios	54
Almacén Intermedio	0
Almacén General	16
Zona Expediciones	188
ÁREA TOTAL	828

Tabla 3.4 Resumen de resultados obtenidos en la Producción 4.

En la Figura 3.6 se observan los productos fabricados en la zona de expediciones como resultado de la cuarta producción.



Figura 3.6 Zona de expediciones con los Productos Terminados en la Producción 4.

En esta última producción, se ha conseguido, por primera vez, el objetivo de completar la fabricación de 15 productos en 15 minutos, de acuerdo con el *takt time*. Además, solamente 2 de ellos presentan un fallo de calidad, de los cuales uno se debe a una causa externa justificada; este fallo fue provocado por la mala conexión a internet de uno de los logísticos que padeció el fenómeno de “lag” durante toda la producción, con lo que en uno de los kitting preparados introdujo un material de forma incorrecta; aunque

intentó reparar el error, llegó tarde puesto que la vagoneta había avanzado hacia el primer puesto. Este segundo error de calidad no será considerado como fallo en las estadísticas de resultados.

Además, debido a ese fenómeno de “lag”, los logísticos tuvieron dificultades para coordinarse, ya que veían con cierto retraso de tiempo las piezas que colocaba su compañero en el kit. No obstante, sacaron adelante la producción, con un único error, salvando de la mejor forma este obstáculo. Previsiblemente, estos problemas no deberían ocurrir mediante la utilización de un servidor de una red de área local (LAN).

Más allá del fallo mencionado, el único suceso reseñable consiste en el descuido, por parte de ciertos operarios, de no apagar o encender la luz indicadora del estado de su puesto, antes o después de cada trabajo. En ese caso, al ser necesario que se encuentren todas las luces encendidas para activar el circuito de avance, los operarios eran avisados rápidamente mediante Skype por el encargado de visualizar las luces y pulsar el botón de avance.

Con la implantación de la línea de kitting y la reducción por completo de las esperas intermedias se modifica y optimiza la distribución de la cadena productiva, lo que resulta en una disminución del área requerida para el proceso del 42% respecto de la anterior producción y del 66% en relación a la utilizada al inicio de las simulaciones.

En este último caso, los tiempos medios de ciclo en los puestos de la cadena productiva experimentan una extraordinaria mejora con respecto a las anteriores producciones. El cambio en la metodología de trabajo con el kitting, el JIT y las demás mejoras aplicadas permiten una gran disminución de los tiempos medios de trabajo en los puestos, obteniéndose valores muy inferiores al *takt time* de 1 minuto, con lo que logra la fabricación de todos los productos demandados. Consiste en el punto óptimo del proceso, en el que, aparte de los progresos realizados que evitan a los operarios la necesidad de pensar y poder equivocarse, influye la destreza alcanzada por los compañeros en la simulación en Minecraft, a partir de las experiencias realizadas.

Así, los puestos 2, 4 y 5 siguen empleando un tiempo ligeramente superior al resto por tener más carga de trabajo, pero con valores bastante inferiores a las marcas obtenidas en la primera producción con el proceso en bruto. Además, dado que contaban con un mayor margen de mejora que el resto, son los que disminuyen un tiempo absoluto mayor respecto de los primeros valores registrados (Tabla 3.5).

	Puesto 1	Puesto 2	Puesto 3	Puesto 4	Puesto 5	Puesto 6
t (P4) - t (P1) (m:ss)	0:31	0:46	0:21	0:39	0:34	0:22

Tabla 3.5 Diferencia de tiempo medio de ciclo entre la producción 1 y 4 en cada puesto.

El resto de parámetros obtenidos cumplen los pronósticos y se encuentran dentro de las previsiones esperadas en la realización del mapa de esta producción.

En definitiva, el resultado final de la producción es muy positivo, pues se logra cumplir con las expectativas de mejorar potencialmente el proceso, su calidad, los tiempos de producción, los costes e inversiones asociados, etc. A continuación, se comparan los resultados obtenidos a lo largo de las 4 producciones y de todo el proceso de mejora para extraer las principales conclusiones sobre el trabajo realizado.

3.2.6. CONCLUSIONES.

En este apartado se comentan y comparan los resultados y conclusiones obtenidas de cada uno de los parámetros a estudiar en la simulación de los 4 mapas de las producciones.

En primer lugar, es necesario indicar que las 4 producciones fueron grabadas en vídeo mediante la versión gratuita del programa Camtasia, con el fin de poder analizar más profundamente las producciones y extraer mayor cantidad de datos. No obstante, debido a un error técnico con el programa solamente se dispone de la grabación de la primera producción.

La intención inicial era realizar las medidas de los tiempos de ciclo de cada puesto a partir de la visualización del vídeo, pero, dado el percance ocurrido, se han utilizado únicamente los tiempos que fueron cronometrados por cada uno de los operarios de forma individual durante la simulación de las producciones. Estas referencias de tiempo, aunque pueden ser más imprecisas que las tomadas directamente sobre el vídeo por el ajetreo de las producciones, han sido contrastadas con los valores obtenidos en pruebas realizadas previamente.

Esas pruebas se ejecutaron, tras la construcción de los mapas, de forma individual para cada puesto a modo de comprobación del correcto funcionamiento del proceso llevado a cabo, de forma particular, por los autores del TFM. Los valores recogidos en esta prueba de revisión son tiempos inferiores a los de la simulación, lo que resulta evidente debido a que

en su realización los autores partíamos de una destreza y conocimiento de Minecraft, del funcionamiento de la Escuela Lean, y de los mapas elaborados.

Debido a la relevancia de la cuarta producción por ser la óptima, se llevó a cabo una nueva simulación de esta última con el fin de capturar gráficamente su funcionamiento. Sin embargo, dada la dificultad para reunir de nuevo a tantos compañeros, la simulación de los puestos de la cadena de producción se desarrolló tan solo para 3 productos. Además, se prepararon previamente las vagonetas con los kits, de forma que sustituyeran el trabajo de los logísticos en esta práctica.

También, es importante recalcar la total ausencia de experiencia de algunos compañeros en Minecraft y su falta de conocimiento sobre logística. Sin embargo, mediante las simulaciones se comprobó que los mapas de producción funcionaban correctamente y que pueden ser empleados para el aprendizaje del funcionamiento de la Escuela Lean por grupos de alumnos, lo que constituye el objetivo principal de la prueba.

En la Tabla 3.6 se recoge el resumen de los valores de tiempos medios de ciclo obtenidos en la simulación, para cada uno de los puestos en las diferentes producciones realizadas.

	Puesto 1	Puesto 2	Puesto 3	Puesto 4	Puesto 5	Puesto 6
Producción 1	1:07	1:27	0:52	1:18	1:21	1:05
Producción 2	1:03	1:25	0:46	1:09	1:10	0:58
Producción 3	0:57	1:16	0:45	1:04	1:06	0:49
Producción 4	0:36	0:41	0:31	0:39	0:47	0:43

Tabla 3.6 Resumen de Tiempos de ciclo medios (m:ss) de cada puesto en las 4 producciones.

El análisis y comparación de los tiempos obtenidos se realiza a partir de su representación gráfica en la Figura 3.7, en la que se reproduce la evolución del tiempo medio en los puestos a lo largo de las diferentes producciones.

Se observa la progresiva mejora de los tiempos de ciclo con el transcurso de las 3 primeras producciones, como consecuencia del desarrollo del proceso realizado y del aumento de la habilidad de los operarios con Minecraft y con las producciones cuanto mayor es la práctica. No obstante, el resultado más significativo e importante es la disminución de todos los tiempos, por debajo de 1 minuto (*takt time*), experimentada en la última producción, con la sincronización total del proceso y la introducción del kitting. Además, la línea quebrada indica la desigualdad de tiempos como consecuencia de un desigual reparto de las cargas de trabajo.

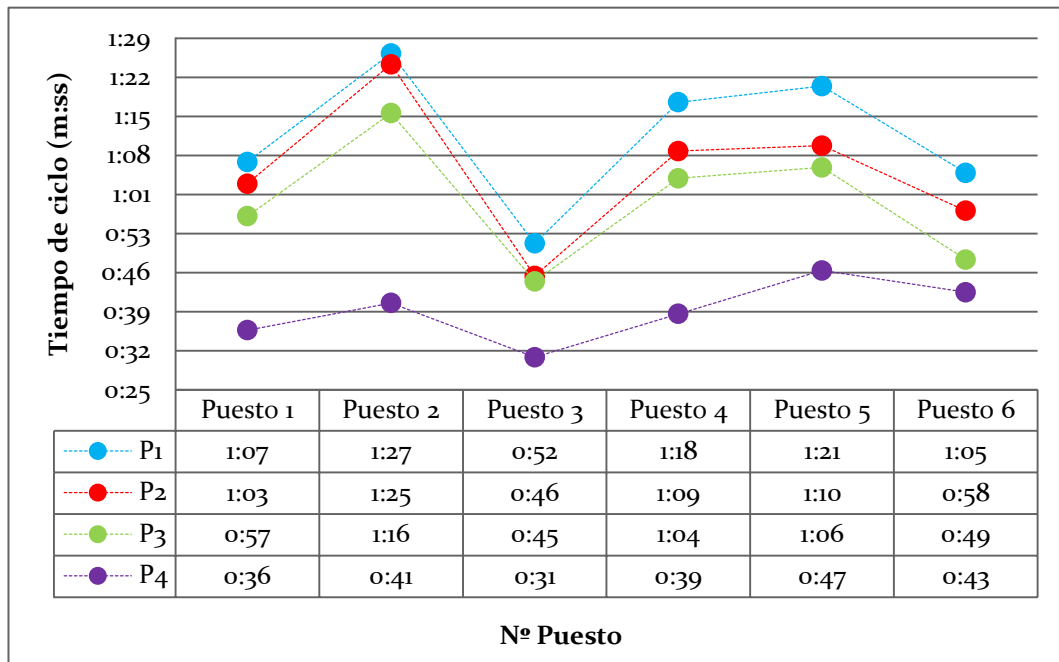


Figura 3.7 Evolución de los Tiempos en las Producciones.

A continuación, en la Figura 3.8 se representa la evolución de los tiempos con respecto a cada uno de los puestos.

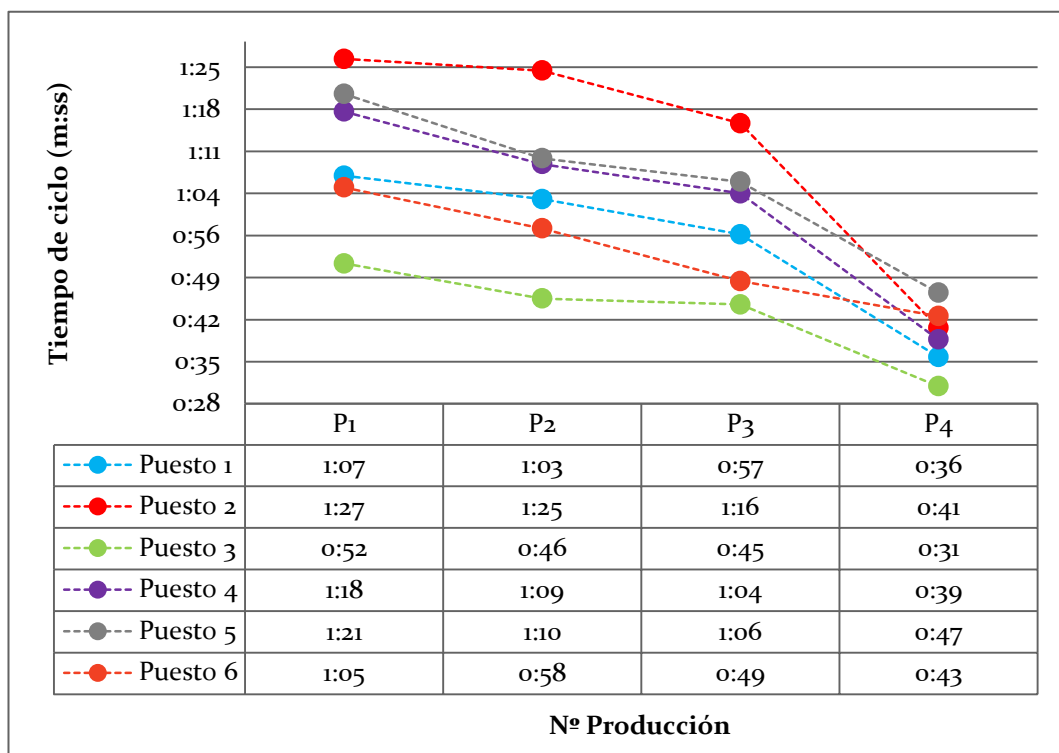


Figura 3.8 Evolución de los Tiempos en los distintos Puestos.

Se observa, por tanto, una clara tendencia a disminuir con el paso de las producciones, debido a las causas explicadas anteriormente, destacando notablemente la reducción en la última fase, que permite obtener el punto óptimo de cada puesto. Se contempla, además, como todos los puestos disminuyen su tiempo de forma similar, aunque cada uno se mueve en un rango de valores como resultado de la falta de homogeneidad en el equilibrado de las cargas.

Respecto a la calidad, se puede ver, en la Figura 3.9, como los productos terminados en cada producción son cada vez mayores en número (prueba también de la mejoría y estandarización del proceso) mientras que los productos defectuosos disminuyen. En especial, solamente se tuvo en la primera producción una reclamación por producto defectuoso no detectado antes de enviar a cliente.

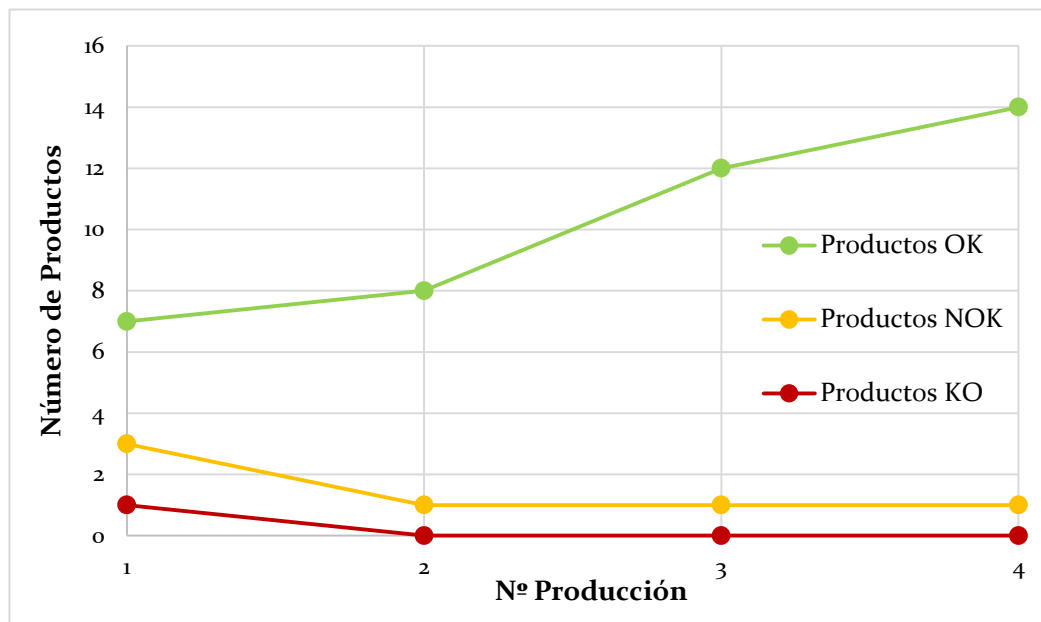


Figura 3.9 Calidad en las distintas producciones realizadas.

Estos parámetros de calidad están directamente ligados con los resultados de satisfacción de los clientes, cuya evolución a lo largo de las producciones se representa en la Figura 3.10. De igual forma, al ser capaces de fabricar cada vez más productos y con menos defectos se consigue aumentar la satisfacción de los clientes al cumplir sus pedidos en tiempo y forma.

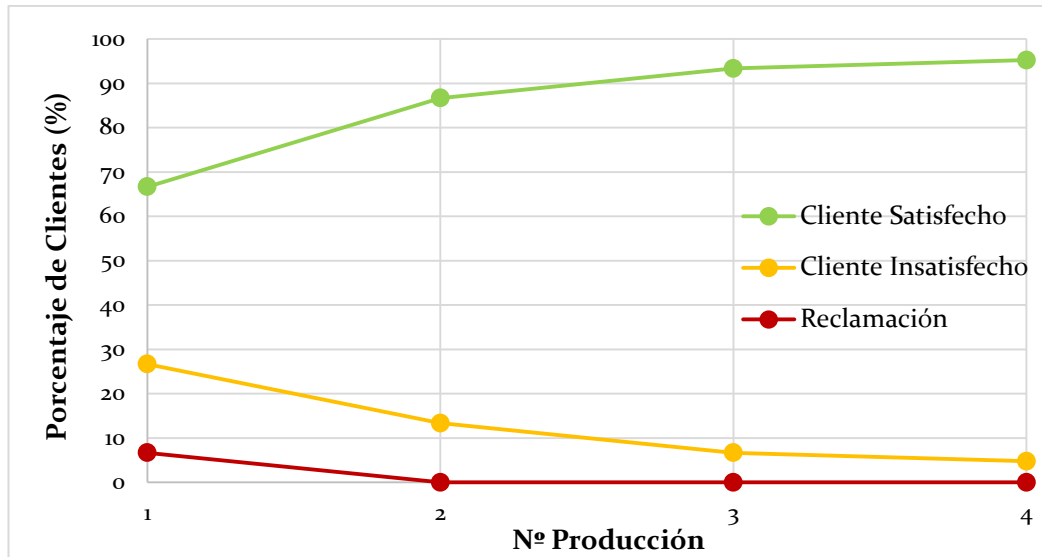


Figura 3.10 Satisfacción del cliente (%) en las producciones realizadas.

En lo referente al espacio total utilizado para la implantación del proceso de la Escuela Lean, se contempla en la Figura 3.11 su escalonada disminución en las producciones 3 y 4 como consecuencia de los cambios desarrollados con la distribución de los distintos elementos en la Escuela. Resulta muy significativo que el proceso optimizado en la última producción requiere tan solo un 34% del área total empleado inicialmente en la Escuela Lean.

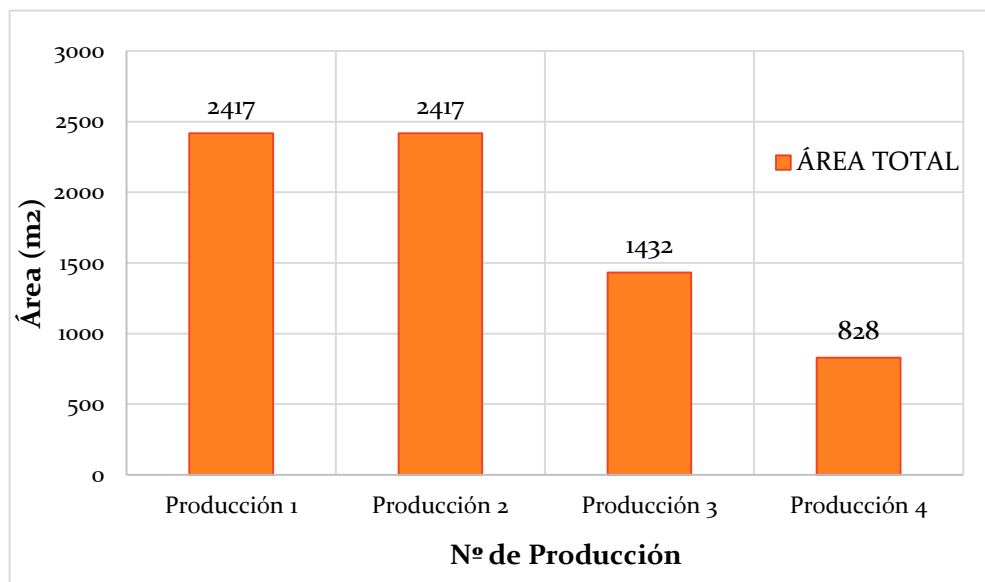


Figura 3.11 Evolución del espacio físico TOTAL utilizado en el proceso productivo.

En la Figura 3.12 se representa la distribución de áreas de los distintos elementos de la Escuela Lean y su evolución en cada una de las

producciones. En todas las zonas reflejadas se reduce, de forma gradual, el área necesaria para llevar a cabo su función, a excepción de la zona de expediciones que se mantiene intacta desde la primera producción.

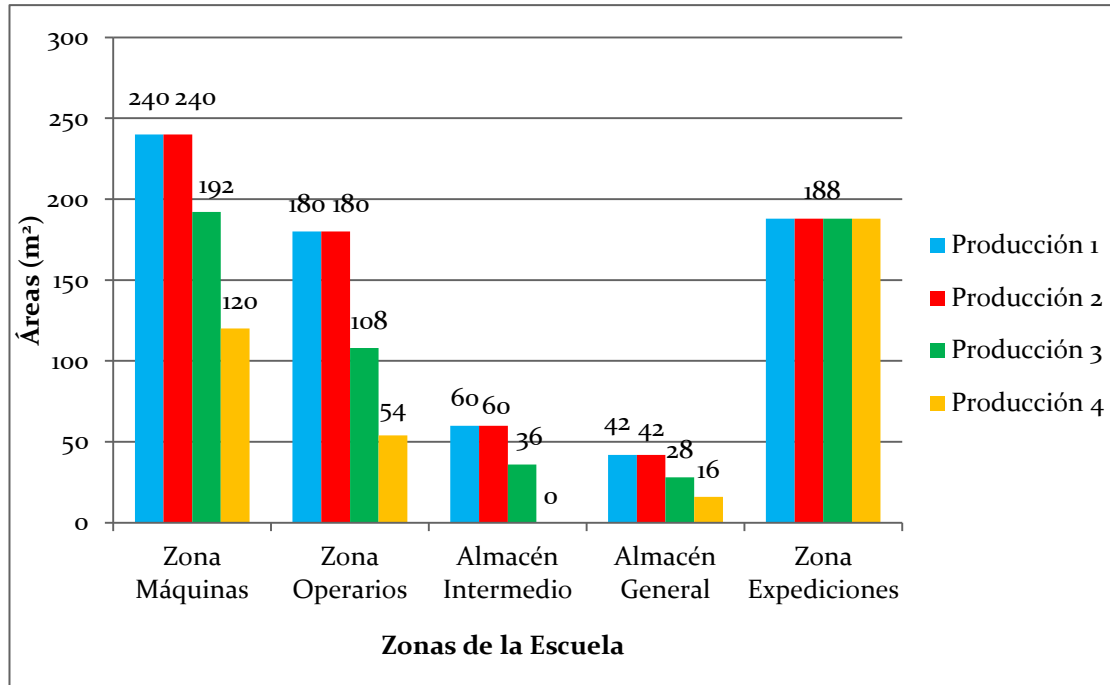


Figura 3.12 Evolución del espacio físico utilizado en el proceso según las distintas áreas.

