

Resumen

Este trabajo fin de máster tiene por objetivo la creación de un modelo parametrizable mediante Witness de la configuración de la Escuela Lean en la que se emplea una distribución de célula en “U” y un flujo de una pieza. Para alcanzar este objetivo, ha sido necesario conocer la filosofía del Lean Manufacturing y sus técnicas, el software Witness que se emplea para diseñar el modelo, así como lograr una correcta comprensión de la propia Escuela Lean.

Una vez verificado y validado el modelo, se procede a la simulación y experimentación del proceso de producción de vehículos. Esta simulación nos ayuda a visualizar, analizar y estudiar el funcionamiento de la cadena productiva implantada en la escuela. También muestra qué fases de la producción están desequilibradas y permite detectar problemas para posteriormente recomendar medidas de mejora. Por último, se considera la implementación en el Aula Lean de las decisiones efectuadas a partir de los resultados obtenidos.

Palabras clave

Simulación; Modelo; Witness; Lean Manufacturing; Escuela Lean; One Piece Flow.

Índice de Contenidos

Introducción	1
Antecedentes	1
Motivación	2
Objetivo.....	3
Alcance del proyecto.....	4
Estructura del documento.....	4
Capítulo I: Lean Manufacturing.....	7
1.1. Introducción	7
1.2. Definición	8
1.3. Orígenes	8
1.4. Pilares del Lean Manufacturing.....	10
1.5. Estructura y principios de la filosofía Lean	11
1.6. Despilfarro.....	13
1.7. Técnicas.....	14
1.7.1. Las 5S	15
1.7.2. SMED	15
1.7.3. Estandarización.....	16
1.7.4. TPM.....	17
1.7.5. Control visual	19
1.7.6. Jidoka	19
1.7.7. Técnicas de calidad	21
1.7.8. Sistemas de participación del personal (SPP)	21
1.7.9. Heijunka	22
1.7.10. Kanban.....	22
1.8. One Piece Flow	23
1.8.1. Flujo Continuo	23
1.8.2. Definición Onepieceflow.....	25
1.8.3. Implementación onepieceflow	27
Capítulo II: Simulación (Witness)	29
2.1. Introducción a la simulación	29
2.2. Modelos de simulación	29
2.3. Etapas de un proceso de simulación	32
2.4. Ventajas y desventajas de la simulación	36

2.5.	Aplicaciones	37
2.6.	Software para la elaboración de modelos de simulación.....	39
2.7.	Witness	41
2.7.1.	Características principales del software	42
2.7.2.	Construcción de modelos con Witness.....	43
Capítulo III: Escuela Lean Manufacturing		55
3.1	Introducción a la Escuela Lean	55
3.2	Definición del producto.....	56
3.3	Layout de la Escuela Lean.....	61
3.3.1	Layout inicial	62
3.3.2	Evolución y layout final.....	67
3.4	Descripción de los puestos de trabajo y el almacén	72
3.4.1	Medidas de calidad	79
Capítulo IV: Construcción de un Modelo Parametrizable de la Escuela Lean mediante Witness: One Piece Flow.....		83
4.1.	Introducción	83
4.2.	Almacén	84
4.2.1	Modelado de las Piezas (parts)	84
4.2.2	Modelado de los almacenes (buffers)	86
4.3.	Línea de montaje.....	88
4.3.1	Modelado de máquinas	89
4.3.2	Modelado trabajadores	101
4.3.3	Modelado de buffers	101
4.3.4	Modelado de parts	103
4.3.5	Modelado cliente.....	104
4.3.6	Distribuciones	105
4.3.7	Horarios/Turnos.....	106
4.3.8	Funciones.....	106
4.3.9	Modelado de variables	108
4.3.10	Modelado de atributos	110
4.3.11	Modelado de los tiempos de ciclo	110
4.4.	Simulación	111
Capítulo V: Estudio económico		117
5.1.	Propósito del estudio económico.....	117
5.2.	Planificación del desarrollo del proyecto	118

5.3.	Costes ligados a la realización del proyecto	119
5.3.1.	Costes directos.....	119
5.3.2.	Costes indirectos.....	122
5.3.3.	Costes totales	122
Conclusiones y futuros desarrollos		125
	Conclusiones	125
	Futuros desarrollos	126
Anexos		129
Bibliografía		141

Introducción

Antecedentes

Tanto en las organizaciones como en las universidades se desarrollan numerosas líneas de investigación sobre modelado de diferentes sistemas de producción empleando software de simulación. Mediante la simulación se desarrollan modelos de un sistema o proceso real y se realizan experimentos con el objetivo de observar los diferentes comportamientos del sistemas, los puntos a mejorar y futuras estrategias a seguir. El empleo de estos modelos tiene múltiples beneficios aunque el principal es que facilitan el estudio de los sistemas reales, sobre todo cuando no es posible representar ciertas operaciones del sistema en términos analíticos.

El modelado de sistemas mediante simulación se utiliza en muchos ámbitos, como en la producción y en la logística, y en concreto en los entornos Lean. Aunque para este trabajo se ha desarrollado la simulación de un proceso productivo en cadena, se puede aplicar a infinidad de campos, como al transporte, para problemas financieros, en redes de distribución, en sanidad, en supermercados,... Las organizaciones realizan este tipo de simulaciones para obtener buenos resultados y apoyarse en la toma de decisiones; de esta forma, pueden intuir qué variables modificar para reducir gastos o para ser más competitivas.

Entre estas líneas de investigación encontramos un tipo que se focaliza en la aplicación de la filosofía Lean, ya que las técnicas Lean tienen una gran importancia a la hora de mejorar la productividad de las organizaciones. Lean manufacturing es una filosofía cuyo objetivo es conseguir la mejora y optimización de un sistema de producción, centrándose en identificar y eliminar desperdicios o despilfarros mediante la utilización de una serie de herramientas, entendiéndose como despilfarros aquellas acciones que no aportan valor. Debido a la falta de formación práctica que existe en el ámbito del Lean surge la necesidad de formar a los trabajadores en estos aspectos, lo que da lugar a talleres-escuela como la Escuela Lean de Valladolid.

Con la creación de la Escuela Lean, surge la necesidad de simular las diferentes configuraciones que se pueden dar en esta escuela, ya que se hace necesario para poder mejorar las configuraciones y demostrar al alumnado la filosofía Lean de una forma más notable. Debido a este motivo surge la idea de comenzar con este trabajo, realizando una simulación de un proceso productivo llevado a cabo en la escuela Lean, experimentando y obteniendo resultados.

Los resultados que se deduzcan de la simulación a realizar dependerán, en gran medida, de todos los datos recopilados durante las clases impartidas en el aula de la Escuela Lean, a fin de construir un modelo lo más fidedigno posible.

Motivación

En el presente trabajo se realizará la simulación del proceso productivo que tiene lugar en el aula Lean de la Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid (sede Francisco Mendizábal), mediante un paquete informático adecuado y con las características suficientes para ello; este software será Witness. En concreto, la simulación se realizará con una distribución del aula en célula en forma de “U” con un proceso de producción “one piece flow”.

En la Escuela Lean existen varias configuraciones para realizar el proceso productivo de la línea de producción y montaje de vehículos. Estas configuraciones van desde una cadena de producción en la que trabaja por lotes, en la que no todos los puestos están juntos y es necesaria la ayuda de transportes entre puestos, hasta una distribución del taller continua en forma de “U” en la que se integra tanto la línea de producción como una línea de montaje y en la que se trabaja con una producción “one piece flow”.

Surge la necesidad de estudiar el abanico de configuraciones posibles para obtener resultados a través de su comparación y para que nos permitan realizar modificaciones que ofrezcan mejores resultados. La mejor forma de conseguirlo es a través de la creación de modelos de simulación de las diferentes configuraciones realizadas en la Escuela Lean.

Entre los trabajos sobre modelado de diferentes sistemas de producción mediante el software Witness que se han ido desarrollando en el departamento de Organización de Empresas y Comercio e Investigación de Mercados de la Escuela de Ingenierías Industriales podemos encontrar un trabajo fin de máster previo, que intentó abordar la creación de un modelo completo de la escuela Lean con una configuración inicial, pero no fue una solución válida. Por este motivo se ha partido de un modelo de la zona de chasis elaborado por el profesor Juan José de Benito.

En el mencionado modelo se desarrolló la simulación de una parte de la Escuela Lean, concretamente la zona del taller de chasis, en la que se fabrican una pequeña parte de las piezas que se montan en el producto final que sale de la línea de producción implantada en la escuela. En este trabajo se elaboró, verificó y validó el modelado del taller de chasis y se experimentó con él para llegar a ciertas conclusiones, las cuales podemos encontrar redactadas al final de la memoria del citado proyecto.

Para desarrollar el presente proyecto se partirá del trabajo de simulación de la zona del taller de chasis de la Escuela Lean, el cual se pretende complementar y mejorar. Se integrará el modelado del taller de chasis a la filosofía con la que se modelará la Escuela Lean en este proyecto, adaptando tanto la configuración de alguna zona, que pasará a ser distinta, como la demanda y los turnos de trabajo con los que se trabajaba en el modelado del taller de chasis de fabricación por lotes.

Entre las motivaciones para desarrollar este proyecto se encuentra la curiosidad que causó en nosotras el conocimiento de la existencia de la Escuela Lean y las actividades desarrolladas a lo largo del curso del máster de logística en dicha escuela; además del aprendizaje sobre las técnicas de Lean Manufacturing y su implementación en un área de trabajo real.

Objetivo

El principal objetivo que se pretende alcanzar con este trabajo fin de máster es la creación de un modelo parametrizable mediante Witness de la configuración de la Escuela Lean en la que se emplea una distribución de célula en “U” y un flujo de una pieza, en el que el producto va pasando de un puesto a otro individualmente y esperando a que el puesto anterior haya acabado sus tareas, para poder realizar experimentos con él y poder sacar conclusiones que permitan mejorar la operativa del sistema.

Para alcanzar este objetivo, en primer lugar, será necesario conocer el concepto de Lean Manufacturing, saber cuál es su estructura, sus principios y cuáles son las técnicas que se usan en Lean para conseguir sus metas. En segundo lugar, será preciso tener unos conceptos básicos de la técnica de simulación y, ante todo, conocer el software que se empleará en el modelado de la escuela. También será muy importante lograr una correcta comprensión de la propia Escuela Lean; será necesario conocer con detalle el área de trabajo que se pretende simular, su distribución, los flujos que existen en el taller,...

Otra de las condiciones para poder llegar a alcanzar el objetivo es poder disponer del software de simulación. En este sentido, contamos con el software informático de Simulación Witness en su versión educativa, el cual es lo bastante completa como para poder simular y obtener soluciones al problema planteado.

Con la simulación de este proceso de producción de vehículos, se podrán establecer diferentes formas de mejorarlo, cambiando diferentes parámetros. De hecho, se pretende crear un archivo Excel que interrelacione el programa de simulación con el usuario que va a experimentar con él de forma que sea más fácil interactuar con el software sin necesidad de entrar en su programación interna, permitiendo simular diferentes escenarios a través de variables externalizadas.

Una vez verificado y validado el modelo, la simulación podrá mostrar qué fases de la producción están desequilibradas y se podrán imponer medidas de mejora a partir de la experimentación, que en su momento pueden llegar a implementarse en el Aula Lean.

Precisamente, entre los subobjetivos que nos encontramos en este modelado de la Escuela Lean tenemos la explotación del modelo; una vez construido y validado el modelo es el momento de comenzar a realizar experimentos con él.

Por otro lado, se contempla el análisis de los resultados obtenidos en la fase de experimentación; una vez que hemos experimentado es el momento de detectar problemas o recomendar mejoras y soluciones analizando los resultados de la simulación.

Por último, se considera la implementación de las decisiones efectuadas a partir de los resultados obtenidos. En el caso de este proyecto, con implementación nos estamos refiriendo a que en futuros cursos de Lean Manufacturing realizados en la Escuela Lean se lleven a cabo las mejoras que se han deducido en esta simulación a partir de los experimentos realizados, para poder enseñar a los alumnos que asistan al curso.

Alcance del proyecto

De todas las configuraciones posibles que pueden existir de la Escuela Lean, en esta simulación tan sólo llegaremos a modelar la distribución de célula en “U” con flujo “one piece flow” donde el abastecimiento de piezas se realiza por medio de un kitting que va pasando de puesto a puesto junto con el coche correspondiente en el que hay que montar las piezas. De esta forma, dejaremos abierto a modelar otras posibles configuraciones de la escuela que no se desarrollan en este proyecto.

Una vez validado el modelo, se experimentará con él y se llegará a conclusiones de mejora que no se llevarán a cabo en el sistema real, ya que esta actividad queda fuera del alcance del trabajo. Lo realmente importante en este aula de formación es que el alumno aprenda a detectar los recursos no optimizados para posteriormente mejorar el proceso productivo. . A pesar de no ejecutar como tal las mejoras propuestas a los problemas encontrados, el modelo servirá de guía y de ayuda para encontrar una buena solución que optimice los recursos. Aunque no se implementen las decisiones tomadas con la simulación en el presente proyecto, sí que se podrán ir implementando en el transcurso de los cursos de formación que se realizan en la escuela, guiando al alumno hacia una solución óptima.

Estructura del documento

Este documento está compuesto por seis capítulos principales en los que se tratan diferentes temas que ayudarán a la comprensión del proyecto. Comenzará con varios capítulos teóricos que introducirán temas orientados hacia la simulación de la escuela y nos situarán en el escenario que se pretende simular, para concluir el documento con las conclusiones extraídas de la simulación.

En primer lugar nos encontraremos con un capítulo que habla sobre Lean Manufacturing, una nueva filosofía de producción y organización que permite a las grandes empresas industriales posicionarse en el mercado global y ser competitivas. Gracias a los conceptos que se tratan en este capítulo se adquirirán unas ideas generales que ayudarán a entender el desarrollo del proyecto y a saber identificar los problemas que se encuentran en el modelo inicial de la Escuela Lean para poder tener recursos suficientes para solventarlos.

En el segundo capítulo se abordará el tema de simulación. Debido a que este proyecto pretende simular con Witness una de las posibles configuraciones de la Escuela Lean, es importante conocer qué es la simulación y en qué consiste. Básicamente, la simulación busca diseñar un modelo de un sistema real y realizar experimentos con dicho modelo a fin de observar y comprender el comportamiento del sistema o evaluar diferentes estrategias a seguir. A lo largo del capítulo se irán comentando diferentes conceptos de simulación, el proceso que hay que seguir a la hora de realizar la simulación de un sistema real, las ventajas e inconvenientes que lleva consigo el empleo de la simulación, los diferentes campos de aplicación,... Se dedicará un apartado a describir el software que se utiliza para la simulación de la Escuela Lean, Witness.

El tercer capítulo describe la Escuela Lean que está implantada en la Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid, donde se representa un entorno industrial formado por un aula de formación y dos talleres de producción, constituyendo un ambiente industrial y pedagógico único. Aquí podremos conocer el producto que se fabrica en la planta de producción, las diferentes distribuciones del taller con las que se ha trabajado en la escuela a lo largo de las clases impartidas en el máster de logística, el flujo de material y las diferentes operaciones que se realizan en los puestos de montaje. Este capítulo se centrará sobre todo en la distribución de célula en “U” ya que será el modelo que se simulará con Witness en este proyecto.

El cuarto capítulo aborda la simulación de la Escuela Lean con Witness a partir de las descripciones y datos proporcionados en el capítulo anterior. En este apartado podemos ver documentadas las conclusiones que se obtienen una vez se ha modelado la escuela. Se pasará por las etapas de formulación del problema, recogida de datos, construcción del modelo, verificación y validación de dicho modelo para poder llegar a realizar experimentos con el diseño y analizar los resultados obtenidos.

En el quinto capítulo nos encontramos el estudio económico en el que se refleja la valoración económica que conlleva realizar este proyecto. En él se reflejan tanto los costes directos como los costes indirectos ligados a su elaboración. Este estudio tan sólo considerará los costes implicados en la realización del proyecto y de los medios necesarios para su realización; no considera ningún tipo de beneficio adicional. Gracias a este apartado se podrá valorar si la realización de este proyecto es viable o no.

Para concluir con el desarrollo de este proyecto, se redactarán las conclusiones que se han obtenido a lo largo del proyecto y se presentarán las posibles actuaciones futuras que complementen el presente proyecto.

La memoria que vamos a leer a continuación se cerrará con la bibliografía empleada en su desarrollo.

Capítulo I: Lean Manufacturing

1.1. Introducción

Lean manufacturing constituye una nueva filosofía de producción y organización que permite a las grandes empresas industriales posicionarse en el mercado global y ser competitivas. Tiene su origen en los años 50, y está basada en el sistema de producción Just in Time (JIT), un método desarrollado por la empresa Toyota.

Esta filosofía consiste en la aplicación de un conjunto de técnicas de fabricación que buscan la mejora de los procesos productivos a través de la reducción de todo tipo de “desperdicios”, definidos éstos como los procesos o actividades que usan más recursos de los estrictamente necesarios.

Actualmente existe una gran competitividad de los mercados, en concreto en el sector industrial. Los clientes tienen mayores expectativas y las empresas quieren tener más márgenes de ganancia. Estas ganancias se consiguen reduciendo los costes de producción, aumentando la capacidad de cubrir la demanda, cambiando las estrategias de producción, incorporando trabajadores más capacitados y productivos, y con la responsabilidad de integrar la empresa con el medio ambiente. Por ello, el Lean Manufacturing es una herramienta indispensable para las empresas.

La implantación del Lean Manufacturing exige conocer una serie de conceptos, herramientas y técnicas con el fin de alcanzar tres objetivos: rentabilidad, competitividad y satisfacción de los clientes. También es necesario conocer los pilares del lean Manufacturing: la filosofía de mejora continua Kaizen, el control total de la calidad y el Just in Time.

En este capítulo se detalla el significado de la filosofía Lean, así como sus orígenes y su evolución en los últimos años. Por otro lado, se concreta la estructura de este sistema de producción y cuáles son los principios que siguen a la hora de tomar decisiones. También resulta indispensable conocer el significado del término “despilfarro” y los tipos que pueden darse en una empresa. Por último, se describen las técnicas disponibles para implantar la filosofía Lean dentro de una empresa.

Además, se explica el significado de flujo continuo y su importancia dentro de la filosofía Lean. Pero también cómo es posible implantar el flujo continuo dentro de un proceso, cuáles son las causas que producen estancamiento y cómo eliminarlas o reducirlas. Por otro lado, se mencionan las diferencias existentes entre la organización tradicional de un proceso y la organización mediante el método de flujo continuo.

Para entender el concepto de flujo continuo se definen los diferentes tipos de flujo que lo componen: el flujo de información, flujo de materiales y flujo de operario. También se mencionan los beneficios de este flujo y la importancia de la flexibilidad que aporta al proceso.

Al final de este capítulo se define el flujo “*one piece flow*” y sus objetivos. Onepieceflow es el método ideal para crear un flujo continuo porque el producto se mueve paso a paso sin esperas. También se definen las condiciones que se deben dar para organizar un flujo onepieceflow.

Por último, se detallan los pasos a seguir para la implementación de un flujo one piece flow en un proceso productivo, así como las diferencias y ventajas en comparación con la fabricación por lotes.

1.2. Definición

Lean manufacturing puede tener diferentes significados. En función de la industria en la que se defina este concepto, se puede traducir como fabricación delgada, ajustada o sin grasa.

Lean manufacturing es una filosofía o sistema cuyo objetivo es conseguir la mejora y optimización de un sistema de producción, centrándose en identificar y eliminar desperdicios o despilfarros mediante la utilización de una serie de herramientas. Esta optimización permite reducir el tiempo entre el pedido del cliente y el envío del producto, mejorando la calidad y reduciendo costes. Se entiende como desperdicios o despilfarros aquellas acciones que no aportan valor al producto.

Algunos de los despilfarros que se identifican en la producción son: la sobreproducción, el transporte, el tiempo de espera, el exceso de procesado, el inventario, los movimientos y los defectos. Para llevar a cabo esta filosofía y cumplir sus objetivos es necesario aplicar un conjunto de técnicas que abarcan todas las áreas operativas del proceso de fabricación, es decir: la gestión de la calidad, la organización de los puestos de trabajo, los flujos internos, el mantenimiento y la gestión de la cadena de suministro.

El objetivo final de Lean Manufacturing es crear un nuevo sistema basado en la comunicación y el trabajo en equipo, aplicando el método a cada caso concreto. Esta filosofía busca la mejora continua, haciendo los métodos más ágiles, flexibles y económicos. Evoluciona constantemente gracias al aprendizaje adquirido sobre la implementación, la adaptación de las diferentes técnicas en todo tipo de entornos industriales y de servicios.

En conclusión, Lean manufacturing consiste en: combinar diferentes técnicas y elementos surgidos de los estudios realizados en los propios sistemas de producción; eliminar toda fuente de despilfarro, por lo que intenta desarrollar el proceso de producción con el mínimo personal, materiales, espacio y tiempo; y en fabricar lo que se necesite, en el momento que se necesite y con la máxima calidad posible.

1.3. Orígenes

A principios del siglo XX comienzan las técnicas de organización de la producción. F.W. Taylor y Henry Ford llevaron a cabo trabajos con el objetivo de formalizar y metodificar la fabricación en serie; en concreto, Taylor aplicó el método científico a procesos, tiempos, equipos, personas y

movimientos, mientras que Henry Ford usó la normalización de procesos en las cadenas de fabricación de automóviles.

Esta normalización se realizaba en los productos, la utilización de máquinas, la simplificación de tareas y recorridos, la sincronización entre procesos, la especialización del trabajo así como la formación especializada. Estos métodos son conjuntos de acciones y técnicas que persiguen el objetivo de una nueva forma de organización y evolucionan en un periodo en el que se realizaba producciones rígidas en masa de grandes cantidades de producto.

El modelo de fabricación de productos estandarizados y en grandes series se convierte en la norma; el resultado es una mayor producción y una combinación de incremento de la productividad y de los beneficios. Después de la segunda guerra mundial se produjo una gran expansión de las organizaciones de producción en masa. Sin embargo, a mediados del siglo XX el modelo empezó a erosionarse y la productividad disminuyó.

La ruptura con estas técnicas tiene lugar en Japón, donde se encuentran los inicios de la filosofía Lean. Este pensamiento nació en la mitad del siglo XX en la Toyota Motor Company. Los japoneses querían obtener beneficios de productividad sin recurrir a economías de escala y para ello comenzaron a estudiar las técnicas de organización de producción de Estados Unidos. En concreto, la compañía Toyota fue la empresa que más empeño puso en buscar nuevas alternativas.

A finales de 1949, un colapso de las ventas obligó a Toyota a despedir a gran parte de los trabajadores después de una huelga. El ingeniero Eiji Toyoda junto con Taiicho Ohno, visitaron las empresas americanas para entender el método de trabajo utilizado y poder, con la información obtenida, crear un nuevo método de trabajo y su propia organización. El objetivo de la nueva organización a la hora de trabajar es eliminar todos los elementos innecesarios en la producción para conseguir reducir los costes, cumpliendo con los requerimientos de los clientes.

De esta manera, Ohno estableció un nuevo sistema de gestión, Just in Time (justo a tiempo) o TPS (*Toyota Manufacturing System*). Este sistema se basaba en producir sólo lo que se demanda y cuando el cliente lo solicita. Ohno comprendió la necesidad de transformar las operaciones de producción en flujos continuos, sin interrupciones, ya que el objetivo era proporcionar al cliente sólo lo que necesita, intentando reducir los tiempos de preparación.

Después de la crisis del petróleo de 1973, el sistema JIT se impuso en muchos sectores y la industria japonesa comenzó a tomar ventaja con occidente. Taiicho Ohno mencionó que el JIT surgió del esfuerzo, la superación, la mejora de la producción y la necesidad de reducir costes. Pero no es hasta principios de los años 90 cuando el sistema japonés alcanza un gran auge.

El modelo de Toyota se resume en los siguientes principios:

- Eliminación del despilfarro y suministro Just in Time de los materiales.
- Llevar una relación de confianza y transparencia con los proveedores que colaboren a largo plazo.

- La participación de los empleados en las tareas de mejora de la producción, el mantenimiento preventivo y la aportación de sugerencias.
- La calidad total, es decir, eliminar los defectos lo antes posible y en el momento en que se detecten, así como la implantación de elementos para certificar la calidad.

Según Suzuki, las técnicas del Just in Time junto al método de organización japonés JWO (*Japanese Work Organization*) y el Jidoka son los fundamentos del Lean Manufacturing. El JWO idea y establece una manera de organizar el trabajo orientado a la aplicación práctica de las habilidades de los trabajadores, es decir, la utilización de las capacidades de la mano de obra. El Jidoka, por su parte, consiste en proporcionar a las máquinas la capacidad de parar el proceso si se detecta que no puede fabricar una pieza sin errores.

La Figura 1.1 muestra un resumen de los principios esenciales que se han ido sumando al modelo Lean. En un primer grupo se encuadran los principios JIT originales, que afectan a productividad, costes, plazo de entrega y diversidad de productos. En un segundo grupo se recogen los principios JWO que usan el potencial de los trabajadores. El último grupo estaría formado por aquellos principios que se han ido incorporando finalmente para configurar lo que se entiende por Lean.

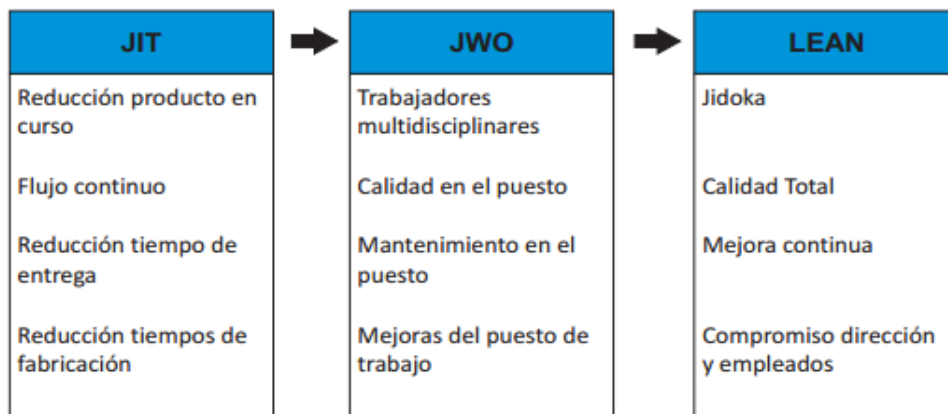


Figura 1. 1.- Principios esenciales del Lean Manufacturing

En resumen, el origen del Lean Manufacturing se da en el momento en que las empresas japonesas adoptaron la cultura de la búsqueda de mejoras. Estas mejoras se aplican en las plantas de fabricación y en los puestos de trabajo. En esa búsqueda adoptaron los principios de calidad total y mejora continua logrando cambiar la mentalidad a la hora de trabajar.

1.4. Pilares del Lean Manufacturing

La implantación del Lean Manufacturing exige conocer una serie de conceptos, herramientas y técnicas con el fin de alcanzar tres objetivos: la rentabilidad, la competitividad y la satisfacción de los clientes. Los pilares del lean Manufacturing son: la filosofía de mejora continua Kaizen, el control total de la calidad y el Just in Time.