En cuanto a la reducción de plantilla de trabajadores, solamente se consiguió por parte del personal de logística, aunque existe la posibilidad de suprimir alguno de los puestos de operario mediante el mencionado reequilibrado. Por tanto, queda planteada esa opción como una oportunidad para la simulación por parte de los alumnos a partir de un correcto planteamiento de dicha herramienta.

En la práctica realizada en este TFM, a ninguno de los compañeros se le ocurrió contemplar esa opción, y tampoco se guió hacia ella por parte de los autores. Esto es así, puesto que no se considera imprescindible para estos análisis al conllevar su aplicación bastante más tiempo del que disponían nuestros compañeros. Además, de esta forma se consigue el propósito de trabajar con un reparto del trabajo no equitativo para visualizar las diferencias y desigualdades que provoca en los resultados de las producciones.

En relación al aspecto económico, se han analizado los siguientes 3 parámetros básicos en la realización de las producciones: Inversión inicial para comenzar la producción, Inversión final en bienes restantes tras la producción y Coste por sobreproducción.

El primero de ellos se calcula de forma sencilla mediante el recuento de la cantidad de materias primas (MMPP) ubicadas en cada puesto al comenzar la producción y su coste unitario (100 €/Pieza). Entonces, a pesar de la aplicación del sistema kanban, resulta el mismo número de piezas en el almacén intermedio de las producciones 1, 2 y 3, es decir, 30 piezas de cada color, por 3 colores en cada puesto más los 30 indicadores de cada tipo en el puesto 1, hacen un total de 630 componentes. En la cuarta producción, al utilizar el Kitting, no se precisa ninguna pieza en los puestos intermedios para comenzar la producción. En datos económicos, se pasa de precisar 63.000 € en la primera producción, a no necesitar inversión inicial tras la implantación de las herramientas lean.

El dinero que queda invertido en bienes materiales tras cada producción se calcula mediante un inventario del número de piezas (100 €/Pieza) y vagonetas (2.000 €/Vagoneta) que quedan montadas en los productos en curso, al terminar el tiempo de producción, a lo que se añaden los materiales restantes de los almacenes intermedios (100 €/Pieza). En este caso, la cifra del coste final difiere en cada producción según las circunstancias concretas, aunque, en la cuarta producción será siempre inferior al representar únicamente a las piezas contenidas en los kits ya preparados al terminar el tiempo. Además, si se terminase la fabricación de los productos en curso de la última producción este valor sería también cero, al trabajar solamente con las piezas exactas necesarias para cada producto.

Finalmente, la sobreproducción representa un coste asociado por cada producto sin pedido de cliente (7.000 €/producto), por lo que se calcula a partir de los valores de sobreproducción obtenidos en cada fase. En las 3 primeras producciones son valores económicos grandes al presentar bastante sobreproducción, mientras que en la última es cero debido a que se trabaja en JIT con un sistema *pull* perfecto. Se estudia por separado el coste de la sobreproducción debido a que representa uno de los despilfarros a minimizar.

Todos los datos considerados junto con los valores finales de dichos parámetros económicos se incluyen en la Tabla 3.7:

	Piezas	Vagonetas	Sobreprod.	MMPP (Inicio)	MMPP (final)
Producción 1	124	4	1	630	393
Producción 2	229	9	4	630	348
Producción 3	94	5	3	630	387
Producción 4	200	5	0	0	169

	Inversión Inicial	Coste Sobreproducción	Dinero Invertido al Final
Producción 1	63.000 €	7.000 €	59.700 €
Producción 2	63.000 €	28.000 €	75.700 €
Producción 3	63.000 €	21.000 €	58.100 €
Producción 4	0 €	0 €	46.900 €

Tabla 3.7 Coste total invertido en materiales tras cada producción.

A partir de todos esos datos se elabora la Figura 3.13, en la que se muestra gráficamente el dinero que le supone a la empresa cada uno de los parámetros estudiados en las distintas producciones llevadas a cabo.

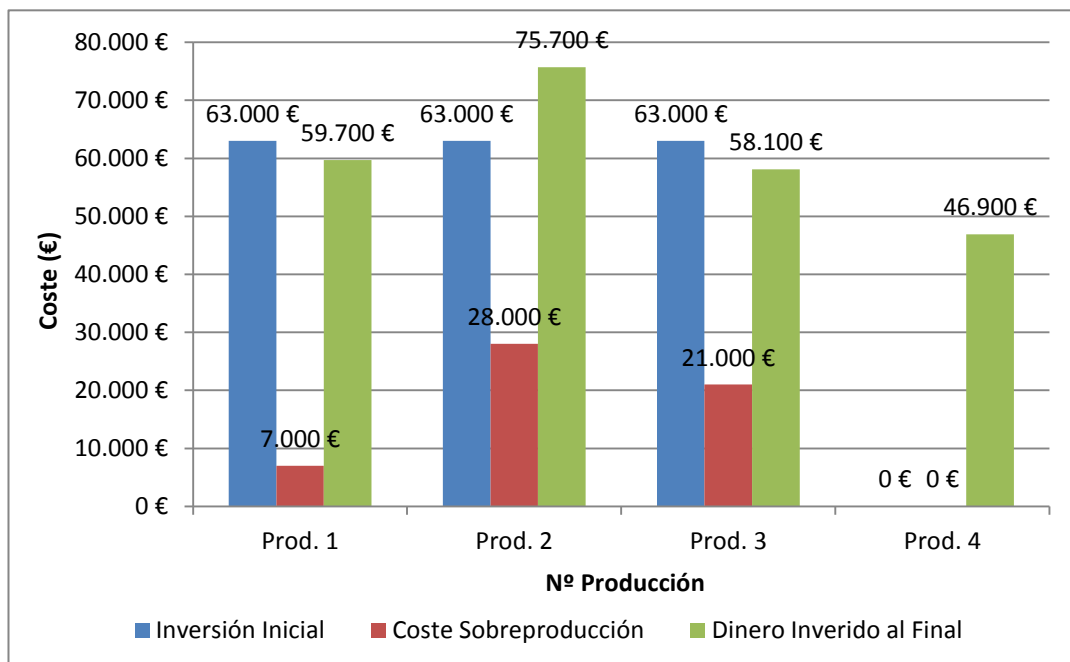


Figura 3.13 Representación de la relación de los costes.

Como se puede apreciar, la cantidad de dinero que queda invertido tras la producción es similar en todos los casos. Aunque, cabe recordar, que en la producción 4 se han entregado 6 pedidos de cliente a mayores de lo establecido y en la 3 hubo un problema con la sobreproducción, por lo que en condiciones normales en ambos casos se hubiera reducido bastante este

valor. Esto es así debido a la aplicación del SMED, que permite no tener que producir en lotes y, por tanto, no fabricar, entre medias, productos que no han sido demandados por el cliente, lo que justifica el coste de sobreproducción de la segunda y primera producción, aun con el buen resultado conseguido en esta última.

En cualquier caso, en esta situación, el coste de inversión en material para trabajar eclipsa al resto de costes, haciendo que la utilización del kitting represente una herramienta básica, que no solo permite a la empresa tener mucho menos dinero invertido al terminar, si no, sobretodo, necesitar un desembolso inicial mucho menor.

Por último, las incidencias ocurridas en la simulación han sido enumeradas y razonadas durante la descripción de las distintas producciones, así como las soluciones aportadas por los alumnos, que, a pesar de no ser estudiantes reales con unos conocimientos básicos en la materia, sus ideas y soluciones planteadas a los problemas fueron correctas.

Además, se cumple el principal objetivo de esta prueba práctica llevada a cabo, que no es otro que analizar la fábrica en acción, describir la experiencia y comprobar el correcto funcionamiento para su aplicación en el apoyo a la docencia de la Escuela Lean. Por tanto, los resultados obtenidos, a pesar de los problemas surgidos, siguen una progresión lógica, y corresponden a datos reales conseguidos experimentalmente, en lugar de mediante estimaciones, que sirven como referencia para un análisis exhaustivo.



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Universidad de Valladolid

4. ESTUDIO ECONÓMICO.

4.1. INTRODUCCIÓN.

Este estudio económico tiene por objeto la evaluación aproximada de los costes necesarios para el desarrollo del TFM. Para ello, se desglosa la elaboración del TFM en cada una de las diferentes etapas de que se compone, desde su planteamiento inicial hasta su terminación y presentación de los resultados.

Para la valoración, se tienen en cuenta las horas necesarias dedicadas por profesionales en una empresa encargada de su elaboración y los recursos materiales empleados en el desarrollo de cada una de las etapas.

4.2. PROFESIONALES PARTICIPES DEL PROYECTO.

En la elaboración de un proyecto de estas características intervienen una serie de personas con roles y cargos definidos (véase Figura 4.1). En primer lugar, se encuentra el *Director de proyecto*, responsable máximo del mismo, que se encarga de proporcionar las ideas generales, coordinar, aconsejar y guiar al resto del equipo en todo el desarrollo a partir de su amplia experiencia. Será el encargado de su aprobación y validación final.



Figura 4.1 Relación de los roles necesarios en el desarrollo del TFM.

Después, se encuentran, en este caso, los dos *Ingenieros Industriales* responsables de las tareas de documentación, diseño y confección del proyecto. A partir de sus conocimientos de organización y logística, llevan a cabo el trabajo más complejo y extenso de exploración y desarrollo para cumplir con las especificaciones marcadas y los objetivos finales. Además, realizan la búsqueda de información, estructuración, redacción y corrección de los documentos pertinentes. Los ingenieros están en contacto, de forma habitual, con el director del proyecto para realizar consultas técnicas e informar del progreso y los avances realizados en el trabajo.

Además, se precisa de una persona encargada de las funciones burocráticas; se trata del *Auxiliar administrativo* o *Secretario* de la oficina. Esta persona tiene como función la gestión de documentos de la empresa, la realización de los contratos del personal, el alquiler de los servicios requeridos, la tramitación de permisos y licencias, la compra de materiales, etc.

4.3. DEFINICIÓN DE LAS FASES.

El presente TFM basado en la implementación de laboratorios semejantes a la Escuela Lean en Minecraft se ha estructurado, para su elaboración, en una serie de etapas, representadas en la Figura 4.2. Se comienza por una planificación inicial a partir del concepto o idea del proyecto; con ello, se definen los componentes que van a intervenir, los recursos disponibles para utilizar, se organizan los procesos y tareas a realizar, se establecen plazos y tiempos de entrega y se pone en marcha la metodología de trabajo en el TFM.

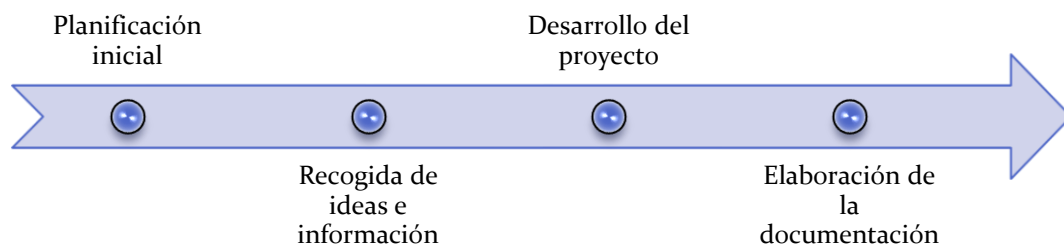


Figura 4.2 Fases de elaboración del Proyecto.

Después, tiene lugar la recopilación de información, la búsqueda de datos, referencias y material acerca del tema, en cualquier tipo de fuente fiable y veraz. Todo ello para establecer el contexto y marco de referencia del

proyecto y aportar un enfoque determinado al mismo. De igual forma, se recogen todos los planes e ideas aportados por los componentes del proyecto

La tercera etapa corresponde al desarrollo del cuerpo principal del proyecto, es decir, el diseño y construcción práctica de la Escuela Lean en Minecraft, a partir de todas las ideas y conceptos aprendidos. Para ello, se implementan las ideas y conceptos básicos en los mapas, como punto de partida, sobre los que realizar experimentos, aplicar herramientas, desarrollar ideas, implementar mejoras, utilizar el método de prueba y error, etc.

Por último, todo el desarrollo práctico del TFM es descrito y documentado en una memoria teórica para entregar al cliente, que comprende la información necesaria para el total entendimiento del proyecto.

4.4. ANÁLISIS ECONÓMICO.

En este apartado se lleva a cabo la valoración económica del presente TFM a partir de todos los recursos necesarios para su desarrollo.

En la evaluación económica se tienen en cuenta una relación de los costes asociados a los siguientes apartados: personal, amortizaciones de los equipos informáticos, materiales consumibles y servicios indirectos del proyecto. Se analiza cada una de esas partes de forma individual con el objetivo de conocer la influencia que tiene cada una de ellas sobre el valor final del estudio.

4.4.1. HORAS EFECTIVAS Y TASAS HORARIAS DEL PERSONAL.

En esta sección se obtienen las tasas por hora y por semana de cada uno de los profesionales que participan en la realización de este proyecto, para la valoración de los costes asociados al personal.

Inicialmente, se determina la cantidad de horas efectivas por trabajador para la realización de un TFM de este calibre (Tabla 4.1), a lo largo del segundo período del curso, que consta de los meses de febrero, marzo, abril, mayo y junio. Asimismo, se calcula, también, el número de semanas efectivas en ese período (Tabla 4.1).

Concepto	Valor
Día inicio período	01/02/2016
Día fin de período	30/06/2016
Período (días)	150
Sábados y Domingos	40
Días festivos Valladolid 2016	5
Días de vacaciones	8
Días media baja médica	5
Días Cursos Formativos	2
TOTAL DÍAS HÁBILES	90
TOTAL HORAS EFECTIVAS	720
TOTAL SEMANAS HÁBILES	18,6

Tabla 4.1 Cálculo de horas /días/semanas hábiles en el período.

Los empleados que forman parte del proyecto son los definidos en el apartado [4.2 Profesionales partícipes del proyecto](#). A partir de los sueldos estándar asociados a cada uno de ellos en un período de 5 meses y de las horas efectivas de trabajo determinadas se calculan las tasas de cada empleado por hora y por semana (Tabla 4.2).

Concepto	Director Proyecto	Ingeniero 1	Ingeniero 2	Axuliar Admin.
Salario mensual (€)	3254	1993	1993	1425
Salario 5 meses (€)	16270	9965	9965	7125
Seguridad Social (35%)	5694,5	3487,75	3487,75	2493,75
Coste Total (€)	21964,5	13452,75	13452,75	9618,75
Coste (€/hora)	30,5	18,7	18,7	13,4
Coste (€/semana)	1182,70	724,38	724,38	517,93

Tabla 4.2 Cálculo de coste del personal por hora y semana.

4.4.2. AMORTIZACIONES DEL EQUIPO INFORMÁTICO.

En la Tabla 4.3 se recogen los costes asociados a los equipos informáticos, hardware y software, necesarios para la elaboración del TFM. El período de amortización considerado de los de equipos informáticos es de 5 años, con una cuota lineal, por lo que los costes totales se reparten equitativamente entre cinco. No obstante, la amortización de los equipos en este proyecto será la proporcional a los 5 meses de duración respecto del total de un año.

Concepto	Coste (€/unid)	Unidades	Coste Total (€)
Hardware			
Ordenador MSI GE72 6QD - 098XES	1149	2	2298
Ratón Gaming - Logitech G502	79	2	158
Escáner Portátil Brother DS-720D	143	1	143
Impresora Epson WorkForce WF-100W	299	1	299
Software			
Licencia Windows 7	49,9	2	99,8
Licencia Paquete Office 2013	89,99	2	179,98
Licencia Minecraft	23,95	2	47,9
TOTAL A AMORTIZAR			3225,68

Tipo	Número	Amortización
Anual	5 años	645,14
Mensual	5 meses	268,81

Tabla 4.3 Cálculo de la amortización de los equipos informáticos.

La cantidad total a amortizar, durante el período de 5 meses de elaboración del TFM, correspondiente a los equipos informáticos adquiridos es de 268,81 €.

4.4.3. COSTE DEL MATERIAL CONSUMIBLE.

Los materiales consumibles utilizados en la elaboración de un proyecto de estas características se detallan en la Tabla 4.4. A partir del consumo medio por persona de los mismos se determina el coste del material consumible de 0,20 € por persona y hora de trabajo.

Concepto	Coste (€)
Papel Impresora	65
Suministros impresora	215
Papelería y Reprografía	290
TOTAL	570
Coste total (€/persona)	142,5
Coste (€/persona*hora)	0,20

Tabla 4.4 Cálculo de costes de material consumible por trabajador y hora.

4.4.4. COSTES INDIRECTOS.

Los costes indirectos asociados a la elaboración del proyecto se refieren a los consumos de servicios básicos, como electricidad, agua, calefacción, el alquiler del local amueblado para establecer la oficina, el contrato de servicios de teléfono e internet, entre otros. En la Tabla 4.5 se determina el coste total, de 4.850 €, correspondiente a los servicios necesarios durante los 5 meses de elaboración del TFM.

Concepto	Coste (€/mes)	Coste 5 meses (€)
Alquiler local (88m ²)	650	3250
Teléfono e Internet	45	225
Electricidad, agua, calefacción	175	875
Otros	100	500
TOTAL (€)		4850

Tabla 4.5 Cálculo de costes indirectos de servicios.

4.4.5. TIEMPOS ASOCIADOS A CADA FASE DEL PROYECTO.

En la Tabla 4.6 se especifican los tiempos de dedicación, de cada uno de los empleados, necesarios para la elaboración de las diferentes fases del proyecto, descritas en el apartado [4.3. Definición de las fases](#).

Esta segregación de los tiempos dedicados a cada una de las fases permite determinar el coste derivado de las mismas sobre el total del proyecto. Por ello, se calcula la relación de horas que representa cada fase sobre el total del TFM.

Personal	FASE I (h)	FASE II (h)	FASE III (h)	FASE IV (h)
Director de Proyecto	12	15	15	30
Ingeniero 1	15	35	125	45
Ingeniero 2	15	35	125	45
Auxiliar Admin.	5	5	20	25
TOTAL (horas/fase)	47	90	285	145
TOTAL (horas)			567	
Relación (% fase/total)	8,29%	15,87%	50,26%	25,57%

Tabla 4.6 Cálculo de las horas de trabajo necesarias por cada empleado para la elaboración del TFM.

4.5. COSTES ASIGNADOS A CADA FASE DEL PROYECTO.

Los costes de recursos asignados a cada fase del proyecto se calculan a partir de los tiempos de dedicación correspondientes de cada uno de los empleados y de los costes establecidos en el apartado [4.4 Análisis Económico](#).

Así, el coste estimado total referente a cada una de las etapas está formado por el coste de personal, el coste de material consumible, la amortización de los equipos informáticos, y el coste de servicios indirectos de la organización. Los dos últimos costes de servicios indirectos y amortización, al ser una cantidad mensual fija, se asignan en cada una de las fases de forma proporcional al número de horas dedicadas a cada etapa respecto del total de horas de proyecto (véase Tabla 4.6).

4.5.1. PLANIFICACIÓN INICIAL.

En la etapa de planificación inicial intervienen el Director del proyecto y los 2 Ingenieros Industriales para establecer la metodología de trabajo a seguir, definir los objetivos, organizar los recursos y estructurar el proyecto. El administrativo, además, comienza la gestión burocrática del proyecto. Los costes parciales derivados de esta etapa se recogen en la Tabla 4.7.

Concepto		Horas	Coste (€/h)	COSTE (€)
Personal	Director Proyecto	12	30,51	366,08 €
	Ingeniero (x2)	30	18,68	560,53 €
	Administrativo	5	13,36	66,80 €
Material Consumible	Varios	47	0,20	9,30 €
		Cantidad	Porcentaje (%)	COSTE (€)
Amortización	Equipo Informático	268,81	8,29%	22,28 €
Costes Indirectos	Servicios	4850	8,29%	402,03 €
COSTE TOTAL FASE I				1.427,02 €

Tabla 4.7 Cálculo de coste total asociado a la FASE I.

4.5.2. RECOGIDA DE IDEAS E INFORMACIÓN.

En esta segunda fase participan todos los trabajadores, destacando los Ingenieros Industriales, que se encargan de todo el proceso de investigación y búsqueda de documentación en multitud de fuentes. El director y el personal administrativo intervienen de forma eventual, ayudando en algún asunto o

resolviendo posibles inconvenientes. Esta etapa implica los costes parciales mostrados en la Tabla 4.8.

Concepto		Horas	Coste (€/h)	COSTE (€)
Personal	Director Proyecto	15	30,51	457,59 €
	Ingeniero (x2)	70	18,68	1.307,91 €
	Administrativo	5	13,36	66,80 €
Material Consumible	Varios	90	0,20	17,81 €
		Cantidad	Porcentaje (%)	COSTE (€)
Amortización	Equipo Informático	268,81	15,87%	42,67 €
Costes Indirectos	Servicios	4850	15,87%	769,84 €
COSTE TOTAL FASE II				2.662,62 €

Tabla 4.8 Cálculo de coste total asociado a la FASE II.

4.5.3. DESARROLLO DEL PROYECTO.

La principal etapa del proyecto conlleva el aporte y la participación de todos los empleados de la organización. Corresponde a la fase más larga y complicada del proyecto, y es desarrollada, mayoritariamente, por parte de los Ingenieros. Sin embargo, regularmente se requiere la colaboración y coordinación con el Auxiliar Administrativo y el Director. Los costes asociados al diseño y construcción práctica del objetivo del proyecto se incluyen en la Tabla 4.9.

Concepto		Horas	Coste (€/h)	COSTE (€)
Personal	Director Proyecto	15	30,51	457,59 €
	Ingeniero (x2)	250	18,68	4.671,09 €
	Administrativo	20	13,36	267,19 €
Material Consumible	Varios	285	0,20	56,41 €
		Cantidad	Porcentaje (%)	COSTE (€)
Amortización	Equipo Informático	268,81	50,26%	135,11 €
Costes Indirectos	Servicios	4850	50,26%	2.437,83 €
COSTE TOTAL FASE III				8.025,23 €

Tabla 4.9 Cálculo de coste total asociado a la FASE III.

4.5.4. ELABORACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN.

En la última fase, para la escritura, revisión y aprobación de los documentos necesarios del proyecto se requiere una alta intervención en el trabajo por parte de todos los empleados. En la Tabla 4.10 se exponen los costes derivados de la documentación y registro del TFM.

Concepto		Horas	Coste (€/h)	COSTE (€)
Personal	Director Proyecto	30	30,51	915,19 €
	Ingeniero (x2)	90	18,68	1.681,59 €
	Administrativo	25	13,36	333,98 €
Material Consumible	Varios	145	0,20	28,70 €
		Cantidad	Porcentaje (%)	COSTE (€)
Amortización	Equipo Informático	268,81	25,57%	68,74 €
Costes Indirectos	Servicios	4850	25,57%	1.240,30 €
COSTE TOTAL FASE IV				4.268,51 €

Tabla 4.10 Cálculo de coste total asociado a la FASE IV.

4.6. RESULTADOS FINALES.

En este punto se evalúan los resultados obtenidos del análisis económico, refiriéndose a tiempo de dedicación y costes asociados. En la Tabla 4.11 se observa el resumen de ambos parámetros para cada una de las etapas del proyecto y los valores finales obtenidos.

RESULTADOS FINALES		
Fases	Tiempo (horas)	Costes (€)
I. Planificación Inicial	47	1.427,02 €
II. Recogida de Información	90	2.662,62 €
III. Desarrollo del Proyecto	285	8.025,23 €
IV. Elaboración de la Documentación	145	4.268,51 €
TOTAL	567	16.383,37 €

Tabla 4.11 Resumen de resultados finales de horas de dedicación y coste total.

El tiempo total necesario para la elaboración del presente TFM se obtiene como resultado de la suma de tiempos de todas las etapas. En la Figura 4.3 se muestra el desglose de tiempo dedicado a cada una de las 4 fases sobre el total de **567 horas**.

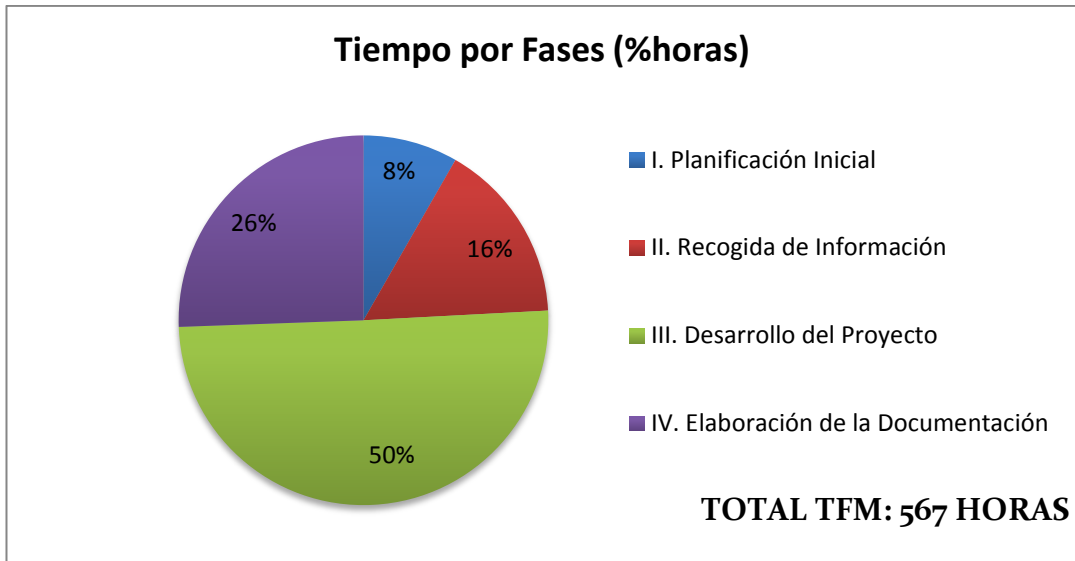


Figura 4.3 Representación de tiempos de cada fase sobre el total del TFM.

Como era de esperar, la mitad del tiempo necesario ha sido empleado en la etapa principal de Desarrollo del Proyecto, y una cuarta parte en la elaboración de la memoria y el resto de documentación. No obstante, las otras dos etapas fundamentales para el desarrollo del TFM requieren la suficiente dedicación de tiempo (24%).

El cálculo del coste total se obtiene como consecuencia de sumar los costes parciales de cada una de las fases. En la Figura 4.4 se observa la proporción que supone el coste de cada etapa respecto del total del TFM de **16.383,37 €**.

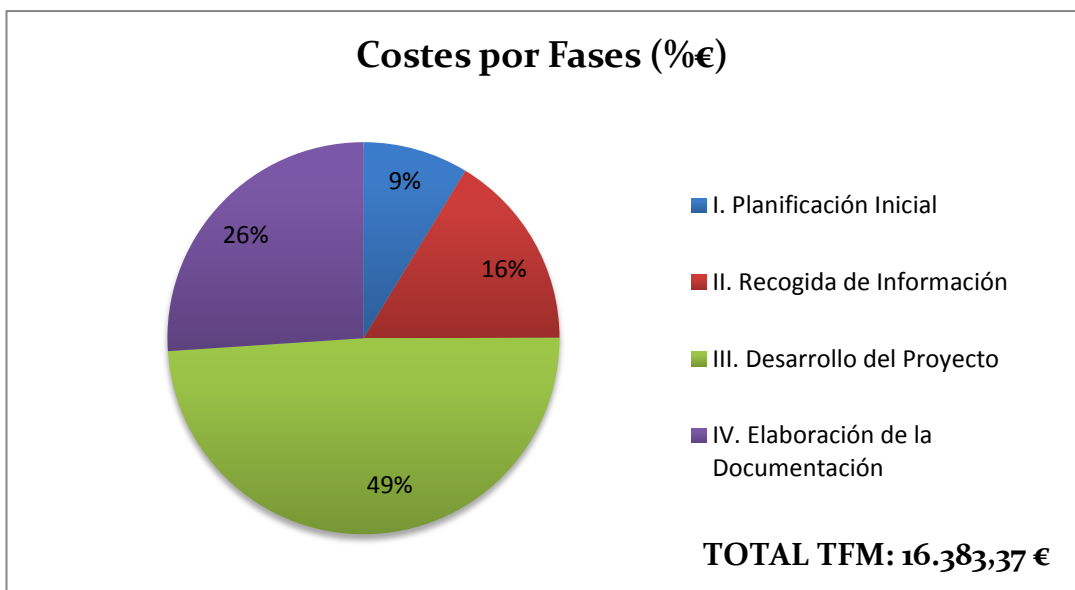


Figura 4.4 Representación de costes de cada fase sobre el total del TFM.

A partir del análisis de la Figura 4.4 se desprende que el reparto de costes del TFM en función de las distintas etapas es muy similar al obtenido con las horas de dedicación, con un 75% para las etapas principales de Desarrollo del proyecto y Elaboración de la Documentación. El 25% restante corresponde a la Planificación Inicial y a la Recogida de Información.

Además, en la Figura 4.5 se visualiza la distribución del coste total necesario entre los diferentes gastos contemplados en el punto [4.4 Análisis Económico](#).

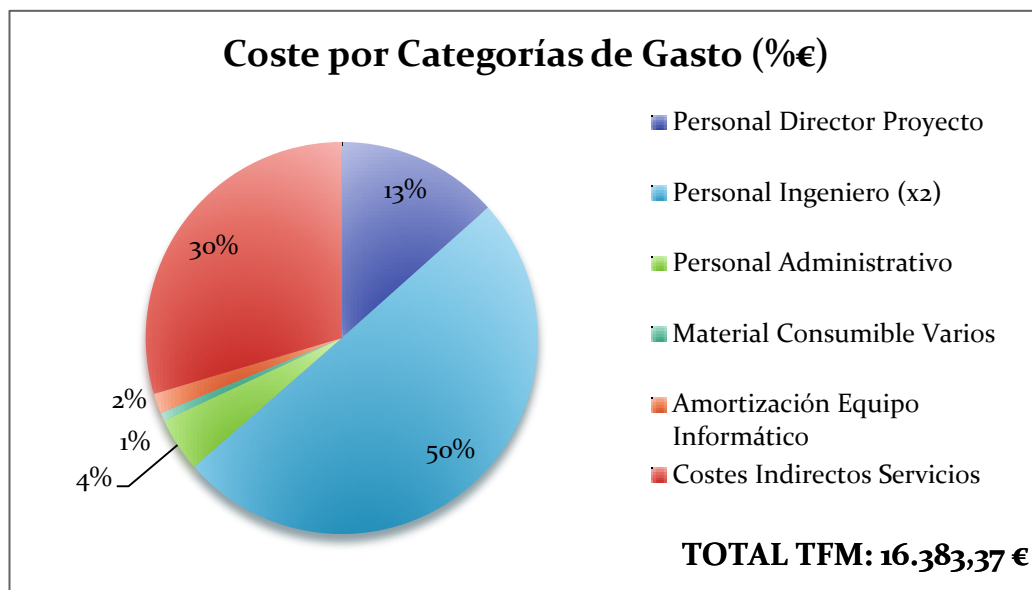


Figura 4.5 Representación de los diferentes tipos de coste sobre el total del TFM.

En la Figura 4.5 se comprueba que los costes se deben principalmente al salario de los Ingenieros y Director que van a desarrollar la totalidad del TFM. También, destaca el coste de la instalación y servicios (30%) necesarios para poder llevar a cabo el proyecto.

El coste final de realización del TFM, Tabla 4.12, es resultado de aplicar al coste total anterior un porcentaje de beneficio del 30% para la organización y un 21% de impuestos (IVA). Así, el coste final del TFM de 25.771,03 €.

TOTAL		16.383,37 €
Beneficio	30%	4.915,01 €
I.V.A.	21%	4472,65893

COSTE TOTAL DEL PROYECTO 25.771,03 €

Tabla 4.12 Coste Final del TFM con beneficios e impuestos.



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Universidad de Valladolid

5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.

5.1. CONCLUSIONES.

La *principal conclusión* del trabajo realizado es que se ha logrado el objetivo que se pretendía lograr inicialmente, que no era otro que representar la Escuela Lean, de forma visual y atractiva, en Minecraft, gracias a la versatilidad que ofrece el videojuego, mediante la elaboración de diferentes mapas que implican la participación de los alumnos para la enseñanza del funcionamiento de la propia escuela y las múltiples herramientas Lean implementadas de forma progresiva.

Se ha avalado el propósito fundamental de inicio correspondiente a la aplicación útil de videojuegos, como en este caso Minecraft, con fines docentes, hasta niveles universitarios, a partir de la implementación de casos prácticos, como el proceso de la Escuela Lean, y los conocimientos y formación que en ella se transmiten de modo que puede resultar más interesante hacia los alumnos.

Los cuatro mapas de Minecraft realizados corresponden a cada una de las producciones para la simulación del curso de aprendizaje del proceso en la Escuela Lean, partiendo del primero de ellos que escenifica un estado inicial caótico del proceso, falta de procedimientos y metodologías, con mucho margen de mejora y que estimula la creatividad de ideas en los alumnos. En la segunda producción se comienza la búsqueda de mejoras en los resultados con la aplicación de las 5S y el sistema kanban basado en luces. En el tercer mapa desarrollado se aplica un rediseño del layout inicial de la cadena, la herramienta SMED para la reducción del tiempo empleado en el cambio de máquina y una disminución de la posibilidad de esperas intermedias en los puestos. Por último, en el cuarto mapa de Minecraft se representa el estado final óptimo alcanzado del proceso a partir de la experiencia y ensayos anteriores y de los cambios definitivos aplicados que consisten en la incorporación del kitting y una optimización final del layout que permiten la sincronización total del proceso y el trabajo en one piece flow, minimizando los stocks.

Para esta reproducción del proceso de la Escuela en Minecraft se ha seleccionado y diseñado un producto basado en códigos de colores que ofrece sencillez y variabilidad, capaz de mantener la esencia y representar las cualidades de los vehículos de la Escuela Lean, además de ser factible y realizable dentro del videojuego Minecraft para adaptarse al funcionamiento de las producciones.

En la memoria se describen minuciosamente los fundamentos aplicados para la realización de todos mecanismos y construcciones en cada uno de los mapas, así como el funcionamiento detallado para comprender y facilitar la aplicación docente del profesor en una clase y proporcionar el sistema deseado de apoyo a la educación.

Se ha elaborado un tutorial de aprendizaje básico de Minecraft, en el que se incorporan las pautas y consejos necesarios para que los alumnos que no tienen conocimientos previos del videojuego logren un correcto manejo del personaje en las simulaciones, permitiendo, de esta forma, que dicho desconocimiento no suponga un obstáculo en el aprendizaje de las herramientas Lean.

También se han elaborado Fichas de Trabajo para cada producción, que describen las funciones de todos los empleados y facilitan la explicación de cada una de las tareas que se llevan a cabo en las producciones.

Se ha puesto en práctica una simulación real de los cuatro mapas finales construidos en Minecraft, correspondientes a cada una de las producciones, para comprobar su correcto funcionamiento y el cumplimiento de todos los objetivos docentes buscados. Esas pruebas consisten en la práctica de cuatro producciones de 15 productos pedidos por el cliente con un takt time de 1 minuto (duración 15 minutos) en las que han colaborado un total de 12 personas para desempeñar todas las funciones.

A partir de las simulaciones realizadas se han obtenido los resultados experimentales que permiten valorar y contrastar las mejoras teóricas implementadas de forma progresiva en cada uno de los mapas. Así, esos parámetros muestran que los tiempos de ciclo de los puestos y el lead time del producto experimentan una reducción gradual que se acentúa en la última producción por los importantes cambios aplicados. La calidad y el cumplimiento de las especificaciones de los pedidos del cliente se incrementan a partir de la destreza y las soluciones propuestas con lo que se consigue el propósito de satisfacción del cliente. En cuanto al área física requerida, los stocks en el almacén y el coste de inversión asociado muestran una estabilidad y constancia en las tres primeras producciones mientras que sufren una importante disminución con las modificaciones finales realizadas. No obstante, aunque las principales mejoras en los parámetros de análisis utilizados tienen lugar en la última producción, estos éxitos son atribuibles a todas las pequeñas y grandes novedades y correcciones ejecutadas desde el primer instante, puesto que son responsables de la optimización del proceso para poder implementar los últimos y significativos cambios.

Todos los puntos contemplados fundamentan el éxito en la consecución de los objetivos marcados inicialmente en el planteamiento de este TFM para la aplicación de Minecraft como soporte docente en la enseñanza del proceso realizado en la Escuela Lean.

5.2. LÍNEAS FUTURAS.

Como bien se ha comentado a lo largo todo este TFM, la mejora continua es un requisito fundamental en todos los progresos aplicados a un sistema; por ello, este mismo trabajo también es susceptible de ser mejorado. Se han realizado 4 mapas en los cuales se aplican, de forma progresiva y conjunta, distintas técnicas Lean para la mejora de un sistema, pero todo ello es tan solo uno de los infinitos caminos que Minecraft permite escoger.

Una primera variación respecto de este trabajo original es la creación de un mayor número de mapas intermedios, para lograr un aprendizaje que profundice en el uso y comprensión de los conceptos y herramientas Lean. Además, también se podrían incluir nuevas técnicas que no se han estudiado en este trabajo, como, por ejemplo: Heijunka, VSM, etc. Por tanto, cualquier modificación de los mapas creados o la introducción de otros nuevos conllevarían una mejora de lo realizado en este TFM.

Otra opción consistiría en la separación del aprendizaje de cada técnica o herramienta en un conjunto de mapas específicos. De este modo, se tendrían unos mapas consecutivos para cada herramienta, profundizándose así mucho más en cada una de ellas.

Cualquiera de estas mejoras debe partir, previamente, de un paso principal tras este proyecto, que es la aplicación real en la enseñanza con alumnos de verdad. Esto es debido a que, a pesar de que los mapas han sido testeados con personas reales, el no tratarse de alumnos de la Facultad, no permite evaluar el grado de aprendizaje adquirido en Logística gracias a Minecraft. Por ello, debe comprobarse mediante su aplicación real en la enseñanza y modificarse tanto el temario como los propios mapas de forma que se adecúen a los estudios reales.

En resumen, estos mapas se encuentran asociados a las técnicas Lean reales, por lo que deben adaptarse y actualizarse continuamente con los cambios y avances que se desarrollen en la aplicación de la filosofía Lean Manufacturing.



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Universidad de Valladolid

6. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Lindo Salado-Echeverría, C. (2015). *Construcción de entornos Lean en Minecraft* (TFG). Valladolid, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid.
- [2] Sanz Angulo, P. (2016). *Dirección de operaciones logísticas*. Valladolid: Máster en Logística, Universidad de Valladolid.
- [3] Lean.org. (2016). *A Brief History of Lean*. Disponible en: <http://www.lean.org/WhatsLean/History.cfm>. Último acceso 18 de mayo 2016.
- [4] Womack, J. P., Jones, D. T., Roos, D., & Chaparro, F. O. (1992). *La máquina que cambió el mundo*. McGraw-Hill.
- [5] Belmares, N. (2008). *Sistema de producción de Toyota*, GestioPolis. Disponible en: <http://www.gestiopolis.com/sistema-produccion-toyota/>. Último acceso 18 de mayo 2016.
- [6] Mateo Prieto, M. (2016). *Métodos Avanzados de Producción*. Valladolid: Máster en Logística, Universidad de Valladolid.
- [7] Womack, J. P., & Jones, D. T. (2010). *Lean thinking: cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa*. Simon and Schuster.
- [8] Escuela de Lean Management, (2016). *Los 7 Despilfarros*. Disponible en: <http://www.escuelalean.es/divulgacion/despilfarros>. Último acceso 27 de abril 2016.
- [9] Bach, M. (2016). *Los dos grandes despilfarros de la construcción en España*. Disponible en: <http://blog.camins.cat/2015/10/28/los-dos-grandes-despilfarros-de-la-construccion-en-espana/>. Último acceso 27 de abril 2016.
- [10] Lean Solutions.co. (2016). *Conceptos Lean Manufacturing*. Disponible en: <http://www.leansolutions.co/conceptos/>. Último acceso 7 de mayo 2016.
- [11] Álvarez-Moro, O. (2016). *¿Qué es el Just in Time?*. Disponible en: <http://www.elblogsalmon.com/management/que-es-el-just-in-time>. Último acceso 7 de abril 2016.
- [12] Herramienta Heijunka (2013). *¿Qué es el Heijunka?*. Disponible en: <https://herramientaheijunka.wordpress.com/2013/11/05/que-es-el-heijunka/>. Último acceso 7 de mayo 2016.
- [13] Lean Solutions.co. (2016). *VSM, Value Stream Mapping*. Disponible en: <http://www.leansolutions.co/conceptos/vsm/>. Último acceso 7 de mayo 2016.
- [14] Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to see*. Lean Enterprise Institute.

- [15] García Terán, J.M. (2016). *Calidad, Medioambiente y Seguridad*. Valladolid: Máster en Logística, Universidad de Valladolid.
- [16] Sosa, R. (2005). *Las 5S, manual teórico y de implantación*. Disponible en: <http://www.gestiopolis.com/las-5s-manual-teorico-y-de-implantacion/>. Último acceso 7 de mayo 2016.
- [17] Lean Solutions.co. (2016). *Metodología 5S*. Disponible en: <http://www.leansolutions.co/conceptos/metodologia-5s/>. Último acceso 29 de abril 2016.
- [18] Laínez V, J.A. (2014). *Adaptación del Programa Japonés 5S para sistematizar la organización y limpieza del lugar de trabajo en plantas de producción*. Disponible en: <http://praxis-corp.com/notipraxis/?p=250>. Último acceso 27 de abril 2016.
- [19] IngenieríaIndustrialonline.com. (2016). *Técnica SMED – Cambio de Matriz en uno solo Dígito de Minuto*. Disponible en: <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/produccion/tecnica-smed-cambio-de-matriz-en-un-solo-minuto/>. Último acceso 8 de mayo 2016.
- [20] MTM Ingenieros. (2016). *¿Qué es SMED?*. Disponible en: <http://mtmingenieros.com/knowledge/que-es-smed/>. Último acceso 8 de mayo 2016.
- [21] Dillon, A. P., & Shingo, S. (1985). *A revolution in manufacturing: the SMED system*. CRC Press.
- [22] GermenStartUp. (2015). *Qué es y para qué sirve el método Kanban*. Disponible en: <https://germenstartup.wordpress.com/2015/03/23/que-es-y-para-que-sirve-el-metodo-kanban/>. Último acceso 16 de mayo 2016.
- [23] Miguel, J. (2011). *Ejemplos Tarjetas Kanban*. Altacunta. Disponible en: <https://altacunta.wordpress.com/2011/10/28/ejemplos-tarjetas-kanban/>. Último acceso 28 de abril 2016.
- [24] PDCAhome.com. (2016) *Método Kanban – Disminuir retrasos y crear un sistema de producción eficiente*. Disponible en: <http://www.pdcahome.com/metodo-kanban/>. Último acceso 16 de mayo 2016.
- [25] Hipertextual. (2013). *Qué es Kanban y para qué sirve*. Disponible en: <http://hipertextual.com/archivo/2013/11/que-es-kanban/> Último acceso 16 de mayo 2016.
- [26] Logismarket.com. (2016). *Panel planificador Kanban*. Disponible en: <https://www.logismarket.com.mx/isoflex/panel-planificador-kanban/2792386416-1233186438-p.html>. Último acceso 17 de mayo 2016.
- [27] Atienza, J.V. (2016). *Almacenaje y Manutención*. Valladolid: Máster en Logística, Universidad de Valladolid.