El significado de **Kaizen** es “cambio para mejorar”. Kaizen implica una cultura de cambio constante para evolucionar a mejores sistemas; es lo que se conoce como “mejora continua”. Este concepto se compone de tres elementos: la percepción (descubrir los problemas), el desarrollo de ideas (hallar soluciones), y la toma de decisiones, su implantación y comprobar su efecto, es decir, escoger la mejor propuesta, planificar su realización y llevarla a cabo.

El **control total de la calidad** presenta tres características básicas. En primer lugar, *todos los departamentos de una empresa participan en el control de calidad*. El control de calidad durante la fabricación permite reducir los costes de producción y los defectos, lo que permite garantizar unos costes bajos para el consumidor y la rentabilidad para la empresa. Además, *todos los empleados participan en el control de calidad*; también se incluye a proveedores, distribuidores y otras personas relacionadas con la empresa. Por último, *el control de la calidad se encuentra integrado con el resto de funciones de la empresa*.

Respecto al **Just in Time**, y como se ha mencionado anteriormente, su objetivo es conseguir una reducción de los costes a través de la eliminación de despilfarros. Con el JIT se quiere fabricar los productos necesarios en el plazo de tiempo y en las cantidades solicitadas por el cliente. El periodo de tiempo que preocupa al cliente es el plazo de entrega (*lead time*), que es el tiempo transcurrido desde que el cliente solicita un pedido hasta que recibe el material.

Por otra parte, en el proceso de fabricación es importante el tiempo de flujo, que es el tiempo que transcurre desde que se lanza una orden de producción hasta que el producto puede ser expedido. JIT es una filosofía de gestión con el fin de la eliminación de cualquier despilfarro y la utilización al máximo de las capacidades de todos los empleados, entendiéndose por despilfarro todo aquello que no añade valor al producto.

1.5. Estructura y principios de la filosofía Lean

Lean implica un cambio cultural en la organización de las empresas que se lleva a cabo gracias al compromiso de la dirección de las compañías que decidan implementarlo.

Para explicar la estructura del Lean Manufacturing recurriremos al esquema de la “Casa del Sistema de Producción Toyota” que se puede apreciar en la Figura 1.2.

Con este esquema se visualiza la filosofía Lean y cuáles son las técnicas para su aplicación. La parte superior del esquema, el techo de la casa, está formada por los objetivos que persigue la filosofía Lean: obtener la mejor calidad, al menor coste posible y en el menor tiempo de entrega.

Las columnas que sujetan el techo son JIT y Jidoka. El JIT, como se ha mencionado anteriormente, significa Justo a Tiempo, realizar el producto que requiere el cliente en el momento y la cantidad exacta. Y Jidoka significa dar a las máquinas y a los trabajadores las habilidades necesarias para determinar cuándo se da una situación anormal y detener el proceso de producción en tal caso. Este método permite identificar los problemas y sus causas.

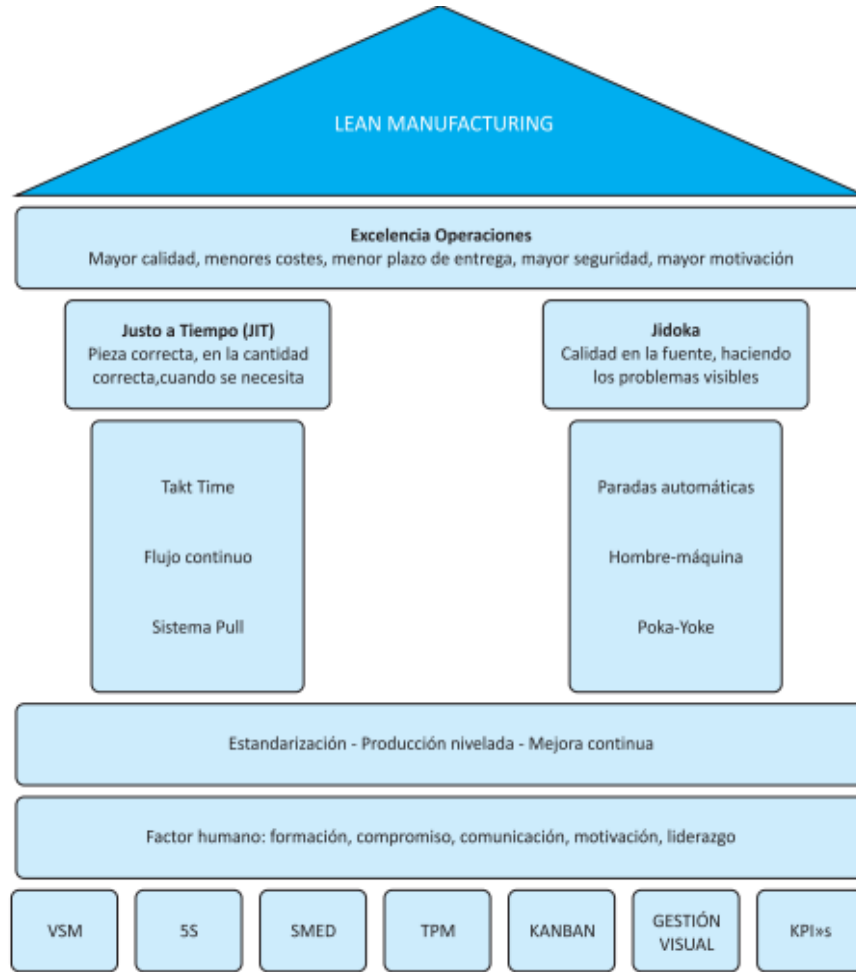


Figura 1. 2.- Casa del Sistema de Producción Toyota

Por último, en la base del esquema se observa la estandarización, el Heijunka o nivelación de la producción y la aplicación de la mejora continua. A todas estas técnicas se les añade el factor humano, una característica clave para la implantación del Lean. Más adelante dedicaremos un apartado a comentar cada una de estas herramientas.

Con la estructura de la filosofía Lean se tiene una visión general del funcionamiento del sistema, pero existe una serie de principios que guían su desarrollo. En concreto, hay principios relacionados con el sistema desde el punto de vista del factor humano y de la manera de trabajar y pensar, así como principios relacionados con las medidas operacionales y técnicas.

Los principios relacionados con el sistema, desde el punto de vista del factor humano, tienen como objetivo la formación de los trabajadores para que sean multidisciplinares y trabajar con ellos para que se conviertan en líderes de equipos. Además, es importante que el personal se involucre en el seguimiento del sistema y transmita sus conocimientos al resto de compañeros. Cabe destacar otro de los objetivos: los trabajadores deben trabajar bajo el principio de mejora, que sean capaces de identificar y eliminar las funciones y procesos que no sean necesarios y, además, que lleven a cabo la integración de funciones y sistemas de información.

A estos principios se les añade los relacionados con las medidas operacionales y técnicas a usar como: la creación de un flujo de proceso continuo que identifique los problemas, la utilización de sistemas “Pull” para evitar la sobreproducción, la nivelación de la carga de trabajo, la estandarización de tareas para poder implantar la mejora continua, la utilización del control visual a la hora de detectar problemas, la eliminación de inventarios, reducción de los ciclos de fabricación y diseño y conseguir la eliminación de defectos.

1.6. Despilfarro

Lean Manufacturing propone un cambio que consiste en medir y analizar la eficiencia y la productividad de todos los procesos. Para poder realizar este análisis se definen los términos de valor añadido y despilfarro.

El valor se añade cuando todas las actividades tienen el único objetivo de transformar las materias primas del estado en que se han recibido a otro de superior acabado que algún cliente esté dispuesto a comprar. El despilfarro es todo aquello que no añade valor al producto o que no es esencial para fabricarlo (existen actividades que son necesarias para el proceso productivo pero que no aportan un valor añadido).

Una empresa tiene el objetivo de simplificar o eliminar las actividades que no aporten valor al proceso, es decir, de eliminar despilfarros o todo aquello que resulte improductivo, inútil o que no aporte valor añadido. Para poder realizar esta eliminación se llevan a cabo los siguientes pasos: reconocer el desperdicio y el valor añadido dentro del proceso, actuar para eliminar el desperdicio aplicando las técnicas Lean y estandarizar el trabajo para poder seguir con la mejora continua.

El **reconocimiento de los desperdicios** de cada empresa debe ser el primer paso para la selección de las técnicas más adecuadas. Para ello identificaremos los tipos de despilfarros sobre los que se centra el Lean Manufacturing: sobreproducción, tiempo de espera,

El *despilfarro por sobreproducción* es el resultado de fabricar más cantidad de la que se requiere por parte del cliente o utilizar maquinaria con mayor capacidad de la necesaria. La sobreproducción se traduce en una pérdida de tiempo y recursos, ya que se fabrican productos que no se necesitan. Este tipo de despilfarro se caracteriza por una gran gran cantidad de stock, tener equipos sobredimensionados, un flujo de producción no nivelado, la presión sobre la producción, la falta de atención a los problemas de calidad, lotes de gran tamaño, material obsoleto y falta de espacio.

El *despilfarro por tiempo de espera o tiempo vacío* es el tiempo perdido como resultado de un proceso ineficiente, es decir, el tiempo que los operarios permanecen parados, el tiempo en el que la línea se detiene. Este tipo de despilfarro se caracteriza por las esperas de los operarios y las máquinas, la espera del material dentro del proceso, las paradas no planificadas y el tiempo para realizar otras tareas.

El *despilfarro por transporte y movimientos innecesarios* es el tiempo gastado en movimientos de material innecesario por un mal diseño de la planta de producción. Lo ideal es que las máquinas y las líneas de producción estén cerca para que los materiales puedan fluir. Este tipo de desperdicio se caracteriza por las grandes dimensiones de los contenedores y su dificultad para manipularlos, por el gran número de movimientos de material y las máquinas vacías en planta.

El *despilfarro por sobreprocesos* es el desperdicio por tener más valor añadido de lo necesario. Este tipo de desperdicio se caracteriza por la rotación baja de existencias, los costes de los movimientos y del stock, el gran espacio de almacén y las grandes dimensiones de los contenedores.

El *despilfarro por defectos* es aquel que se deriva de los errores y significa una gran pérdida de productividad. Incluye el trabajo extra que debe realizarse como consecuencia de no haber ejecutado correctamente el proceso productivo la primera vez.

Los procesos productivos deberían estar diseñados a prueba de errores, con el objetivo de conseguir el producto con la calidad que exige el cliente, eliminando la necesidad de inspecciones extra o retrabajo. Además, debería haber controles de calidad en tiempo real para detectar los errores en el momento en que suceden; de esta forma se minimiza el número de piezas que requieren una posterior inspección o la repetición del trabajo.

Las características principales de este tipo de desperdicio son: pérdida de tiempo, recursos materiales y dinero, planificación inconsistente, calidad cuestionable, flujo de proceso complejo, recursos humanos adicionales necesarios para inspección y reprocesos, espacio y técnicas extra para el reproceso, maquinaria poco fiable y baja motivación de los operarios.

1.7. Técnicas

El Lean manufacturing se implanta a través de la aplicación de diferentes técnicas.

- Las 5S.
- SMED
- Estandarización
- TPM
- Control Visual
- Jidoka
- Técnicas de calidad
- Sistemas de participación de personal (SPP)
- Heijunka
- Kanban

A continuación se describe cada una de estas técnicas:

1.7.1. Las 5S

Las 5S es una técnica utilizada para la mejora de las condiciones de trabajo en una empresa a través de la organización, el orden y la limpieza en el puesto de trabajo. El acrónimo corresponde a las iniciales en japonés de las cinco palabras que definen las herramienta y cuya fonética empieza por “S”: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke, que significan, respectivamente: eliminar lo innecesario, ordenar, limpiar e inspeccionar, estandarizar y crear hábito (véase Figura 1.3).

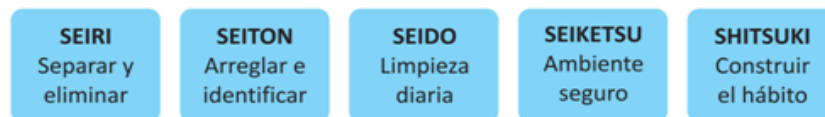


Figura 1. 3.- 5S

El objetivo de la implantación de esta técnica es evitar que se presenten síntomas disfuncionales que afecten a la eficiencia de la empresa. Este proceso de implantación consta de 5 pasos, cuyo desarrollo implica la asignación de recursos, la adaptación a la cultura de la empresa y la consideración de aspectos humanos.

- *Eliminar (Seiri)*: significa clasificar y eliminar de la zona de trabajo todos los elementos innecesarios o inútiles para el trabajo que se realiza. Se controla el flujo de elementos prescindibles que originan despilfarros y se separa lo que se necesita de lo que no.
- *Ordenar (Seiton)*: organizar los elementos identificados como necesarios con el objetivo de encontrarlos con facilidad. Para esto se define un lugar de ubicación, para facilitar la búsqueda y el retorno a esa posición inicial.
- *Limpieza e inspección (Seiso)*: da una idea de anticipación para prevenir defectos. Significa limpiar y revisar el entorno de trabajo para identificar defectos y eliminarlos.
- *Estandarizar (Seiketsu)*: supone seguir un método para realizar un procedimiento en el que la organización y el orden son factores fundamentales.
- *Disciplina (Shitsuke)*: su fin es que los métodos estandarizados se conviertan en hábitos y se acepte la aplicación normalizada.

1.7.2. SMED

SMED (*Single-Minute Exchange of Dies*) significa cambio rápido de herramienta. Es un método cuyo fin es la reducción de los tiempos de preparación de máquina.

Los cambios rápidos de herramienta implican la eliminación de ajustes y estandarización de operaciones a través de la instalación de nuevos mecanismos de alimentación, retirada, ajuste o centrado rápido. Algunas de las principales características de los métodos rápidos y simples

de cambio es la eliminación de errores en los ajustes de útiles; esto tiene como consecuencia la reducción de los defectos y la posibilidad de prescindir de inspecciones.

En las empresas japonesas la reducción de tiempos de preparación recae en el personal de producción e ingeniería y en los Círculos de Control de Calidad (CCC). SMED hace uso de las técnicas de calidad para la resolución de problemas, como el análisis de Pareto, las seis preguntas clásicas ¿Qué? – ¿Cómo? – ¿Dónde? – ¿Quién? – ¿Cuándo? y los respectivos ¿Por qué?

Para llevar a cabo una acción SMED, previamente se realizan unos estudios divididos en cuatro fases:

- *Fase 1 - Diferenciación de la preparación externa e interna.* El objetivo es separar la preparación interna de la externa y transformar la preparación interna en externa. Por preparación interna entendemos todas aquellas actividades que para poder realizarlas es necesario que la máquina se pare, y por preparación externa se entienden todas las actividades que pueden realizarse con la máquina en funcionamiento.
- *Fase 2 - Reducir el tiempo de preparación interna mediante la mejora de las operaciones.* Todas aquellas preparaciones internas que no puedan convertirse en externas deben tener un control continuo para poder realizar una mejora sobre ellas.
- *Fase 3 - Reducir el tiempo de preparación interna mediante la mejora del equipo.* La organización de las preparaciones externas, la modificación de la estructura del equipo y la incorporación de máquinas para mejorar.
- *Fase 4 - Preparación Cero.* El objetivo es tener un tiempo de preparación cero por lo que deben utilizarse las tecnologías adecuadas.

La aplicación de las técnicas SMED proporciona beneficios que se convierten en mayor capacidad de respuesta a los cambios en la demanda.

1.7.3. Estandarización

Esta técnica es uno de los cimientos del Lean Manufacturing. La estandarización se define como la realización de instrucciones escritas y gráficas llamados estándares, que ayudan a comprender las técnicas más fiables y nos dan información sobre personas, máquinas, materiales, métodos, mediciones,..., con el fin de realizar productos de calidad de modo fiable, seguro y rápido.

Para realizar una estandarización, primero se define un estándar con un método de realizar una tarea, después se mejora, se verifica que existe una mejora y se estandariza de nuevo. La mejora continua es la repetición de este ciclo. Una estandarización correcta y fiable debe seguir estos cuatro principios: a) las descripciones deben ser simples y claras, b) proceder de mejoras anteriores realizadas con las mejores técnicas posibles y las herramientas

disponibles, c) garantizar su cumplimiento y d) considerar los estándares como punto de partida para mejoras posteriores.

1.7.4. TPM

El Mantenimiento Productivo Total o TPM (*Total Productive Maintenance*) tiene como objetivo asegurar las perfectas condiciones del equipo de fabricación y que produzca de acuerdo con los estándares establecidos en un tiempo de ciclo adecuado. El TPM propone los siguientes objetivos:

- Desarrollar un sistema de mantenimiento productivo para toda la vida útil del equipo de producción.
- Maximizar la eficacia del equipo y de las instalaciones intentando reducir los tiempos muertos.
- Implicar a todos los departamentos que participan en la planificación, diseño, utilización o mantenimiento de los equipos.
- Mejorar la fiabilidad de las máquinas, instalaciones y equipos industriales.
- Implicar activamente a todos los empleados.

La implantación del TPM requiere una metodología adecuada a las características de la empresa y la formación de las personas. El TPM se basa en dos pilares, como se observa en la Tabla 1.1:

Tabla 1. 1.- Pilares del TPM

MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL	
Mantenimiento autónomo	Proceso fiable
Paso 1. Volver a situar la línea en su estado inicial	Implantación de un indicador (OEE)
Paso 2. Eliminar la suciedad y las zonas de difícil acceso	Aplicar PDCA para eliminar los desajustes
Paso 3. Aprender a inspeccionar el equipo	Mejorar el nivel de OEE
Paso 4. Mejora continua	Mantener el nivel de OEE

- *Paso 1. Volver a situar la línea en su estado inicial.* El objetivo es dejar la línea en las condiciones en las que fue entregada por el proveedor, es decir, limpia.
- *Paso 2. Eliminar las fuentes de suciedad y las zonas de difícil acceso.* Las fuentes de suciedad son lugares en los que aunque se limpie continuamente, se sigue generando suciedad. Estos lugares deben considerarse como causas de mal funcionamiento.

- *Paso 3. Aprender a inspeccionar el equipo.* El personal de producción debe ir encargándose cada vez de más tareas de mantenimiento, hasta llegar a trabajar de forma autónoma. Para realizar esta actividad es necesaria la formación de los operarios de la línea de producción en el funcionamiento de las máquinas.
- *Paso 4. Mejora continua.* En esta fase los operarios encargados de la producción realizan las tareas de TPM de forma autónoma. Proponen mejoras en las máquinas y se hacen cargo de las herramientas necesarias.

La calidad del proceso TPM debe ser auditada por el departamento de mantenimiento. Es conveniente definir un sistema de indicadores fiable para medir, analizar y evaluar los resultados y desviaciones respecto al objetivo. Para ello se utiliza el Índice de Eficiencia Global del Equipo, OEE (*Overall Equipment Efficiency*).

OEE es un indicador que evalúa los parámetros fundamentales de la producción industrial. Calcula y establece una comparación entre el número de piezas que podrían haberse producido, y las unidades sin defectos que realmente se han producido (véase la ecuación 1.1).

$$OEE = D * E * C \quad (1.1)$$

En la Figura 1.4 se detallan los componentes del OEE. Para la utilización de este indicador, se utilizan los índices de Disponibilidad, Eficiencia y Calidad. OEE es el producto de estos tres índices, de manera que:

- El *índice de Eficiencia (E)* mide el nivel de funcionamiento del equipo contemplando las pérdidas por tiempos muertos, paradas menores y pérdidas por una velocidad operativa más baja que la de diseño.
- El *índice de Disponibilidad (D)* es la fracción de tiempo que el equipo está operando realmente reflejando las pérdidas por averías y paradas.
- El *índice de Calidad (C)* mide la fracción de la producción obtenida que cumple los estándares de calidad reflejando aquella parte del tiempo empleada en la producción de piezas defectuosas o con errores.

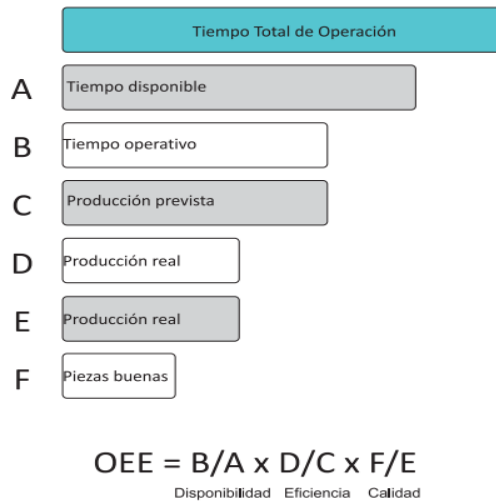


Figura 1. 4.- OEE, Disponibilidad, Eficiencia y Calidad

1.7.5. Control visual

El control visual puede definirse como el conjunto de medidas prácticas, técnicas de control y comunicación visual con el objetivo de plasmar la situación del sistema productivo de una empresa, reflejando las anomalías y despilfarros. Con estas medidas se facilita a los empleados el conocimiento del estado del sistema y del avance de las acciones de mejora.

Mediante esta herramienta se observa la información de alto valor añadido que identifique las pérdidas en el sistema de producción y las opciones de mejora de estas anomalías. Otro de sus objetivos es mantener informados a los trabajadores acerca de la evolución de sus esfuerzos y cómo afectan a los resultados finales. El control visual es la técnica con la que el Lean Manufacturing estandariza la gestión.

1.7.6. Jidoka

Jidoka es un término japonés que significa “con toque humano”. Esta técnica está basada en la incorporación de sistemas y dispositivos que dan a las máquinas la capacidad de detectar errores. Su objetivo es que el proceso tenga su propio autocontrol de calidad, de manera que si se encuentra una anomalía durante el proceso el operario detenga la producción; así se evita fabricar con defectos y que las piezas defectuosas avancen en el proceso.

Esta técnica da gran importancia a los operarios, ya que son los encargados de comprobar la calidad de las piezas, es decir, se convierten en inspectores de calidad. Se realizan inspecciones de calidad dentro de la línea de producción y cada operario garantiza la calidad de su puesto de trabajo. Normalmente se identifican las técnicas Jidoka con sistemas de autonomación de las máquinas o con la capacidad del operario de parar la línea.

Otra fase importante es el sistema de autoinspección o inspección “a prueba de errores”, conocido como poka-yoke en japonés. Se trata de unos mecanismos o dispositivos que, una vez instalados, evitan los defectos al cien por cien aunque exista un error humano. Su objetivo es que “los errores no deben producir defectos y mucho menos aún progresar”. Se caracterizan por su simplicidad, ya que son dispositivos pequeños de acción inmediata, sencillos y económicos. También se caracterizan por su eficacia porque actúan por sí mismos. Además, tienen tres funciones contra los defectos: pararlos, controlarlos y avisar de ellos.

La Tabla 1.2 muestra el esquema de los pasos progresivos y técnicas que se pueden ir aplicando para alcanzar una autonomía completa en las máquina.

Tabla 1.2.- Pasos a seguir para la autonomía de una máquina

Fase	Descripción	Carga hombre/máquina
1	<i>Autonomación de proceso</i> Transferir esfuerzo de operario en esfuerzo de la máquina	Operaciones simultáneas operario/máquina
2	<i>Autonomación de sujetar</i> Sustitución de apriete manual por sistemas accionados mecánicamente	
3	<i>Autonomación de alimentación</i> Alimentación automática. El operario sólo interviene en la alimentación en caso de errores	
4	<i>Autonomación de paradas</i> El sistema de alimentación para correctamente la máquina al final del proceso	Tareas de operario
5	<i>Autonomación de retornos</i> Finalizado y parado el proceso correctamente, el sistema retorna a situación de inicio sin ayuda del operario	
6	<i>Autonomación de retirada de piezas</i> Finalizado el proceso y retorno, la pieza es retirada automáticamente de forma que la siguiente pieza puede ser cargada sin necesidad de manipular la anterior	
7	<i>Mecanismos antierror (Poka-Yoke)</i> Para prevenir transferencia de piezas defectuosas al proceso siguiente se instalan dispositivos para detectar errores, parar la producción y alertar al operario	
8	<i>Autonomación de carga</i> La pieza es cargada sin necesidad de operario. El proceso debe tener capacidad de detectar problemas y parar la operación	
9	<i>Autonomación de inicio</i> Completados los pasos anteriores la máquina debe empezar a procesar piezas de forma autónoma. Se deben prever problemas de seguridad y calidad	
10	<i>Autonomación de transferencia</i> Se enlazan operaciones mediante sistemas de transferencia que eviten la intervención del operario	

1.7.7. Técnicas de calidad

Esta herramienta tiene como objetivo disminuir y eliminar defectos. Las técnicas de calidad son proporcionadas por los sistemas de garantía de calidad y constituyen un pilar importante del Lean Manufacturing.

La calidad es el compromiso de una empresa de hacer las tareas en todas las áreas bien a la primera para conseguir la satisfacción de los clientes. Para conseguir cumplir con este requisito, cada empleado se convierte en un inspector de calidad. De esta forma, la reparación de los defectos se realiza inmediatamente al localizar el problema.

Para encontrar soluciones aplicables a todo tipo de empresas, Lean Manufacturing propone el uso de las técnicas de Calidad TQM (*Total Quality Management*); algunas de ellas son: los chequeos de autocontrol, 6 Sigma, el análisis PDCA, la Matriz de Autocalidad y la implantación de planes cero defectos.

1.7.8. Sistemas de participación del personal (SPP)

Los SPP son sistemas organizados de grupos de trabajo de personal que canalizan eficientemente la supervisión y mejora del sistema Lean. Estas actividades están estructuradas de manera que se canalicen eficientemente las iniciativas que puedan incrementar la competitividad de la empresa. El objetivo es la identificación de problemas o de oportunidades de mejora para poder plantear e implantar acciones para su resolución.

El sistema Lean establece una serie de prioridades a la hora del establecimiento de las técnicas que debe utilizar el personal. Algunas de las prioridades más importantes son: la seguridad en el trabajo, garantizar la seguridad de los empleados, que tengan unas condiciones de trabajo satisfactorias o que reciban formación. Además, es necesario que exista comunicación entre los trabajadores y los superiores o directivos de la empresa, así como la participación del personal, transmitiendo sus experiencias para la mejora del funcionamiento de la empresa.

Los sistemas de participación de personal más usados son: los *grupos de mejora* y los *programas de sugerencias*. Los grupos de mejora se pueden definir como equipos que abordan la resolución de problemas específicos o el despliegue de nuevas técnicas. Son equipos multidisciplinares formados por personas de diferentes niveles de responsabilidad y departamentos. La creación de grupos permite gestionar, de forma activa, el conocimiento depositado en todas las personas de la organización. Por otro lado, los *programas de sugerencias* están dirigidos a aprovechar la sugerencias de los empleados. Una sugerencia es aquella idea que suponga una modificación para la mejora de los métodos de trabajo.