- [28] Cargax – Transitario. (2013). *Picking, Logística, Almacenaje y Transporte de Mercancías*. Disponible en: <http://www.cargax.com/que-es-picking/>. Último acceso 15 de mayo 2016.
- [29] Vujosevic, R., Ramirez, J. A., Hausman-Cohen, L. (2012). *Lean Kitting: A Case Study*. Austin: Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Texas.
- [30] Manufactura Inteligente. (2016). *Kaizen*. Disponible en: <http://www.manufacturainteligente.com/kaizen/>. Último acceso 4 de mayo 2016.
- [31] Kaizen.com (2016). *¿Qué es Kaizen?*. Disponible en: <https://es.kaizen.com/nosotros/definicion-de-kaizen.html>. Último acceso 4 de mayo 2016.
- [32] IngenieríaIndustrialonline.com. (2016). *Kaizen: Mejora Continua*. Disponible en: <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/gesti%C3%B3n-y-control-de-calidad/kaizen-mejora-continua/>. Último acceso 6 de mayo 2016.
- [33] BBC News. (2016). *Microsoft pays \$2.5bn for Minecraft maker Mojang*. Disponible en: <http://www.bbc.com/news/technology-29204518>. Último acceso 29 de abril 2016.
- [34] Gamereactor España. (2016). *Ventas: Minecraft ya hace números de Wii Sports o Tetris*. Disponible en: <http://www.gamereactor.es/noticias/293413/Ventas+Minecraft+ya+hac e+numeros+de+Wii+Sports+o+Tetris/>. Último acceso 30 de abril 2016.
- [35] Wikiminecraft.es. (2016). *Wiki Oficial de Minecraft en español*. Disponible en: <http://wikiminecraft.es/Portada>. Último acceso 30 de abril 2016.
- [36] Gamepedia.com. (2016). *Circuitos de redstone*. Disponible en: http://minecraft-es.gamepedia.com/Circuitos_de_redstone. Último acceso 30 de abril 2016.
- [37] Tuexperto.com. (2016). *Todo sobre Minecraft Education Edition*. Disponible en: <http://www.tuexperto.com/2016/01/19/todo-sobre-minecraft-education-edition/>. Último acceso 30 de abril 2016.
- [38] Short, D. (2012). *Teaching scientific concepts using a virtual world—Minecraft*. *Teaching Science-the Journal of the Australian Science Teachers Association*,58(3), 55.
- [39] López, F. J. M., del Cerro Velázquez, F., Méndez, G. M (2014). *El uso de Minecraft como herramienta de aprendizaje en la Educación Secundaria Obligatoria*. Murcia: Facultad de Educación, Universidad de Murcia.
- [40] Saez-Lopez, J. M., & Dominguez-Garrido, M. C. (2014). *Integración Pedagógica De La Aplicación Minecraft Edu En Educación Primaria: Un Estudio De Caso*. *Píxel-Bit, Revista de medios y educación*,45, 95-110.

- [41] Renault Consulting (2016). *Escuela Lean*. Disponible en: <http://www.renault-consulting.es/blog/lean/1304/>. Último acceso 11 de mayo 2016.
- [42] ABC.es. (2016). *Renault estrena la primera escuela Lean de España*. Disponible en: <http://www.abc.es/motor-reportajes/20140130/abci-renault-escuela-lean-201401292101.html>. Último acceso 11 de mayo 2016.
- [43] ElPaís.com. (2014). *Nace la primera Escuela Lean como arma para mejorar la competitividad*. Disponible en: http://economia.elpais.com/economia/2014/01/29/agencias/1391001200_277515.html. Último acceso 11 de mayo 2016.

7. ANEXOS.

En los Anexos se incluyen las Fichas de Instrucciones de Trabajo de cada una de las 4 producciones realizadas en la Escuela Lean y un Tutorial de aprendizaje básico de Minecraft para las simulaciones.

7.1. FICHAS DE TRABAJO PRODUCCIÓN 1.

7.1.1. INSTRUCCIONES COMUNES.

Estas instrucciones comunes iniciales se mantienen igual en todos los mapas de producción. Al entrar en el correspondiente mapa de Minecraft, el personaje aparece en una plaza de color morado, la cual tiene un camino blanco que indica la dirección a seguir. Al final del camino se encuentran en los carteles las instrucciones para llegar hasta la Escuela Lean. Si se produce la muerte de un personaje, por cualquier posible problema, éste reaparecerá en esta sala inicial.

Una vez en el interior de la Escuela Lean el alumno se dirige hacia la sala de vestuarios, al fondo a la derecha, para ponerse el uniforme de identificación determinado en función del puesto que le haya sido asignado. Para equiparse es necesario hacer click con el botón derecho sobre las distintas partes del uniforme correspondiente. Si por cualquier equivocación el uniforme aparece en el inventario, tan solo hay que pulsar “Shift + botón derecho o botón izquierdo” sobre cada una de las partes para vestirse de forma automática.

También en el vestuario, hay un cofre con un cartel que pone “COMIDA”, es necesario abrirlo y coger un conjunto de unidades de comida, que se utilizarán más adelante, cuando sea necesario, para poder alimentarse.

Una vez realizada esta preparación previa, cada alumno se encarga de leer las instrucciones correspondientes a su puesto asignado, seguir las indicaciones del profesor y empezar a organizarse las tareas de su puesto de trabajo.

A continuación, se detallan las funciones de cada uno de los puestos disponibles en las producciones de la Escuela Lean: responsable de producción, operarios, logísticos, cronometradores y zona de expediciones.

7.1.2. RESPONSABLE.

El responsable de producción es el encargado de hacer los pedidos a la cadena de producción de la fábrica, es decir, quien decide la secuencia de productos que se fabrican.

El cliente, que generalmente es el profesor, facilita la demanda de un nuevo pedido al responsable cada *takt time* (1 minuto). Entonces, el responsable de línea es el que decide el pedido más conveniente a realizar en cada ciclo, según la demanda y las circunstancias del propio proceso, comunicándole el producto decidido al operario del primer puesto, que comienza la fabricación con la identificación del producto mediante los indicadores.

Dado que es imprescindible para comenzar la producción la presencia de un producto en curso en cada uno de los puestos de trabajo, es cometido del responsable decidir previamente, en desconocimiento de la demanda de cliente, cuáles son esos productos intermedios iniciales en la cadena de producción.

A diferencia de las producciones en la Escuela Lean, el responsable no cuenta de inicio con 8 productos en el almacén de producto terminado para servir a cliente.

Como responsable tiene el control total sobre la fábrica, con mando para detener la producción, tomar decisiones en cualquier puesto ante problemas surgidos durante la misma, realizar modificaciones en los puestos cuando sea necesario, etc.

De forma específica, en esta primera producción, y debido al tiempo de duración del cambio de máquina, se trabaja, únicamente, en lotes de 4 productos respecto al primer atributo, es decir manteniendo el indicador correspondiente al atributo 1 en 4 productos consecutivos. Los indicadores de los otros dos atributos pueden variar sin ningún tipo de restricción. El responsable se encarga de establecer los pedidos a la línea con la dificultad de los lotes de 4 productos, por lo que deberá jugar para encontrar un equilibrio en la producción que le permita satisfacer la demanda del cliente y minimizar la sobreproducción innecesaria.

Los 8 productos con los que se trabaja en la simulación de la Escuela Lean en Minecraft se encuentran en la sección [7.1.7.2 Plantillas de Productos](#) al final de esta ficha de instrucciones.

7.1.3. OPERARIOS.

Los puestos de operario de la cadena productiva en todas las producciones realizadas, mantienen unas normas y patrones comunes, a excepción del puesto 6, que corresponde al control de calidad. A continuación, se definen esas pautas genéricas y después las específicas para el trabajo de cada uno de los puestos.

El operario nunca debe abandonar, durante la producción, su zona de trabajo (área morada), salvo que la situación lo requiera y el responsable le conceda el permiso. Esto implica que un operario que ha terminado su tarea no puede ayudar al compañero de al lado, aunque tenga trabajo acumulado.

Los productos a montar por los operarios en la cadena, se desplazan en un cofre dentro de una vagoneta, y consisten en combinaciones de diferentes materiales y cantidades codificados en función de 3 atributos con 2 posibilidades cada uno, que otorgan una diversidad total de 8 productos. La descripción de dichos atributos se encuentra en la sección [7.1.7.1 Plantillas Indicadores](#).

Cuando una nueva vagoneta de producto llega a un puesto de trabajo, el operario debe tomar las piezas de los cofres situados a su espalda y colocarlas en el cofre en el orden indicado según sea el producto. En el apartado [7.1.7.2 Plantillas Productos](#) se incluyen esos patrones de montaje de cada uno de los 8 productos diferentes.

La restricción que tienen los operarios para la realización de su trabajo, es que solo pueden coger en su inventario, de los cofres de su puesto, un peso máximo de 3 componentes, ya sean iguales o diferentes. Por ejemplo, si tienen que montar 12 piezas, lo tendrán que hacer en 4 veces. La comida no está incluida en esta limitación.

Los operarios únicamente pueden montar el producto cuando se encuentra ubicado en la última *montaña* de su puesto de trabajo (se identifica por la presencia de un botón), debido a que las *montañas* precedentes corresponden a las colas de espera de productos intermedios. Al pulsar el botón se produce, tras un breve retraso, el envío del producto hacia el siguiente puesto y el avance de las vagonetas en cola en el puesto entre dos *montañas* consecutivas. Por tanto, cuando llega un producto del puesto anterior, el operario debe pulsar el botón tantas veces como puestos tiene que avanzar la vagoneta hasta la *montaña* de trabajo.

Es importante tener cuidado con este botón, ya que si se juntan dos vagonetas en la misma *montaña* se produce un error grave en la producción.

Cuando el operario no dispone de materiales debe avisar al logístico encargado de proveerlos. Además, cualquier incidencia sucedida durante la producción debe ser informada, de forma inmediata, al correspondiente empleado para subsanarla.

En esta primera producción cada cofre del almacén intermedio de los puestos puede contener un máximo de 30 piezas del material correspondiente, no pudiendo superarse este número en ninguno de ellos. No obstante, los cofres de los indicadores en el puesto 1 y el del puesto 6 son excepciones a esta norma.

A continuación, se detalla la función específica de cada uno de los puestos de la cadena.

7.1.3.1. PUESTO DE TRABAJO 1.

En el primer puesto de la cadena de producción se lleva cabo el montaje de las dos primeras columnas del producto, la inicial corresponde a los indicadores que codifican el tipo de producto.

Para la determinación del producto que va a comenzar el proceso de fabricación, el operario de este puesto se encarga de seguir las instrucciones del responsable, que le comunica los indicadores específicos al empezar cada producto. En función del producto seleccionado, los materiales y el montaje serán diferentes en cada uno de los puestos, por lo que se utilizan las plantillas del apartado [7.1.7.2 Plantillas Productos](#).

Esos indicadores se deben colocar en el orden establecido en las plantillas, además, también computan en la restricción del peso máximo a transportar, establecido en 3 objetos. En los indicadores no es necesario el reaprovisionamiento debido a que se proporciona bastante cantidad en un cofre específico.

Dado que es el primer puesto, también es necesaria la colocación de una vagoneta con cofre para cada producto. Este proceso está automatizado, de forma que el operario tan solo tiene que pulsar el botón situado a la derecha de su puesto de trabajo, señalado con un cartel, cada vez que empiece la fabricación de un producto nuevo. Tras ello, la vagoneta con el cofre llega directamente hasta la última posición de espera del puesto, por lo que, mediante el botón de la izquierda, el operario la debe hacer llegar a la última *montaña* para comenzar el trabajo de montaje.

Al finalizar el trabajo del puesto sobre ese producto, el operario le envía hacia el siguiente puesto mediante el botón ubicado en la zona de trabajo.

7.1.3.2. PUESTO DE TRABAJO 2.

El puesto 2 se ocupa de la colocación de los paneles de cristal ubicados en las columnas 3 y 4 del producto a partir de los materiales localizados en su puesto y las plantillas de los diferentes tipos de producto.

Tras finalizar el montaje de cada producto, pulsa el botón de avance para que la vagoneta se desplace al siguiente puesto y le llegue la del anterior.

7.1.3.3. PUESTO DE TRABAJO 3.

El puesto 3 se ocupa de la colocación de los paneles de cristal ubicados únicamente en la columna 5 del producto a partir de los materiales localizados en su puesto y las plantillas de los diferentes tipos de producto.

Tras finalizar el montaje de cada producto, pulsa el botón de avance para que la vagoneta se desplace al siguiente puesto y le llegue la del anterior.

7.1.3.4. PUESTO DE TRABAJO 4.

El puesto 4 se ocupa de la colocación de los paneles de cristal ubicados en las columnas 6 y 7 del producto a partir de los materiales localizados en su puesto y las plantillas de los diferentes tipos de producto.

Tras finalizar el montaje de cada producto, pulsa el botón de avance para que la vagoneta se desplace al siguiente puesto y le llegue la del anterior.

7.1.3.5. PUESTO DE TRABAJO 5.

El puesto 5 se ocupa de la colocación de los paneles de cristal ubicados en las últimas columnas (8 y 9) del producto a partir de los materiales localizados en su puesto y las plantillas de los diferentes tipos de producto.

Tras finalizar el montaje de cada producto, pulsa el botón de avance para que la vagoneta se desplace al siguiente puesto y le llegue la del anterior.

7.1.3.6. PUESTO DE TRABAJO 6.

El puesto 6, a diferencia de los anteriores, no tiene ninguna tarea de montaje de paneles de cristal, sino que se trata del control de calidad de los productos antes de salir a cliente.

La tarea de este puesto es la comprobación del correcto montaje de los productos contrastándolo con las plantillas suministradas de los productos

terminados. Tras ello, el operario debe registrar en un libro de calidad, ubicado en su único cofre, el resultado del control, incluyendo el número de producto y si cumple con las especificaciones o no. En este último caso indica la columna del producto en la que ha encontrado el error. Por ejemplo, un producto erróneo en la cuarta columna se refleja: 1 NOK 4C. Este libro se comprobará al final de la producción para verificar la calidad del proceso y corregir estudiar los fallos.

También, es necesario que el operario de calidad informe, tras cada producto, al encargado de la zona de expediciones del resultado del control para que pueda señalarlo en los carteles correspondientes del almacén de salida.

7.1.4. LOGÍSTICOS.

Los logísticos de la fábrica son los encargados de proveer todos los materiales necesarios, durante las producciones, a los puestos de trabajo de los operarios para garantizar la continuidad del proceso productivo y evitar las paradas por falta de suministro.

Los logísticos se ocupan del transporte de los materiales entre distintos puntos de la Escuela, aunque para ello cuentan con dos limitaciones importantes. En primer lugar, únicamente pueden transportar material en el inventario hasta un peso máximo correspondiente a 30 piezas, y además, esas piezas deben ser iguales, es decir, no pueden combinar paneles de distintos colores. La comida no está incluida en esta limitación.

Por lo general, el trabajo normal de los logísticos consiste en transportar los materiales desde las estanterías del almacén hasta los cofres de los puestos donde son necesarios. Para ello, es necesaria una comunicación constante con los operarios que permita conocer las necesidades de materiales en cada puesto de la forma más rápida posible para evitar las carencias de componentes.

7.1.5. CRONOMETRADORES.

El cronometrador es un tipo especial de empleado que mantiene invariable su función en cada una de las producciones realizadas. Se encarga de medir los tiempos de duración de todas las operaciones importantes de la

Escuela, además de preparar los datos y determinar los parámetros de análisis correspondientes para la post-producción.

En general, cada cronometrador se ocupa de la medición del tiempo de 2 puestos consecutivos, por lo que es imprescindible su organización y pulcritud para la obtención del máximo número de medidas de tiempo posible, con el fin de conseguir una mayor fiabilidad de los datos y facilitar los análisis posteriores.

Las principales medidas de tiempo a tomar corresponden al tiempo total de operación de un producto en cada puesto y el tiempo general de fabricación de un producto desde que entra en la cadena hasta que sale hacia expediciones. Otras mediciones secundarias a tomar son: los tiempos de las subtareas en que se divide el trabajo del operario (difícil en Minecraft), el tiempo ocioso del operario sin producto para trabajar y los tiempos de actuación de los logísticos. Estos tiempos secundarios serán medidos, si es considerado oportuno y factible por el profesor, al contar con los recursos humanos suficientes para ello.

7.1.6. ZONA DE EXPEDICIONES.

El trabajo de la zona de expediciones se mantiene idéntico en todas las producciones realizadas. En esta área se almacenan, clasifican y señalan todos los productos que salen de la cadena de producción por el puesto de calidad antes de ser enviados al cliente. Esta tarea puede ser desempeñada por el profesor o en su defecto por un empleado logístico.

Las funciones a desempeñar en una expedición son, en ese orden, las siguientes:

- Al entrar una nueva vagoneta con producto se debe permitir y asegurar que llegue hasta el fondo de la pared, lugar en el que frenará de forma automática.
- Apuntar el número de vagoneta, el tiempo de llegada y la identificación del producto. Para ello se recomienda utilizar un papel real.
- Una vez frenada por completo, para evitar que retroceda y vuelva hacia la cadena se debe quitar el raíl anterior a la vagoneta, con las manos o mediante una herramienta suministrada por el profesor (pico de diamante).

*****IMPORTANTE:** es preciso romper con atención, únicamente, el raíl posterior, puesto que, si se destruye aquel en que se asienta la vagoneta, ésta se romperá liberando todos los materiales que contiene el producto, perdiéndole para su comprobación final. ***

- En el lugar en que se ha quitado el raíl, se colocan dos cubos de arcilla verde (almacenada en un cofre), uno encima del otro, formando una nueva pared que encierra el producto y permite frenar a la siguiente vagoneta. En la Figura 7.1 se observa cómo debe quedar el almacén entre cada producto terminado.



Figura 7.1 Funcionamiento de la zona de expedición.

- Por último, se coloca dentro del marco superior al producto, mediante click derecho, un tinte verde o rosa (almacenados en un cofre), a modo de indicador de la calidad del producto. Para ello, debe recibir la información del control de calidad en el puesto 6.

Con ello finaliza la expedición y queda preparada la zona para recepcionar la siguiente vagoneta de producto y repetir el proceso. Para evitar problemas, es importante que este procedimiento se realice de forma mecánica y ágil en un período inferior al tiempo que transcurre entre la llegada de dos vagonetas consecutivas.

Para facilitar este trabajo, se permite tener al encargado de la zona de expediciones poseer objetos ilimitados en el inventario, es decir la suficiente arcilla verde y tintes rosas y verdes para toda la producción.

7.1.7. PLANTILLAS.

En esta sección se incorporan las plantillas que sirven de modelo correspondientes al fundamento de los 3 atributos utilizados y al conjunto de los 8 productos terminados.

7.1.7.1. PLANTILLAS INDICADORES.

A continuación, se muestran las plantillas que desglosan el significado de los 3 atributos de que se componen los productos.

El primer atributo establece la colocación de los paneles del color primario y secundario de cada producto y su indicador se sitúa en la fila 1 y columna 1 (1-1). Puede ser representado por los indicadores: hierro y oro. En la Figura 7.2 se puede observar como cada indicador se refiere a una colocación predeterminada, representando, en este caso, el blanco al color principal y el negro al color secundario.

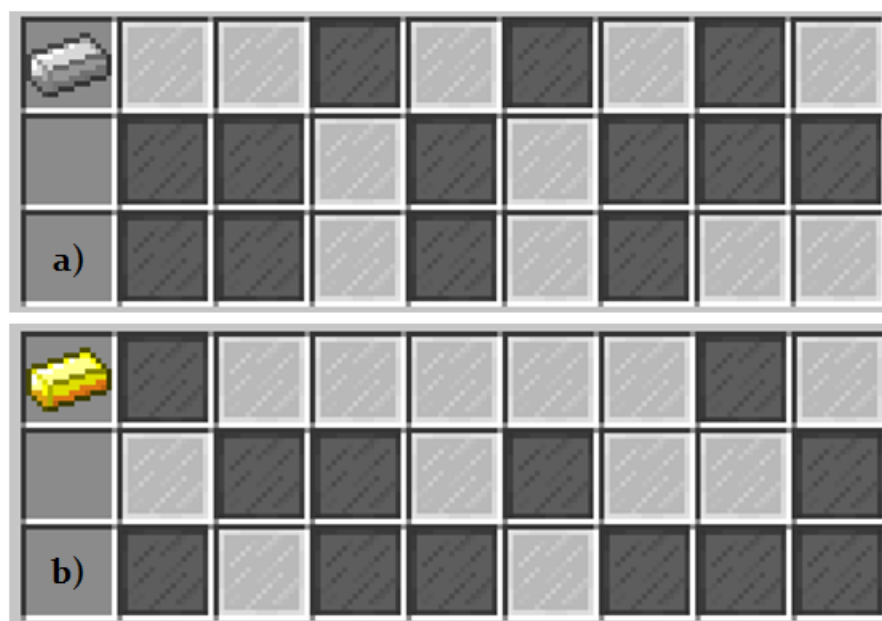


Figura 7.2 Atributo 1 del producto con indicadores: a) hierro, b) oro.

El segundo atributo determina el color secundario de cada uno de los 5 puestos de montaje del producto y su indicador se sitúa en la fila 2 y columna 1 (2-1). El color primario de cada puesto se mantiene igual para ambos indicadores. Este atributo puede ser representado por los indicadores: *redstone* y *piedra brillante* (Figura 7.3).



Figura 7.3 Atributo 2 del producto con indicadores: a) redstone, b) piedra brillante.

El tercer atributo indica el número de paneles específico que corresponde a cada uno de los huecos del producto y su indicador se sitúa en la fila 3 y columna 1 (3-1). Este atributo puede ser representado por los indicadores: bola de slime (verde) y crema de magma (rojo) (Figura 7.4).

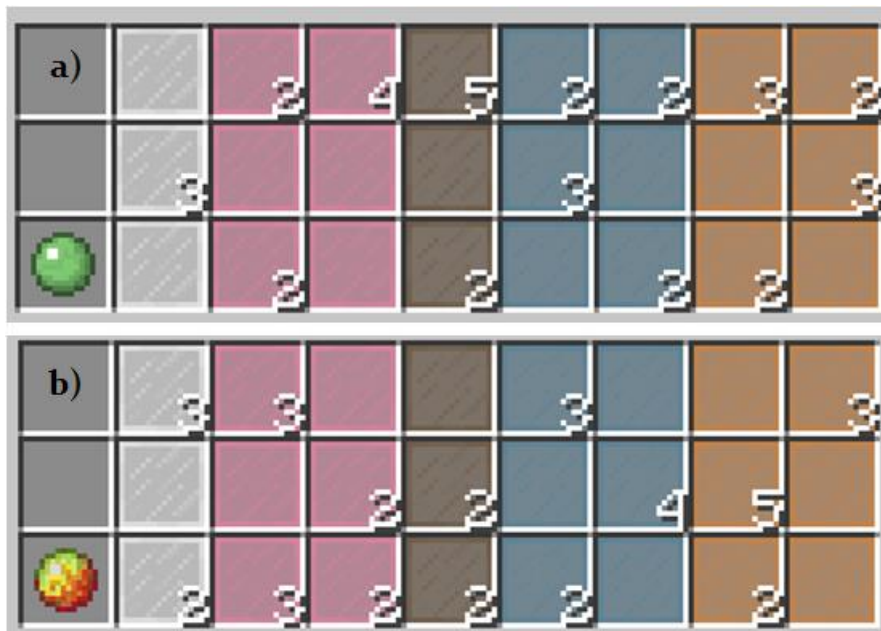


Figura 7.4 Atributo 3 del producto con indicadores: a) bola slime, b) crema magma.