1.7.9. Heijunka

Heijunka, o también llamado producción nivelada, es una técnica que sirve para planificar y nivelar la demanda de clientes, conectando toda la cadena de valor desde los proveedores hasta los clientes. Esta técnica persigue varios objetivos: mejorar la respuesta frente al cliente, estabilizar al personal de la empresa, reducir el stock de materia prima y producto acabado y, finalmente, incrementar la flexibilidad de la planta.

Con una producción continua nivelada, suavizada y en lotes pequeños se consigue producir con el mínimo nivel de despilfarro posible. Para la aplicación del Heijunka existen unas técnicas que permiten tener una producción con flujo constante, ritmo y trabajo estandarizado: usar células de trabajo, flujo continuo pieza a pieza, producir respecto al Takt time y nivelar el volumen de producción. Todas estas características proporcionan ventajas en la minimización de inventarios y tiempos de respuesta así como en la entrega al cliente.

1.7.10. Kanban

Kanban es un sistema de control y programación sincronizada de la producción basado en tarjetas. Utiliza la idea de un sistema pull (tirar de la producción) mediante un flujo continuo, sincronizado y en lotes pequeños. Es una de las principales herramientas para garantizar una producción con alta calidad y en el momento adecuado.

Los objetivos que persigue la herramienta Kanban son los siguientes:

- Simplificar las tareas de la organización de la producción y el aprovisionamiento a los proveedores.
- Regular y reducir el nivel de stocks.
- Promover la mejora de métodos y la reducción de stocks porque facilita la localización de problemas como los cuellos de botella, las averías o los defectos de calidad.
- Implantar un sistema de control visual que ayude a la localización de problemas de la producción.
- Facilitar el flujo continuo y conseguir la nivelación y el equilibrado de los procesos.

Las tarjetas Kanban son el mecanismo de comunicación de las órdenes de fabricación entre las diferentes estaciones de trabajo. Estas tarjetas recogen diferente información, como la denominación y el código de la pieza a fabricar. Con este sistema en el flujo productivo se retiran los conjuntos que se necesitan de los procesos anteriores y éstos comienzan a producir las piezas que se han retirado.

Las tarjetas se adjuntan a contenedores o envases de los correspondientes materiales o productos, de forma que cada contenedor tendrá su tarjeta y la cantidad de productos necesarios, el cual se refleja en la propia tarjeta. La Figura 1.5 muestra un esquema del funcionamiento de las tarjetas Kanban.

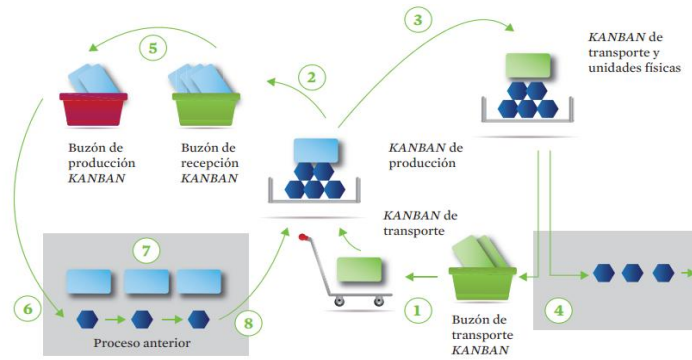


Figura 1. 5.- Funcionamiento de las tarjetas Kanban

Las técnicas del Lean Manufacturing deben contribuir a la implantación de la filosofía Lean, pero también deben impulsar a las empresas a invertir en su personal, capacitándolos y motivándolos, así como inculcar la cultura de la mejora continua.

1.8. One Piece Flow

Mientras que muchos están familiarizados con la terminología, todavía existe confusión respecto a lo que significa el flujo one piece flow y, más importante aún, cómo lograrlo. Para entender el flujo one piece flow primero es necesario entender el concepto de flujo continuo. Implantar el flujo continuo en un proceso de producción significa conectar cada paso del proceso dentro de una cadena de valor.

1.8.1. Flujo Continuo

Flujo continuo significa “mover uno, producir uno”. El papel del flujo continuo es fundamental dentro de la filosofía Lean. Flujo continuo se entiende como trabajar de manera que el producto fluya de forma continua a través de las corrientes de valor, es decir, desde el proveedor al cliente, con el menor tiempo posible de producción y con una cantidad mínima de despilfarros.

Para lograr el flujo continuo es necesario identificar los lugares donde no está y ver dónde está el estancamiento. El segundo paso es encontrar la causa que provoca este estancamiento para poder eliminarlo. Las causas más comunes son: gran tamaño del lote, un flujo complicado, el ritmo de producción no es igual al ritmo de las ventas y/o un mal método de transporte y logística

En un proceso en el que no hay flujo continuo los puestos de trabajo permanecen aislados, aumenta el stock intermedio y se incrementa el tiempo de fabricación.

La Tabla 1.3 muestra una comparación entre la organización tradicional y la organización con flujo continuo de los procesos:

Tabla 1.3. Comparación entre una organización tradicional y una organización de flujo continuo

ORGANIZACIÓN TRADICIONAL	ORGANIZACIÓN DE FLUJO CONTINUO
Áreas de trabajo separadas	Puestos de trabajo conjuntos
Altos niveles de producto intermedio en curso (WIP, <i>Work In Process</i>)	Cada operario trabaja en una unidad (one piece flow)
Grandes lotes a la espera del siguiente proceso	

El proceso de flujo continuo tiene varias condiciones como: una distribución en planta adecuada, la producción one piece flow, un proceso sincronizado según el takt time y unos operarios que trabajen en una línea multiproceso en la que se agilicen los cambios de modelo.

La utilización del flujo continuo implica la fabricación de producto conforme a tres principios: producir lo que se necesita, justo cuando se necesita y en la cantidad exacta.

Este método de producción presenta ventajas frente a otros modelos. Tiene unos plazos de ejecución más cortos, reduce el tiempo de cambio de modelo ya que existen menos productos en línea por terminar, mayor reducción de los stocks y del inventario entre los puestos de la línea, mejora de la calidad, habilidad para identificar problemas y resolverlos, la organización tradicional se queda obsoleta, existe una mayor flexibilidad en cuanto a la adaptación a los cambios y, por último, los puestos de trabajos están más ordenados y limpios.

Lo ideal sería tener un flujo continuo a lo largo de toda la línea de producción, pero conectar todas las operaciones implica problemas en los plazos de ejecución y paradas de la maquinaria o tiempos muertos.

Crear un flujo continuo supone organizar todo el proceso para que el flujo se interrumpa lo menos posible para poder trabajar a un ritmo fluido. Antes de empezar dicha organización se definen los tipos de flujos existentes.

▪ **Flujo de información**

Al tener un flujo de información organizado se dispone de la información necesaria para tomar decisiones utilizando diferentes herramientas: la nivelación para distribuir la producción de una manera fluida, las tarjetas Kanban para indicar que se necesita material y el control y seguimiento de los procesos para ver los errores y resolver los problemas.

▪ **Flujo de materiales**

Reduciendo los despilfarros se crea un flujo de materiales con un corto plazo de producción, esto es posible gracias al uso de: un flujo pull entre los procesos para reducir el trabajo, una organización multiproceso, unas entregas frecuentes y un equipo para realizar el flujo de proceso.

▪ **Flujo de operarios o trabajo normalizado**

Se crean estaciones de trabajo al formar a los operarios y asignarles las herramientas adecuadas. Los puestos de trabajo dan gran flexibilidad y eficacia. Esto se consigue siguiendo los siguientes pasos:

- Sincronizar el proceso según el takt time.
- Crear líneas flexibles.
- Formar a los operarios para que sean polivalentes y puedan trabajar en líneas multiproceso.
- Formar a los operarios para que realicen cambios de línea.
- Normalizar el trabajo del proceso.

Un proceso de flujo continuo debe ser flexible. La flexibilidad facilita el flujo y permite que se cumpla con las expectativas de los clientes, llegando a tiempo a la entrega de los productos demandados. Un proceso es flexible cuando existe la posibilidad de ajustar a la capacidad necesaria, satisfaciendo la demanda con una producción eficaz.

La flexibilidad implica el cumplimiento de una serie de requerimientos: la reducción de los paros y las tareas de TPM, la reducción del espacio necesario, la reducción de la inversión en el inmovilizado, la mejora de la capacidad y fiabilidad del proceso productivo y la mejora del valor añadido del trabajo.

La flexibilidad proporciona beneficios tales como: el aumento del número de operarios si aumenta la demanda, la reducción del número de operarios si disminuye la demanda, mejores instrucciones de trabajo, aumento de operarios polivalentes, aumento de la transparencia del *takt time* y de la línea, aumento de la reponsabilidad de los operarios.

1.8.2. Definición Onepieceflow

One piece flow, o también conocido como la producción del ‘flujo de una pieza’, es una técnica de producción donde todo lo que se necesita para fabricar es de fácil acceso y en la que no se permite pasar a la operación siguiente sin que se haya completado la anterior. El objetivo de este proceso consiste en fabricar los productos en el tiempo estimado, sin interrupciones y sin largos tiempos de espera.

Es la manera mas eficiente de gestionar los recursos humanos y materiales, como consecuencia de fabricar los productos uno a uno. Cuando se usa el flujo secuencial de piezas cada operación debe equilibrarse de acuerdo con el takt time calculado y se observa que:

- El flujo de una pieza se utiliza para reducir el wip y el tiempo de ciclo.
- Mejora el SMED.
- Trabaja con FIFO.

- Reducción de espacio debido a la proximidad de los puestos de trabajo.
- Los operarios no están aislados.
- En el proceso de producción se integran controles de calidad. El fin de estas inspecciones es eliminar el control de calidad al final de la línea.
- Automatización inteligente del proceso a bajo coste.
- Las máquinas que se utilizan deben ser sencillas de manejar y con un fácil mantenimiento.
- La alimentación de materiales y componentes viene desde fuera de la línea, no en la misma dirección en la que trabaja el operario.
- Estandarización de las operaciones.

One piece flow describe la secuencia del producto o las actividades que conlleva procesar una pieza, mientras que la fabricación por lotes crea un gran número de productos y realiza muchas actividades en un mismo momento. La técnica one piece flow se centra en el producto más que en la espera, el transporte y el almacenamiento; la fabricación pieza a pieza necesita tiempos de cambios cortos.

Cuando logramos flujo continuo, existe una relación entre los pasos del proceso. One piece flow es el método ideal para crear un flujo continuo porque el producto se mueve paso a paso sin esperas (cero WIP).

Para organizar un flujo one piece flow deben darse las siguientes condiciones:

- Los procesos deben ser capaces de producir un buen producto. Si hay muchos problemas de calidad el flujo one piece flow es imposible.
- El equipo debe tener un tiempo de actividad muy alto y estar siempre disponible para utilizarlo. Si dentro de un proceso el equipo tiene un tiempo alto de inactividad el flujo one piece flow no será posible.

Si no existen estas condiciones se organiza otro tipo de flujo para llevar a cabo el proceso. El objetivo final consiste en poder organizar un flujo one piece flow mediante la mejora de los procesos. La Figura 1.6 muestra una representación gráfica de la fabricación mediante un flujo continuo one piece flow.

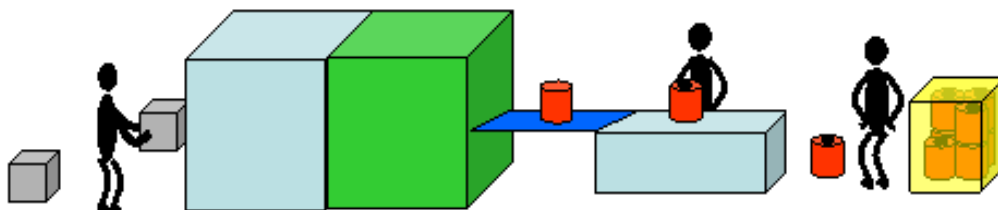


Figura 1.6.- Representación Flujo One Piece Flow

1.8.3. Implementación onepieceflow

El primer paso en la implementación de un flujo one piece flow es decidir qué productos o familias de productos irán a las células, y determinar el tipo de célula: producto concentrado o modelo mixto. Para que las células de productos concentrados trabajen correctamente, la demanda debe ser lo suficientemente alta para producir un producto individual. Las células del modelo mixto para trabajar necesitan que los tiempos de cambio sean cortos.

El siguiente paso es calcular el **Takt time** para el conjunto de productos que entran en la célula. Takt significa ritmo, por lo que el takt time indica el ritmo de la demanda de los clientes. Se define como el tiempo en que una pieza debe ser producida para satisfacer las necesidades del cliente, o también, la frecuencia con que un producto terminado sale de la línea de producción. El takt time marca el ritmo de la línea de producción.

Trabajar al takt time significa sincronizar el ritmo de la producción con el ritmo de ventas. Este tiempo afecta a todo el flujo de producción, es decir, a los operarios de la línea, la frecuencia de alimentación de ésta y los componentes consumidos (véase la ecuación 1.2)

$$\text{Takt time} = \text{tiempo de trabajo/producción requerida} \quad (1.2)$$

Los beneficios que proporciona trabajar al takt time se observan en aspectos como: un ritmo estable de producción nivelada, mínimo exceso de producción, flujo de componentes nivelado, número óptimo de operarios, mayor capacidad para planificar otras actividades en la producción, minimización del exceso de transportes y un control de los productos en curso.

A continuación, se determinan los elementos y el tiempo de trabajo necesarios para la fabricación de una pieza, es decir, enumerar cada operación y su tiempo asociado. Después, se determina si el equipo para ser utilizado dentro de la célula puede satisfacer los tiempos. En este paso se incluyen los tiempos de cambio, carga y descarga y el tiempo de inactividad.

El siguiente paso es crear un diseño delgado; utilizando la técnica de las 5S se pueden eliminar aquellos elementos que no son necesarios y localizar todos los elementos materiales que se necesiten en los puestos en el momento adecuado. El espacio entre los procesos dentro de un flujo one piece debe limitarse a eliminar los residuos de movimiento y evitar la acumulación del stock no deseado. Las células de trabajo en forma de U son las más adecuadas para responder a las necesidades de los flujos one piece flow.

Por último, se determinan cuántos operadores se necesitan para cumplir con el takt time y después dividir el trabajo entre los operadores. Utilizando la ecuación 1.3.

$$\text{Número de operadores} = \text{Tiempo de ciclo/Takt Time} \quad (1.3)$$

Las Figuras 1.7 y 1.8 muestran el impacto al comparar la producción por lotes y la producción mediante one piece flow. Se observa que el tiempo de producción es mucho mayor en la producción por lotes que en la producción one piece flow: ya que en la producción por lotes

el flujo no es continuo, es necesario esperar a que todo el lote haya sido manipulado, al contrario que en el flujo one piece flow.

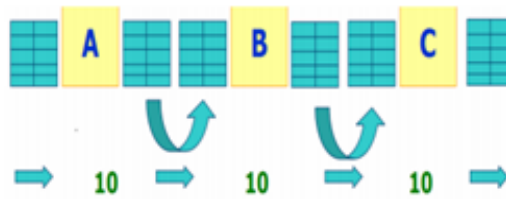


Figura 1.7.- Producción por lotes

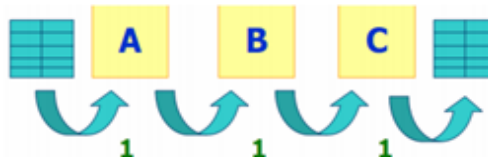


Figura 1.8.- Producción One Piece Flow

La Tabla 1.4 muestra las diferencias y ventajas del flujo One Piece Flow frente a la fabricación por lotes; analiza los impactos que tiene en el ámbito de los trabajadores, de la productividad del personal, de los tiempos y, por último, de los clientes.

Tabla 1.4.- Ventajas del flujo One Piece Flow

IMPACTOS	ONE PIECE FLOW	FABRICACIÓN POR LOTES
<i>Operarios</i>	Trabajo en equipo. Detectar los problemas y eliminarlos o reducirlos cuanto antes. Motivación de los empleados.	Los trabajadores tienden a no colaborar proactivamente con otros equipos. No se detectan los errores.
<i>Productividad del personal</i>	La productividad del personal se incrementa y evita los retrasos que se crean. Alta visibilidad al personal demasiado ocupado o libre.	Acumulación de atraso de producción cuando los factores de demanda u oferta cambian. Grandes cantidades de trabajo con valor no añadido.
<i>Tiempo de liderazgo y esfuerzo</i>	El equipo se adhiere a las normas acordadas de trabajo. Cualquier problema que afecte el rendimiento del sistema se detecta inmediatamente.	Supervisión constante del 100% de la plantilla.
<i>Clientes</i>	El tiempo de ciclo es muy rápido y predecible Los errores son corregidos y ajustados rápidamente.	El tiempo del ciclo es demasiado largo o demasiado variable. Los errores se arreglan lentamente.

Capítulo II: Simulación (Witness)

2.1. Introducción a la simulación

La simulación es una técnica muy poderosa que surgió en la II Guerra Mundial y que en la actualidad se utiliza en muchos campos.

La simulación consiste en diseñar un modelo de un sistema o proceso real y realizar con él experimentos que, de otro modo, no se llevarían a cabo por imposibilidad técnica o por no ser rentables económicamente; y ello con el objeto de observar y comprender el comportamiento del sistema o evaluar diferentes estrategias a seguir.

La simulación es especialmente adecuada en sistemas altamente complejos (donde no son válidos los modelos exactos), de carácter dinámico (es decir, el sistema estudiado evoluciona con el tiempo) y con fenómenos de carácter estocástico.

El empleo de modelos facilita el estudio de muchos sistemas. Hay veces que no es posible representar la operación del sistema en términos analíticos o no es posible hacerlo en términos suficientemente sencillos. En general, los métodos exactos son preferibles, pero en muchos casos no es posible construir modelos abordables con métodos exactos o son tan complejos que no es posible obtener soluciones en tiempos de computación razonables e incluso no es posible resolverlos. Principalmente en estos casos, la simulación de eventos discretos constituye una herramienta muy valiosa y puede ser muy interesante.

La simulación de eventos discretos se caracteriza por la descripción del sistema estudiado en términos del estado de sus elementos, que cambia con la ocurrencia de eventos, que, a su vez, desencadenan nuevos eventos. Mediante un modelo informático se incorporan estos aspectos, para lo cual se dispone de diferentes alternativas. Hay que tener en cuenta que la parte de construcción del modelo informático es sólo una de las etapas por las que está constituido un estudio de simulación, el cual comienza con la definición del sistema y de los objetivos del estudio y finaliza con la implementación de los resultados y la documentación del trabajo realizado.

2.2. Modelos de simulación

Un modelo es un objeto o concepto que utilizamos para representar cualquier otra entidad (un sistema). Es un ente físico, matemático e incluso mixto, que reagrupa la información necesaria para la comprensión del funcionamiento del sistema a estudiar. Así pues, mediante un proceso de abstracción, se muestran en un formato adecuado las características de interés de un objeto (sistema) real o hipotético.

Un modelo siempre se desarrolla a partir de una serie de hipótesis y aproximaciones, por lo que representa de forma parcial la realidad.

Existen modelos de muy diferente naturaleza, tan diferentes entre sí como los modelos físicos y los modelos de simulación discreta. La naturaleza de dichos problemas condiciona la idoneidad de los modelos utilizados y de las técnicas apropiadas para explotar dichos modelos.

Un modelo se crea para una finalidad específica y se debe de construir para que sea útil a dicho fin. Necesariamente un modelo debe poseer dos características muy importantes, debe representarse de forma simplificada y debe recoger todos los aspectos esenciales del sistema en estudio para que nos facilite explicar, comprender, cambiar, preservar, prever y controlar el comportamiento de un sistema.

Dicho esto, un modelo debe preservar las siguientes propiedades:

- Representar adecuadamente las características del sistema que sean de nuestro interés, es decir, formalizando tan sólo los factores que son importantes para los objetivos del modelado.
- Ser una representación abstracta de la realidad lo suficientemente sencilla como para facilitar su mantenimiento, adaptación y reutilización porque el desarrollo de modelos universales es impracticable y poco económico.

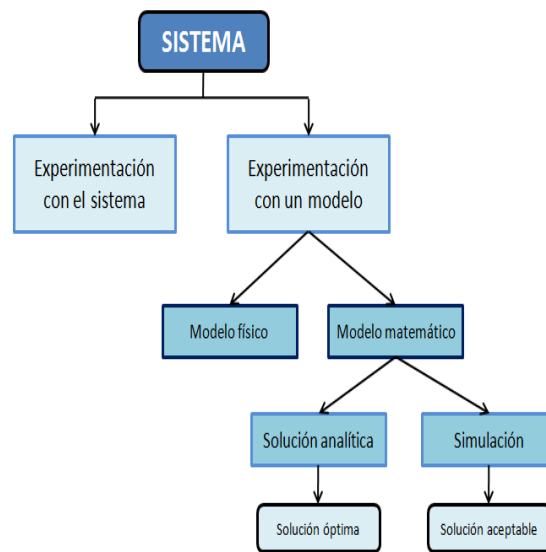


Figura 2.1.- Esquema modelos de simulación

Teniendo en cuenta las características comentadas anteriormente y los objetivos del estudio podemos clasificar los modelos de simulación en los siguientes tipos:

- **Modelos estáticos:** suelen emplearse para representar el sistema en un determinado instante de tiempo; en otras palabras, en su formulación no se considera el avance del tiempo. Este tipo de modelos es muy útil cuando el sistema se encuentra en equilibrio (no evoluciona respecto al tiempo).
- **Modelos dinámicos:** estos modelos permiten deducir como las variables de interés del sistema evolucionan respecto al tiempo.

- **Modelos prescriptivos:** se emplean para formular y optimizar un problema concreto, obteniendo de este modo la solución óptima.
- **Modelos descriptivos:** estos modelos tan solo describen el comportamiento del sistema dejando la optimización del mismo en manos del analista.
- **Modelos deterministas:** ofrecen un único conjunto de valores de salida para un conjunto de entradas conocidas; es decir, el nuevo estado puede ser completamente definido a partir del estado previo de sus entradas.
- **Modelos estocásticos:** requieren de una o más variables aleatorias para formalizar las dinámicas de interés. Los resultados generados son utilizados para estimar el comportamiento real del sistema ya que el modelo no genera un único conjunto de salida cuando se utiliza para realizar un experimento.
- **Modelos continuos:** la evolución de las variables de interés se representan de forma continua. Por lo general, se suelen utilizar ecuaciones diferenciales ordinarias si tan sólo se considera la evolución de una propiedad respecto al tiempo, o ecuaciones en derivadas parciales si también se considera dicha evolución respecto al espacio.
- **Modelos discretos:** de forma análoga a la definición anterior de modelos continuos, los modelos discretos representan la evolución de las variables de interés de forma discreta.

Debemos destacar que es posible describir un sistema continuo mediante un modelo discreto, del mismo modo que es posible describir un sistema discreto mediante uno continuo. La decisión de emplear un modelo discreto o un modelo continuo depende más de los objetivos particulares de cada estudio que de las características del sistema.

- **Modelos de lazo abierto:** estos modelos no se realimentan en la entrada con los datos de salida para modificar los resultados posteriores.
- **Modelos de lazo cerrado:** sin embargo, en los modelos de lazo cerrado, las salidas de vuelven a introducir como entradas en el modelo.

Existen tres grupos de datos que aparecen en cualquier estudio de simulación y se denominan, respectivamente, variables de entrada, parámetros y variables de salida. En general, estos datos, que alimentan y se obtienen de un modelo, se definen de la siguiente manera y pueden verse en la Figura 2.2.

- **Variables de entrada:** todos aquellos datos de entrada sobre los cuales la persona no tiene control. Por ejemplo: la frecuencia con la que llegan las llamadas a un centro de atención telefónica, el tiempo entre averías de una máquina, la demanda de un determinado producto, etc.
- **Parámetros:** aquellos datos de entrada sobre los cuales el decisor sí que tiene control. Típicamente, en un estudio de simulación se trata de obtener un conjunto de valores de los parámetros (es decir, una configuración del sistema) satisfactoria o buena de acuerdo

con algún criterio. Por ejemplo: el orden en que se realiza un conjunto de operaciones (el embarque a un avión), el número de puestos de atención al cliente en una oficina bancaria, la cantidad de operarios con los que se cuenta en el sistema, etc.

- **Variables de salida:** todos aquellos valores que permiten conocer la respuesta del funcionamiento del sistema estudio. Como se ha dicho, con el desarrollo de un estudio de simulación se pretende obtener una buena solución con respecto a algún criterio. Los valores de las variables de salida permiten evaluar el sistema. Por ejemplo: la productividad de una línea de montaje, el beneficio derivado de una nueva instalación, el nivel de saturación de los controladores aéreos, etc.

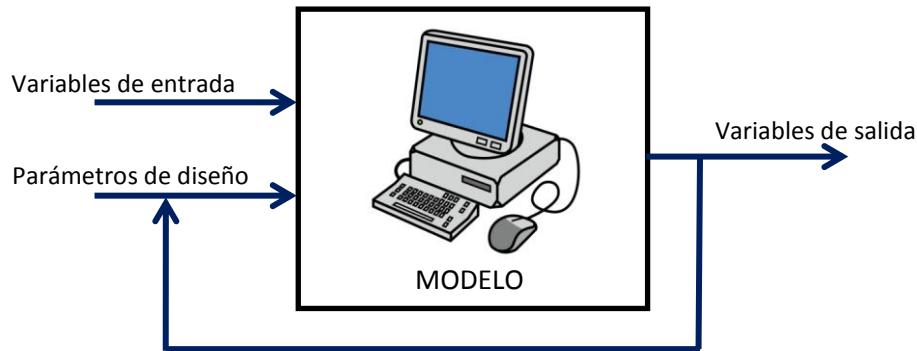


Figura 2.2.- Variables de la simulación

Por último, conviene notar que, según el estudio del que se trate, un mismo elemento puede ser o bien una variable de entrada o bien un parámetro. Por ejemplo, en el diseño de las instalaciones de un nuevo aeropuerto, la tasa de averías de las máquinas detectoras de metales que realizan el escaneado de las personas en el paso de seguridad puede ser un parámetro, ya que en ese tipo de estudio se pueden emplear diferentes tipos de máquina, cada una de ellas con su tasa de averías correspondiente. Sin embargo, en el rediseño de las operaciones de control de paso de seguridad de un aeropuerto existente (salvo si existe la posibilidad de invertir en nuevas máquinas), el dato de la tasa de averías es una variable de entrada.

2.3. Etapas de un proceso de simulación

Un proyecto de simulación conlleva un conjunto de etapas, que pueden ser interpretativas, analíticas o de desarrollo. Aunque el desarrollo de un proceso de simulación puede parecer secuencial, en la práctica no es así, puesto que es frecuente que los resultados de una etapa o la adquisición de nueva información obliguen a volver a alguna etapa previa y si no se supera la etapa de validación se requerirá modificar las anteriores las etapas anteriores.