7.1.7.2. PLANTILLAS PRODUCTOS.

En este apartado se expone la colección completa de los 8 productos posibles terminados en función de los 3 atributos.

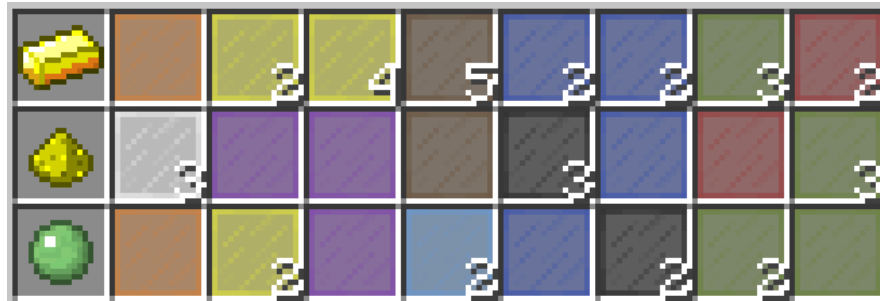


Figura 7.5 Producto 1 con atributos: oro-piedra brillante-bola slime.

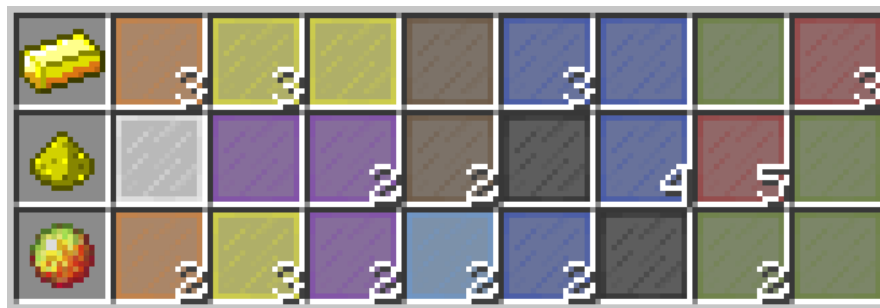


Figura 7.6 Producto 2 con atributos: oro-piedra brillante-crema magma.

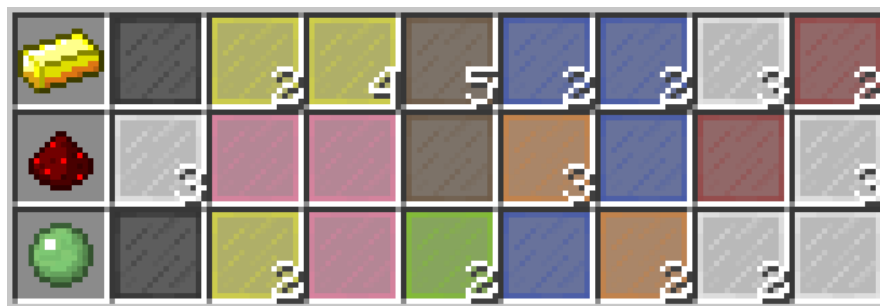


Figura 7.7 Producto 3 con atributos: oro-redstone-bola slime.

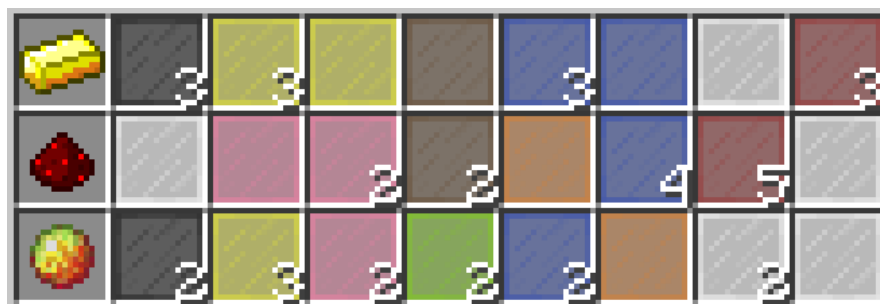


Figura 7.8 Producto 4 con atributos: oro-redstone-crema magma.

	3	3			3			3
			2	2		4	5	
	2	3	2	2	2		2	2

Figura 7.9 Producto 5 con atributos: hierro-redstone-crema magma.

		2	4	5	2	2	3	2
	3				3			3
		2		2		2	2	2

Figura 7.10 Producto 6 con atributos: hierro-redstone-bola slime.

	3	3			3			3
			2	2		4	5	
	2	3	2	2	2		2	2

Figura 7.11 Producto 7 con atributos: hierro-piedra brillante-crema magma.

		2	4	5	2	2	3	2
	3				3			3
		2		2		2	2	2

Figura 7.12 Producto 8 con atributos: hierro-piedra brillante-bola slime.

7.2. FICHAS DE TRABAJO PRODUCCIÓN 2.

7.2.1. INSTRUCCIONES COMUNES.

Estas instrucciones comunes iniciales se mantienen igual en todos los mapas de producción. Al entrar en el correspondiente mapa de Minecraft, el personaje aparece en una plaza de color morado, la cual tiene un camino blanco que indica la dirección a seguir. Al final del camino se encuentran en los carteles las instrucciones para llegar hasta la Escuela Lean. Si se produce la muerte de un personaje, por cualquier posible problema, éste reaparecerá en esta sala inicial.

Una vez en el interior de la Escuela Lean el alumno se dirige hacia la sala de vestuarios, al fondo a la derecha, para ponerse el uniforme de identificación determinado en función del puesto que le haya sido asignado. Para equiparse es necesario hacer click con el botón derecho sobre las distintas partes del uniforme correspondiente. Si por cualquier equivocación el uniforme aparece en el inventario, tan solo hay que pulsar “Shift + botón derecho o botón izquierdo” sobre cada una de las partes para vestirse de forma automática.

También en el vestuario, hay un cofre con un cartel que pone “COMIDA”, es necesario abrirlo y coger un conjunto de unidades de comida, que se utilizarán más adelante, cuando sea necesario, para poder alimentarse.

Una vez realizada esta preparación previa, cada alumno se encarga de leer las instrucciones correspondientes a su puesto asignado, seguir las indicaciones del profesor y empezar a organizarse las tareas de su puesto de trabajo.

A continuación, se detallan las funciones de cada uno de los puestos disponibles en las producciones de la Escuela Lean: responsable de producción, operarios, logísticos, cronometradores y zona de expediciones.

7.2.2. RESPONSABLE.

El responsable de producción es el encargado de hacer los pedidos a la cadena de producción de la fábrica, es decir, quien decide la secuencia de productos que se fabrican.

El cliente, que generalmente es el profesor, facilita la demanda de un nuevo pedido al responsable cada *takt time* (1 minuto). Entonces, el

responsable de línea es el que decide el pedido más conveniente a realizar en cada ciclo, según la demanda y las circunstancias del propio proceso, comunicándole el producto decidido al operario del primer puesto, que comienza la fabricación con la identificación del producto mediante los indicadores.

Dado que es imprescindible para comenzar la producción la presencia de un producto en curso en cada uno de los puestos de trabajo, es cometido del responsable decidir previamente, en desconocimiento de la demanda de cliente, cuáles son esos productos intermedios iniciales en la cadena de producción.

A diferencia de las producciones en la Escuela Lean, el responsable no cuenta de inicio con 8 productos en el almacén de producto terminado para servir a cliente.

Como responsable tiene el control total sobre la fábrica, con mando para detener la producción, tomar decisiones en cualquier puesto ante problemas surgidos durante la misma, realizar modificaciones en los puestos cuando sea necesario, etc.

De forma específica, en esta segunda producción al igual que en la primera, y debido al tiempo de duración del cambio de máquina, se trabaja, únicamente, en lotes de 4 productos respecto al primer atributo, es decir manteniendo el indicador correspondiente al atributo 1 en 4 productos consecutivos. Los indicadores de los otros dos atributos pueden variar sin ningún tipo de restricción. El responsable se encarga de establecer los pedidos a la línea con la dificultad de los lotes de 4 productos, por lo que deberá jugar para encontrar un equilibrio en la producción que le permita satisfacer la demanda del cliente y minimizar la sobreproducción innecesaria.

Los 8 productos con los que se trabaja en la simulación de la Escuela Lean en Minecraft se encuentran en la sección [7.2.7.2 Plantillas de Productos](#) al final de esta ficha de instrucciones.

7.2.3. OPERARIOS.

Los puestos de operario de la cadena productiva en todas las producciones realizadas, mantienen unas normas y patrones comunes, a excepción del puesto 6, que corresponde al control de calidad. A continuación, se definen esas pautas genéricas y después las específicas para el trabajo de cada uno de los puestos.

El operario nunca debe abandonar, durante la producción, su zona de trabajo (área morada), salvo que la situación lo requiera y el responsable le conceda el permiso. Esto implica que un operario que ha terminado su tarea no puede ayudar al compañero de al lado, aunque tenga trabajo acumulado.

Los productos a montar por los operarios en la cadena, se desplazan en un cofre dentro de una vagoneta, y consisten en combinaciones de diferentes materiales y cantidades codificados en función de 3 atributos con 2 posibilidades cada uno, que otorgan una diversidad total de 8 productos. La descripción de dichos atributos se encuentra en la sección [7.2.7.1 Plantillas Indicadores](#).

Cuando una nueva vagoneta de producto llega a un puesto de trabajo, el operario debe tomar las piezas de los cofres situados a su espalda y colocarlas en el cofre en el orden indicado según sea el producto. En el apartado [7.2.7.2 Plantillas Productos](#) se incluyen esos patrones de montaje de cada uno de los 8 productos diferentes.

La restricción que tienen los operarios para la realización de su trabajo, es que solo pueden coger en su inventario, de los cofres de su puesto, un peso máximo de 3 componentes, ya sean iguales o diferentes. Por ejemplo, si tienen que montar 12 piezas, lo tendrán que hacer en 4 veces. La comida no está incluida en esta limitación.

Los operarios únicamente pueden montar el producto cuando se encuentra ubicado en la última *montaña* de su puesto de trabajo (se identifica por la presencia de un botón), debido a que las *montañas* precedentes corresponden a las colas de espera de productos intermedios. Al pulsar el botón se produce, tras un breve retraso, el envío del producto hacia el siguiente puesto y el avance de las vagonetas en cola en el puesto entre dos *montañas* consecutivas. Por tanto, cuando llega un producto del puesto anterior, el operario debe pulsar el botón tantas veces como puestos tiene que avanzar la vagoneta hasta la *montaña* de trabajo.

Es importante tener cuidado con este botón, ya que si se juntan dos vagonetas en la misma *montaña* se produce un error grave en la producción.

En esta producción se ha implantado un sistema Kanban para facilitar el aviso a los logísticos de la necesidad de materiales en el puesto, por lo que la zona de cofres de materiales intermedios ha sido modificada. Ahora se dispone de dos cofres, uno encima del otro, con una capacidad máxima cada uno de 15 piezas del color correspondiente, es decir se mantiene el mismo stock de 30 componentes.

El procedimiento de actuación por parte de los operarios tras la implantación de este sistema es el siguiente:

- El operario trabaja tomando los materiales de uno de los cofres, independientemente de cuál de los 2 se trate, hasta que se vacíe totalmente.
- Una vez se ha vaciado uno de los cofres, el operario avisa de la necesidad al logístico mediante el accionamiento de la luz específica del material con su palanca correspondiente. El operario continúa su trabajo tomando materiales del segundo cofre del mismo material.
- A partir de la alerta de luz, el logístico identifica la necesidad, y repone las 15 unidades del material agotado, desactivando entonces la palanca de la luz para retornar al estado inicial.
- Generalmente, cuando el operario consuma el segundo cofre del material, el primero ya habrá sido repuesto con más cantidad, lo que repite el proceso y garantiza la continuidad del trabajo de la cadena de producción. No obstante, si por cualquier motivo no ha sido repuesto el primer cofre, el operario debe avisar al logístico de forma extraordinaria para evitar consecuencias más graves.

Los cofres de los indicadores en el puesto 1 y el del puesto 6 son excepciones a estas normas ya que no tienen necesidad de reposición. Además, cualquier incidencia ocurrida durante la producción debe ser comunicada al correspondiente empleado para subsanarla.

A continuación, se detalla la función específica de cada uno de los puestos de la cadena.

7.2.3.1. PUESTO DE TRABAJO 1.

En el primer puesto de la cadena de producción se lleva cabo el montaje de las dos primeras columnas del producto, la inicial corresponde a los indicadores que codifican el tipo de producto.

Para la determinación del producto que va a comenzar el proceso de fabricación, el operario de este puesto se encarga de seguir las instrucciones del responsable, que le comunica los indicadores específicos al empezar cada producto. En función del producto seleccionado, los materiales y el montaje serán diferentes en cada uno de los puestos, por lo que se utilizan las plantillas del apartado [7.2.7.2 Plantillas Productos](#).

Esos indicadores se deben colocar en el orden establecido en las plantillas, además, también computan en la restricción del peso máximo a transportar, establecido en 3 objetos. En los indicadores no es necesario el reaprovisionamiento debido a que se proporciona bastante cantidad en un cofre específico.

Dado que es el primer puesto, también es necesaria la colocación de una vagoneta con cofre para cada producto. Este proceso está automatizado, de forma que el operario tan solo tiene que pulsar el botón situado a la derecha de su puesto de trabajo, señalado con un cartel, cada vez que empiece la fabricación de un producto nuevo. Tras ello, la vagoneta con el cofre llega directamente hasta la última posición de espera del puesto, por lo que, mediante el botón de la izquierda, el operario la debe hacer llegar a la última *montaña* para comenzar el trabajo de montaje.

Al finalizar el trabajo del puesto sobre ese producto, el operario le envía hacia el siguiente puesto mediante el botón ubicado en la zona de trabajo.

7.2.3.2. PUESTO DE TRABAJO 2.

El puesto 2 se ocupa de la colocación de los paneles de cristal ubicados en las columnas 3 y 4 del producto a partir de los materiales localizados en su puesto y las plantillas de los diferentes tipos de producto.

Tras finalizar el montaje de cada producto, pulsa el botón de avance para que la vagoneta se desplace al siguiente puesto y le llegue la del anterior.

7.2.3.3. PUESTO DE TRABAJO 3.

El puesto 3 se ocupa de la colocación de los paneles de cristal ubicados únicamente en la columna 5 del producto a partir de los materiales localizados en su puesto y las plantillas de los diferentes tipos de producto.

Tras finalizar el montaje de cada producto, pulsa el botón de avance para que la vagoneta se desplace al siguiente puesto y le llegue la del anterior.

7.2.3.4. PUESTO DE TRABAJO 4.

El puesto 4 se ocupa de la colocación de los paneles de cristal ubicados en las columnas 6 y 7 del producto a partir de los materiales localizados en su puesto y las plantillas de los diferentes tipos de producto.

Tras finalizar el montaje de cada producto, pulsa el botón de avance para que la vagoneta se desplace al siguiente puesto y le llegue la del anterior.

7.2.3.5. PUESTO DE TRABAJO 5.

El puesto 5 se ocupa de la colocación de los paneles de cristal ubicados en las últimas columnas (8 y 9) del producto a partir de los materiales localizados en su puesto y las plantillas de los diferentes tipos de producto.

Tras finalizar el montaje de cada producto, pulsa el botón de avance para que la vagoneta se desplace al siguiente puesto y le llegue la del anterior.

7.2.3.6. PUESTO DE TRABAJO 6.

El puesto 6, a diferencia de los anteriores, no tiene ninguna tarea de montaje de paneles de cristal, sino que se trata del control de calidad de los productos antes de salir a cliente.

La tarea de este puesto es la comprobación del correcto montaje de los productos contrastándolo con las plantillas suministradas de los productos terminados. Tras ello, el operario debe registrar en un libro de calidad, ubicado en su único cofre, el resultado del control, incluyendo el número de producto y si cumple con las especificaciones o no. En este último caso indica la columna del producto en la que ha encontrado el error. Por ejemplo, un producto erróneo en la cuarta columna se refleja: 1 NOK 4C. Este libro se comprobará al final de la producción para verificar la calidad del proceso y corregir estudiar los fallos.

También, es necesario que el operario de calidad informe, tras cada producto, al encargado de la zona de expediciones del resultado del control para que pueda señalarlo en los carteles correspondientes del almacén de salida.

7.2.4. LOGÍSTICOS.

Los logísticos de la fábrica son los encargados de proveer todos los materiales necesarios, durante las producciones, a los puestos de trabajo de los operarios para garantizar la continuidad del proceso productivo y evitar las paradas por falta de suministro.

Los logísticos se ocupan del transporte de los materiales entre distintos puntos de la Escuela, aunque para ello cuentan con dos limitaciones importantes. En primer lugar, únicamente pueden transportar material en el inventario hasta un peso máximo correspondiente a 30 piezas; además, esas

piezas deben ser iguales, es decir, no pueden combinar paneles de distintos colores. La comida no está incluida en esta limitación.

Por lo general, el trabajo normal de los logísticos consiste en transportar los materiales desde las estanterías del almacén hasta los cofres de los puestos donde son necesarios. Para conocer esa necesidad de materiales se implementa el sistema kanban, sustituyendo a la comunicación directa, que utiliza lámparas asociadas a cada uno de los materiales de un puesto. Cuando el operario enciende una luz, indica que se le ha agotado ese material en uno de los cofres, entonces, el logístico debe visualizar inmediatamente dicho material, y reponer 15 unidades en el cofre correspondiente, en el menor tiempo posible. Tras la reposición, es imprescindible que el logístico desactive la palanca para apagar la luz de necesidad del kanban y volver al estado inicial.

7.2.5. CRONOMETRADORES.

El cronometrador es un tipo especial de empleado que mantiene invariable su función en cada una de las producciones realizadas. Se encarga de medir los tiempos de duración de todas las operaciones importantes de la Escuela, además de preparar los datos y determinar los parámetros de análisis correspondientes para la post-producción.

En general, cada cronometrador se ocupa de la medición del tiempo de 2 puestos consecutivos, por lo que es imprescindible su organización y pulcritud para la obtención del máximo número de medidas de tiempo posible, con el fin de conseguir una mayor fiabilidad de los datos y facilitar los análisis posteriores.

Las principales medidas de tiempo a tomar corresponden al tiempo total de operación de un producto en cada puesto y el tiempo general de fabricación de un producto desde que entra en la cadena hasta que sale hacia expediciones. Otras mediciones secundarias a tomar son: los tiempos de las subtareas en que se divide el trabajo del operario (difícil en Minecraft), el tiempo ocioso del operario sin producto para trabajar y los tiempos de actuación de los logísticos. Estos tiempos secundarios serán medidos, si es considerado oportuno y factible por el profesor, al contar con los recursos humanos suficientes para ello.

7.2.6. ZONA DE EXPEDICIONES.

El trabajo de la zona de expediciones se mantiene idéntico en todas las producciones realizadas. En esta área se almacenan, clasifican y señalan todos los productos que salen de la cadena de producción por el puesto de calidad antes de ser enviados al cliente. Esta tarea puede ser desempeñada por el profesor o en su defecto por un empleado logístico.

Las funciones a desempeñar en una expedición son, en ese orden, las siguientes:

- Al entrar una nueva vagoneta con producto se debe permitir y asegurar que llegue hasta el fondo de la pared, lugar en el que frenará de forma automática.
- Apuntar el número de vagoneta, el tiempo de llegada y la identificación del producto. Para ello se recomienda utilizar un papel real.
- Una vez frenada por completo, para evitar que retroceda y vuelva hacia la cadena se debe quitar el raíl anterior a la vagoneta, con las manos o mediante una herramienta suministrada por el profesor (pico de diamante).

****IMPORTANTE: es preciso romper con atención, únicamente, el raíl posterior, puesto que, si se destruye aquel en que se asienta la vagoneta, ésta se romperá liberando todos los materiales que contiene el producto, perdiéndole para su comprobación final.****

- En el lugar en que se ha quitado el raíl, se colocan dos cubos de arcilla verde (almacenada en un cofre), uno encima del otro, formando una nueva pared que encierra el producto y permite frenar a la siguiente vagoneta. En la Figura 7.13 se observa cómo debe quedar el almacén entre cada producto terminado.



Figura 7.13 Funcionamiento de la zona de expedición.

- Por último, se coloca dentro del marco superior al producto, mediante click derecho, un tinte verde o rosa (almacenados en un cofre), a modo de indicador de la calidad del producto. Para ello, debe recibir la información del control de calidad en el puesto 6.

Con ello finaliza la expedición y queda preparada la zona para recepcionar la siguiente vagoneta de producto y repetir el proceso. Para evitar problemas, es importante que este procedimiento se realice de forma mecánica y ágil en un período inferior al tiempo que transcurre entre la llegada de dos vagonetas consecutivas.

Para facilitar este trabajo, se permite tener al encargado de la zona de expediciones poseer objetos ilimitados en el inventario, es decir la suficiente arcilla verde y tintes rosas y verdes para toda la producción.

7.2.7. PLANTILLAS.

En esta sección se incorporan las plantillas que sirven de modelo correspondientes al fundamento de los 3 atributos utilizados y al conjunto de los 8 productos terminados.

7.2.7.1. PLANTILLAS INDICADORES.

A continuación, se muestran las plantillas que desglosan el significado de los 3 atributos de que se componen los productos.

El primer atributo establece la colocación de los paneles del color primario y secundario de cada producto y su indicador se sitúa en la fila 1 y columna 1 (1-1). Puede ser representado por los indicadores: hierro y oro. En la Figura 7.14 se puede observar como cada indicador se refiere a una colocación predeterminada, representando, en este caso, el blanco al color principal y el negro al color secundario.