A continuación se enumeran las diferentes etapas que forman un proceso de simulación, las cuales podemos observar en la Figura 2.3:

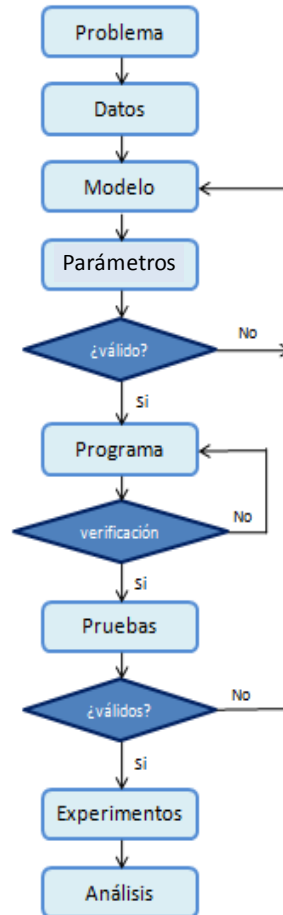


Figura 2.3.- Etapas del proceso de simulación

- **Formulación del problema:** una de las tareas más importantes de cualquier proyecto para poder abordar los problemas por los que se ha solicitado el proceso de simulación es especificar los objetivos. Por lo cual, es necesario saber identificar los objetivos para los cuales se ha optado por utilizar la simulación, y que servirán de guía durante todo el estudio.
- **Diseño del modelo conceptual:** la realización de cualquier modelo de un sistema real exige asumir ciertas hipótesis simplificadoras. Lo deseable es disponer de un sistema sencillo y que represente suficientemente bien el sistema estudiado. El conjunto de hipótesis que se realizan al respecto del funcionamiento del sistema se conoce como modelo conceptual. Antes de construir el modelo de simulación, es importante especificarlo empleando un modelo conceptual que evite el desarrollo de modelos con deficiencias. Como ya hemos explicado, esta etapa permite detectar partes del modelo que pueden ser simplificadas, ya sea porque son redundantes o por no contribuir a responder al problema solicitado en la etapa inicial.
- **Recogida de datos:** para poder continuar es necesario recopilar la información relevante para la construcción del modelo, relativo a las variables de entrada, a los posibles valores

de los parámetros respecto a la forma en la que opera el sistema o las formas en las que puede operar, etc.

En el momento de la recogida de datos es necesario cuestionar toda la información y datos disponibles, para obtener buenos resultados (confirmando que son datos fiables y reales). Normalmente no se puede disponer de toda la información y de los datos necesarios, pero aun así se requiere realizar una simulación. En estos casos es necesario efectuar hipótesis razonables, siempre en colaboración con el usuario que ha solicitado la realización del proceso de simulación, ya que conocerá más fiablemente el proceso que se simula. Se debe ser prudente a la hora de extraer conclusiones de los resultados generados por el simulador cuando los datos son insuficientes o no son fiables; estas conclusiones pueden ser complementadas con el conocimiento adquirido durante el estudio de simulación.

- **Construcción del modelo:** en esta etapa se construirá el modelo de simulación partiendo del modelo conceptual y de los datos, pero esta tarea no debe ser el objetivo prioritario del proceso, la mayor motivación debería ser la comprensión del problema y la obtención de soluciones. Ésta es una de las razones por la que es recomendable trabajar progresivamente en la construcción del modelo, comenzando a construir en primer lugar uno o varios modelos simplificados que definan las partes esenciales del sistema a estudiar.
- **Verificación y validación:** hasta el momento en el que se compruebe que el modelo se comporta como es de esperar y que existe la correspondencia adecuada entre el sistema real y el modelado, se debe suponer que todo modelo es erróneo. Por tanto, esta etapa se puede considerar de suma importancia ya que, para tener una buena garantía de que el modelo de simulación representa la realidad, es absolutamente necesario verificar y validar el modelo previamente para poder tomar las decisiones estratégicas u operativas correspondientes en base a ello.

Hoy en día existen simuladores que poseen potentes herramientas para facilitar su uso. Estos simuladores juegan en contra de esta etapa del proceso de simulación, ya que pueden llevar a los usuarios a tener la tentación de no realizar la verificación y validación del modelo por considerar los modelos correctos sin repasar los resultados.

Por verificación entendemos la acción de comprobar que el modelo se ejecuta correctamente y según las especificaciones, es decir, según el modelo conceptual.

En cuanto a lo que se refiere a la validación, podemos decir que consiste en comprobar que las teorías, hipótesis de trabajo y suposiciones son correctas. Generalmente se acepta como válido cuando la simulación es útil (responde a las preguntas formuladas sobre el sistema real). En el caso en el que el proceso aún no exista, es necesario contrastar los resultados con expertos del proceso para comprobar si los resultados se comportan tal y como ellos esperaban.

Una vez más, insistimos en la importancia de esta etapa, puesto que el hecho de saltársela trae consigo costes incalculables e incluso puede retrasar los proyectos o provocar que se tomen decisiones erróneas.

- **Diseño de experimentos y experimentación:** una vez construido y validado el modelo es el momento de comenzar a realizar su explotación. Para ello es necesario definir diferentes experimentos con los que evaluar diferentes alternativas y extraer conclusiones al respecto del funcionamiento del sistema estudiado.

En función de los objetivos del estudio se desarrollarán las estrategias de definición de los escenarios a simular. Éste es el momento de experimentar realizando cambios según los conocimientos del sistema o según los cambios que se pretenden realizar en el proceso real para poder ver su evolución.

- **Análisis de resultados:** éste es el momento de detectar problemas o recomendar mejoras o soluciones analizando los resultados de la simulación.

Uno de los valores añadidos más importantes de un estudio de simulación es el conocimiento adquirido en el proceso de análisis, el cual permitirá aportar argumentos justificados a favor o en contra de las diferentes opciones de diseño planteadas.

- **Documentación:** se debe ir documentando día a día el avance del proyecto, reflejando el estado en el que se encuentra en cada momento. Los objetivos que persigue el proyecto de simulación son los siguientes:
 - Permitir la reutilización del modelo en un futuro si existiera la necesidad de trabajar con él y facilitar su uso.
 - Reflejar el estado del proyecto en todo momento. Esto permite que todo el personal relacionado con el proyecto pueda estar informado del estado del mismo.
 - Informar sobre todo el proyecto.

Es recomendable que los informes estén compuestos por una introducción, objetivos, hipótesis, descripción física del sistema, descripción del modelo, análisis de los experimentos efectuados y conclusiones.

- **Implementación:** la implementación es el fin último de todo proceso de simulación. Es el momento de poner en práctica las decisiones efectuadas con el apoyo del estudio de simulación. Para que las recomendaciones se tengan en cuenta, el modelo debe ser creíble; para ello, además de ser un modelo válido, es necesario que las personas encargadas de tomar decisiones estén convencidas de su validez, lo que dará al estudio calidad y solidez, y permitirá su implementación.

No tendrá éxito todo proyecto de simulación que haya justificado técnica y económicamente una mejora o cambio y ésta no haya sido posteriormente implementada.

2.4. Ventajas y desventajas de la simulación

Entre los objetivos para los cuales se puede emplear las técnicas de simulación de forma muy satisfactoria podemos encontrar:

- El análisis y estudio de la incidencia sobre el rendimiento global del sistema de pequeños cambios realizados sobre alguno de sus componentes. Uno de los sistemas considerados complejos en la actualidad son los sistemas logísticos, ya que un pequeño cambio o una mala sincronización entre los elementos que intervienen en los mismos pueden derivar fácilmente en un comportamiento no deseado, lo que puede implicar una importante repercusión económica.
- Cambios en la organización de una empresa, así como la gestión de la información, pueden ser fácilmente simulados, y los efectos sobre el sistema real pueden ser analizados a partir de la experimentación con el modelo.
- El conocimiento que se obtiene en el desarrollo de un modelo de simulación es de gran interés para poder sugerir mejoras en su rendimiento.
- Observando los resultados que se obtienen tras realizar simulaciones con ciertos parámetros del modelo, así como con cambios en las entradas, se puede deducir qué aspectos relativos son sensibles en el sistema y qué variables son las que mejor pueden mejorar su rendimiento.
- La simulación también se suele utilizar con una perspectiva pedagógica para ilustrar y facilitar la comprensión de los resultados que se obtienen mediante técnicas analíticas.
- Experimentar con condiciones de operación que podrían ser peligrosas o de elevado coste económico en el sistema real.

Recogiendo las ideas que acabamos de comentar, podemos decir que las técnicas de simulación pueden ser generalmente utilizadas como una metodología de trabajo barata y segura que permite responder muy satisfactoriamente a preguntas en las que tenemos la incertidumbre de que ocurriría si realizamos un determinado cambio en un sistema real y contribuye a la reducción del riesgo inherente a la toma de decisiones. Gracias a la simulación se pueden analizar diferentes alternativas e identificar problemas; además, tenemos la ventaja de poder experimentar casos que con el sistema real sería imposible debido a motivos de tipo técnico, económico e incluso ético.

Por otro lado, debemos tener en cuenta que la toma de decisiones basada únicamente en un estudio realizado mediante la simulación conlleva un elevado riesgo si el modelo en el que se basa el estudio y las fases del proyecto no han sido convenientemente verificadas y validadas. Además, es necesario tener un conocimiento exhaustivo del sistema, existe un desconocimiento del grado de exactitud necesario y es un método de prueba y error, es decir, no optimiza. Por todo ello, existe el riesgo de no saber hasta qué punto podemos confiar en los resultados obtenidos.

Es notable que la popularización de las técnicas de simulación han ido paralela al incremento de potencia y flexibilidad de las nuevas herramientas. Su facilidad de manejo y sus entornos de visualización/animación han facilitado la incorporación de nuevos usuarios menos “especializados”. Al mismo tiempo que se ha popularizado su utilización, también se ha incrementado su mal uso. Un modelo de simulación no puede ser mejor que los datos y las técnicas empleadas en su construcción.

2.5. Aplicaciones

Debido a la competitividad que existe hoy en día en el mercado, muchas empresas sienten la necesidad de realizar reingeniería en sus procesos productivos para intentar adaptarse a los constantes cambios que se producen en el mercado.

Entre las tareas que necesitan realizar las empresas para reaccionar de forma eficiente a los cambios está determinar cambios en los procedimientos, en las reglas que utilizan los diferentes departamentos en la toma de decisiones, en los flujos de información, en la organización y en las políticas de funcionamiento tradicionales de la empresa. Pero la falta de herramientas analíticas que faciliten y ayuden a las personas responsables de mejorar el rendimiento de aquellos sistemas compuestos por muchas variables de decisión es uno de los mayores problemas con los que se encuentran las empresas.

Las técnicas analíticas clásicas basadas en la teoría de las probabilidades, en el uso del cálculo diferencial y en métodos algebraicos, no pueden ser utilizadas para analizar de modo sencillo la complejidad de los procesos. Las herramientas de simulación orientadas a eventos discretos ofrecen alternativas que permiten abordar con éxito un proceso de mejora continua de estos sistemas complejos.

Vamos a mostrar diferentes campos en los que se ha aplicado o se aplica la simulación para ayudar a la toma de decisiones estratégicas u operativas:

- **Fabricación y sistemas de manipulación de materiales**

Debido a que las empresas están forzadas a ser competitivas, hoy en día el nivel de automatización es muy elevado, las nuevas metodologías como el *just in time* tienen que ser evaluadas, los procesos de fabricación están muy bien definidos y generalmente son muy complejos, lo que ha llevado a que las empresas dedicadas a la fabricación y la manipulación de materiales hayan tenido que recurrir al empleo de herramientas de simulación.

En muchos procesos industriales, el tiempo empleado en manipular una pieza es, por lo general, igual o superior al tiempo del proceso. Adicionalmente, el elevado coste de estos sistemas, combinado con la necesidad de integrar de forma efectiva equipos de diferentes proveedores, hace conveniente el empleo de técnicas de simulación.

Gracias a la simulación, en estas áreas de negocio se puede estudiar el número óptimo de máquinas y personal para alcanzar un determinado objetivo, la distribución física de los elementos internos de transporte, la distribución y espacio reservado para stock, el análisis de los rendimientos para poder determinar tiempos de producción o encontrar cuellos de botella. La simulación también permite a este tipo de empresas evaluar las estrategias operacionales como, por ejemplo, la planificación de la producción, políticas de gestión de inventarios, estrategias de control y políticas de control de calidad.

- **Transporte**

La mayor parte de las herramientas disponibles (hojas de cálculo y paquetes de optimización) no son adecuadas para resolver los problemas de coordinación de los distintos agentes que intervienen en la manipulación, carga, descarga y transporte de material. Esto ha hecho que el sector del transporte esté mostrando un gran interés por las técnicas de simulación, ya que los problemas con los que se topa este sector inciden de forma determinante en el rendimiento global del sistema.

Los modelos de simulación de sistemas de transporte son complejos, puesto que suelen ser sistemas no lineales y no es posible realizar una buena estimación sobre el comportamiento del sistema que sea útil para la toma de decisiones en la fase de planificación, ya que el rendimiento global del sistema de transporte es muy sensible a las interacciones entre los subsistemas que lo integran. Otra de las cosas que caracterizan este sector es que los sistemas de transporte están sujetos al azar; podemos apreciarlo, como ejemplo, en los tiempos de tránsito, tiempos de carga/descarga, tiempos entre averías, tiempos de mantenimientos, etc.

- **Redes de distribución (Supply chain)**

Las técnicas de simulación permiten examinar y mejorar las redes de distribución de una forma que no podría ser alcanzada con otras técnicas. Estos sistemas son muy complejos y variables, por lo que es prácticamente imposible su análisis de forma precisa con métodos analíticos convencionales.

La mayoría de las redes de distribución dependen de un conjunto de suministradores, recursos de transporte, fábricas y almacenes para el correcto funcionamiento de sus redes. Es necesario disponer de herramientas de simulación para la ayuda de la planificación estratégica, táctica y operacional debido al uso combinado de empresas propias y empresas externas que hace difícil conocer el impacto de los cambios o las vías de actuación para mejorar el comportamiento de las redes.

- **Sanidad**

Uno de los principales retos con los que se encuentra hoy en día el sistema sanitario es determinar la mejor forma de organizar la multitud de servicios a presar con la mayor calidad posible y manteniendo o reduciendo los costes. Las interrelaciones entre los

diferentes recursos es generalmente muy compleja; es por ello que la simulación es una herramienta adecuada para el análisis y la ayuda a la toma de decisiones.

La simulación permite explorar múltiples opciones, sin la necesidad de una inversión importante de recursos, de tiempo, de equipos y sin degradar el nivel de servicio actual.

- **Planes de emergencia**

Un caso curioso en el que numerosas instituciones y países están empleando la simulación es en los planes de emergencia. Antiguamente esto tan sólo se realizaba por medio de vídeos, libros, conferencias, simulacros, lo que requería la coordinación de numerosas personas y actividades, además de tener generalmente un coste elevado y un alcance limitado.

Con las herramientas tradicionales o mediante simulacros es muy difícil modificar o adaptar el escenario para evaluar diferentes hipótesis. Los modelos de simulación ofrecen una solución potencial a muchos de estos problemas; por ejemplo, permiten el modelado de escenarios complejos con múltiples actividades que actúan de forma concurrente.

- **Telecomunicaciones**

Es interesante analizar los sistemas de las redes de comunicación para evaluar y comparar diseños alternativos. Las alternativas más comunes para evaluar el comportamiento de estos sistemas son el empleo de modelos analíticos, modelos de simulación o la medida discreta de su comportamiento.

- **Procesos administrativos**

Por medio de la simulación, en este campo se puede comprender mejor el funcionamiento de los departamentos de las empresas y los procesos burocráticos, además de identificar el volumen de personal necesario y su funcionalidad para dar respuesta a las distintas actividades administrativas.

2.6. Software para la elaboración de modelos de simulación

Es cierto que el análisis de algunos sistemas sencillos se puede realizar manualmente. Sin embargo, cuando la complejidad aumenta, también lo hace la necesidad de usar un planteamiento informatizado para el tratamiento, análisis y extracción de conclusiones válidas. Por ello, el empleo de software para llevar a cabo la simulación es especialmente adecuada en sistemas altamente complejos (donde no son válidos los modelos exactos), de carácter dinámico y con fenómenos de carácter estocástico.

El software de simulación fue usado por primera vez en la industria aeroespacial en los 50. En los 60 se empezó a aplicar a los sistemas industriales, aunque los modelos generalmente eran toscos.

La etapa central de un estudio de simulación es la construcción del modelo informático. En la actualidad hay en el mercado gran cantidad de software de simulación debido a la creciente demanda que está teniendo esta técnica de ayuda a la toma de decisiones:

- **Hojas de cálculo:** las hojas de cálculo permiten abordar sistemas sencillos y son demasiado pobres para representar simulaciones medianamente complejas.
- **Software de propósito general:** lenguajes de programación como C++, C#, Java, etc. Estos softwares permiten construir cualquier modelo de simulación, por complejo que sea.
- **Software específico:** en los comienzos de la simulación discreta existían lenguajes de programación desarrollados para la construcción de modelos de simulación, algunos de los cuales existen y se siguen utilizando, como GPSS o GPSS/H. Actualmente existen entornos de simulación basados en lenguajes parecidos y que incluyen elementos específicos y un entorno gráfico para la construcción de modelos. Además, ofrecen más prestaciones, como por ejemplo: módulos de representación en 3D, de análisis de datos o paquetes de “optimización”.

Arena, Witness, ExtendSim, Mentor, Instrata, Automod, Promodel o Simul8 son sólo algunos de los múltiples ejemplos de estos entornos.

- *Arena*: válido para procesos manufactureros, financieros o de servicios principalmente. Es un programa que se caracteriza por su gran capacidad gráfica, el entorno intuitivo que presenta y porque es muy versátil.
- *Witness*: en primer lugar, indicar que éste es el software que se empleará para la realización de este proyecto, y con el que realizaremos las simulaciones pertinentes de la escuela lean. Éste es el motivo por el que dedicaremos el siguiente apartado de este capítulo a desarrollar las principales características y funciones que presenta el software.

Witness posee una interfaz gráfica que permite comprender y mejorar nuestros procesos. Es un programa para asistir a la evaluación de alternativas, apoyar importantes iniciativas estratégicas y mejoras continuas. Su enfoque se basa en la creación de representaciones visuales de los sistemas de la vida real que, a través de modelos dinámicos, consiguen transformar simples datos en medidas productivas, al mismo tiempo que fomentan el trabajo en equipo y la creatividad.

- *ExtendSim*: es considerada una de las mejores herramientas de simulación que existen en el mercado actualmente; proporciona un entorno gráfico que permite visualizar el comportamiento de un sistema dinámico y permite el uso de una herramienta que facilita su uso.

Tal y como se puede ver en la Figura 2.4, existe un compromiso entre el precio de la solución adoptada para construir el modelo y el esfuerzo necesario para construir un modelo de

simulación. Los entornos de simulación son relativamente caros pero facilitan enormemente la construcción de modelos.

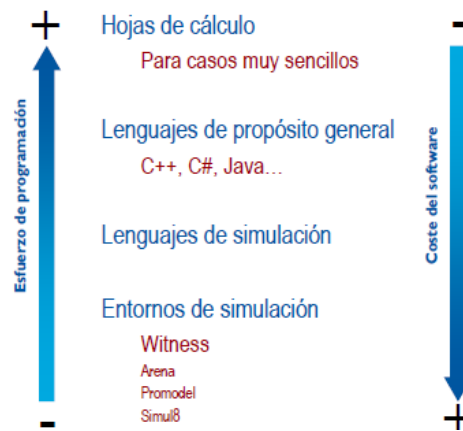


Figura 2.4.- Software de simulación

Decidirse por uno u otro dependerá de la experiencia que tenga el analista con los diversos programas, del tipo de sistema a simular, así como del coste que supone para la empresa la adquisición del paquete, el hardware necesario para su utilización y el aprendizaje del personal.

2.7. Witness

Witness es uno de los principales programas de simulación de procesos dinámicos del mercado y cuya eficacia está avalada por varios centenares de compañías multinacionales y nacionales de gran prestigio. Proporciona un completo conjunto de herramientas profesionales para modelar, analizar y optimizar procesos de manera que se mejoren las decisiones en diferentes entornos, independientemente de su complejidad (en un entorno de producción industrial, en una actividad orientada a servicios, para un proyecto concreto o dentro de una estrategia de mejora continua (Kaizen), etc.).

Este simulador ofrece una plataforma accesible y flexible para experimentar y validar cualquier escenario de negocio posible, de la forma más rápida y económica posible. Gracias a Witness, se pueden obtener respuestas para que un negocio sea capaz de adaptarse con agilidad a cualquier entorno en constante cambio debido a que la construcción de modelos es más fácil e intuitiva que nunca.

El enfoque de Witness se basa en representar procesos reales mediante modelos informáticos ayudando a validar cambios en los diseños de una instalación o un proceso, a conseguir los indicadores de eficiencia deseados en un proceso y a mejorar las actividades de la empresa. Se puede observar exactamente cómo funciona el proceso a medida que avanza el tiempo, pudiendo ser modificadas las características del sistema.

Estos modelos de simulación pueden incorporar toda la variabilidad de la vida real (fiabilidad variable de las máquinas, tiempos de proceso, eficiencia de los recursos, etc.). Esta posibilidad de

incluir la variabilidad de los sistemas reales es una ventaja clave sobre modelos basados en hojas de cálculo en los que se recurre al uso de los valores medios.

Tras dos décadas de experiencia en el desarrollo de la simulación con ordenador, Lanner Group lanzó al mercado el paquete de simulación Witness con el que ha conseguido desarrollar un enfoque visual e intuitivo de la simulación, permitiendo construir modelos altamente complejos y elaborados con un esfuerzo mucho menor de programación.

Lanner Group es una empresa de Software de Simulación de Procesos que proporciona a los directores de negocio una tecnología superior que mejora la comprensión de los procesos y soporta la optimización de procesos que dan lugar a mejores decisiones. Lanner añade valor en cada etapa de la jornada del cliente, ofreciendo consultoría que proporciona descubrimiento guiado y análisis experto del problema; aplicaciones que dan potencia a los procesos de los usuarios e incrementan la capacidad de una organización para mejorar la productividad y reducir costes; y componentes de simulación automatizados incrustados en suites de software prominente.

El software avanzado de simulación de Lanner es proporcionado a los profesionales de simulación a través de su marca WITNESS®. La marca L-SIM™ de Lanner se ha establecido rápidamente por sí misma como el principal motor de simulación de procesos embebidos utilizado en las suites de empresa por los mejores proveedores de soluciones. La tecnología de Lanner también está incrustada dentro de su creciente rango de herramientas individuales, aplicaciones software de simulación de tareas específicas y planificación a través de una vasta formación de sectores de la industria.

Actualmente hay multitud de sistemas Witness por todo el mundo, en organizaciones de sectores tales como el automovilístico, farmacéutico, aeroespacial, electrónico, hospitales, banca, aeropuertos, defensa,..., y mucho más. Además, está diseñada especialmente para aplicaciones de producción ya que va acompañada de una gran variedad de diseños de producción y almacenaje, así como de ejemplos de modelado en logística.

2.7.1. Características principales del software

Entre las características y ventajas, que hacen a Witness apropiado para su elección como herramienta de trabajo, podemos encontrar que es un programa extremadamente interactivo, con un diseño sencillo y potente a través de bloques (estructura jerárquica y modular). Además, es de fácil uso y su interfaz está basada en el sistema de ventanas de Windows.

También puede ayudar a que las personas consigan compromiso trabajando juntos como equipo en la creación y uso de los modelos Witness; se puede decir que fomenta el trabajo en equipo y la creatividad.

Por otro lado, posee un conjunto de opciones de control y lógica y una representación de la información y el estado del proceso muy visual, de forma que se facilita la comprensión del

funcionamiento del sistema modelado así como la extracción de conclusiones a partir de las simulaciones realizadas.

Además, los modelos pueden ser creados y probados con pequeñas variaciones en los distintos estados; esto simplifica de gran manera la construcción del modelo y ofrece la posibilidad de identificar errores en la lógica y hace el modelo más fiable.

El modelo puede ser cambiado durante el tiempo de ejecución. Los cambios son incorporados inmediatamente, ajustando lo más rápidamente posible el modelo construido.

Otra de las ventajas que ofrece es la posibilidad de generar enlaces a bases de datos (ORACLE, SQL Server, Access, etc.), enlaces de entrada y salida directos a hojas de cálculo, formatos XML, informes HTML, enlaces a BPM y aplicaciones CAD, etc.

Puede ser utilizado en una gran variedad de sectores y entornos: industria del automóvil, industria química, industria electrónica, industria aeroespacial, industria farmacéutica, industria del petróleo y gas, ingeniería, alimentación, papel y cartón, financiera, transporte y gobierno.

La familia de productos de Witness incluye:

- Ediciones del software de modelado para Producción o Servicios y Procesos.
- Vistas 3D/VR completamente integradas o Postprocesado VR.
- Optimización inteligente de modelos opcional— algoritmos únicos para encontrar la mejor respuesta rápidamente.
- Edición para desarrolladores (SIMBA) para desarrollar aplicaciones de simulación con interfaces a medida (incluye un modelo de objeto completo, visores ActiveX y software de visualización especial).
- Un conjunto de soluciones de enlace con Microsoft VISIO.
- Un conjunto de enlaces directos a CAD.
- Opciones de cumplimiento de HLA para aplicaciones militares y otras.

2.7.2. Construcción de modelos con Witness

Hay dos versiones de Witness que ofrecen diferente terminología, una relacionada con fabricación y la otra con servicios. En este proyecto trataremos las ideas para modelar sistemas de fabricación. Para modelar actividades no relacionadas con fabricación recomendamos utilizar la edición de servicios de Witness.

En primer lugar, para realizar la construcción de un sistema con Witness debemos realizar un estudio del mismo para modelarlo. Una vez realizado el estudio de nuestro sistema, y elegidos los elementos de Witness más adecuados para construir el modelo, se llevará a cabo

la programación del modelo mediante una lógica de control adecuada. Se definirán los elementos que forman el modelo, las reglas de entrada y salida que gestionan los elementos y las acciones que dotan al modelo de la lógica.

El aspecto del área de trabajo de Witness, una vez abierto el programa es el que podemos ver en la Figura 2.5:

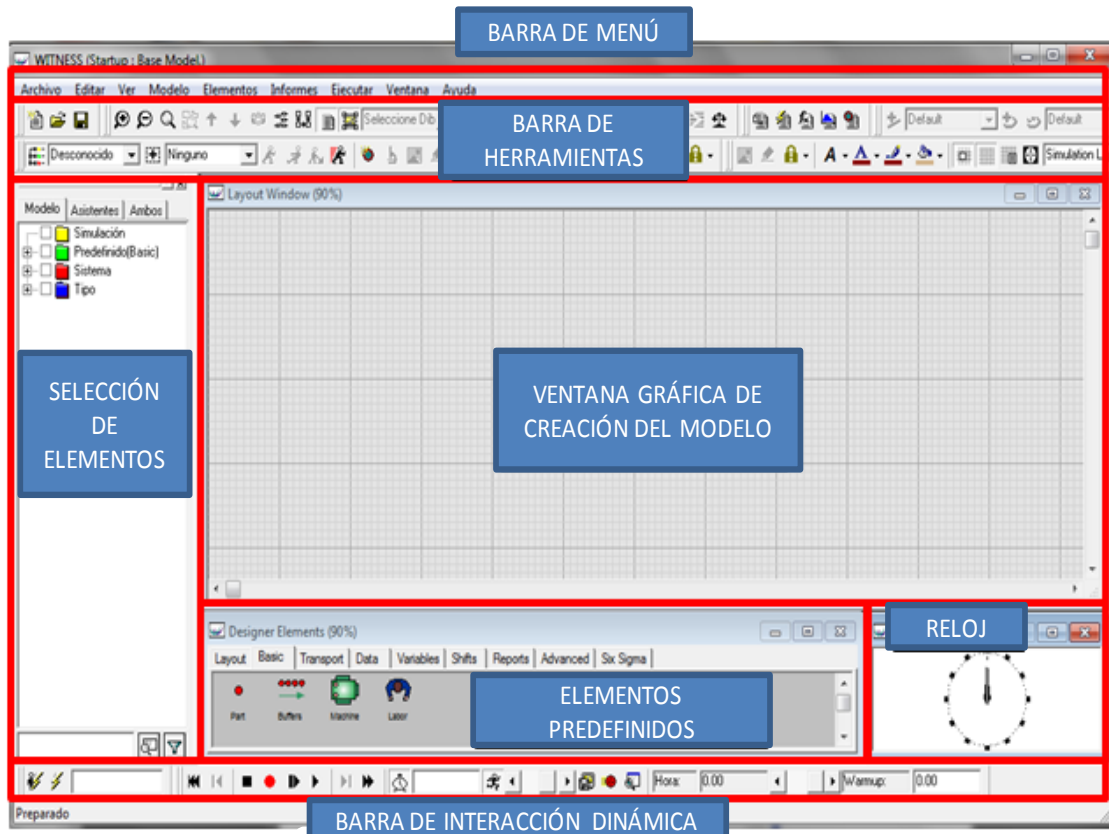


Figura 2. 5.- Pantalla inicial Witness

Para la construcción de un modelo, Witness utiliza una combinación de elementos físicos de diferentes tipos conectados entre sí mediante una serie de reglas lógicas denominadas reglas de entrada y salida. Caracterizando de forma correcta el comportamiento de estos elementos, se puede construir un modelo que, en conjunto, represente de forma correcta el sistema, esto es, indicar por un lado cómo funciona y, por otro, cómo se relacionan con el resto de elementos del modelo.

Las tres principales categorías de **elementos** con los que trabaja Witness son los elementos físicos, los elementos lógicos y los elementos gráficos, los cuales describiremos a continuación con más detalle:

▪ **Elementos físicos**

Son elementos que pueden representar entidades existentes en un sistema real. Dentro de esta categoría podemos encontrar elementos discretos y de proceso continuo:

a. Elementos discretos

Se representan como iconos dinámicos y modelan el comportamiento de elementos tangibles en las situaciones reales estudiadas. Los diferentes tipos de elementos discretos son:

- **Entidades (Parts):** son los elementos que circulan por el modelo. Pueden representar, por ejemplo, productos, lotes de producción, un proyecto que avanza a lo largo de una gran empresa, llamadas en una centralita, pequeños componentes electrónicos u ordenadores personales, etc.

Las entidades se pueden mover; e incluso pueden combinarse mientras se van moviendo por el modelo. Son extremadamente versátiles.

Cuando se hace el detalle de las Parts es necesario decidir si son Activas (una cantidad concreta de Parts se ponen en el modelo en un momento concreto) o algún elemento en la simulación tira de ellas desde un suministro infinito.

- **Colas (Queues/Buffers):** lugares donde se almacenan las entidades para mantenerse a la espera. Por ejemplo, las piezas esperando a ser procesadas en una fábrica, personas en una cola, el espacio que contiene a los aviones a la espera de aterrizar o un estante con los componentes que se van a montar en una estación.

Las entidades no son activas, deben ser lanzados hacia otros elementos desde los Buffers o empujadas desde estos hacia otros elementos mediante las reglas de salida.

- **Máquinas/Actividades (Machines):** uno de los elemento más usados. Representan cualquier trabajo que se ha de realizar a las entidades en cualquier momento. Estos trabajos deben ser procesados y enviados al próximo destino, como por ejemplo, una máquina-herramienta, un torno o una prensa, un taller entero o una caja en un supermercado, una organización que gestiona proyectos y los entrega, una planta entera o un puesto de trabajo individual.

En las máquinas es donde se modelan y cambian las entidades, gastando tiempo en procesarlas, cambiando de un estado a otro al tiempo que las hace avanzar. Una máquina puede procesar una entidad o más de una a la vez. Puede ensamblar diferentes entidades juntas dentro de una o disgregar una en varias como podemos ver a continuación:

- *Single Machine:* procesa Parts de una en una. Puede verse su representación en la Figura 2.6:

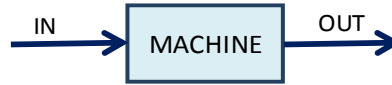


Figura 2. 6.- Single Machine

- *Batch Machine*: procesa un lote o grupo de Parts cada vez. Es necesario especificar el número mínimo y máximo de Parts que constituyen el lote o grupo. Vease la Figura 2.7:

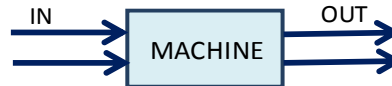


Figura 2. 7.- Batch Machine

- *Assembly Machine*: toma más de un Part a la entrada y de salida proporciona únicamente una Part. Es necesario especificar el número de Parts que serán ensambladas en un único Part. Podemos observarlo en la Figura 2.8:

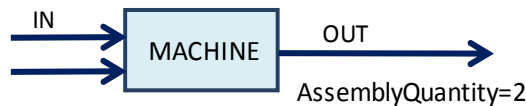


Figura 2. 8.- Assembly Machine

- *Production Machine*: produce varios Parts a partir de uno como vemos en la Figura 2.9. Es necesario especificar el número de Parts que se producirán de manera que el número de Parts que saldrán será la cantidad que se produce más una. También es necesario indicar el tipo de Part que se emplea.

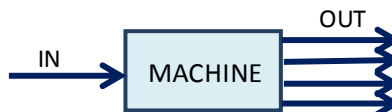


Figura 2. 9.- Production Machine

- *General Machine*: saca diferentes cantidades de diferentes Parts. Es necesario especificar el número de entradas y de salidas. Vease la Figura 2.10.

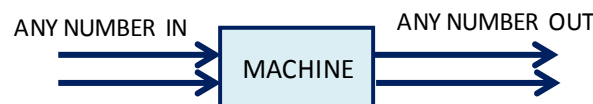


Figura 2. 10.- General Machine

- *Multi Machine*: procesa uno o más Parts a través de un número de estaciones. Es necesario especificar el número de estaciones y de Parts por

estación. Si el número de Parts es mayor que 1, la Machine es una multi-station batch Machine. Podemos ver su representación en la Figura 2.11.

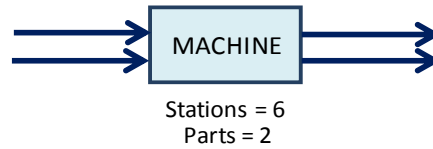


Figura 2. 11.- Multi Machine

- **Recursos (Labour):** este elemento se puede utilizar para modelar recursos humanos y materiales (por ejemplo, herramientas, personas o equipamiento) que pueden ser requeridos por otros elementos durante un proceso, una preparación, una reparación, una limpieza, etc. El control de los recursos es muy importante en los modelos.
- **Cintas transportadoras (Conveyors):** se emplean para satisfacer los requerimientos de movilidad de las entidades por el modelo, empleando un determinado tiempo.
- **Caminos (Path):** elemento por el que las entidades o las unidades de recurso pueden viajar para llegar desde un elemento hasta otro.
- **Vías (Tracks):** caminos que siguen los vehículos cuando transportan o no entidades. También definen lugares en los cuales los vehículos pueden cargar o descargar entidades y aparcarse.
- **Vehículos (Vehicles):** representan los vehículos que transportan entidades (por ejemplo, vehículos guiados de forma automática AGV, grúas, carretillas).
- **Power & Free:** permiten modelizar las características específicas de determinados sistemas de transporte. Hay cuatro tipos de elementos "Power& Free": redes, secciones, estaciones y transportadores.
- **Módulos (modules):** es un elemento compuesto por la combinación de otros elementos individuales de Witness, de modo que, una alteración en uno de estos elementos, será automáticamente actualizada en ese elemento del módulo. Los módulos se pueden definir, presentar y detallar únicamente como otro elemento de Witness y ser usados para la construcción de modelos como un elemento más.

b. Elementos de proceso continuo

Se utilizan para crear modelos donde el flujo continuo es un factor:

- **Fluidos (Fluids):** representan líquidos y productos de flujo libre como el polvo. Se presentan como flujos de color que fluyen a través de una tubería, tanque o procesador.

- **Tanques (Tanks):** son los lugares en los que se pueden retener o almacenar los fluidos cuya capacidad se mide en volumen. Podemos decir que actúan como líneas de espera de fluidos.

Los tanques se pueden limpiar en diferentes momentos, tener niveles de alerta al llenarse o vaciarse, cambiar el nombre y el color de un fluido a la entrada o a la salida, representarse de diferentes maneras o visualizarse como iconos que cambian de color según su estado, representarse para mostrar en pantalla su contenido en unidades y la proporción de fluidos que contiene en porcentajes e incluyen la posibilidad de añadir reglas de entrada/salida para manipular la entrada y salida de los fluidos.

- **Procesadores (processors):** estos elementos son los equivalentes a las máquinas de los elementos discretos. El flujo de fluidos en un procesador sufre algún tipo de operación y después, fluyen fuera. Como ejemplo de este elemento podemos poner un recipiente en el que se introduce un fluido y se somete a calor durante un determinado periodo de tiempo.
- **Tuberías (pipes):** elementos empleados para conectar los tanques con los procesadores por los cuales fluye un determinado caudal.

Las tuberías pueden ser limpiadas o averiarse de acuerdo con ciertos criterios, cambiar el nombre y el color de los fluidos al entrar o al salir, tener caudales negativos, operar con o sin alimentación de entrada y disponen de reglas de entrada/salida.

▪ Elementos lógicos

Los elementos lógicos son los que permiten gestionar la información y la lógica del modelo.

Estos elementos representan los aspectos relativos a los datos y los informes. Permiten gestionar información de manera sencilla, personalizar informes e introducir lógica más compleja en los modelos para una correcta modelización.

- **Atributos (Attributes):** son características de una parte específica o una unidad de trabajo (entidad, part o recurso); por ejemplo, color, tamaño, tiempo de ciclo, etc.

Se trata de algo propio de un Part que se mueve con ella pudiendo tener distintos valores a lo largo de la ejecución del modelo. A cada uno de los atributos se les puede dar un valor entero, un valor real, una cadena de caracteres o hacer referencia a otro elemento de la simulación de Witness y se introduce o modifica a través de las acciones de los distintos elementos.

- **Variables (Variables):** todos aquellos valores a los que se puede acceder en el modelo. Además de las variables que se puedan definir, Witness proporciona muchas

variables del sistema, tales como el tiempo de la simulación o el número de entidades que hay en una cola.

Las variables usualmente tienen sus valores asignados en un grupo de acciones y no van asociadas a ninguna entidad, siendo su valor el mismo en cualquier punto de la simulación en un mismo instante, aunque pueden variar su valor en el tiempo a través de las acciones.

- **Archivos (Files):** Witness proporciona la facilidad de utilizar ficheros de datos en el modelo. Los archivos permiten obtener valores que son relevantes para la simulación y cargarlos en un modelo de Witness, o guardar valores de un modelo de Witness en un archivo para poder utilizarlos después en otra aplicación (para elaborar informes personalizados, por ejemplo).
- **Distribuciones (Distributions):** nos permiten dar variabilidad al modelo introduciendo datos tomados de la realidad.

Las distribuciones pueden ser una de las muchas distribuciones reales, enteras, continuas o discretas que proporciona WITNESS:

- Distribuciones enteras: uniforme, binomial, poisson.
- Distribuciones reales: beta, gamma, erlang, logarítmica normal, negativa exponencial, normal, normal truncada, triangular, uniforme, weibull.
- También pueden estar definidas por el usuario (distribuciones empíricas) introduciendo los valores numéricos así como sus frecuencias de aparición.

Para que una distribución pueda funcionar en Witness será necesario indicar el número de la cadena de números aleatorios que vamos a utilizar. Es importante emplear una cadena distinta para cada evento estocástico que se desee simular, a fin de que un evento no le “robe” aleatoriedad a otro.

- **Funciones (Functions):** Witness proporciona un gran número de funciones predefinidas que se pueden utilizar para mejorar la lógica del modelo, pero el usuario también puede crear sus propias funciones.

Las funciones se pueden representar gráficamente, para mostrar en la pantalla su nombre y el último valor devuelto, o como elementos; después, se pueden utilizar de forma repetida con la misma sencillez que las funciones predefinidas.

Las funciones predefinidas incluyen:

- funciones de informes y de estados
- funciones para generar variables aleatorias
- funciones aritméticas y para gestionar nombres

- **Archivos de entidades (Part files):** un archivo de entidades contiene una lista de parts; para cada entidad se puede especificar el tamaño de lote, los atributos de la entidad y el instante de llegada al modelo de cada entidad.

Esto es útil, por ejemplo, para modelar problemas de programación de la producción sencillos donde el comportamiento del tiempo entre llegadas de piezas al modelo no permite especificar las llegadas con suficiente precisión.

También puede expulsar las piezas que salen del modelo a un archivo de entidades. De esta manera se puede producir un archivo de entidades como resultado de un modelo y utilizarlo como entrada de otro modelo diferente.

- **Turnos (Shifts):** son empleados para simular una secuencia de tiempos de trabajo. Estos elementos nos permiten simular los turnos de trabajos.

▪ Elementos gráficos

Estos elementos representan lo que está ocurriendo en el modelo a medida que avanza la ejecución del mismo.

La representación de la información y del estado del proceso es muy visual, de forma que se facilita la comprensión del funcionamiento del sistema modelado así como la extracción de conclusiones a partir de las simulaciones realizadas.

- **Diagramas de tarta (Pie charts):** se muestran los datos de la simulación por medio del formato estándar de sectores. Los diagramas de tarta son útiles para representar el porcentaje de tiempo que un elemento ha permanecido en un determinado estado.
- **Series temporales (Timeseries):** se representan los resultados en forma de gráfica en función del tiempo.

Se pueden representar hasta siete valores en una serie temporal, cada uno con un color diferente. Las series temporales son útiles para determinar la tendencia o el carácter cíclico del modelo, ya que proporcionan una evolución temporal del valor especificado así como los valores medios y la desviación típica.

- **Histogramas (Histograms):** es un gráfico de barras útil para determinar el rango de los valores observados para algunos parámetros de la simulación.

Los histogramas de WITNESS permiten representar gráficamente los resultados de la simulación en pantalla. WITNESS permite crear todos los gráficos que se desee y grabar valores en ellos según convenga. Las barras deben ser dibujadas vertical u horizontalmente, permitiendo producir "Gantt type charts".

- **Informes (Reports):** ésta es una de las posibilidades más potentes que facilita Witness, permitiendo incluso definir informes personalizados. Los informes pueden tener una representación por defecto en forma de tabla o puede ser un diagrama. A través de la

configuración del elemento informe se pueden determinar los cálculos que hay que realizar para generar el informe, que generalmente se basa en valores de funciones y variables del modelo.

Ahora que ya conocemos los diferentes tipos de elementos por los que puede estar formado un modelo, vamos a indicar cuáles son las relaciones entre ellos y entre qué puntos se mueven, es decir, la forma de gestionar los elementos. Esto se hará utilizando las acciones y las reglas de salida y entrada, que deberán ser especificadas para cada uno de los elementos.

Las **reglas de entrada y salida** se usan para describir cómo fluyen las entidades a través de los elementos del modelo. Las reglas de entrada se emplean para llevar los Parts hacia un elemento y las reglas de salida se utilizan para sacar los Parts del elemento.

Por defecto, el estado que tienen todos los elementos al ser creados es de espera. Para que un elemento pueda recibir entidades habrá que activar las órdenes de “tirar de”, ya que en caso de permanecer en espera tan solo recibirá entidades si éstas están siendo empujadas hacia el elemento. De igual forma, para que las entidades salgan del elemento, habrá que activar las órdenes de “empujar a” a no ser que haya otro elemento que esté tirando de esas entidades.

Las reglas básicas de entrada y salida son PULL (tirar de) y PUSH (empujar de) respectivamente. La construcción de estas órdenes es la siguiente:

- a. PUSH to ELEMENTO1: las entidades salen de un elemento que las empuja hasta otro llamado ELEMENTO1.
- b. PULL from ELEMENTO2: las entidades entran en un elemento que tira de ellas desde otro llamado ELEMENTO2.

A continuación listamos las reglas de entrada más usadas:

- WAIT: el elemento está “esperando” hasta que las Parts son empujadas hacia él. Es la regla por defecto de todos los elementos como ya habíamos dicho anteriormente.
- PULL: tira de una lista de estaciones por orden preferente.
- MOST: tira de la Part que esté en el elemento con más entidades (se especifica la entidad) de una lista.
- LEAST: coge de una lista el elemento que tenga menos entidades (se especifica la entidad).
- PERCENT: de una lista coge un porcentaje de cada elemento que aparezca en ella, previamente especificado.
- SEQUENCE: toma las Parts de una lista siguiendo una secuencia y unas reglas en caso de no disposición.
- IF: si una expresión es cierta entonces realiza una serie de acciones.
- SELECT: selecciona de dónde toma Parts en función de una expresión.

- BUFFER: sólo para Machines; crea una buffer de entrada.
- MATCH: permite a una machine tener distintas entradas.

En cuanto a las reglas de salida más usadas, tenemos las siguientes:

- WAIT: el elemento está “esperando” hasta que las Parts son retiradas de él. Es la regla por defecto de todos los elementos.
- PUSH: empuja a una lista de estaciones por orden preferente.
- MOST: empuja la Part hacia el elemento con más entidades (se especifica la entidad de una lista).
- LEAST: de una lista empuja hacia el elemento que tenga menos entidades (se especifica la entidad).
- PERCENT: de una lista empuja un porcentaje a cada elemento que aparezca en ella, previamente especificado.
- SEQUENCE: empuja las Parts de una lista siguiendo una secuencia y unas reglas en caso de no disposición.
- IF: si una expresión es cierta entonces realiza una serie de acciones.
- SELECT: selecciona hacia donde empuja Parts en función de una expresión.
- BUFFER: sólo para Machines; crea una buffer de salida.

Las entidades pueden proceder del WORLD (entran en el modelo desde el exterior) o empujadas a SHIP, SCRAP o ASSEMBLE (dejan el modelo).

Witness proporciona un lenguaje de programación sencillo basado en **Acciones**. Las acciones permiten dotar al modelo de la lógica necesaria para que funcione correctamente. Mediante ellas es posible manipular variables y atributos, leer o escribir datos desde/hacia ficheros de disco, controlar las entidades, etc.

Este lenguaje es similar al lenguaje de programación BASIC pero es más parecido al idioma inglés e incorpora elementos de ayuda. Mediante el uso de acciones, se puede especificar a Witness instrucciones específicas relativas a la lógica del modelo, permitiendo modelar los cálculos en los que se sostienen las decisiones de las situaciones reales estudiadas.

Las acciones pueden utilizarse para establecer las condiciones iniciales del modelo y para gestionar la interacción entre el modelo y la persona que lo utiliza; por ejemplo, solicitando respuestas específicas en determinados momentos durante la ejecución del modelo, se pueden utilizar en las etapas clave de la operación de los diferentes elementos (por ejemplo, al final del ciclo de una máquina, antes de representar las observaciones en una serie temporal, cuando una entidad abandona el modelo, cuando se finaliza la limpieza de un procesador) o en cualquier etapa durante la ejecución del modelo.

Cuando el modelo ya está bien definido y construido, hay que proceder a **realizar experimentos** con el mismo.

En cuanto la simulación se ponga en marcha, el tiempo de la simulación comenzará a correr. Witness va testeando todos y cada uno de los elementos que fueron definidos en el modelo siguiendo el orden en que fueron creados. Observará si ese elemento tiene o va a tener algún Part y realizará las acciones oportunas en ese instante. Hecho esto, pasará al siguiente elemento de la lista.

Una vez construido el modelo y puesto en marcha, se pueden utilizar los **informes** que permite generar el software y que ayudarán a medir los cambios producidos por la influencia de los distintos escenarios en los que se quiere comprobar el comportamiento del citado sistema modelizado. Ésta es una de las posibilidades más potentes que facilita Witness.

Capítulo III: Escuela Lean Manufacturing

3.1 Introducción a la Escuela Lean

Como hemos explicado en capítulos anteriores, Lean Manufacturing es una forma de trabajar y organizarse en las empresas que busca maximizar la eficiencia y satisfacción del cliente llevando a las organizaciones por el camino de la excelencia operacional.

Debido a la falta de formación práctica que existe en el ámbito del Lean y gracias a la vocación que tiene Renault Consulting por ayudar a las empresas a mejorar de forma duradera su eficiencia económica, la satisfacción de sus clientes y el desarrollo de su personal, surgió la idea de crear una Escuela Lean, en línea con otros países, donde se representa un entorno industrial dedicado a la fabricación de automóviles estructurada y organizada de igual forma que si se tratará de una planta de producción de vehículos real.

Esta escuela está compuesta por un aula de formación y un taller de producción, conformando un lugar para la enseñanza de la filosofía Lean y el trabajo práctico a través de la aplicación de todos los conocimientos obtenidos previamente. La Escuela Lean permite a los alumnos formarse en un ambiente próximo a una verdadera fábrica y practicar las técnicas y herramientas de mejora continua y resolución de problemas sobre el terreno.

La colaboración entre la Universidad de Valladolid y Renault Consulting se inició por primera vez en 2004 con la donación del Aula Instituto Renault, hoy Aula Renault Consulting, ubicada en la actual Escuela de Ingenierías Industriales, sede Francisco Mendizábal.

En 2007, y ya como Renault Consulting, se creó la Cátedra en la Universidad de Valladolid para desarrollar cursos monográficos con las últimas herramientas, técnicas y métodos de gestión empresarial, logística y calidad.

Todo esto ha conducido a la creación de la primera Escuela Lean de España en el mes de enero del 2014, implantada en la Escuela de Ingenierías Industriales (sede Francisco Mendizábal) de la Universidad de Valladolid, que usarán miembros de la comunidad universitaria, así como otras instituciones y empresas.

Para la Escuela Lean, la clave está en optimizar los procesos a partir de la identificación, y posterior eliminación, de todo aquello que no aporta valor. Para ello, resulta necesario conocer las metodologías, técnicas y útiles que se implantan con la filosofía Lean y gestionar el proceso de transformación que acompaña a su puesta en marcha.

El objetivo de la Escuela Lean es aumentar la competitividad de las organizaciones; su reto es presentar los conocimientos y herramientas Lean que permitan convertir a los alumnos de la Escuela Lean en verdaderos agentes del cambio dentro de sus organizaciones.

Los participantes serán conducidos a fabricar un imaginativo producto diseñado bajo unos exigentes requisitos pedagógicos. A través de ejercicios prácticos y de simulaciones, se

enfrentarán a los problemas típicos de los procesos y aprenderán progresivamente a observar, identificar los diferentes despilfarros, a resolver los problemas y a mejorar los procesos de fabricación. Los módulos de formación se construyen sobre diferentes configuraciones del taller, permitiendo así a los alumnos visualizar las etapas sucesivas de la transformación Lean e integrar progresivamente los principios de la eficiencia operacional mediante la experiencia práctica.

Según Antonio Fernández, director general de Renault Consulting España, «la implantación de este concepto innovador pretende establecerse, a nivel nacional, como referente en formación para las empresas y ser el útil que permita a las organizaciones adquirir conocimientos y competencias que permitan alcanzar los niveles de eficiencia que el mercado exige».

3.2 Definición del producto

Los productos que se fabrican en la Escuela Lean son turismos. En particular, existen dos tipos de modelo: monovolumen y pick-up. Dentro de estos modelos el cliente puede escoger entre los colores verde y azul o puede optar por un turismo normal o todoterreno. De este modo, el cliente puede elegir entre ocho vehículos diferentes, tal y como indica la Tabla 3.1

Tabla 3. 1.- Diversidad de productos de la Escuela Lean

Categoría	Color	Diversidad	Nº Vehículos
Monovolumen	Oscuro (verde)	Todoterreno	1
		Normal	2
	Claro (azul)	Todoterreno	3
		Normal	4
Pick Up	Oscuro (verde)	Todoterreno	5
		Normal	6
	Claro (azul)	Todoterreno	7
		Normal	8

Toda esta diversidad de productos permite ofrecer al cliente un producto más personalizado, pero también dificulta las tareas de producción. La Figura 3.1 muestra algunos vehículos de diferentes categorías.

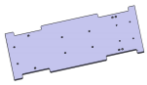

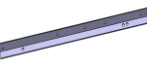
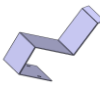

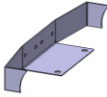



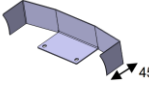






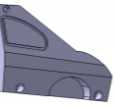
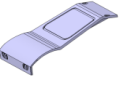

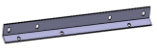




Figura 3. 1.- Productos Escuela Lean

La fabricación de estos vehículos se realiza en el aula de la Escuela lean, una pequeña planta industrial en el que se realizan todos los procesos necesarios para obtener el producto final. Estos procesos son la elaboración de productos semiterminados y el montaje de todos los elementos que conforman el vehículo.

Los coches a fabricar en el aula están compuestos de una serie de piezas. En la Tabla 3.2 se detallan las referencias de las que consta el vehículo monovolumen definiendo el número de referencias, su denominación, un pequeño croquis para tener una imagen visual del producto, la cantidad y su diversidad.

Tabla 3. 2. Referencias Monovolumen

Nº	Croquis	Denominación	Q	Diversidad	Nº	Croquis	Denominación	Q	Diversidad
1		Suelo	1	Normal/ Todo Terreno	12		Asiento delantero	1	1
2		Perfil L Suelo	2	Izquierdo/ Derecho	13		Asiento trasero	2	1
3		Rueda ensamblada	4	Normal/ Todo Terreno	14		Parachoques delantero	1	1

4		Salpicadero	1	1	15		Parachoques trasero	1	1
5		Puerta delantera izquierda	1	1	16		Tubo de escape	1	1
6		Puerta media izquierda	1	1	17		Aislante	2	1
7		Puerta trasera izquierda	1	1	18		Arandela	3	1
8		Puerta delantera derecha	1	1	19		Capó	1	1
9		Puerta media derecha	1	1	20		Perfil L de techo monovolumen	2	Izquierdo/ Derecho
10		Puerta trasera derecha	1	1	21		Techo Monovolumen	1	1
11		Maletero	1	1	22		Placas orden producción y diversidad	1	1

La referencia por la que se comienza el montaje del vehículo es el *suelo*, que tiene diversidad para turismos monovolumen o pick-up. La diferencia está en los orificios en los que se montan las ruedas: la distancia entre ejes para el modelo monovolumen es de 385 mm y para pick-up es de 399 mm.