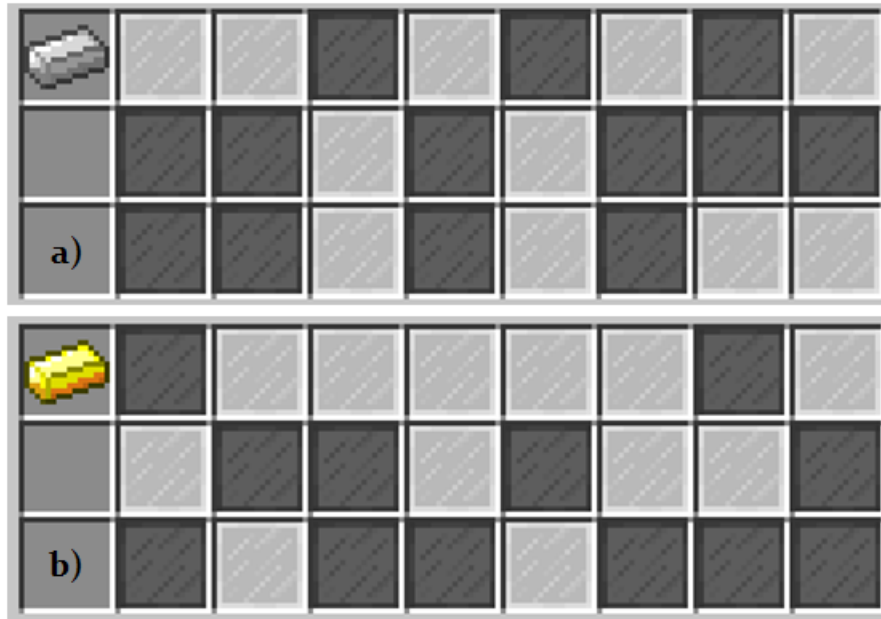


Figura 7.14 Atributo 1 del producto con indicadores: a) hierro, b) oro.

El segundo atributo determina el color secundario de cada uno de los 5 puestos de montaje del producto y su indicador se sitúa en la fila 2 y columna 1 (2-1). El color primario de cada puesto se mantiene igual para ambos indicadores. Este atributo puede ser representado por los indicadores: redstone y piedra brillante (Figura 7.15).



Figura 7.15 Atributo 2 del producto con indicadores: a) redstone, b) piedra brillante.

El tercer atributo indica el número de paneles específico que corresponde a cada uno de los huecos del producto y su indicador se sitúa en la fila 3 y columna 1 (3-1). Este atributo puede ser representado por los indicadores: bola de slime (verde) y crema de magma (rojo) (Figura 7.16).



Figura 7.16 Atributo 3 del producto con indicadores: a) bola slime, b) crema magma.

7.2.7.2. PLANTILLAS PRODUCTOS.

En este apartado se expone la colección completa de los 8 productos posibles terminados en función de los 3 atributos.

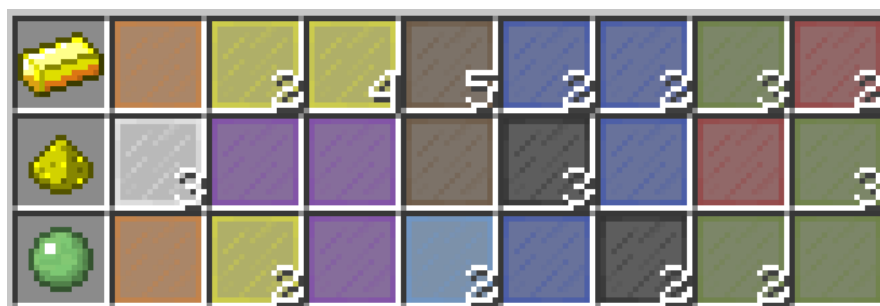


Figura 7.17 Producto 1 con atributos: oro-piedra brillante-bola slime.

	3	3	3	3	3	3	3	3
		2	2	2	2	4	5	3
	2	3	2	2	2	2	2	2

Figura 7.18 Producto 2 con atributos: oro-piedra brillante-crema magma.

		2	4	5	2	2	3	2
	3	2	2	2	2	2	2	3
		2	2	2	2	2	2	2

Figura 7.19 Producto 3 con atributos: oro-redstone-bola slime.

	3	3	3	3	3	3	3	3
		2	2	2	2	4	5	
	2	3	2	2	2	2	2	

Figura 7.20 Producto 4 con atributos: oro-redstone-crema magma.

	3	3	2	2	2	2	2	3
		2	2	2	2	4	5	
	2	3	2	2	2	2	2	

Figura 7.21 Producto 5 con atributos: hierro-redstone-crema magma.

		2	4	5	2	2	3	2
	3				3			3
		2		2		2	2	2

Figura 7.22 Producto 6 con atributos: hierro-redstone-bola slime.

	3	3			3			3
			2	2		4	5	
	2	3	2	2	2		2	2

Figura 7.23 Producto 7 con atributos: hierro-piedra brillante-crema magma.

		2	4	5	2	2	3	2
	3				3			3
		2		2		2	2	2

Figura 7.24 Producto 8 con atributos: hierro-piedra brillante-bola slime.

7.3. FICHAS DE TRABAJO PRODUCCIÓN 3.

7.3.1. INSTRUCCIONES COMUNES.

Estas instrucciones comunes iniciales se mantienen igual en todos los mapas de producción. Al entrar en el correspondiente mapa de Minecraft, el personaje aparece en una plaza de color morado, la cual tiene un camino blanco que indica la dirección a seguir. Al final del camino se encuentran en los carteles las instrucciones para llegar hasta la Escuela Lean. Si se produce la muerte de un personaje, por cualquier posible problema, éste reaparecerá en esta sala inicial.

Una vez en el interior de la Escuela Lean el alumno se dirige hacia la sala de vestuarios, al fondo a la derecha, para ponerse el uniforme de identificación determinado en función del puesto que le haya sido asignado. Para equiparse es necesario hacer click con el botón derecho sobre las distintas partes del uniforme correspondiente. Si por cualquier equivocación el uniforme aparece en el inventario, tan solo hay que pulsar “Shift + botón derecho o botón izquierdo” sobre cada una de las partes para vestirse de forma automática.

También en el vestuario, hay un cofre con un cartel que pone “COMIDA”, es necesario abrirlo y coger un conjunto de unidades de comida, que se utilizarán más adelante, cuando sea necesario, para poder alimentarse.

Una vez realizada esta preparación previa, cada alumno se encarga de leer las instrucciones correspondientes a su puesto asignado, seguir las indicaciones del profesor y empezar a organizarse las tareas de su puesto de trabajo.

A continuación, se detallan las funciones de cada uno de los puestos disponibles en las producciones de la Escuela Lean: responsable de producción, operarios, logísticos, cronometradores y zona de expediciones.

7.3.2. RESPONSABLE.

El responsable de producción es el encargado de hacer los pedidos a la cadena de producción de la fábrica, es decir, quien decide la secuencia de productos que se fabrican.

El cliente, que generalmente es el profesor, facilita la demanda de un nuevo pedido al responsable cada *takt time* (1 minuto). Entonces, el

responsable de línea es el que decide el pedido más conveniente a realizar en cada ciclo, según la demanda y las circunstancias del propio proceso, comunicándole el producto decidido al operario del primer puesto, que comienza la fabricación con la identificación del producto mediante los indicadores.

Dado que es imprescindible para comenzar la producción la presencia de un producto en curso en cada uno de los puestos de trabajo, es cometido del responsable decidir previamente, en desconocimiento de la demanda de cliente, cuáles son esos productos intermedios iniciales en la cadena de producción.

A diferencia de las producciones en la Escuela Lean, el responsable no cuenta de inicio con 8 productos en el almacén de producto terminado para servir a cliente.

Como responsable tiene el control total sobre la fábrica, con mando para detener la producción, tomar decisiones en cualquier puesto ante problemas surgidos durante la misma, realizar modificaciones en los puestos cuando sea necesario, etc.

De forma específica, en esta tercera producción, y debido a la aplicación del SMED, se reduce el tiempo de duración del cambio de máquina a un *takt time*, eliminando la restricción del trabajo por lotes de 4 productos, lo que proporciona absoluta libertad para la elección de los productos pedidos a fábrica. Todo ello, simplifica la tarea del responsable que puede cumplir más fácilmente con la demanda del cliente y reducir al máximo la sobreproducción.

Los 8 productos con los que se trabaja en la simulación de la Escuela Lean en Minecraft se encuentran en la sección [7.3.7.2 Plantillas de Productos](#) al final de esta ficha de instrucciones.

7.3.3. OPERARIOS.

Los puestos de operario de la cadena productiva en todas las producciones realizadas, mantienen unas normas y patrones comunes, a excepción del puesto 6, que corresponde al control de calidad. A continuación, se definen esas pautas genéricas y después las específicas para el trabajo de cada uno de los puestos.

El operario nunca debe abandonar, durante la producción, su zona de trabajo (área morada), salvo que la situación lo requiera y el responsable le conceda el permiso. Esto implica que un operario que ha terminado su tarea no puede ayudar al compañero de al lado, aunque tenga trabajo acumulado.

Los productos a montar por los operarios en la cadena, se desplazan en un cofre dentro de una vagoneta, y consisten en combinaciones de diferentes materiales y cantidades codificados en función de 3 atributos con 2 posibilidades cada uno, que otorgan una diversidad total de 8 productos. La descripción de dichos atributos se encuentra en la sección [7.3.7.1 Plantillas Indicadores](#).

Cuando una nueva vagoneta de producto llega a un puesto de trabajo, el operario debe tomar las piezas de los cofres situados a su espalda y colocarlas en el cofre en el orden indicado según sea el producto. En el apartado [7.3.7.2 Plantillas Productos](#) se incluyen esos patrones de montaje de cada uno de los 8 productos diferentes.

La restricción que tienen los operarios para la realización de su trabajo, es que solo pueden coger en su inventario, de los cofres de su puesto, un peso máximo de 3 componentes, ya sean iguales o diferentes. Por ejemplo, si tienen que montar 12 piezas, lo tendrán que hacer en 4 veces. La comida no está incluida en esta limitación.

Los operarios únicamente pueden montar el producto cuando se encuentra ubicado en la última *montaña* de su puesto de trabajo (se identifica por la presencia de un botón), debido a que la *montaña* precedente corresponde a la cola de espera de productos intermedios. En esta tercera producción se reduce una zona de espera intermedia respecto a las anteriores producciones. Al pulsar el botón se produce, tras un breve retraso, el envío del producto hacia el siguiente puesto y el avance de la vagoneta en cola en el puesto entre dos *montañas* consecutivas. Por tanto, cuando llega un producto del puesto anterior, el operario debe pulsar el botón una vez para que le llegue hasta la ubicación de trabajo.

Es importante tener cuidado con este botón, ya que si se juntan dos vagonetas en la misma *montaña* se produce un error grave en la producción.

En esta producción se sigue utilizando el sistema Kanban, para facilitar el aviso a los logísticos de la necesidad de materiales en el puesto por lo que se dispone de dos cofres, uno encima del otro, con una capacidad máxima cada uno de 15 piezas del color correspondiente.

El procedimiento de actuación por parte de los operarios con este sistema es el siguiente:

- El operario trabaja tomando los materiales de uno de los cofres, independientemente de cuál de los 2 se trate, hasta que se vacíe totalmente.
- Una vez se ha vaciado uno de los cofres, el operario avisa de la necesidad al logístico mediante el accionamiento de la luz específica del material con su palanca correspondiente. El operario continúa su trabajo tomando materiales del segundo cofre del mismo material.
- A partir de la alerta de luz, el logístico identifica la necesidad, y repone las 15 unidades del material agotado, desactivando entonces la palanca de la luz para retornar al estado inicial.
- Generalmente, cuando el operario consuma el segundo cofre del material, el primero ya habrá sido repuesto con más cantidad, lo que repite el proceso y garantiza la continuidad del trabajo de la cadena de producción. No obstante, si por cualquier motivo no ha sido repuesto el primer cofre, el operario debe avisar al logístico de forma extraordinaria para evitar consecuencias más graves.

Los cofres de los indicadores en el puesto 1 y el del puesto 6 son excepciones a estas normas ya que no tienen necesidad de reposición. Además, cualquier incidencia ocurrida durante la producción debe ser comunicada al correspondiente empleado para subsanarla.

A continuación, se detalla la función específica de cada uno de los puestos de la cadena.

7.3.3.1. PUESTO DE TRABAJO 1.

En el primer puesto de la cadena de producción se lleva cabo el montaje de las dos primeras columnas del producto, la inicial corresponde a los indicadores que codifican el tipo de producto.

Para la determinación del producto que va a comenzar el proceso de fabricación, el operario de este puesto se encarga de seguir las instrucciones del responsable, que le comunica los indicadores específicos al empezar cada producto. En función del producto seleccionado, los materiales y el montaje serán diferentes en cada uno de los puestos, por lo que se utilizan las plantillas del apartado [7.3.7.2 Plantillas Productos](#).

Esos indicadores se deben colocar en el orden establecido en las plantillas, además, también computan en la restricción del peso máximo a transportar, establecido en 3 objetos. En los indicadores no es necesario el reaprovisionamiento debido a que se proporciona bastante cantidad en un cofre específico.

Dado que es el primer puesto, también es necesaria la colocación de una vagoneta con cofre para cada producto. Este proceso está automatizado, de forma que el operario tan solo tiene que pulsar el botón situado al inicio de su puesto de trabajo, señalado con un cartel, cada vez que empiece la fabricación de un producto nuevo. Tras ello, la vagoneta con el cofre llega directamente hasta la zona de espera en el puesto, por lo que, mediante el botón de la derecha, el operario la debe hacer llegar a la última *montaña* para comenzar el trabajo de montaje.

Al finalizar el trabajo del puesto sobre ese producto, el operario le envía hacia el siguiente puesto mediante el botón ubicado en la zona de trabajo.

7.3.3.2. PUESTO DE TRABAJO 2.

El puesto 2 se ocupa de la colocación de los paneles de cristal ubicados en las columnas 3 y 4 del producto a partir de los materiales localizados en su puesto y las plantillas de los diferentes tipos de producto.

Tras finalizar el montaje de cada producto, pulsa el botón de avance para que la vagoneta se desplace al siguiente puesto y le llegue la del anterior.

7.3.3.3. PUESTO DE TRABAJO 3.

El puesto 3 se ocupa de la colocación de los paneles de cristal ubicados únicamente en la columna 5 del producto a partir de los materiales localizados en su puesto y las plantillas de los diferentes tipos de producto.

Tras finalizar el montaje de cada producto, pulsa el botón de avance para que la vagoneta se desplace al siguiente puesto y le llegue la del anterior.

7.3.3.4. PUESTO DE TRABAJO 4.

El puesto 4 se ocupa de la colocación de los paneles de cristal ubicados en las columnas 6 y 7 del producto a partir de los materiales localizados en su puesto y las plantillas de los diferentes tipos de producto.

Tras finalizar el montaje de cada producto, pulsa el botón de avance para que la vagoneta se desplace al siguiente puesto y le llegue la del anterior.

7.3.3.5. PUESTO DE TRABAJO 5.

El puesto 5 se ocupa de la colocación de los paneles de cristal ubicados en las últimas columnas (8 y 9) del producto a partir de los materiales localizados en su puesto y las plantillas de los diferentes tipos de producto.

Tras finalizar el montaje de cada producto, pulsa el botón de avance para que la vagoneta se desplace al siguiente puesto y le llegue la del anterior.

7.3.3.6. PUESTO DE TRABAJO 6.

El puesto 6, a diferencia de los anteriores, no tiene ninguna tarea de montaje de paneles de cristal, sino que se trata del control de calidad de los productos antes de salir a cliente.

La tarea de este puesto es la comprobación del correcto montaje de los productos contrastándolo con las plantillas suministradas de los productos terminados. Tras ello, el operario debe registrar en un libro de calidad, ubicado en su único cofre, el resultado del control, incluyendo el número de producto y si cumple con las especificaciones o no. En este último caso indica la columna del producto en la que ha encontrado el error. Por ejemplo, un producto erróneo en la cuarta columna se refleja: 1 NOK 4C. Este libro se comprobará al final de la producción para verificar la calidad del proceso y corregir estudiar los fallos.

También, es necesario que el operario de calidad informe, tras cada producto, al encargado de la zona de expediciones del resultado del control para que pueda señalarlo en los carteles correspondientes del almacén de salida.

7.3.4. LOGÍSTICOS.

Los logísticos de la fábrica son los encargados de proveer todos los materiales necesarios, durante las producciones, a los puestos de trabajo de los operarios para garantizar la continuidad del proceso productivo y evitar las paradas por falta de suministro.

Los logísticos se ocupan del transporte de los materiales entre distintos puntos de la Escuela, aunque para ello cuentan con una limitación importante. Esa restricción consiste en que, únicamente pueden transportar material en el inventario hasta un peso máximo correspondiente a 30 piezas, aunque, a partir de esta tercera producción, esas piezas no tienen por qué ser

iguales, es decir, puede combinar en el transporte paneles de distintos colores. La comida no está incluida en esta limitación.

Por lo general, el trabajo normal de los logísticos consiste en transportar los materiales desde las estanterías del almacén hasta los cofres de los puestos donde son necesarios. Para conocer esa necesidad de materiales se sigue utilizando el sistema kanban, que emplea lámparas asociadas a cada uno de los materiales de un puesto. Cuando el operario enciende una luz, indica que se le ha agotado ese material en uno de los cofres, entonces, el logístico debe visualizar inmediatamente dicho material, y reponer 15 unidades en el cofre correspondiente, en el menor tiempo posible. Tras la reposición, es imprescindible que el logístico desactive la palanca para apagar la luz de necesidad del kanban y volver al estado inicial.

7.3.5. CRONOMETRADORES.

El cronometrador es un tipo especial de empleado que mantiene invariable su función en cada una de las producciones realizadas. Se encarga de medir los tiempos de duración de todas las operaciones importantes de la Escuela, además de preparar los datos y determinar los parámetros de análisis correspondientes para la post-producción.

En general, cada cronometrador se ocupa de la medición del tiempo de 2 puestos consecutivos, por lo que es imprescindible su organización y pulcritud para la obtención del máximo número de medidas de tiempo posible, con el fin de conseguir una mayor fiabilidad de los datos y facilitar los análisis posteriores.

Las principales medidas de tiempo a tomar corresponden al tiempo total de operación de un producto en cada puesto y el tiempo general de fabricación de un producto desde que entra en la cadena hasta que sale hacia expediciones. Otras mediciones secundarias a tomar son: los tiempos de las subtareas en que se divide el trabajo del operario (difícil en Minecraft), el tiempo ocioso del operario sin producto para trabajar y los tiempos de actuación de los logísticos. Estos tiempos secundarios serán medidos, si es considerado oportuno y factible por el profesor, al contar con los recursos humanos suficientes para ello.

7.3.6. ZONA DE EXPEDICIONES.

El trabajo de la zona de expediciones se mantiene idéntico en todas las producciones realizadas. En esta área se almacenan, clasifican y señalan todos los productos que salen de la cadena de producción por el puesto de calidad antes de ser enviados al cliente. Esta tarea puede ser desempeñada por el profesor o en su defecto por un empleado logístico.

Las funciones a desempeñar en una expedición son, en ese orden, las siguientes:

- Al entrar una nueva vagoneta con producto se debe permitir y asegurar que llegue hasta el fondo de la pared, lugar en el que frenará de forma automática.
- Apuntar el número de vagoneta, el tiempo de llegada y la identificación del producto. Para ello se recomienda utilizar un papel real.
- Una vez frenada por completo, para evitar que retroceda y vuelva hacia la cadena se debe quitar el raíl anterior a la vagoneta, con las manos o mediante una herramienta suministrada por el profesor (pico de diamante).

****IMPORTANTE: es preciso romper con atención, únicamente, el raíl posterior, puesto que, si se destruye aquel en que se asienta la vagoneta, ésta se romperá liberando todos los materiales que contiene el producto, perdiéndole para su comprobación final. ****

- En el lugar en que se ha quitado el raíl, se colocan dos cubos de arcilla verde (almacenada en un cofre), uno encima del otro, formando una nueva pared que encierra el producto y permite frenar a la siguiente vagoneta. En la Figura 7.25 se observa cómo debe quedar el almacén entre cada producto terminado.



Figura 7.25 Funcionamiento de la zona de expedición.

- Por último, se coloca dentro del marco superior al producto, mediante click derecho, un tinte verde o rosa (almacenados en un cofre), a modo de indicador de la calidad del producto. Para ello, debe recibir la información del control de calidad en el puesto 6.

Con ello finaliza la expedición y queda preparada la zona para recepcionar la siguiente vagoneta de producto y repetir el proceso. Para evitar problemas, es importante que este procedimiento se realice de forma mecánica y ágil en un período inferior al tiempo que transcurre entre la llegada de dos vagonetas consecutivas.

Para facilitar este trabajo, se permite tener al encargado de la zona de expediciones poseer objetos ilimitados en el inventario, es decir la suficiente arcilla verde y tintes rosas y verdes para toda la producción.

7.3.7. PLANTILLAS.

En esta sección se incorporan las plantillas que sirven de modelo correspondientes al fundamento de los 3 atributos utilizados y al conjunto de los 8 productos terminados.

7.3.7.1. PLANTILLAS INDICADORES.

A continuación, se muestran las plantillas que desglosan el significado de los 3 atributos de que se componen los productos.

El primer atributo establece la colocación de los paneles del color primario y secundario de cada producto y su indicador se sitúa en la fila 1 y columna 1 (1-1). Puede ser representado por los indicadores: hierro y oro. En la Figura 7.26 se puede observar como cada indicador se refiere a una colocación predeterminada, representando, en este caso, el blanco al color principal y el negro al color secundario.