La diversidad de estos vehículos se aprecia claramente en el tipo de *rueda*. Existen ruedas tipo normal, con el exterior plateado, y ruedas tipo todoterreno, con el exterior negro. Esta rueda se incorpora a las operaciones de montaje ya ensamblada.

Para montar las ruedas sobre el suelo es necesario colocar unos *perfiles L suelo*. Estos perfiles tienen diversidad izquierdo o derecho. Se debe prestar especial atención al colocar estos perfiles ya que si no se sitúan correctamente generalmente aparecen problemas de calidad.

En el suelo también se monta el *salpicadero*, una referencia común a los dos modelos del turismo; vale tanto para monovolumen como para pick-up.

El modelo monovolumen cuenta con tres asientos en su interior, el *asiento delantero* y dos *asientos traseros*. Estos se diferencian gracias a una pequeña ranura superior que lleva el asiento delantero.

Los laterales del vehículo son simétricos y se dividen entres partes o zonas:*puerta delantera izquierda, puerta media izquierda y puerta trasera izquierda*. Ya que el lado derecho es simétrico, las piezas son *puerta delantera derecha, puerta media derecha y puerta trasera derecha*. Todas ellas van fijadas al suelo.

Además, es necesario colocar el *parachoques delantero y el parachoques trasero*. Éstos llevan consigo unas medida de calidad más estrictas que se comentaran más adelante.

Uno de los detalles que llevan estos automóviles es el *tupo de escape*, que se ensambla al vehículo con dos *aislantes* y tres *arandelas*. En esta parte también es muy importante la calidad del ensamblado.

Para terminar el montaje se colocan unos *perfiles de techo L*, también con diversidad izquierdo o derecho. Sobre ellos se monta el *techo* del monovolumen, el *capó* que cubre la parte delantera y el *maletero*.

Por último, es necesario colocar la *placa de orden de producción y diversidad* a modo de matrícula. Como se puede observar en la Figura 3.2, la placa con dígitos indica el orden de producción del vehículo; en el ejemplo de la figura, se trata del primer vehículo fabricado, si fuera “02” sería el segundo, y así sucesivamente.

En la placa de diversidad la primera letra indica la categoría del turismo (M=Monovolumen y P=Pick-up), la segunda letra indica si es normal (N) o todoterreno (T), y la última letra el color del producto (C=Claro, es decir azul, y O=Oscuro, que es verde).

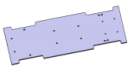
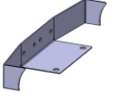
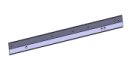
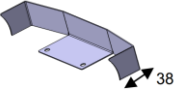


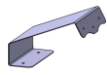



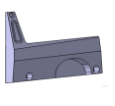
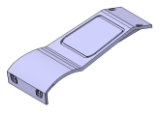


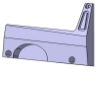





Figura 3. 2.- Placas de orden de producción y diversidad

En la Tabla 3.3 se detallan las referencias de las que consta el vehículo pick-up.El modelo pick-up comparte muchas de las referencias con el monovolumen; el *suelo, las ruedas, los perfiles L de suelo, el salpicadero, el tubo de escpa, las arandelas, los aislantes y el capó*.

Una de las diferencias entre pick-up y monovolumen es que el primero sólo lleva un asiento, y es un *asiento delantero*. Sin embargo, la gran diferencia viene dada por los laterales del vehículo; cada lateral consta de dos partes: *puerta delantera izquierda* y *panel trasero izquierdo*. Además, y dado que los laterales son simétricos, el lado derecho consta de *puerta delantera derecha* y *panel trasero derecho*

Tabla 3. 3. Referencias Pick-up

Nº	Croquis	Denominación	Q	Diversidad	Nº	Croquis	Denominación	Q	Diversidad
1		Suelo	1	Normal/ Todo Terreno	10		Parachoques delantero	1	1
2		Perfil L Suelo	2	Izquierdo/ Derecho	11		Parachoques trasero pick-up	1	1
3		Rueda ensamblada	4	Normal/ Todo Terreno	12		Tubo de escape	1	1
4		Salpicadero	1	1	13		Aislante	2	1
5		Puerta delantera izquierda	1	1	14		Arandela	3	1
6		Panel trasero izquierdo Pick-up	1	1	15		Capó	1	1
7		Puerta delantera derecha	1	1	16		Perfil L de techo Pick-up	2	Izquierdo/ Derecho
8		Panel trasero derecho Pick-up	1	1	17		Techo Pick-up	1	1
9		Asiento delantero	1	1	18		Placas orden producción y diversidad	1	1


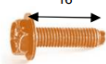




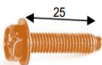

Este modelo lleva también un *parachoques delantero* y un *parachoques trasero*. El parachoques trasero debe colocarse a una medida distinta que en el monovolumen.

Uno de los últimos detalles son los *perfiles de techo LPick-up*, también con diversidad izquierdo o derecho. Sobre ellos se monta el *techo pick-up*, mucho más pequeño que el del monovolumen. En esta categoría no existe el maletero.

Finalmente, es necesario colocar la *placa de orden de producción y diversidad*, a modo de matrícula, para que sepamos en todo momento la categoría del producto y su momento de fabricación.

Para llevar a cabo el ensamblado de todas estas referencias es necesario utilizar piezas de origen exterior proporcionadas por distintos proveedores. La Tabla 3.4 muestra estas referencias.

Tabla 3. 4. Piezas de origen exterior

Nº	Croquis	Denominación	Q		Total	Nº	Croquis	Denominación	Q		Total
			M	P					M	P	
1		Tornillo hexagonal M8	4	4	200	5		Tornillo M6x16	2	4	140
2		Tornillo allen M8 Todo Terreno	4	4	80	6		Tuerca M6	10	18	660
3		Tuerca M8	4	4	200	7		Remache Plástico Tipo A	12	2	400
4		Tornillo M6x25	8	14	520	8		Remache Plástico Tipo B	16	8	640

3.3 Layout de la Escuela Lean

Para comenzar a hablar sobre la distribución en planta de la Escuela Lean, en primer lugar describiremos las características del aula en el que se ha implantado esta escuela y seguidamente explicaremos dos posibles layouts en los que se puede distribuir la escuela. El primero de ellos está

formado por varias células de trabajo y el segundo está formado por una célula en “U” sobre la que construiremos el modelo de simulación.

El aula está dotada de una superficie de 512,5 metros cuadrados, correspondientes a un área rectangular con toda su superficie libre exceptuando la zona central, en la que encontramos cuatro pilares de estructura del edificio, tal y como puede apreciarse en la Figura 3.3.

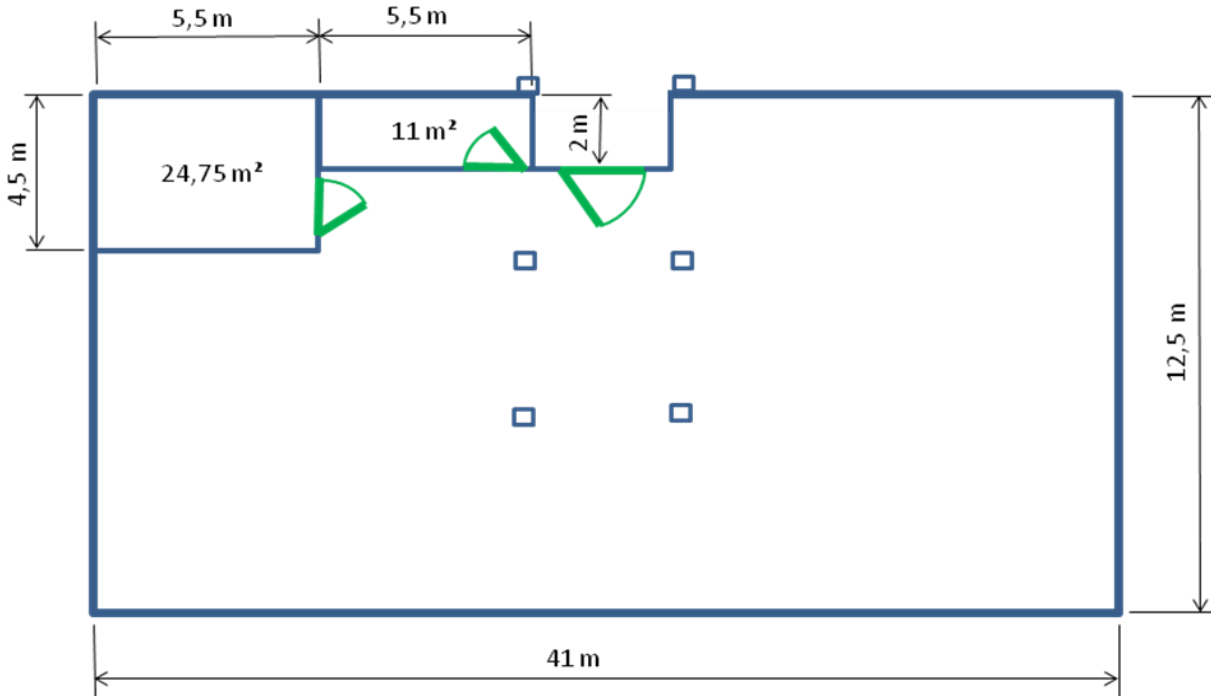


Figura 3.3.- Representación del aula en planta

Podemos considerar que es la planta de una nave industrial en la que deberemos implantar los recursos necesarios para fabricar nuestro producto.

Nuestra planta industrial está cerrada perimetralmente, existiendo en una de las fachadas una puerta de acceso. De los 512,5 m² libres, 35,75 m² están ocupados por dos cerramientos, por lo que finalmente podremos disponer de 476,75 m² para realizar la implantación de todos los recursos necesarios.

3.3.1 Layout inicial

En esta configuración se pueden diferenciar tres zonas principales en las que se encuentra dividida la superficie: taller de chasis, taller de montaje y las zonas de almacenes. Podemos ver esta distribución en la Figura 3.4.

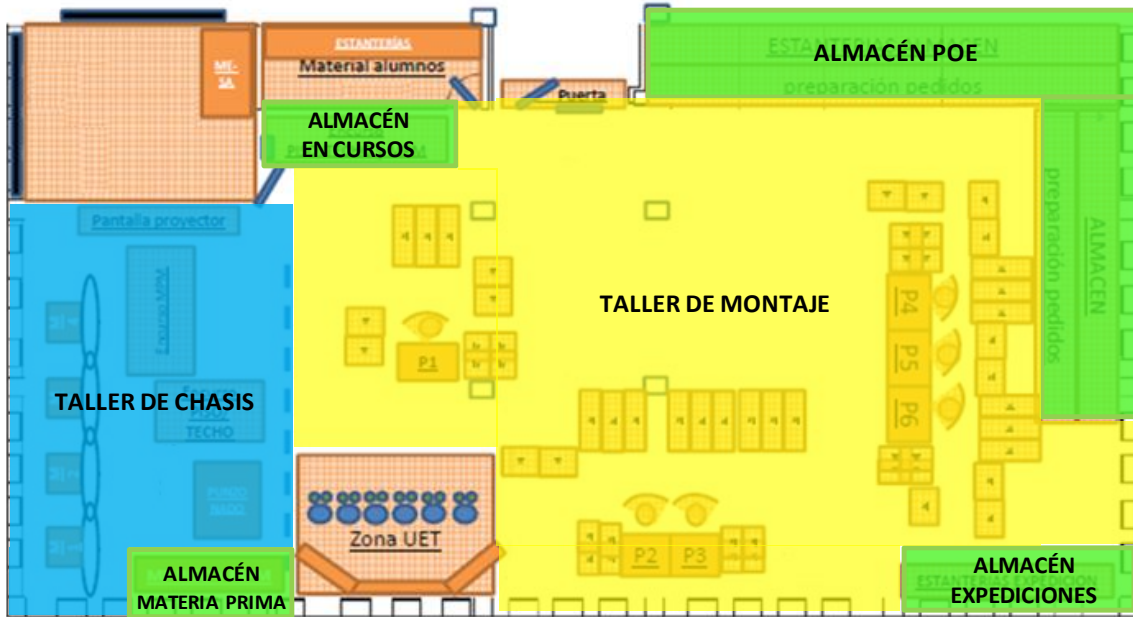


Figura 3.4.- Distribución de la configuración inicial

Tanto la materia prima como las piezas POE (Piezas de Origen Exterior) irán pasando de una zona a otra, sufriendo transformaciones y ensambles, hasta llegar al almacén de expediciones, punto final del flujo dentro de la factoría.

Todas las piezas POI (Piezas de Origen Interior) se fabrican en el taller de chasis. En este taller nos encontramos dos líneas de producción, tal y como se aprecia en la Figura 3.5: una de ellas para la fabricación de los parachoques delanteros y traseros, tanto de monovolumen como de pick up, y la otra destinada a la producción de techos de monovolumen y suelos de monovolumen y pick up. En el taller de chasis existen dos zonas habilitadas para stock: una de ellas para la materia prima que se recibe del proveedor y otra para el material en curso que va saliendo de las dos líneas de producción.

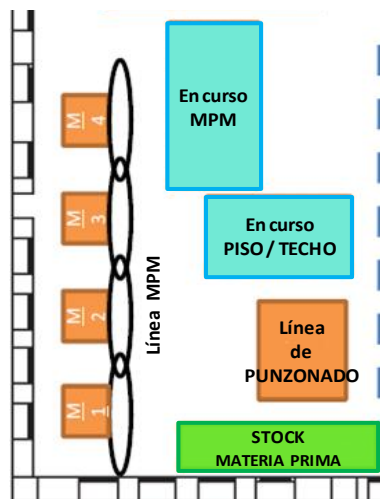


Figura 3.5.- Layout del taller de chasis

La línea en la que se fabrican los parachoques la denominaremos *Línea MPM*, que está formada por cuatro máquinas distribuidas para un flujo en línea recta, en las que se realizan diferentes operaciones. En esta línea se fabrican todas las diversidades de referencias a la vez, sin precisar de ninguna parada o adaptación especial de las máquinas para obtener unas piezas u otras. Además, ninguna máquina se para por falta de piezas en la anterior, puesto que la cantidad almacenada en las estanterías de rodillos intermedias sirve de pulmón para evitar la parada de fabricación.

La otra línea, denominada *Línea de punzonado*, será la encargada de la fabricación de los suelos y los techos, tanto del monovolumen como del pick up. Esta línea está constituida por un único puesto de trabajo y produce por ráfagas debido a que precisa realizar una serie de cambios de útiles para fabricar un tipo de pieza u otra.

La materia prima que se introduce a estas líneas se suministra desde el almacén de materia prima. Una vez que las piezas van saliendo de las líneas, se van almacenando en la zona habilitada para ello en grandes embalajes a la espera de ser transportadas al almacén de material en curso.

Tanto las piezas que se elaboran en el taller de chasis como las piezas POE se ensamblan en el taller de montaje para conseguir el producto final. Este taller está formado por tres zonas de almacén como podemos observar en la Figura 3.6. El primero de ellos corresponde al almacén de las piezas que provienen del taller de chasis. A continuación tenemos el almacén de piezas POE, situado contra la fachada de la nave haciendo esquina y dejando un pasillo para la preparación de los pedidos. Por último, encontramos el almacén de productos terminados.



Figura 3.6.- Layout taller de montaje

El taller de montaje consta de tres células de trabajo: la primera está formada por un único puesto de trabajo; a continuación nos encontramos otra célula formada por dos puestos de trabajo; y, finalmente, la última célula, constituida por tres puestos de trabajo. A continuación del puesto seis existe un puesto de control de calidad en el que se revisarán algunas de las especificaciones de calidad.

Entre cada una de las tres células o islas de trabajo existe stock intermedio, pudiéndose llegar a un máximo de 4 productos intermedios que servirán de pulmón a las fluctuaciones y paradas que puedan producirse en alguno de los puestos. Este producto intermedio será transportado de una célula a otra por un operario de logística con un carro como el que podemos ver en la Figura 3.7.



Figura 3.7.- Carro empleado en el transporte de producto intermedio entre células

Alrededor de cada uno de los seis puestos de trabajo tenemos grandes embalajes y estanterías de rodillos con pequeños embalajes en los que se encuentran las piezas que se montan en los correspondientes puestos. Estos embalajes son suministrados por los operarios de logística cuando se van agotando desde las estanterías del almacén de piezas POI o POE, dependiendo del tipo de pieza que sea necesario suministrar (vease la Figura 3.8).



Figura 3.8.- Estanterías de rodillos, pequeños embalajes y grandes embalajes

Vamos a explicar con más detalle el flujo que existe en este layout que acabamos de describir y que podemos observar en la Figura 3.9. Las flechas indican el flujo de material: las de color rojo indican las actividades del departamento de logística y las flechas verdes señalan las actividades del departamento de fabricación.

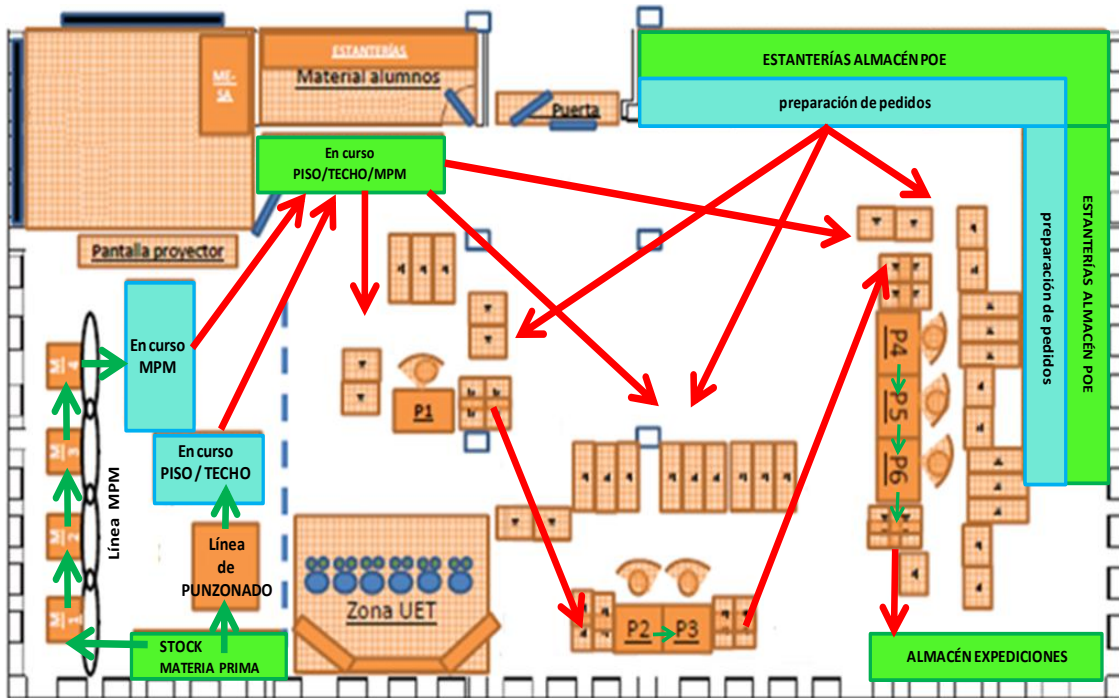


Figura 3.9.- Flujo de fabricación por lotes

Se trata de una distribución en planta en la que existe una fabricación por lotes. Todo comienza desde el almacén de materia prima; la materia prima es suministrada al principio de las líneas de punzonado y de MPM y avanza a lo largo de las líneas sufriendo diferentes transformaciones hasta llegar al fin de línea, donde las piezas fabricadas se van depositando en unos grandes embalajes a la espera que un operario de logística recoja estos embalajes llenos y los deposite en el almacén de producto en curso.

A partir de este almacén de producto en curso que proviene del taller de chasis y del almacén de POE, el departamento de logística va suministrando las piezas necesarias a los correspondientes puestos en los que se montan en función de las piezas que se van agotando. El operario de logística recogerá los grandes o pequeños embalajes de los puestos de trabajo y los transportará hasta el almacén correspondiente de POE o POI, donde preparará los pedidos para volver a llevar los embalajes al puesto de trabajo del que los recogió.

El montaje del coche comenzará en el primer puesto, donde una vez ensambladas todas las piezas el operario colocará el encurso obtenido sobre un carrito para poder comenzar a montar el siguiente vehículo demandado. El carrito sobre el que deposita el producto es un pequeño stock de máximo cuatro productos que un operario de logística transporta hasta la

célula de los puestos de trabajo dos y tres. Una vez que el operario del puesto dos realiza sus operaciones correspondientes hará llegar el producto al puesto de trabajo tres.

Tras este puesto ocurre lo mismo que en el puesto uno; existe un pequeño stock que es necesario llevar hasta el puesto cuatro. Entre los puestos cuatro, cinco y seis, el propio operario del puesto será el encargado de hacer llegar el producto al puesto siguiente. En el puesto seis se realizarán las últimas operaciones de ensablaje obteniendo el producto final. Al igual que ocurría en los puestos uno y tres, a continuación del último puesto existe un pequeño stock que es necesario que un operario logístico transporte hasta el almacén de expediciones.

3.3.2 Evolución y layout final

Evolucionaremos la distribución en planta inicial hacia una distribución de célula en “U” en la que se fabrica mediante one piece flow. En vez de tener dos talleres independientes como teníamos en la distribución anterior, lo uniremos en un único taller en el que la fabricación de los parachoques, los techos y los suelos están integrado en cadena con el montaje del resto de piezas del coche. La simulación, los estudios y las conclusiones las haremos a partir de este layout, por lo que nos extenderemos un poco más en su explicación.

Como podemos observar en la Figura 3.10, una de las mayores ventajas que llaman la atención a simple vista es el reducido espacio que necesitamos para implantar esta distribución. A diferencia del layout anterior, esta opción sería mucha más barata desde el punto de vista del alquiler o compra de una nave industrial, ya que estamos ocupando aproximadamente la mitad de la superficie.

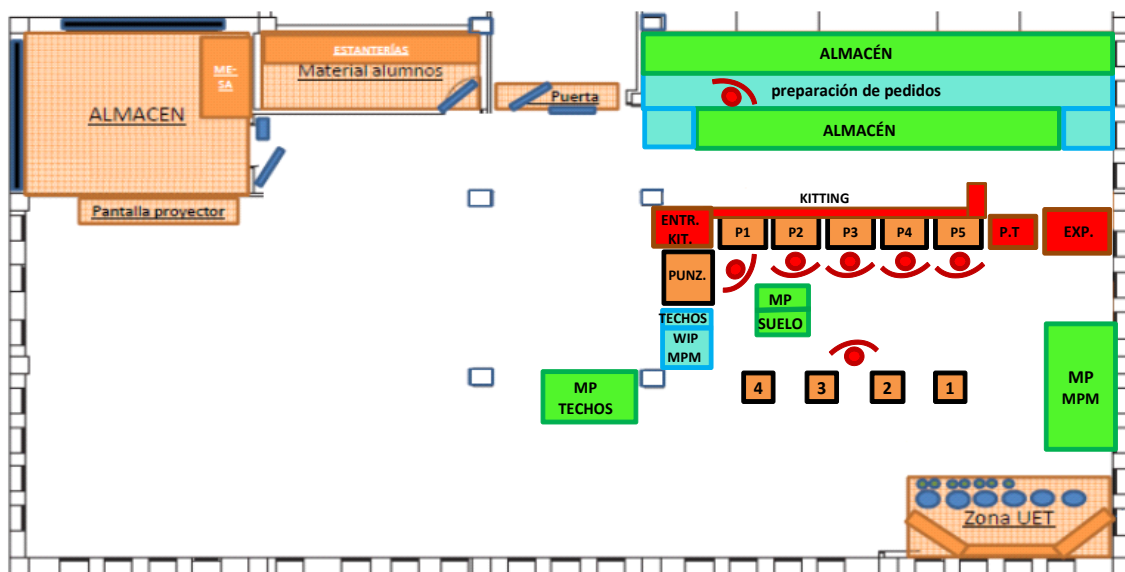


Figura 3.10.- Layout Célula en “U”

En esta configuración se pueden diferenciar dos zonas principales en las que se encuentra dividida la superficie: la línea de producción y las zonas de almacén.

Una de las principales diferencias con el layout anterior es que se han eliminado todas las estanterías y embalajes que existían alrededor de cada uno de los puestos de montaje y todo ello ha sido sustituido por un kitting que va pasando de un puesto a otro por medio de una base de rodillos junto con el coche que se va montando. Este kitting es un embalaje adaptado para poder integrar todas las piezas que componen cada uno de los vehículos que se van montando según el orden programado. Esta solución es lo que ha permitido eliminar todas las estanterías y embalajes de los puestos y ha permitido organizar el trabajo al departamento de logística, ya que ahora su trabajo consiste en ir preparando en la zona de almacén los kitting de los coches que van a ir fabricándose en la línea gracias a conocer la programación diaria.

Toda esta filosofía de trabajo es lo que ha hecho que la zona del almacén evolucione ligeramente respecto al modelo anterior. Ahora tenemos dos zonas: una de ellas es el almacén de la materia prima que entra en la *línea de MPM* y en el puesto de punzonado (que actualmente se encuentra unido en un mismo puesto de montaje junto con el puesto uno) y la otra es la zona en la que están todas las piezas de origen exterior POE y donde se realiza la preparación de los Kitting que se llevarán a la línea de montaje (se puede ver este almacén en la Figura 3.11). Este último almacén está constituido por un pasillo central con los embalajes a los lados, a fin de permitir que los operarios pueden recorrerle de inicio a fin para hacer el picking de las piezas necesarias: entran por un extremo con la caja vacía y salen por el extremo opuesto con el kitting preparado.



Figura 3.11.- Almacén POE

Existe una última zona que aún no habíamos mencionado, la zona del material en curso MPM. Éste es el lugar en el que se van depositando los parachoques que se fabrican en los cuatro puestos de la línea de MPM, en la que se trabaja con una filosofía kanban. Según van saliendo los parachoques, éstos se van colocando en unos pequeños embalajes sobre unas estanterías de rodillos para que los operarios de logística que preparan los kitting puedan coger de ahí el parachoques correspondiente y devolver a la línea de MPM el embalaje vacío, indicando al operario de la línea que es necesario fabricar un determinado tipo de parchoques. Un carril

de esta estantería de rodillos se emplea para que el operario de logística deposite embalajes con techos desde el almacén de materia prima y el operario del puesto uno vaya cogiendo los techos de esta estantería y les realice los punzonados correspondientes.

El almacén de expedición que teníamos en la distribución anterior ahora no existe, ya que con este método fabricamos lo que demanda el mercado al tiempo que lo demanda. Es por ello que según sale el producto final de la cadena de montaje se entrega directamente al cliente.

En cuanto a la línea de producción, se han unificado las tres líneas que teníamos independientes en una única línea, formando una célula en “U” en la que se trabaja en flujo continuo. La línea MPM seguirá estando formada por cuatro máquinas y un único operario, pero ahora trabajará en concordancia con la línea de montaje, fabricando únicamente el número de parachoques necesarios. Existe una pequeña zona en la que se irán almacenando los parachoques fabricados a la espera de que un operario de logística los recoja y los lleve al inicio de la línea de montaje, tal y como se ha comentado anteriormente.