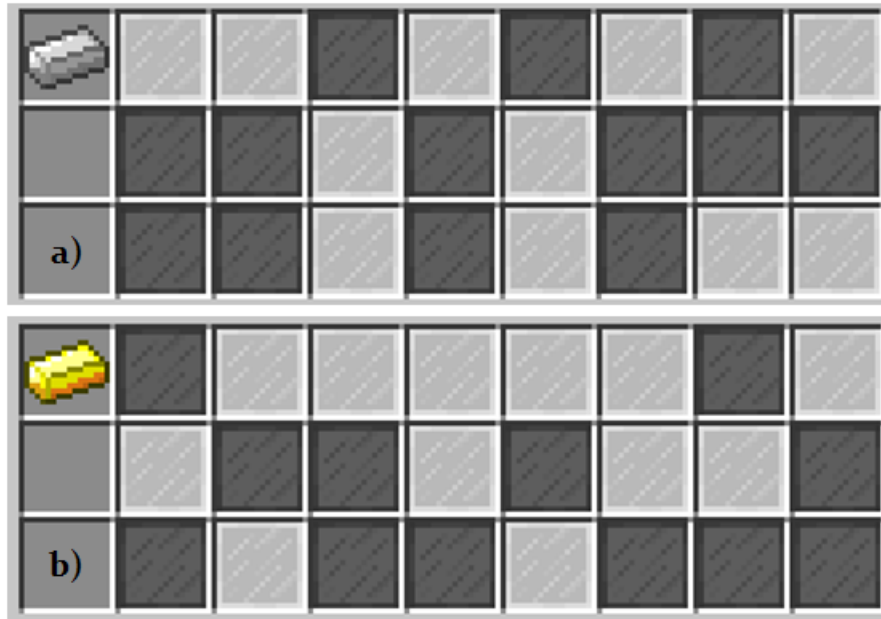


Figura 7.26 Atributo 1 del producto con indicadores: a) hierro, b) oro.

El segundo atributo determina el color secundario de cada uno de los 5 puestos de montaje del producto y su indicador se sitúa en la fila 2 y columna 1 (2-1). El color primario de cada puesto se mantiene igual para ambos indicadores. Este atributo puede ser representado por los indicadores: redstone y piedra brillante (Figura 7.27).



Figura 7.27 Atributo 2 del producto con indicadores: a) redstone, b) piedra brillante.

El tercer atributo indica el número de paneles específico que corresponde a cada uno de los huecos del producto y su indicador se sitúa en la fila 3 y columna 1 (3-1). Este atributo puede ser representado por los indicadores: bola de slime (verde) y crema de magma (rojo) (Figura 7.28).



Figura 7.28 Atributo 3 del producto con indicadores: a) bola slime, b) crema magma.

7.3.7.2. PLANTILLAS PRODUCTOS.

En este apartado se expone la colección completa de los 8 productos posibles terminados en función de los 3 atributos.

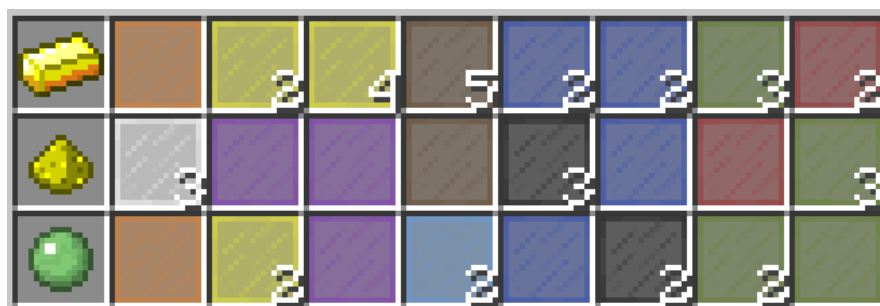


Figura 7.29 Producto 1 con atributos: oro-piedra brillante-bola slime.

	3	3			3			3
			2	2		4	5	
	2	3	2	2	2		2	

Figura 7.30 Producto 2 con atributos: oro-piedra brillante-crema magma.

		2	4	5	2	2	3	2
	3		2		3			3
		2		2		2	3	

Figura 7.31 Producto 3 con atributos: oro-redstone-bola slime.

	3	3			3			3
			2	2		4	5	
	2	3	2	2	2		2	

Figura 7.32 Producto 4 con atributos: oro-redstone-crema magma.

	3	3			3			3
			2	2		4	5	
	2	3	2	2	2		2	

Figura 7.33 Producto 5 con atributos: hierro-redstone-crema magma.

		2	4	5	2	2	3	2
	3				3			3
		2		2		2	2	

Figura 7.34 Producto 6 con atributos: hierro-redstone-bola slime.

	3	3			3			3
			2	2		4	5	
	2	3	2	2	2		2	

Figura 7.35 Producto 7 con atributos: hierro-piedra brillante-crema magma.

		2	4	5	2	2	3	2
	3				3			3
		2		2		2	2	

Figura 7.36 Producto 8 con atributos: hierro-piedra brillante-bola slime.

7.4. FICHAS DE TRABAJO PRODUCCIÓN 4.

7.4.1. INSTRUCCIONES COMUNES.

Estas instrucciones comunes iniciales se mantienen igual en todos los mapas de producción. Al entrar en el correspondiente mapa de Minecraft, el personaje aparece en una plaza de color morado, la cual tiene un camino blanco que indica la dirección a seguir. Al final del camino se encuentran en los carteles las instrucciones para llegar hasta la Escuela Lean. Si se produce la muerte de un personaje, por cualquier posible problema, éste reaparecerá en esta sala inicial.

Una vez en el interior de la Escuela Lean el alumno se dirige hacia la sala de vestuarios, al fondo a la derecha, para ponerse el uniforme de identificación determinado en función del puesto que le haya sido asignado. Para equiparse es necesario hacer click con el botón derecho sobre las distintas partes del uniforme correspondiente. Si por cualquier equivocación el uniforme aparece en el inventario, tan solo hay que pulsar “Shift + botón derecho o botón izquierdo” sobre cada una de las partes para vestirse de forma automática.

También en el vestuario, hay un cofre con un cartel que pone “COMIDA”, es necesario abrirlo y coger un conjunto de unidades de comida, que se utilizarán más adelante, cuando sea necesario, para poder alimentarse.

Una vez realizada esta preparación previa, cada alumno se encarga de leer las instrucciones correspondientes a su puesto asignado, seguir las indicaciones del profesor y empezar a organizarse las tareas de su puesto de trabajo.

A continuación, se detallan las funciones de cada uno de los puestos disponibles en las producciones de la Escuela Lean: responsable de producción, operarios, logísticos, cronometradores y zona de expediciones.

7.4.2. RESPONSABLE.

El responsable de producción es el encargado de hacer los pedidos a la cadena de producción de la fábrica, es decir, quien decide la secuencia de productos que se fabrican.

El cliente, que generalmente es el profesor, facilita la demanda de un nuevo pedido al responsable cada *takt time* (1 minuto). Entonces, el

responsable de línea es el que decide el pedido más conveniente a realizar en cada ciclo, según la demanda y las circunstancias del propio proceso, comunicándole el producto decidido a los logísticos encargados del kitting, que se ocupan de preparar el kit de componentes del producto determinado a la línea.

Dado que es imprescindible para comenzar la producción la presencia de un producto en curso en cada uno de los puestos de trabajo, es cometido del responsable decidir previamente, en desconocimiento de la demanda de cliente, cuáles son esos productos intermedios iniciales en la cadena de producción.

A diferencia de las producciones en la Escuela Lean, el responsable no cuenta de inicio con 8 productos en el almacén de producto terminado para servir a cliente.

Como responsable tiene el control total sobre la fábrica, con mando para detener la producción, tomar decisiones en cualquier puesto ante problemas surgidos durante la misma, realizar modificaciones en los puestos cuando sea necesario, etc.

De forma específica, en esta cuarta producción al igual que en la tercera, y debido a la aplicación del SMED, se trabaja sin restricciones por cambio de máquina con total libertad para la elección de los productos pedidos a fábrica. Todo ello, simplifica la tarea del responsable que puede cumplir más fácilmente con la demanda del cliente y reducir al máximo la sobreproducción.

Los 8 productos con los que se trabaja en la simulación de la Escuela Lean en Minecraft se encuentran en la sección [7.4.7.2 Plantillas de Productos](#) al final de esta ficha de instrucciones.

7.4.3. OPERARIOS.

Los puestos de operario de la cadena productiva en todas las producciones realizadas, mantienen unas normas y patrones comunes, a excepción del puesto 6, que corresponde al control de calidad. A continuación, se definen esas pautas genéricas y después las específicas para el trabajo de cada uno de los puestos.

El operario nunca debe abandonar, durante la producción, su zona de trabajo (área morada), salvo que la situación lo requiera y el responsable le

conceda el permiso. Esto implica que un operario que ha terminado su tarea no puede ayudar al compañero de al lado, aunque tenga trabajo acumulado.

Los productos a montar por los operarios en la cadena, se desplazan en un cofre dentro de una vagoneta, y consisten en combinaciones de diferentes materiales y cantidades codificados en función de 3 atributos con 2 posibilidades cada uno, que otorgan una diversidad total de 8 productos. La descripción de dichos atributos se encuentra en la sección [7.4.7.1 Plantillas Indicadores](#).

Cuando una nueva vagoneta de producto llega a un puesto de trabajo, el operario debe tomar las piezas correspondientes a su puesto del kit situado a su espalda y colocarlas en el cofre en el orden indicado según sea el producto. En el apartado [7.4.7.2 Plantillas Productos](#) se incluyen esos patrones de montaje de cada uno de los 8 productos diferentes.

La restricción que tienen los operarios para la realización de su trabajo, es que solo pueden coger en su inventario, de los cofres de su puesto, un peso máximo de 3 componentes, ya sean iguales o diferentes. Por ejemplo, si tienen que montar 12 piezas, lo tendrán que hacer en 4 veces. La comida no está incluida en esta limitación.

En esta última producción los puestos únicamente disponen de una *montaña* que corresponde a la zona de trabajo del operario. No existe, por tanto, la posibilidad de tener esperas intermedias de producto, debido a la sincronización implementada en el proceso con el kitting. En este caso, las vagonetas con los productos avanzan entre los distintos puestos una vez han terminado el trabajo en toda la cadena.

Los materiales necesarios para el montaje en cada puesto se encuentran en la vagoneta con el kit que circula sobre la línea ubicada a la espalda del operario. La organización de los kits es de común acuerdo entre los operarios y los logísticos que se encargan de la preparación. Aunque, en el kit propuesto en este TFM cada una de las columnas del kit pertenece a uno de los puestos, a excepción del puesto 1 al que le corresponden los indicadores y la primera columna de paneles.

Una vez terminado el trabajo de montaje del producto en un puesto, el operario tiene la función de accionar la palanca que se ubica en el puesto, debidamente señalizada. Esta palanca enciende una luz individual del puesto concreto, situada en la pared superior, que indica que el operario ha terminado el trabajo sobre el producto actual.

En el momento que las luces de los 6 puestos se encuentren encendidas, un logístico se encarga de hacer funcionar el sistema mediante un botón, lo que conlleva el avance de todas las vagonetas del proceso y de la línea de kitting al puesto siguiente. Al llegar la vagoneta con un nuevo producto al puesto, el operario debe, antes de montar las piezas que le llegan por en el kitting, desactivar la palanca que enciende la luz, lo que significa que se encuentra trabajando sobre el producto. Es fundamental que los empleados no descuiden el accionamiento de las palancas para evitar errores malentendidos ya que son los indicadores del estado de actividad de cada puesto.

Aunque el kitting recorre toda la cadena de producción, no es necesario para el puesto 6, que ya dispone de un cofre individual con su libro de calidad, por lo que la vagoneta del kit llegará vacía y no será de utilidad en este caso.

A continuación, se detalla la función específica de cada uno de los puestos de la cadena.

7.4.3.1. PUESTO DE TRABAJO 1.

En el primer puesto de la cadena de producción se lleva cabo el montaje de las dos primeras columnas del producto, la inicial corresponde a los indicadores que codifican el tipo de producto.

En esta producción el operario ya no tiene que recibir instrucciones del responsable para la determinación del producto, al llegarle en el kitting los indicadores exactos del mismo, puesto que ahora se ocupan los logísticos. En función del tipo de producto, el montaje será diferente en cada uno de los puestos, por lo que se utilizan las plantillas del apartado [7.4.7.2 Plantillas Productos](#). Sin embargo, los materiales necesarios para dicho producto se limitan únicamente a los que llegan en el kit preparado por los logísticos.

Esos indicadores se deben colocar en el orden establecido en las plantillas, además, también computan en la restricción del peso máximo a transportar, establecido en 3 objetos.

En esta última producción todo el proceso de movimiento de vagonetas está automatizado y sincronizado, por lo que la salida de la vagoneta con cofre al inicio de la cadena se realiza de forma automática sin la necesidad de pulsar ningún botón, como ocurría en las producciones anteriores.

Tras finalizar el montaje de cada producto, el operario acciona la palanca de su puesto que produce el avance de todas las vagonetas del proceso una vez han terminado todos los operarios con el trabajo.

7.4.3.2. PUESTO DE TRABAJO 2.

El puesto 2 se ocupa de la colocación de los paneles de cristal ubicados en las columnas 3 y 4 del producto a partir de los materiales localizados en esas mismas columnas del kit que le llega al puesto y las plantillas de los diferentes tipos de producto.

Tras finalizar el montaje de cada producto, el operario acciona la palanca de su puesto que produce el avance de todas las vagonetas del proceso una vez han terminado todos los operarios con el trabajo.

7.4.3.3. PUESTO DE TRABAJO 3.

El puesto 3 se ocupa de la colocación de los paneles de cristal ubicados únicamente en la columna 5 del producto a partir de los materiales localizados en esas mismas columnas del kit que le llega al puesto y las plantillas de los diferentes tipos de producto.

Tras finalizar el montaje de cada producto, el operario acciona la palanca de su puesto que produce el avance de todas las vagonetas del proceso una vez han terminado todos los operarios con el trabajo.

7.4.3.4. PUESTO DE TRABAJO 4.

El puesto 4 se ocupa de la colocación de los paneles de cristal ubicados en las columnas 6 y 7 del producto a partir de los materiales localizados en esas mismas columnas del kit que le llega al puesto y las plantillas de los diferentes tipos de producto.

Tras finalizar el montaje de cada producto, el operario acciona la palanca de su puesto que produce el avance de todas las vagonetas del proceso una vez han terminado todos los operarios con el trabajo.

7.4.3.5. PUESTO DE TRABAJO 5.

El puesto 5 se ocupa de la colocación de los paneles de cristal ubicados en las últimas columnas (8 y 9) del producto a partir de los materiales localizados en esas mismas columnas del kit que le llega al puesto y las plantillas de los diferentes tipos de producto.

Tras finalizar el montaje de cada producto, el operario acciona la palanca de su puesto que produce el avance de todas las vagonetas del proceso una vez han terminado todos los operarios con el trabajo.

7.4.3.6. PUESTO DE TRABAJO 6.

El puesto 6, a diferencia de los anteriores, no tiene ninguna tarea de montaje de paneles de cristal, sino que se trata del control de calidad de los productos antes de salir a cliente, por lo que el cofre que llega en la línea del kitting está vacío.

La tarea de este puesto es la comprobación del correcto montaje de los productos contrastándolo con las plantillas suministradas de los productos terminados. Tras ello, el operario debe registrar en un libro de calidad, ubicado en su único cofre, el resultado del control, incluyendo el número de producto y si cumple con las especificaciones o no. En este último caso indica la columna del producto en la que ha encontrado el error. Por ejemplo, un producto erróneo en la cuarta columna se refleja: 1 NOK 4C. Este libro se comprobará al final de la producción para verificar la calidad del proceso y corregir estudiar los fallos.

También, es necesario que el operario de calidad informe, tras cada producto, al encargado de la zona de expediciones del resultado del control para que pueda señalarlo en los carteles correspondientes del almacén de salida. Al terminar el control y registro de cada producto, al igual que el resto, debe accionar la palanca del puesto.

7.4.4. LOGÍSTICOS.

Los logísticos de la fábrica son los encargados de proveer todos los materiales necesarios, durante las producciones, a los puestos de trabajo de los operarios para garantizar la continuidad del proceso productivo y evitar las paradas por falta de suministro.

En esta producción se utiliza el Kitting para el suministro de materiales a los puestos de producción, por lo que la tarea de los logísticos cambia completamente respecto a las anteriores producciones al tener que encargarse de la preparación de los kits de producto. Para ello, disponen de una parada de vagonetas en la línea de kitting a su paso por el almacén general, señalizada e identificada como zona de Kitting. En este punto, llega, en cada turno, una vagoneta con un cofre vacío para ser cargado con el kit correspondiente al producto que decida el responsable de producción, según

la demanda de cliente. El kit está compuesto por los indicadores del producto concreto y la cantidad exacta de cada uno de los paneles de colores de que está formado el producto.

La colocación de los materiales dentro del cofre depende del tipo de kit seleccionado. Aunque, este kit puede ser diseñado, de común acuerdo por los propios en empleados de la Escuela, en este TFM se propone una estructura de kit básica y fácil de utilizar. En la sección [7.4.7.3 Plantillas Kitting](#) de esta ficha de instrucciones se encuentran los 8 kits propuestos, correspondientes a cada uno de los 8 productos del proceso.

El tiempo de preparación de los kits debe ser inferior al tiempo de ciclo de los puestos de la cadena de producción, debido a que el mecanismo de avance de las vagonetas se pone en funcionamiento una vez han terminado su trabajo todos los operarios. En caso contrario, la vagoneta con el kit incompleto avanzaría hacia el primer puesto provocando un fallo en la fabricación de ese producto. Por tanto, es recomendable asignar la tarea de preparación de los kits a 2 logísticos.

Por ello, también es muy importante que los logísticos, una vez hayan preparado el kit, revisen rápidamente que los materiales y cantidades son correctos para prevenir errores de producción, que no podrían remediarse en los puestos de la cadena y conllevaría directamente a un producto defectuoso.

En esta última producción los logísticos no tienen limitación en el máximo de piezas a transportar, dada la cercanía de la zona de kitting y las estanterías del almacén. No obstante, tampoco está permitido coger muchos materiales de forma que sirvan para toda la producción, sino que se pueden coger más de 30 componentes, pero solo los correspondientes a la preparación del producto concreto.

Otra función de los logísticos, característica de esta cuarta producción, se apoya en la plataforma situada en el centro de la fábrica. Esta base permite visualizar todas las luces del estado de cada puesto y se utiliza para accionar el botón cuando estén las 6 luces encendidas al terminar los operarios con su trabajo. Con ese accionamiento se activa el complejo circuito que provoca, tras un retardo de 20 segundos, el avance de las vagonetas de la cadena de producción y de la línea de kitting. Este retardo es debido a las limitaciones que ofrece el circuito implementado en Minecraft, por ello, tras pulsar el botón se debe esperar ese tiempo a que se mueva todo el sistema de vagonetas del producto.

Es importante pulsar el botón sólo una vez, para no activar varias veces el mecanismo y con ello el avance de las vagonetas, lo que arruinaría la producción. En cualquier caso, el accionamiento del botón es insustancial si no se encuentran todas las luces de los puestos encendidas por los operarios.

Este puesto requiere únicamente presionar el botón en ese instante determinado y ya que no es algo que exista en la realidad, sino una consecuencia de la aplicación del mecanismo en Minecraft, esa función puede ser desempeñada por un logístico, puesto que corresponde al transporte de los productos, o se puede encargar un cronometrador o el propio responsable de planta.

Sin embargo, a pesar de ser poco trabajo, conlleva la responsabilidad de estar atento al momento en que terminan el montaje todos los operarios. Por ello, puede ser poco eficiente que se encargue un logístico, si implica desatender el resto de funciones y producir errores.

En el primer caso es peligroso pues la necesidad de dar en el momento adecuado podría hacer poco eficiente esta tarea o las otras tareas asignadas a su puesto y producir errores. Sin embargo, si se trata de un cronometrador este podría tener más facilidad para pulsar cuando es necesario, pues parar su trabajo y estropear una medición no conlleva problemas graves.

7.4.5. CRONOMETRADORES.

El cronometrador es un tipo especial de empleado que mantiene invariable su función en cada una de las producciones realizadas. Se encarga de medir los tiempos de duración de todas las operaciones importantes de la Escuela, además de preparar los datos y determinar los parámetros de análisis correspondientes para la post-producción.

En general, cada cronometrador se ocupa de la medición del tiempo de 2 puestos consecutivos, por lo que es imprescindible su organización y pulcritud para la obtención del máximo número de medidas de tiempo posible, con el fin de conseguir una mayor fiabilidad de los datos y facilitar los análisis posteriores.

Las principales medidas de tiempo a tomar corresponden al tiempo total de operación de un producto en cada puesto y el tiempo general de fabricación de un producto desde que entra en la cadena hasta que sale hacia expediciones. Otras mediciones secundarias a tomar son: los tiempos de las subtareas en que se divide el trabajo del operario (difícil en Minecraft),

el tiempo ocioso del operario sin producto para trabajar y los tiempos de actuación de los logísticos. Estos tiempos secundarios serán medidos, si es considerado oportuno y factible por el profesor, al contar con los recursos humanos suficientes para ello.

7.4.6. ZONA DE EXPEDICIONES.

El trabajo de la zona de expediciones se mantiene idéntico en todas las producciones realizadas. En esta área se almacenan, clasifican y señalan todos los productos que salen de la cadena de producción por el puesto de calidad antes de ser enviados al cliente. Esta tarea puede ser desempeñada por el profesor o en su defecto por un empleado logístico.

Las funciones a desempeñar en una expedición son, en ese orden, las siguientes:

- Al entrar una nueva vagoneta con producto se debe permitir y asegurar que llegue hasta el fondo de la pared, lugar en el que frenará de forma automática.
- Apuntar el número de vagoneta, el tiempo de llegada y la identificación del producto. Para ello se recomienda utilizar un papel real.
- Una vez frenada por completo, para evitar que retroceda y vuelva hacia la cadena se debe quitar el raíl anterior a la vagoneta, con las manos o mediante una herramienta suministrada por el profesor (pico de diamante).

****IMPORTANTE: es preciso romper con atención, únicamente, el raíl posterior, puesto que, si se destruye aquel en que se asienta la vagoneta, ésta se romperá liberando todos los materiales que contiene el producto, perdiéndole para su comprobación final.****

- En el lugar en que se ha quitado el raíl, se colocan dos cubos de arcilla verde (almacenada en un cofre), uno encima del otro, formando una nueva pared que encierra el producto y permite frenar a la siguiente vagoneta. En la Figura 7.37 se observa cómo debe quedar el almacén entre cada producto terminado.



Figura 7.37 Funcionamiento de la zona de expedición.

- Por último, se coloca dentro del marco superior al producto, mediante click derecho, un tinte verde o rosa (almacenados en un cofre), a modo de indicador de la calidad del producto. Para ello, debe recibir la información del control de calidad en el puesto 6.

Con ello finaliza la expedición y queda preparada la zona para recepcionar la siguiente vagoneta de producto y repetir el proceso. Para evitar problemas, es importante que este procedimiento se realice de forma mecánica y ágil en un período inferior al tiempo que transcurre entre la llegada de dos vagonetas consecutivas.

Para facilitar este trabajo, se permite tener al encargado de la zona de expediciones poseer objetos ilimitados en el inventario, es decir la suficiente arcilla verde y tintes rosas y verdes para toda la producción.

7.4.7. PLANTILLAS.

En esta sección se incorporan las plantillas que sirven de modelo correspondientes al fundamento de los 3 atributos utilizados, al conjunto de los 8 productos terminados y a sus 8 kits asociados para la aplicación del kitting.

7.4.7.1. PLANTILLAS INDICADORES.

A continuación, se muestran las plantillas que desglosan el significado de los 3 atributos de que se componen los productos.

El primer atributo establece la colocación de los paneles del color primario y secundario de cada producto y su indicador se sitúa en la fila 1 y columna 1 (1-1). Puede ser representado por los indicadores: hierro y oro. En la Figura 7.38 se puede observar como cada indicador se refiere a una colocación predeterminada, representando, en este caso, el blanco al color principal y el negro al color secundario.

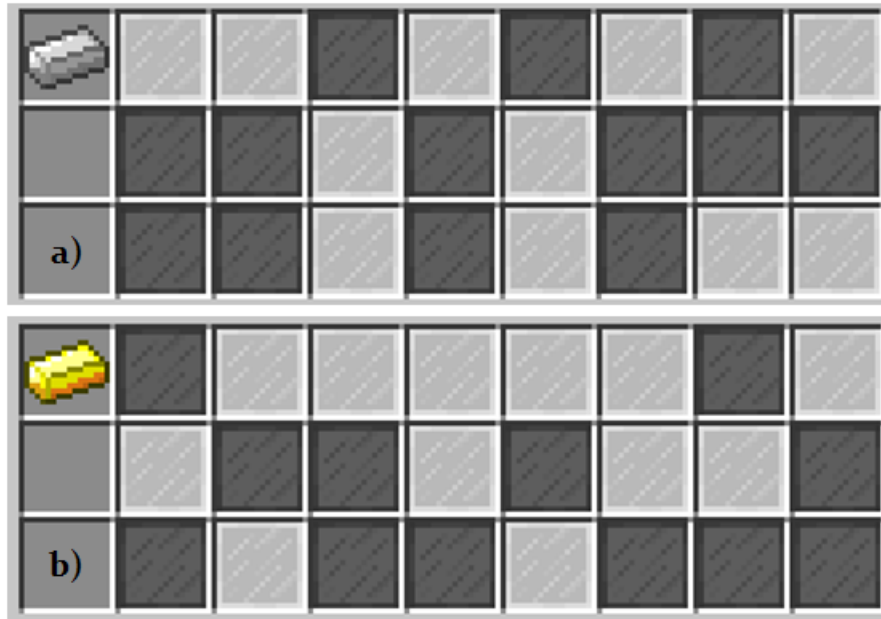


Figura 7.38 Atributo 1 del producto con indicadores: a) hierro, b) oro.

El segundo atributo determina el color secundario de cada uno de los 5 puestos de montaje del producto y su indicador se sitúa en la fila 2 y columna 1 (2-1). El color primario de cada puesto se mantiene igual para ambos indicadores. Este atributo puede ser representado por los indicadores: redstone y piedra brillante (Figura 7.39).



Figura 7.39 Atributo 2 del producto con indicadores: a) redstone, b) piedra brillante.

El tercer atributo indica el número de paneles específico que corresponde a cada uno de los huecos del producto y su indicador se sitúa en la fila 3 y columna 1 (3-1). Este atributo puede ser representado por los indicadores: bola de slime (verde) y crema de magma (rojo) (Figura 7.40).



Figura 7.40 Atributo 3 del producto con indicadores: a) bola slime, b) crema magma.

7.4.7.2. PLANTILLAS PRODUCTOS.

En este apartado se expone la colección completa de los 8 productos posibles terminados en función de los 3 atributos.

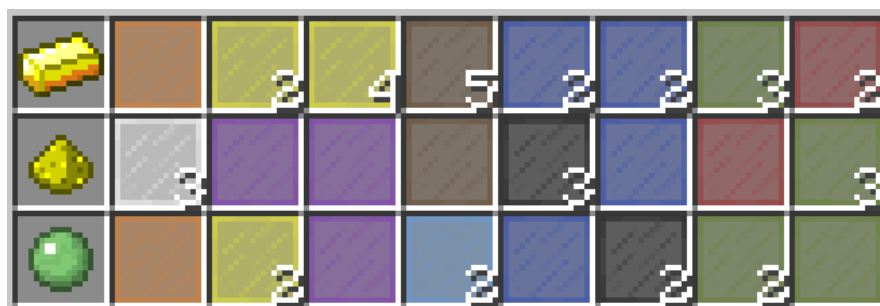


Figura 7.41 Producto 1 con atributos: oro-piedra brillante-bola slime.

	3	3			3			3
			2	2		4	5	
	2	3	2	2	2		2	

Figura 7.42 Producto 2 con atributos: oro-piedra brillante-crema magma.

		2	4	5	2	2	3	2
	3		2		3			3
		2		2		2	3	

Figura 7.43 Producto 3 con atributos: oro-redstone-bola slime.

	3	3			3			3
			2	2		4	5	
	2	3	2	2	2		2	

Figura 7.44 Producto 4 con atributos: oro-redstone-crema magma.

	3	3			3			3
			2	2		4	5	
	2	3	2	2	2		2	

Figura 7.45 Producto 5 con atributos: hierro-redstone-crema magma.

	3	2	4	5	2	2	3	2
	3	2	2	2	2	2	2	2

Figura 7.46 Producto 6 con atributos: hierro-redstone-bola slime.

	3	3	2	2	2	4	5	3
	2	3	2	2	2	2	2	2

Figura 7. Producto 7 con atributos: hierro-piedra brillante-crema magma.

	3	2	4	5	2	2	3	2
	3	2	2	2	2	2	2	2

Figura 7.47 Producto 8 con atributos: hierro-piedra brillante-bola slime.

7.4.7.3. PLANTILLAS KITTING.

Por último, se muestran los 8 kits, ordenados para cada puesto, correspondientes a cada uno de los productos terminados para su preparación en el puesto logístico de kitting.

	3	8		6	6		3	
	2	3		2	5		9	

Figura 7.48 Kit de componentes del producto: oro-piedra brillante-bola slime.

		7		3	10		8	
	5	5		2	2		5	

Figura 7.49 Kit de componentes del producto: oro-piedra brillante-crema magma.

	3	8		6	6		3	
	2	3		2	5		9	

Figura 7.50 Kit de componentes del producto: oro-redstone-bola slime.

		7		3	10		8	
	5	5		2	2		5	

Figura 7.51 Kit de componentes del producto: oro-redstone-crema magma.

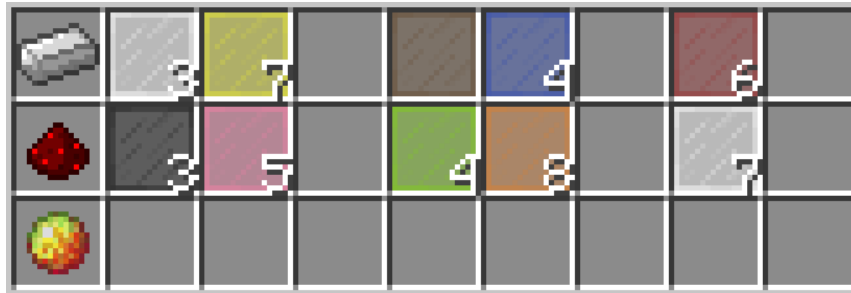


Figura 7.52 Kit de componentes del producto: hierro-redstone-crema magma.

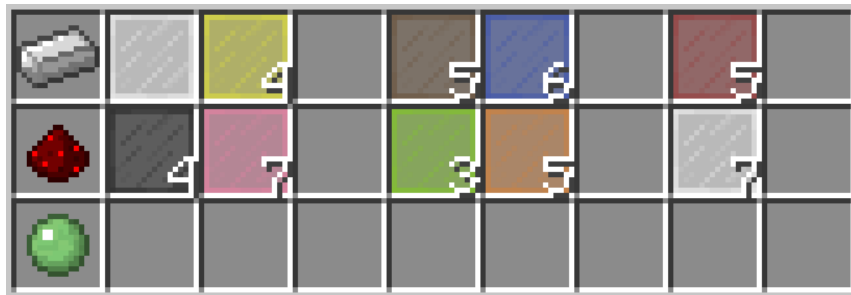


Figura 7.53 Kit de componentes del producto: hierro-redstone-bola slime.

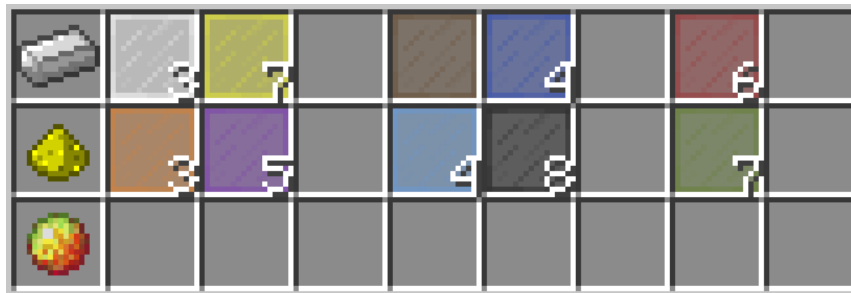


Figura 7.54 Kit de componentes del producto: hierro-piedra brillante-crema magma.



Figura 7.55 Kit de componentes del producto: hierro-piedra brillante-bola slime.

7.5. TUTORIAL BÁSICO DE MINECRAFT.

Este anexo consiste en un tutorial básico del mundo de Minecraft, que sirve, exclusivamente, para adquirir, a modo de iniciación, el suficiente manejo del personaje de forma que facilite al estudiante realizar las tareas de la simulación de la Escuela Lean.

En esta guía se incluyen, solamente, los conceptos más básicos de control y cuidado del personaje y sus formas de interacción con el entorno. No se recogen por tanto las actividades y tareas específicas a realizar por cada integrante de la Escuela Lean, ya que es objeto de desarrollo en las respectivas fichas de producción.

7.5.1. MOVIMIENTO.

La parte más esencial del manejo del personaje es su movimiento. Para ello, se utilizan las teclas W S A D del teclado, las cuales corresponden al movimiento hacia delante, atrás, izquierda y derecha, respectivamente. Este desplazamiento, se realiza tomando como referencia la dirección a la que apunta el centro de la pantalla, indicado con una cruz, ver Figura 7.56.

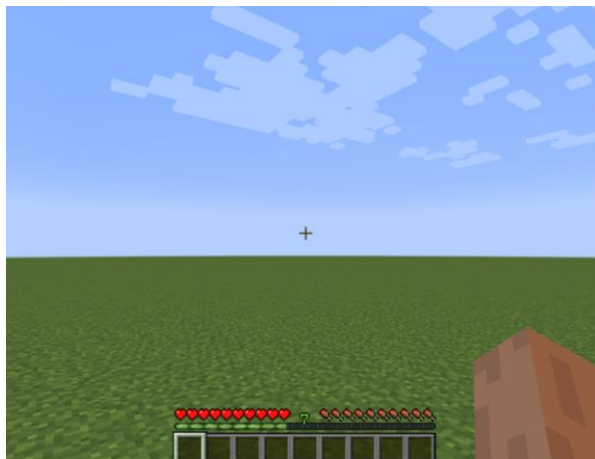


Figura 7.56 Visión del jugador en Minecraft.

Para desplazar esa cruz, y con ello la visión del personaje, se utiliza el ratón. El deslizamiento de la cruz hacia las diferentes direcciones es un movimiento solidario con respecto al realizado con el ratón. Así, deslizamientos hacia los lados permiten el giro del personaje, mientras que movimientos del ratón hacia arriba o abajo conllevan que el personaje mire en esas direcciones respectivamente.

Mediante la pulsación dos veces seguidas del botón W, y manteniendo pulsado tras la segunda vez, el personaje comienza correr. Esto, facilita el trayecto de largas distancias y reduce el tiempo empleado en ello. Conviene destacar, que este tipo de desplazamiento consume la barra de hambre, descrita más adelante, al doble de velocidad.

La barra espaciadora del teclado se utiliza para saltar, y poder llegar a lugares más elevados. En condiciones normales, el jugador puede saltar un cubo de altura, mientras que la longitud, en horizontal, depende de la velocidad y dirección del desplazamiento. El modo más rápido de desplazamiento en Minecraft, y que más consume el hambre, es corriendo y saltando, es decir pulsando dos veces la W y manteniendo pulsada la barra espaciadora.

La tecla de *Shift* o mayúsculas, se utiliza para agacharse. Este movimiento permite al jugador avanzar más lentamente, pero con la seguridad de no poder salir del cubo en el que está situado si eso implica caer en altura. En teoría, la utilización de este botón no es necesaria para la simulación de las producciones, aunque conviene explicarle.

7.5.2. INTERACCIÓN CON OBJETOS.

En primer lugar, previamente a explicar la interacción con los objetos, se debe mencionar la existencia y funcionamiento del inventario. El inventario se trata de una pantalla que se abre al pulsar la tecla E. Los huecos del inventario se llenan con los diferentes objetos que el personaje recoge, como se observa en la Figura 7.57.



Figura 7.57 Inventario en Minecraft.

Además, es importante conocer que el modo de recoger esos objetos cuando se encuentran *flotando* en el suelo, consiste en pasar por encima de

ellos, de forma que son atraídos hacia el jugador y almacenados en su inventario.

Esta pantalla de inventario está formada por 3 zonas claramente diferenciadas, observar Figura 7.57. La parte superior, donde aparece el personaje y unos huecos predeterminados para el escudo y las distintas partes de la armadura. Esta parte no es relevante para el desarrollo de este TFM, ya que únicamente se utiliza para colocar el uniforme correspondiente del vestuario, según el puesto asignado a cada alumno.

La parte intermedia del inventario, corresponde a la más amplia y se trata de la zona donde se almacenan los objetos que el jugador ha recogido. La diferencia con respecto al almacenamiento de la parte inferior es que éste no permite un acceso directo para utilizar los objetos inmediatamente. Esta parte comienza a llenarse de forma automática, cuando se recogen objetos y la parte inferior está completa. En el desarrollo de las prácticas de simulación de este TFM, esta zona se encontrará habitualmente vacía, dado que no se van a recoger tantos objetos como para llenar la parte inferior.

La fila aislada de la parte más baja del inventario, consiste en los huecos de acceso directo para la utilización de forma inmediata de esos objetos. La casilla señalada con un color diferente, indica el objeto que el jugador tiene en la mano y está utilizando en cada momento. Para cambiar la selección del hueco utilizado a cada instante, se puede utilizar tanto la rueda del ratón como la parte numérica del teclado, asociando cada hueco a los números del 1 al 9.

Para realizar movimientos de un objeto o conjunto de un lugar a otro dentro del inventario, basta con tomarle con el botón izquierdo del ratón y depositarle en la nueva ubicación mediante el botón izquierdo, otra vez. Los distintos modos en que se toman y dejan los objetos se explican al final de este apartado.

A pesar de la gran variedad, los objetos en Minecraft se pueden clasificar en 2 grandes grupos genéricos, los que se pueden colocar en el terreno y aquellos que son utilizados directamente.

Los primeros se utilizan, principalmente, para construcción o acciones especiales del propio juego. No obstante, se explica su funcionamiento dada la facilidad de colocarlos por accidente en el mapa, puesto que, para colocarlos, tan sólo es necesario tenerlos equipados en el hueco de acceso directo y pulsar el botón derecho sobre cualquier otro cubo.

Algunos de esos objetos al colocarse pueden caer por gravedad si no tienen nada debajo, pero la gran mayoría se quedan adheridos al cubo sobre el que se colocan. La forma de quitar un objeto colocado en el mapa es manteniendo pulsado el botón izquierdo mientras se apunta hacia él. Al mantener pulsado, el personaje golpea de forma constante el objeto hasta que este se rompe. Una vez roto el objeto, la mayor parte de las veces se queda *flotando* en el suelo, de forma que se puede recoger en el inventario, y en ocasiones desaparece. El tiempo que se debe mantener pulsado el botón izquierdo para quitar un objeto del mapa depende de las propiedades asignadas al bloque y de la herramienta utilizada por el jugador.

En el caso de los objetos utilizados en las producciones de la Escuela Lean en Minecraft, se pueden romper con facilidad cuando se colocan en el suelo por error, pero al tratarse de cristales, estos desaparecen, sin opción de recuperarlos en el inventario.

Además, existen objetos en Minecraft, tales que botones y palancas, con los que se puede interaccionar con pulsando el botón derecho del ratón. Este tipo de objetos son utilizados frecuentemente en los mapas de simulación creados, para activar o desactivar mecanismos.

El segundo tipo de objetos son aquellos que se utilizan directamente por el jugador. Éstos incluyen herramientas, armas, comida, etc., y su forma de utilización es específica para cada uno ellos, según sus características. Por lo general, salvo contadas excepciones, no son utilizados en la simulación de la Escuela Lean, a pesar de ello, se proporcionan algunas indicaciones básicas.

Las herramientas no tienen una acción especial, más que la de quitar los bloques mediante el botón izquierdo de forma más o menos rápida, dependiendo del material de fabricación de la misma. Con las armas el funcionamiento es el mismo, con la función de hacer daño en un oponente.

En cuanto a objetos como los arcos, libros, escudos, etc. se ejecuta su acción concreta mediante el botón derecho del ratón.

En la mayoría de los casos, los objetos se utilizan al tenerlos equipados mediante el botón derecho, aunque existen casos en que es necesario mantenerlo pulsado para que actúe correctamente, por ejemplo, para comer un alimento.

La forma de almacenamiento de ambos tipos de objeto puede ser de forma individual, es decir un solo objeto por hueco, o acumulables en un *stack*, por lo general de 64 unidades en un hueco. En este último caso, el

consumo de uno de ellos no queda vacío el hueco entero, si no que disminuye la cantidad de objetos en 1 unidad.

A continuación, se explican las diferentes formas de tomar, dejar o intercambiar objetos dentro del inventario o de un cofre:

- Si se pulsa el botón izquierdo se cogen todos los objetos que hubiera en ese hueco.
- Si se pulsa el botón derecho se cogen la mitad de los objetos del hueco, redondeando el número siempre hacia arriba.
- Si se pulsa “*Shift* + botón izquierdo o derecho” todos los objetos del hueco se moverán automáticamente del inventario a un cofre o viceversa.
- Si se pulsan dos veces seguidas el botón izquierdo sobre un objeto apilable, se recogen de forma automática los objetos del mismo tipo en todo el cofre o inventario hasta formar un *stack* completo.
- Si tras tomar todos los objetos, con el botón izquierdo, se pulsa el botón derecho sobre otro hueco, se deposita un objeto de los que están seleccionados por cada click. Si, además, mientras se pulsa el botón derecho, se arrastra el objeto por diferentes huecos, se consigue dejar una unidad en cada uno de ellos.

También, un jugador puede dejar *flotando* un objeto en el suelo para que otro jugador lo recoja. Para ello se pulsa el botón Q cuando el objeto está en uso, o seleccionado por el cursor en el inventario. Si se mantiene pulsado “Ctrl + Q” en las mismas situaciones que las mencionadas, se suelta todo el conjunto de objetos de una vez.

Todos estos métodos se pueden combinar para coger y dejar objetos según las preferencias del jugador. Es imprescindible para los alumnos, tener claros estos controles ya que la simulación en la Escuela Lean en Minecraft requiere constantemente acciones y movimientos de objetos.

7.5.3. SALUD Y COMIDA.

La barra de salud se trata de una fila de corazones situada en la parte inferior de la pantalla del jugador. Junto a ella, se sitúa la barra de comida,

que está estrechamente relacionada con ella. Ambas se observan en la Figura 7.58.



Figura 7.58 Barra de salud y de comida sobre el inventario de acceso directo del jugador.

La barra de salud consta de 10 corazones, los cuales se pueden dividir en dos mitades. Dado que, teóricamente, el jugador no debe sufrir daño en el transcurso de las producciones de este TFM, no se profundiza acerca de esta función.

La barra de comida está formada por 10 muslos, los cuales disminuyen con el pase del tiempo y la realización de acciones por parte del jugador. Algunas acciones consumen más energía que otras, por ejemplo, un jugador normalmente estático en el puesto de trabajo no consume apenas esta barra y al contrario, en un jugador con mucho movimiento la barra baja de forma acelerada.

Existe una dificultad derivada de ello cuando la barra de comida es inferior a 3 muslos. Entonces, el jugador no puede correr, aunque sí andar y saltar. Además, cuando la barra se vacía al completo, el jugador empieza a sufrir daño disminuyendo la barra de corazones. Por el contrario, cuando la barra de comida está completa, la de corazones se recupera poco a poco. Por ello, es necesario comer en la simulación de las producciones para franquear esta dificultad del juego.

Si en algún momento, por cualquier razón anómala, un jugador un jugador muere, reaparece en el mismo lugar donde se empieza la partida, perdiendo todos los objetos. Ante este tipo de sucesos, los mapas están preparados para que el jugador pueda volver a la Escuela, siguiendo los pasos descritos en las instrucciones de las producciones, minimizando el tiempo perdido en ello.

7.5.4. OTROS COMANDOS.

Existen comandos o botones de interés que pueden ser útiles a lo largo de las simulaciones, son los siguientes:

Al pulsar F3, se visualizan las coordenadas (X, Y, Z) del personaje en cada momento, pudiendo ser utilizadas para ubicarse en caso de que se pierda un jugador.

Al pulsar la tecla T, se abre el chat del juego, en el que cada uno de los jugadores puede escribir para comunicarse con el resto a través de la pantalla. En este chat se implementan los comandos creados para hacer modificaciones en el juego.

Al pulsar F5, se visualiza al jugador en tercera persona y volviendo a pulsar se torna de nuevo a primera persona.

Al pulsar la tecla de Escape, se visualizan el menú de opciones para modificar video, audio, dificultad, etc. Se recomienda entrar en “Opciones/Gráficos/Renderizado” para disminuir el número de chunks cargados en el juego, con lo que se limita el alcance de visión del jugador, en caso de que el ordenador no permita trabajar con fluidez.