A continuación de la línea MPM nos encontramos el puesto de punzonado de suelos y techos, que podemos observar en la Figura 3.12. Este puesto ha sido unificado con el puesto uno de la cadena de montaje, por lo que las tareas del puesto de punzonado y del puesto uno serán realizadas por un mismo operario. Junto al puesto de punzonado el operario tendrá la materia prima de los suelos, que irá cogiendo según vaya necesitando fabricar un modelo de coche u otro, y la materia prima de los techos, que la tendrá colocada en la estantería de rodillos que tiene a su izquierda.

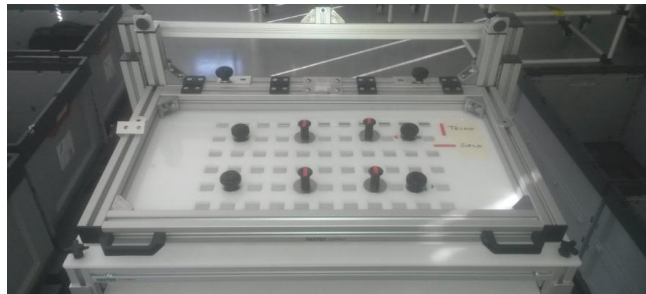


Figura 3.12.- Puesto de punzonado

Por último, tras el puesto de punzonado se sitúa el resto de la cadena de montaje, formada por cinco puestos de trabajo, el primero de ellos unificado junto al puesto de punzonado como ya habíamos indicado. En cada uno de estos puestos tendremos un operario de fabricación que realizará las operaciones de montaje asegurando la calidad de lo que monta. Según sale el vehículo del puesto cinco, irá directo al cliente ya que, como hemos dicho, estamos fabricando sólo para demanda y no para stock.

Tenemos una zona a mayores de la que aún no habíamos hablado, pero para la cual hay que prever una superficie donde implantarla. Esta zona a la que nos estamos refiriendo son las oficinas, lo que aquí denominamos zona UET. En este caso, las oficinas se han situado en la esquina inferior derecha, tal y como podemos observar en nuestro layout.

Vamos a pasar a explicar con más detalle el flujo que existe en este layout que acabamos de describir y que podemos observar en la Figura 3.13. Las flechas indican el flujo de material, de las cuales, las de color rojo indican las actividades del departamento de logística y las flechas verdes señalan las actividades del departamento de fabricación.

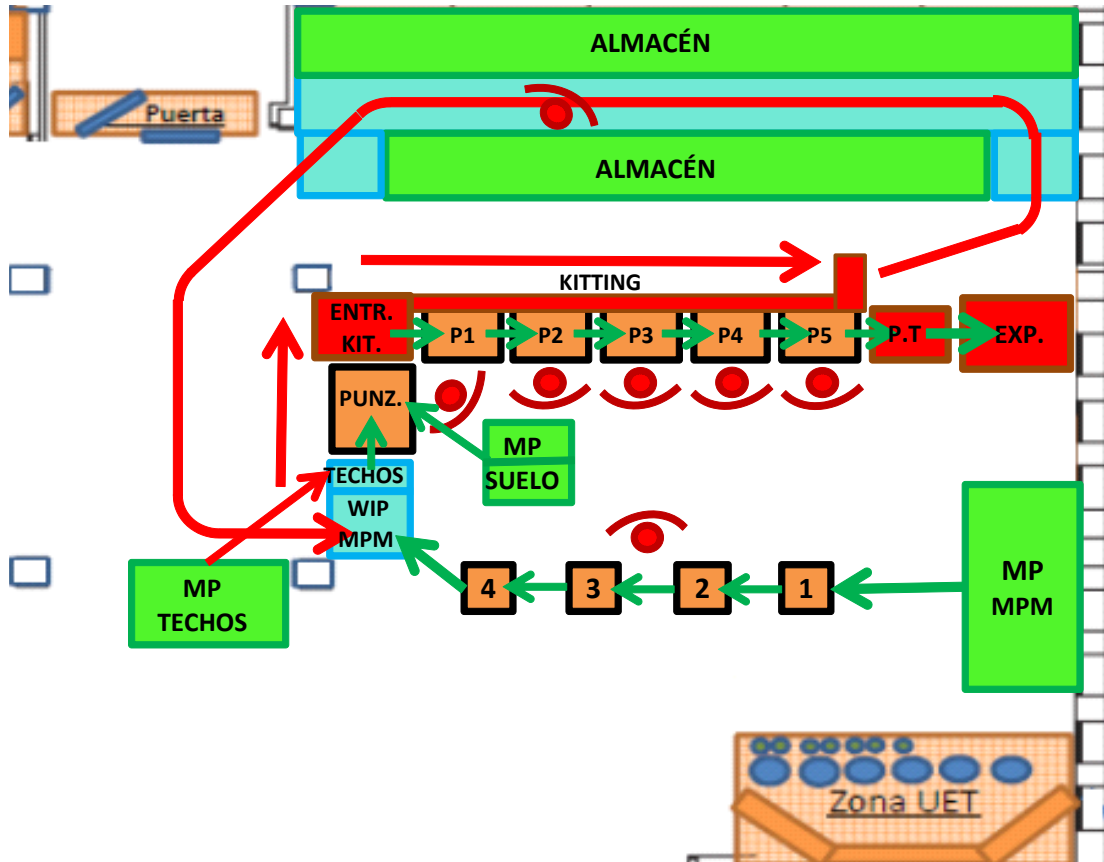


Figura 3.13.- Flujo one piece flow

Se trata de una distribución en planta en la que existe una fabricación one piece flow o “flujo de una pieza”, como ya habíamos mencionado al inicio de este apartado, donde todo lo que se necesita para fabricar es de fácil acceso y en la que no se permite pasar a la operación siguiente sin que se haya completado la anterior.

Comencemos por la *línea MPM*, que es el inicio de nuestra cadena de producción. Los brutos de materia prima situados en la zona de stock de materia prima se introducen en unos Bacs, o pequeños embalajes, en lotes de cuatro en cuatro. Éstos se meten dentro de una estantería de rodillos y se desplazan, por gravedad, hasta la primera de las cuatro máquinas de mecanizado que constituyen esta línea de producción.

En cada una de las máquinas las piezas entran para realizar sobre ellas sus correspondientes operaciones por lotes mientras que a la salida se les realiza un control de calidad donde se determina si son piezas buenas, si deben ser rechazadas o si se destinan a una zona de retoques próxima a la máquina de mecanizado intentando subsanar la falta de calidad, para

posteriormente volver a mecanizar el lote. Las piezas rechazadas, sin embargo, son enviadas a chatarra.

Tanto las piezas buenas como las retocadas que han vuelto a entrar en la línea y cuyo error de calidad ha sido resuelto se envían de nuevo a una cinta de rodillos en los pequeños embalajes para pasar a la siguiente máquina. Este proceso se repite hasta llegar a la cuarta máquina.

Una vez que salen de la *línea MPM*, estos lotes se irán depositando sobre una estantería de rodillos, que aquí hemos denominado WIP MPM, para que el operario de logística pueda ir recogiendo los parachoques necesarios en su kitting y los entregue en el puesto uno. Esta línea trabaja en flujo PULL; según se van agotando los parachoques fabricados el operario de la línea recogerá los embalajes vacíos y sabrá qué tipo de parachoques tiene que fabricar a continuación. Todo esto permite tener un pequeño buffer a modo de colchón entre la *línea MPM* y la de montaje, y permite fabricar tan sólo lo que se necesita.

A continuación de la *línea MPM* y el pequeño buffer de parachoques tenemos la línea de montaje unificada con el puesto de punzonado. El puesto uno de la línea de montaje es el que realiza las operaciones de punzonado sobre los suelos y techos, además de sus propias tareas. Este primer puesto recibirá un kitting desde el departamento de logística con todas las piezas que componen el coche a fabricar excepto los suelos y los techos, que ya tiene el propio operario a mano para ir cogiendo uno a uno y realizando los punzonados.

Una vez que el puesto uno finalice todas sus operaciones hará llegar el producto, junto a su kitting correspondiente, al puesto dos para que pueda realizar sus operaciones, siempre y cuando el puesto dos haya acabado las operaciones del coche que estaba montando previamente. Si el puesto siguiente no ha acabado de realizar sus operaciones, el puesto anterior no podrá entregarle el coche y, por tanto, la cadena se parará hasta que ese puesto finalice.

Esto mismo ocurrirá del puesto dos al tres y así sucesivamente hasta llegar al puesto cinco, el cual una vez tenga el producto terminado lo entregará al puesto de producto terminado; de ahí irá directamente a expediciones, donde el coche será entregado a su correspondiente cliente. Existe un máximo de dos coches terminados al final de la línea, por lo que, en cuanto haya dos coches, si queremos entregar un tercero y el cliente aún no ha recogido el suyo, la cadena se parará indicándonos que hay algo que estamos haciendo mal. Si ocurre esto, nos estaría indicando, por ejemplo, que estamos produciendo muy rápido y que, por tanto, existe la posibilidad de eliminar un puesto de trabajo con su correspondiente operario.

En cuanto a las operaciones del departamento de logística, cabe indicar que tan sólo trabajará un operario, cuyo trabajo consiste en preparar los kitting de los vehículos que van a entrar en la cadena de montaje gracias a que conoce la programación de la producción. Este operario irá recorriendo el almacén POE de un extremo al otro preparando el kitting. De ahí irá a la estantería de rodillos donde se encuentran los parachoques para después llegar a la zona de entrega del kitting, donde colocará la matrícula correspondiente y dejará el kitting a la espera de que el operario del puesto uno lo coja. Seguidamente, el operario de logística irá al puesto

cinco donde recogerá el kitting vacío para volver a empezar su recorrido. Este flujo lo realizará repetidamente por cada coche que fabriquemos. Cada vez que pasa por la estantería de rodillos deberá fijarse en que el operario uno aún tiene techos suficientes; en el caso de que se estén agotando deberá coger un embalaje del almacén de materia prima de techos y entregárselo en la estantería de rodillos.

3.4 Descripción de los puestos de trabajo y el almacén

Definidas las diferentes zonas de la Escuela Lean en la que se va a llevar a cabo el proceso de fabricación, se necesita explicar en detalle el funcionamiento de cada una de estas áreas. Se indicarán las funciones y operaciones que se realizan tanto en el almacén a la hora de preparar los kittings como los distintos puestos de trabajo.

El proceso de fabricación mediante un flujo One Piece Flow comienza recepcionando las órdenes de fabricación. El responsable de logística recogerá estas órdenes que le indicarán el tipo de vehículo que se debe montar en la línea; estas órdenes serán del tipo: MNO, MNC, MTO, MTC, PNO, PNC, PTO, PTC. Con esta información el logístico irá al almacén colocado junto a la línea de trabajo y configurará los *kittings*. Estos *kittings* son cajas de preparación de pedidos que se componen del conjunto de piezas que forman el vehículo. En el almacén las piezas están colocadas de tal forma que el logístico no pueda perderse buscando los elementos que necesita. En la Figura 3.14 se muestra un croquis de la colocación de las piezas en el almacén.



Figura 3.14.- Croquis con la ubicación de piezas en el almacén

Para facilitar la configuración de los kittings, el logístico lleva en un carro transportador la caja del kitting, como se observa en la Figura 3.15.



Figura 3.15.- Cajakitting

Una vez que el responsable de logística coge todas las piezas del almacén continuará *al puesto de punzonado*. En este puesto debe coger la pieza de techo que corresponda al kitting y deberá construir la placa de orden de producción y diversidad. La Figura 3.16 muestra cómo están colocadas estas placas en la línea.

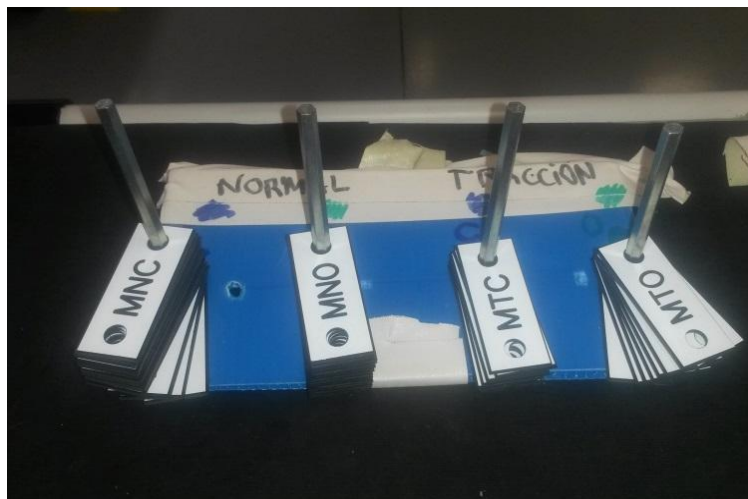


Figura 3.16.- Placas de matrícula

A continuación, la Figura 3.17 muestra la configuración final del kitting que se introduce en la línea de producción.



Figura 3.17.- kitting

La manera de trabajar en las estaciones de trabajo depende de la secuencia de fabricación. Ésta viene dada por el Jefe de la Unidad de trabajo de fabricación (JU), que es la persona encargada de informar a los operarios de las funciones que tienen que realizar en cada puesto. Para evitar errores y facilitar el trabajo se crean previamente *Hojas de operaciones*; en estas hojas se detalla paso a paso todas las operaciones que se han de realizar en el puesto de trabajo.

Las fichas de puestos constan de diferentes apartados. En primer lugar, se indica el *número* de operación. En segundo lugar, se encuentra el apartado *Etapa Principal* donde se especifican las operaciones a realizar; por un lado, se indica el nombre principal de la etapa y, por otro, se detallan las suboperaciones que deben realizarse para llevar a cabo esa etapa (es importante destacar que se incluyen operaciones de fabricación y de calidad para conseguir un perfecto ensamblado de las piezas).

A continuación, se detallan los *Puntos clave*, explicandolos puntos en los que se necesita especial atención; si no se siguen estos pasos correctamente no se obtendrá un correcto montaje del vehículo. También se detallan los *tiempos de montaje*, tanto para el modelo de vehículo monovolumen como para Pick-up. Por último, existe el apartado *Detalles*, en el que se hace referencia a las acciones que es necesario evitar y se facilitan croquis para tener una idea visual del montaje del vehículo, así como las medidas importantes de calidad.

Como se menciona en el apartado anterior, para el modelado de la Escuela Lean con un flujo One Piece Flow se requieren cinco estaciones de trabajo; por tanto, se han realizado cinco *Hojas de operaciones* correspondientes a cada uno de los puestos que pueden consultarse en el *Anexo 3.1*.

Las estaciones de trabajo reciben un producto intermedio de la estación anterior, excepto el primero que recibe el kitting con las piezas del producto correspondiente a montar. Todos los puestos envían su producto al puesto siguiente, salvo el último puesto que envía el producto final a la expedición donde el cliente recogerá su producto.

A continuación se detallan cada uno de los *puestos manuales de fabricación*:

▪ **Puesto 1**

En este puesto se ensamblan las siguientes piezas: el suelo, monovolumen o pick up en función de la demanda; los perfiles L de suelo, derecho e izquierdo; las ruedas, que tendrán diversidad normal o todoterreno; el parachoques delantero; y el salpicadero.

En primer lugar, el operario se desplazará para coger el suelo correspondiente en función del tipo de automóvil a fabricar; lo cogerá de uno de los contenedores donde están almacenados. Una vez tiene la pieza del suelo pasa a la punzonadora para realizar los correspondientes orificios. Se colocará la punzonadora en posición suelo según la diversidad del vehículo a montar, es decir, monovolumen o pick-up.

Una vez punzonado el suelo, el operario volverá a su puesto en la estación de trabajo donde procederá a presentar la pieza sobre una plantilla. Este útil guiará al operario para el montaje de las piezas y evitará posibles defectos de calidad; la Figura 3.18 muestra una imagen de este útil para el ensamblado de piezas en el puesto 1. Posteriormente, se presenta el parachoques delantero sobre la plantilla, se pre-atornillan las ruedas correspondientes al modelo y los perfiles L de suelo en el suelo, tanto el derecho como el izquierdo.



Figura 3.18.- Útil del puesto 1

Para asegurar un correcto ensamblado, como medida de calidad se introducen dos galgas entre las ruedas y los perfiles L de suelo. Esta operación se detalla en la ficha de operación del puesto 1 (Véase Anexo).

Una vez realizada la operación, se extraen las galgas y se procede a pre-atornillar el salpicadero y el parachoques delantero. Se deja el conjunto montado y se desplaza hacia el siguiente puesto a través de los rodillos para posteriormente comenzar a montar el siguiente vehículo demandado.

Este puesto es uno de los más importantes de la Escuela Lean y marca el ritmo de producción del resto de puestos ya que es el primer puesto y se realizan operaciones de punzonado y de ensamblado.

▪ **Puesto 2**

En este puesto se ensamblan las siguientes piezas si el modelo es monovolumen: el asiento delantero, la puerta media derecha, la puerta delantera derecha, la puerta trasera derecha y el perfil L de techo derecho. Si el modelo es pick-up se ensamblan: el asiento delantero, la puerta delantera derecha, el panel trasero derecho y el perfil L de techo derecho pick-up.

El operario recoge el producto intermedio que viene del puesto 1. En primer lugar procede a clipsar con remaches el asiento delantero. Después, dependiendo del modelo de vehículo, tendrá que montar el lateral derecho del vehículo, cuyas operaciones dependerán del tipo de vehículo. Si es monovolumen pre-atornilla la puerta media y monta con remaches la puerta delantera y la puerta trasera, así como el perfil L de techo monovolumen derecho.

En caso de que el modelo de vehículo sea pick-up, el operario pre-atornilla la puerta delantera y el panel trasero derechos pick-up. Para asegurar un correcto ensamblado de las piezas se introduce una cala de 3mm entre las puertas del pick-up. Esta operación se detalla en la ficha de operación del puesto 2 (*Véase Anexo*). Posteriormente, se atornilla el perfil L de techo Pick-up derecho. Finalmente, se extrae la cala de 3mm colocada entre las puertas y se deja el producto montando en los rodillos para que pase al siguiente puesto.

Este puesto tiene diferentes tiempos de montaje, dependiendo del modelo de vehículo a montar; en concreto, un monovolumen tiene un tiempo de ciclo de montaje mayor que un pick-up.

▪ **Puesto 3**

En este puesto se ensamblan las siguientes piezas si el modelo es monovolumen: los asientos traseros, la puerta media izquierda, la puerta delantera izquierda, la puerta trasera izquierda y el perfil L de techo izquierdo. Si el modelo es pick-up se ensamblan: la puerta delantera izquierda, el panel trasero izquierda y el perfil L de techo izquierdo pick-up.

El operario recoge el producto intermedio que viene del puesto 2. En primer lugar, procede a clipsar con remaches el asiento delantero. Después, dependiendo del modelo de vehículo, tendrá que montar el lateral izquierdo del vehículo. Así, si es monovolumen: pre-atornilla la puerta media y monta con remaches la puerta delantera y la puerta trasera; posteriormente, pre-fija los asientos traseros y ensambla con remaches el perfil L de techo monovolumen izquierdo. En caso de que el modelo de vehículo sea pick-up el operario pre-atornilla la puerta delantera y el panel trasero izquierdos pick-up.

Para asegurar un correcto ensamblado de las piezas se introduce una cala de 3mm entre las puertas del pick-up. Esta operación se detalla en la ficha de operación del puesto 3 (*Véase Anexo*). Posteriormente, se atornilla el perfil L de techo Pick-up izquierdo, se extrae la cala de 3mm colocada entre las puertas y se deja el producto montando en los rodillos para que pase al puesto siguiente.

▪ **Puesto 4**

En este puesto se ensamblan las siguientes piezas si el modelo es monovolumen: el parachoques trasero, el parachoques delantero, los asientos traseros, el tubo de escape, las arandelas y los aislantes. Si el modelo es pick-up se montan los mismos elementos excepto los asientos traseros.

El operario recoge el producto intermedio que viene del puesto 3 y lo coloca en su estación de trabajo. El producto viene con el parachoques delantero pre-atornillado y se atornilla correctamente en este puesto. También se atornilla el parachoques trasero y, a continuación, se procede a pre-atornillar el conjunto de escape que consta de el tubo de escape, los aislantes y las arandelas. Estos elementos pueden observarse en la Figura 3.19.



Figura 3.19.- Tubo de escape, aislantes y arandelas

Se precisa especial cuidado en el montaje de este conjunto ya que tiene importantes medidas de calidad; estas medidas vienen detalladas en la Hoja de operaciones del puesto 4 (*Véase anexo*). Por último, una vez colocado el conjunto se procede al atornillado final y se obtiene una imagen como la que se puede observar en la Figura 3.20.



Figura 3.20.- Montaje tubo de escape

Por último, se desplaza el producto en curso al siguiente puesto para que continúe el flujo One piece Flow.

▪ **Puesto 5**

En este puesto se ensamblan los siguientes elementos: la puerta media izquierda, el perfil L de techo izquierdo de monovolumen, la puerta media derecha, el perfil L derecho del monovolumen, el capó, el techo de monovolumen, el maletero y el techo pick-up.

Casi todos los elementos vienen pre-atornillados y en este puesto se realiza el ensamblado final de todos ellos. En primer lugar, se atornilla la puerta media izquierda en el perfil L de Suelo izquierdo de monovolumen utilizando una cala de 3mm para asegurar la calidad; esta medida se puede observar detalladamente en la Hoja de Operaciones del puesto 5 (Véase Anexo). Después, se atornilla el perfil L de techo izquierdo de monovolumen. Para poder seguir atornillando se realiza un giro de 180º del producto en curso y se atornilla la puerta media derecha en el perfil L de suelo derecho y también se atornilla el perfil L de techo derecho de monovolumen.

Las últimas piezas a montar con remaches son el capó, el techo de monovolumen, el maletero y el techo pick-up. Para realizar el ensamblado correctamente es necesario seguir las indicaciones de la Hoja de operaciones del puesto 5 (Véase Anexo). Por último, el producto terminado se deja en el stock de salida de línea y finalmente llega a la expedición donde el cliente recoge su producto final. En la Figura 3.21 se muestra una imagen de la línea de fabricación, de los puesto 1 al 5.



Figura 3.21.- Línea de montaje



En resumen, en la Escuela Lean tenemos, por una parte, la línea de fabricación de piezas semiterminadas donde se fabrican los parachoques necesarios para la producción del taller de montar y, por otra, el taller de fabricación compuesto por un almacén dedicado al almacenaje de elementos y la preparación de pedidos y la línea de ensamblado. Todo el proceso de ensamblado está supervisado en todo momento por el responsable del taller de fabricación que verificará el correcto funcionamiento del proceso.


Es importante destacar que en este capítulo se ha descrito una forma de organización y de producción basada en un flujo One Piece Flow. Puede aplicarse a la fabricación de otros productos modificándola para cada caso particular.

3.4.1 Medidas de calidad

Para obtener una calidad completa en los vehículos ensamblados en la escuela Lean es necesario seguir unas indicaciones. Como se menciona en el apartado anterior, todos los puestos llevan a cabo tareas para evitar posibles defectos de calidad. A continuación, a través de la Tabla 3.5, se detallan todas las medidas de calidad a tener en cuenta:

Tabla 3. 5.- Normas de Control Escuela Lean

Código	Puntos de control	Método de control	Tolerancia y norma	Observaciones
A	Juego entre puerta delantera y puerta media	Pasa/no pasa	Juego $\pm 0,5$ mm	
B	Juego entre puerta trasera y puerta media			
C-D	Juego lateral parachoques y puerta delantera o trasera	Medición con regla	Juego repartido entre los 2 lados con una diferencia ≤ 1 mm	
E	Afloramiento puertas/suelo	Medición con regla	Afloramiento $0 \pm 0,5$ mm	
F	Afloramiento capó o maletero/techo	Medición con regla	Afloramiento $\leq 0,5$ mm	
G	Afloramiento capó/puerta delantera	Medición con regla	Afloramiento ≤ 1 mm	
H	Afloramiento maletero/puerta trasera	Medición con regla	Afloramiento ≤ 1 mm	
I	Juego entre puertas y suelo/techo	Medición con regla	Afloramiento $\leq 0,5$ mm	
J	Salida del tubo de escape	Pasa/no pasa	Sobrepaso paragolpes trasero $\leq 8 \pm 1$ mm	
K	Arandela especial	Control visual y medición con regla	Aislante dentro de la periferia arandela y superposición ≤ 1 mm	

L	Posición de las ruedas	Útil de control paralelismo	Entre interior de ruedas $215,5 \pm 0,5$ mm	
M	Par de apriete tornillos M6	Manual/ Dinamométrica	$3,8 \text{ Nm} \pm 0,8 \text{ Nm}$	
N	Par de apriete tornillos M8 (ruedas)	Manual/ Dinamométrica	$\pm 1,2 \text{ Nm}$	
O	Especificaciones	Control visual (Modelo, tornillos, remaches, parachoques, arandelas, asientos,...)		

Cada medida de control tiene un *código* referenciado con letras para poder identificarlos fácilmente. Cada código se corresponde con un *punto de control*; aquí se detallan todos los lugares donde hay que poner especial atención al llevar a cabo el ensamblado. Existen diferentes tipos defectos de calidad como: el juego entre dos elementos, el afloramiento o el apriete para que los elementos queden correctamente posicionados. Como medida preventiva se utilizan *métodos de control* para evitar todos estos defectos y se llevan a cabo mediante la utilización de elementos exteriores; por ejemplo, para evitar el juego entre puertas se utilizan un útil de pasa/no pasa, mientras que para detectar los afloramientos se utiliza una regla y para otros controles simplemente se utiliza el control visual.

Para tener una idea del conjunto de los puntos de control a tener en cuenta en los vehículos, se adjunta la Figura 3.22, donde podemos observar todos los códigos mencionados anteriormente.

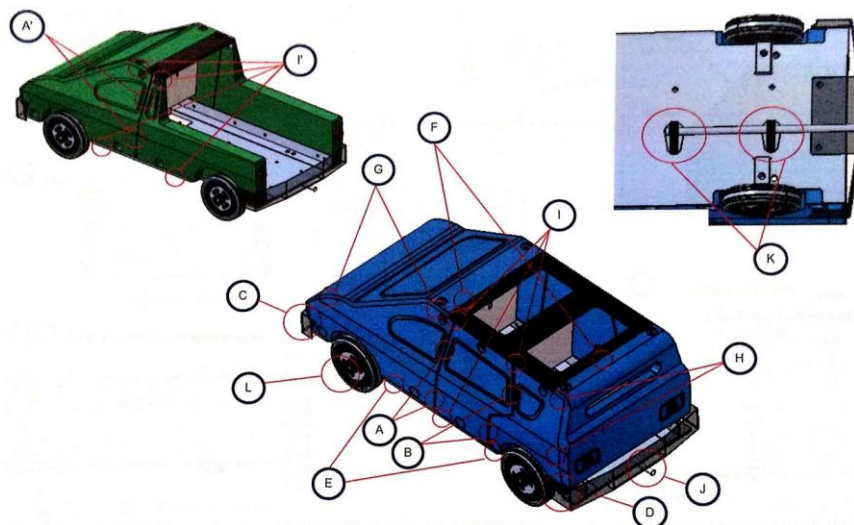


Figura 3.22.- Puntos de control

Y en las Figuras 3.23 y 3.24 se observa el conjunto del control final de los juegos y afloramientos a tener en cuenta.

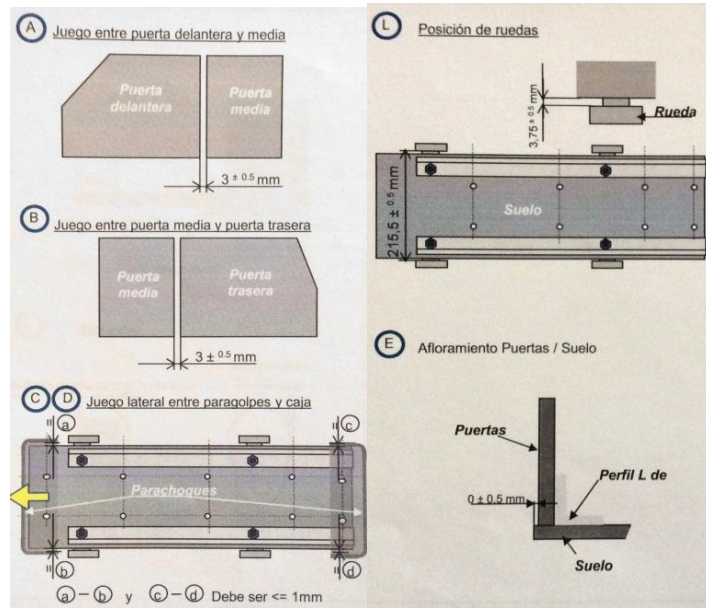


Figura 3.23.- Puntos A, B, C, D, L y E

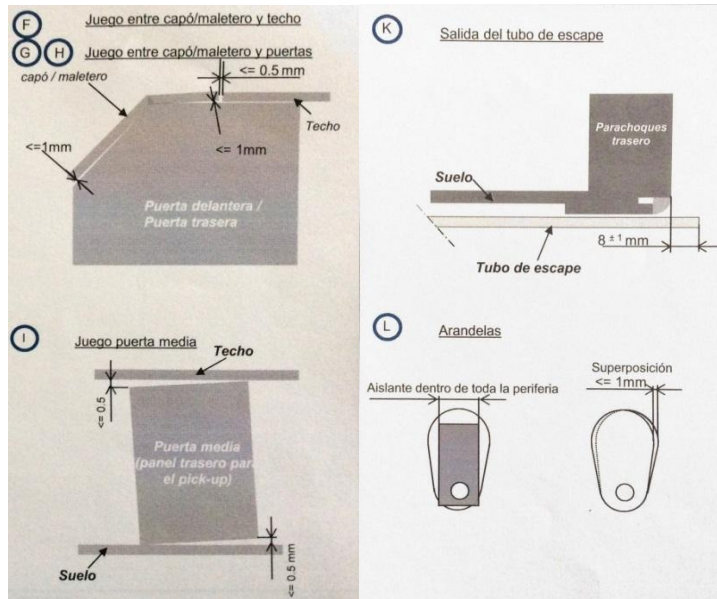


Figura 3.24.- Puntos F, G, H, I, K y L

Cabe destacar la importancia de las medidas de calidad, puntos clave en el proceso de fabricación del producto; no sólo es necesario producir respecto al tiempo de producción marcado, sino que también es importante entregar los productos terminados en condiciones óptimas y que satisfagan las necesidades del cliente.

Capítulo IV: Construcción de un Modelo Parametrizable de la Escuela Lean mediante Witness: One Piece Flow

4.1. Introducción

La forma de modelar un sistema real depende de una serie de factores; sin embargo, el objetivo principal consiste en realizarlo de forma que se consiga simular con mayor exactitud el modo de funcionamiento del sistema real.

El modelo de la línea de montaje con flujo “*One Piece flow*” se ha realizado de igual forma en la realidad: por un lado, se ha modelado el almacén de piezas necesarias para la fabricación del producto y, por otro, la línea de montaje integrando el puesto de punzonado. Además, ha sido necesario hacer modificaciones a la línea de parachoques para conseguir finalmente una cadena de montaje completa en forma de “U”.

La Figura 4.1 muestra una imagen de la vista general de la simulación, donde pueden diferenciarse las distintas zonas del modelo.

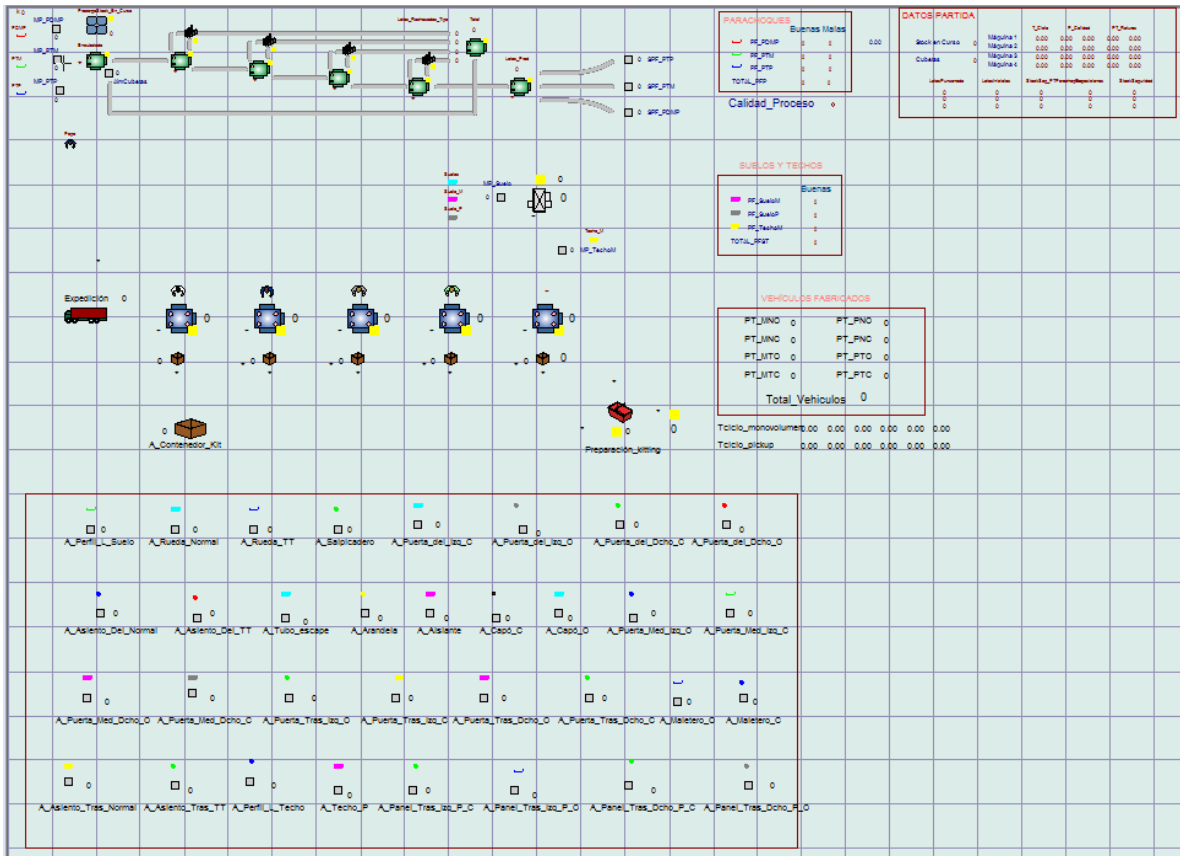


Figura 4. 1. Vista general del modelo en Witness

4.2. Almacén

En primer lugar, se detalla la distribución del almacén en el modelado y sus componentes. El almacén está compuesto por una gran cantidad de elementos, principalmente parts, que son las piezas con las que se fabrican los productos, y buffers que constituyen los contenedores donde se almacenan las piezas. En total, existen treinta y tres parts con sus treinta y tres buffers correspondientes, como puede observarse en la Figura 4.2.

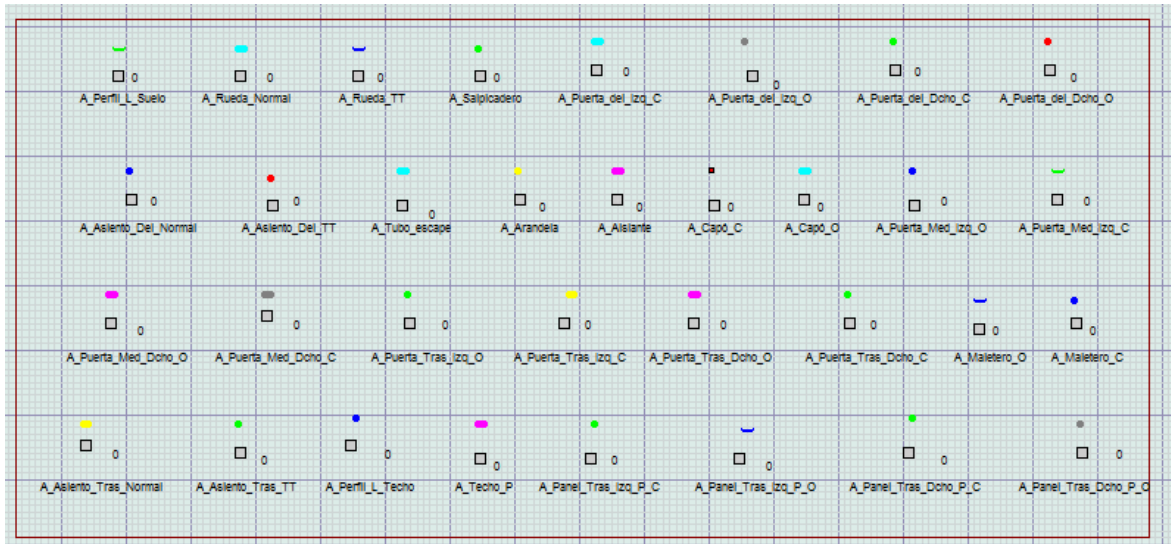


Figura 4. 2. Vista del almacén de piezas del modelo en Witness

Es necesario detallar todos los elementos que componen el modelo de simulación en Witness. Por ello, a continuación se detallan el modelado de las piezas y de los almacenes.

4.2.1 Modelado de las Piezas (parts)

En este modelo se fabrican vehículos de diferentes características, concretamente ocho, y para ello se ensamblan piezas en las diferentes máquinas hasta obtener el producto final. Estas piezas son representadas a través de parts y en el modelo existe un part diferente para cada pieza.

En la Tabla 4.1 se detallan las piezas necesarias para modelar este sistema y sus características dentro del software. Además, se muestra el stock de seguridad (número de piezas) que debe haber en cada contenedor para que pueda realizarse la simulación.

Tabla 4. 6. Piezas de Montaje

Pieza (Part)	Características	Stock Seguridad (Nºpiezas)
Perfil_L_Suelo	Pasiva	4
Puerta_Normal	Pasiva	4
Puerta_TT	Pasiva	5
Salpicadero	Pasiva	7
Puerta_del_Izq_C	Pasiva	4

Puerta_del_Izq_O	Pasiva	5
Puerta_del_Dcho_C	Pasiva	6
Puerta_del_Dcho_O	Pasiva	8
Asiento_Del_Normal	Pasiva	8
Asiento_Del_TT	Pasiva	4
Tubo_Escape	Pasiva	5
Arandela	Pasiva	5
Aislante	Pasiva	9
Capó_C	Pasiva	6
Capó_O	Pasiva	5
Puerta_Med_Izq_C	Pasiva	5
Puerta_Med_Izq_O	Pasiva	8
Puerta_Med_Dcho_C	Pasiva	7
Puerta_Med_Dcho_O	Pasiva	4
Puerta_Tras_Izq_O	Pasiva	4
Puerta_Tras_Izq_C	Pasiva	5
Puerta_Tras_Dcho_O	Pasiva	4
Puerta_Tras_Dcho_C	Pasiva	7
Maletero_O	Pasiva	5
Maletero_C	Pasiva	4
Asiento_Tras_Normal	Pasiva	4
Adiento_Tras_TT	Pasiva	6
Perfil_L_Techo	Pasiva	6
Techo_P	Pasiva	5
Panel_Tras_Izq_P_O	Pasiva	4
Panel_Tras_Izq_P_C	Pasiva	9
Panel_Tras_Dcho_P_O	Pasiva	9
Panel_Tras_Dcho_P_C	Pasiva	5

Todas las piezas son definidas como pasivas, de forma que son otros los elementos que las introducen en el modelo. Por tanto, lo único que se debe establecer es su display, el cual representamos como se muestra en la Figura 4.3.

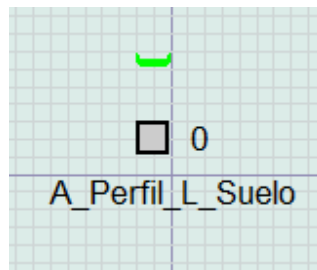


Figura 4. 3. Display del part

A continuación, en la Figura 4.4, se muestra la ventana de configuración de una de las piezas, Perfil L Suelo; esta ventana es similar para el resto de los casos.

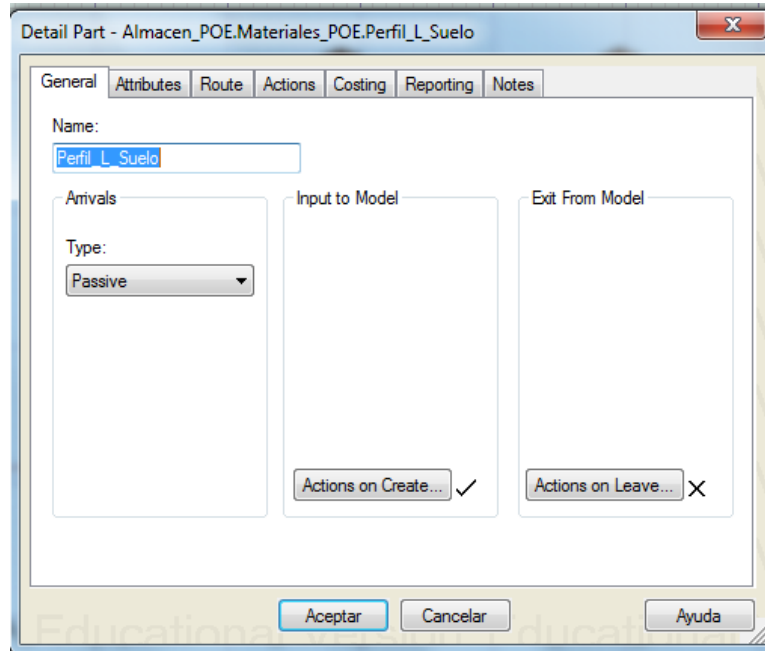


Figura 4. 4. Detailing del part

Se diferencia entre piezas activas y pasivas. Todas las piezas son almacenadas en un almacén de piezas de origen exterior.

4.2.2 Modelado de los almacenes (buffers)

Como se menciona anteriormente, cada tipo de pieza tiene asociado un contenedor, los cuales se corresponden con los buffers en la simulación. Estos elementos tienen una capacidad máxima y un stock de seguridad, de manera que cuando el buffer llegue a su capacidad máxima no podrán almacenarse más parts y cuando llegue al stock de seguridad asignado a esa pieza el buffer tendrá que ser alimentado.

Para alimentar los buffers se ha creado una máquina para cada uno de ellos, cuya función es rellenar el contenedor con las piezas. Todas las características mencionadas se detallan en la Tabla 4.2.

Tabla 4. 7. Almacenes

Pieza (Part)	Capacidad	Máquina de alimentación asociada
A_Perfil_L_Suelo	30	X_A_Perfil_L_Suelo
A_Puerta_Normal	30	X_A_Puerta_Normal
A_Puerta_TT	30	X_A_Puerta_TT
A_Salpicadero	30	X_A_Salpicadero
A_Puerta_del_Izq_C	30	X_A_Puerta_del_Izq_C
A_Puerta_del_Izq_O	30	X_A_Puerta_del_Izq_O
A_Puerta_del_Dcho_C	30	X_A_Puerta_del_Dcho_C
A_Puerta_del_Dcho_O	30	X_A_Puerta_del_Dcho_O
A_Asiento_Del_Normal	30	X_A_Asiento_Del_Normal
A_Asiento_Del_TT	30	X_A_Asiento_Del_TT

A_Tubo_Escape	30	X_A_Tubo_Escape
A_Arandela	30	X_A_Arandela
A_Aislante	30	X_A_Aislante
A_Capó_C	30	X_A_Capó_C
A_Capó_O	30	X_A_Capó_O
A_Puerta_Med_Izq_C	30	X_A_Puerta_Med_Izq_C
A_Puerta_Med_Izq_O	30	X_A_Puerta_Med_Izq_O
A_Puerta_Med_Dcho_C	30	X_A_Puerta_Med_Dcho_C
A_Puerta_Med_Dcho_O	30	X_A_Puerta_Med_Dcho_O
A_Puerta_Tras_Izq_O	30	X_A_Puerta_Tras_Izq_O
A_Puerta_Tras_Izq_C	30	X_A_Puerta_Tras_Izq_C
A_Puerta_Tras_Dcho_O	30	X_A_Puerta_Tras_Dcho_O
A_Puerta_Tras_Dcho_C	30	X_A_Puerta_Tras_Dcho_C
A_Maletero_O	30	X_A_Maletero_O
A_Maletero_C	30	X_A_Maletero_C
A_Asiento_Tras_Normal	30	X_A_Asiento_Tras_Normal
A_Asiento_Tras_TT	30	X_A_Asiento_Tras_TT
A_Perfil_L_Techo	30	X_A_Perfil_L_Techo
A_Techo_P	30	X_A_Techo_P
A_Panel_Tras_Izq_P_O	30	X_A_Panel_Tras_Izq_P_O
A_Panel_Tras_Izq_P_C	30	X_A_Panel_Tras_Izq_P_C
A_Panel_Tras_Dcho_P_O	30	X_A_Panel_Tras_Dcho_P_O
A_Panel_Tras_Dcho_P_C	30	X_A_Panel_Tras_Dcho_P_C

La Figura 4.5 muestra el cuadro de configuración de uno de los buffers que se pueden encontrar en el almacén de piezas de origen exterior. En los buffers se debe indicar la capacidad máxima de piezas que puede contener que, como puede verse en este ejemplo, es de 30 unidades.

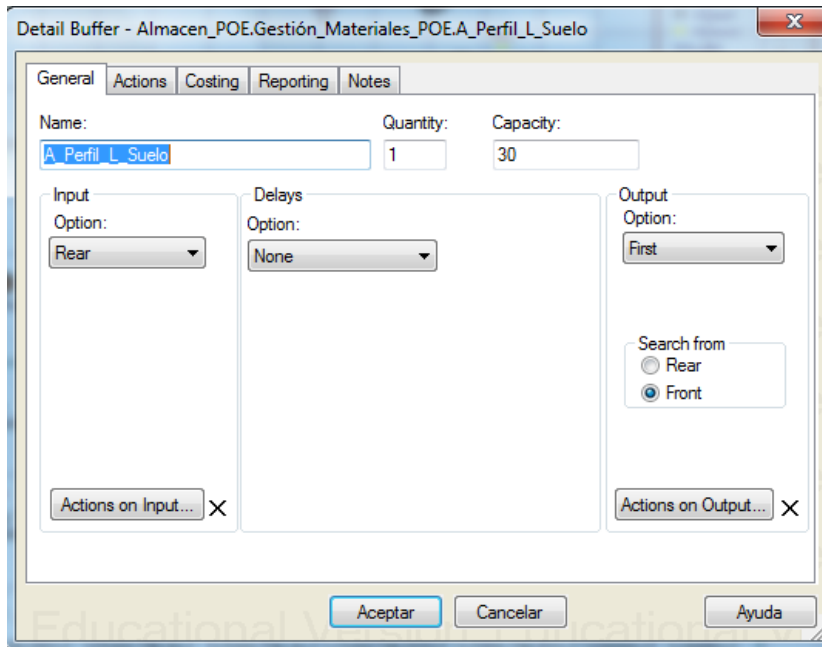


Figura 4. 5. Detailing del buffer

Para que los buffers que componen el almacén se vayan abasteciendo de forma, se utiliza un fichero excel donde se establecen los valores correspondientes al stock de seguridad y a la cantidad a reponer de cada uno de los elementos. Estos datos son leídos por Witness del excel mediante la opción Initialize Actions como muestra la Figura 4.6.

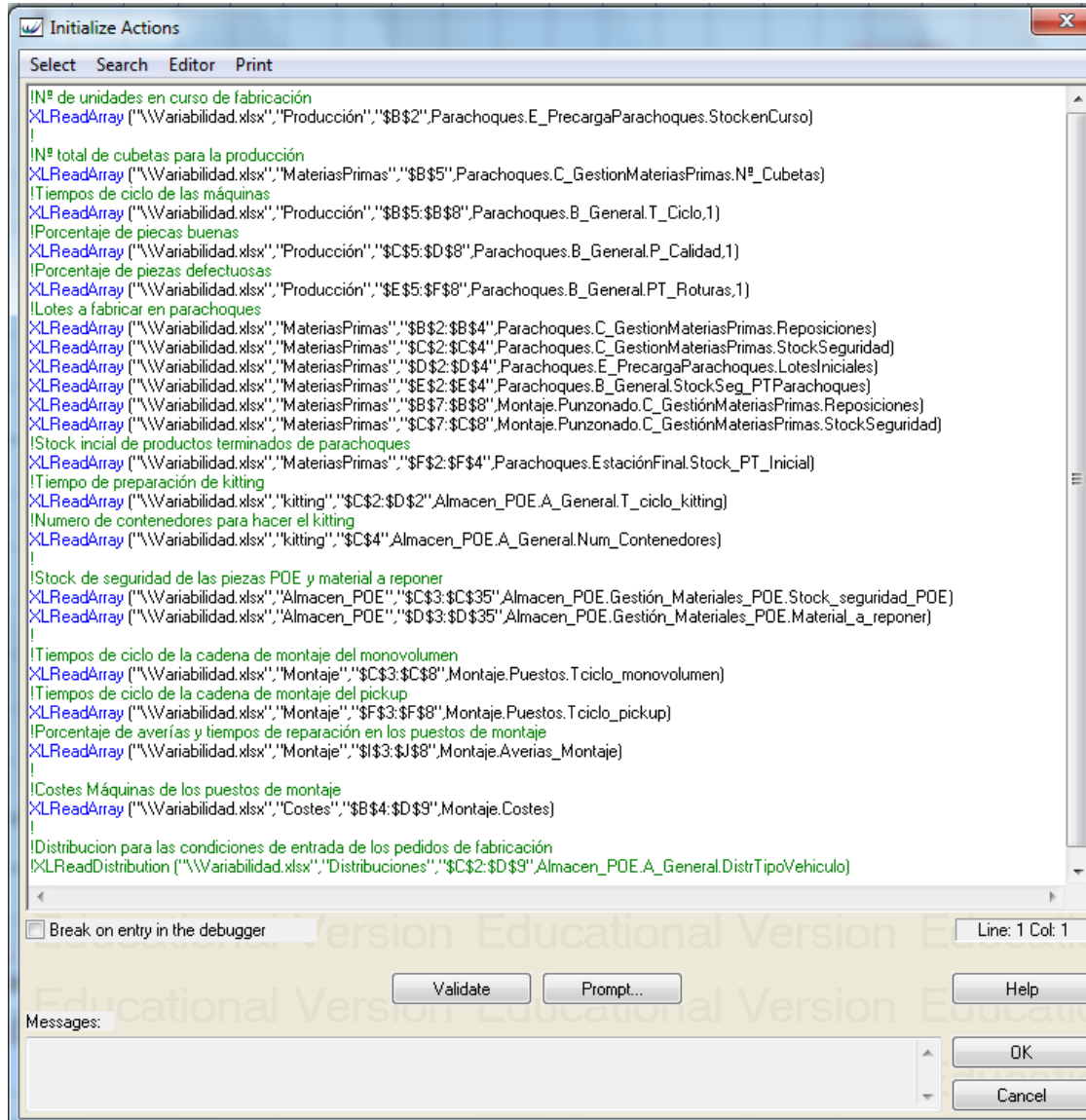


Figura 4. 6. Detailing Initialize Actions

4.3. Línea de montaje

La segunda parte del modelado es la línea de montaje, que está compuesta por una gran variedad de elementos, entre los cuales podemos encontrar: cinco parts, tres buffers, once máquinas, siete almacenes, cinco operarios, variables y atributos. La Figura 4.7 muestra una imagen de la distribución de la simulación.

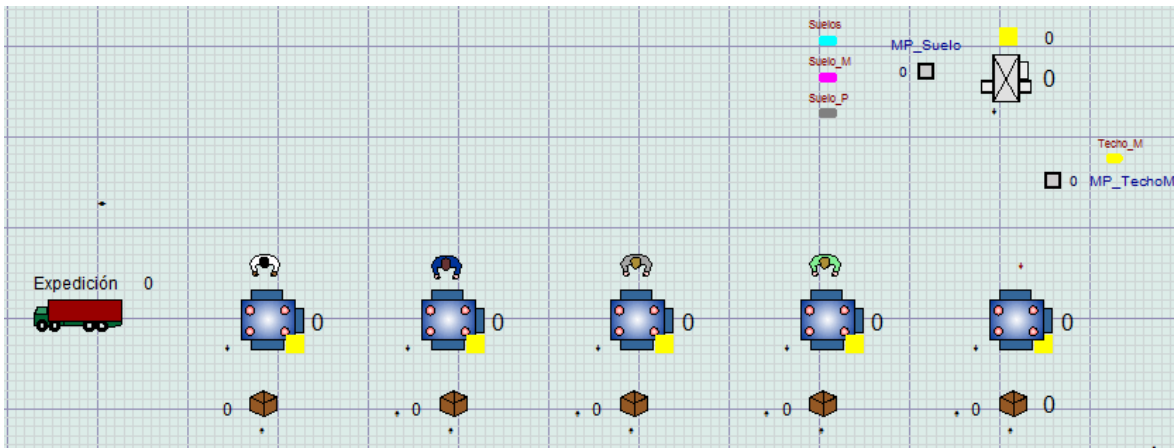


Figura 4. 7. Vista de la línea de montaje del modelo en Witness

A continuación se describirán los aspectos más relevantes de cada uno de los elementos.

4.3.1 Modelado de máquinas

Existen diferentes máquinas dentro del modelo, todas ellas necesarias para un correcto funcionamiento de la simulación. Las máquinas que se encuentran en la simulación son: máquina de órdenes de producción, máquina de preparación de pedidos, máquinas que cogen el kit, máquinas de puestos de montaje, máquina punzonadora y, por último, máquina de entrega del producto final al cliente.

• Máquina de órdenes de producción

Esta máquina es la encargada de transmitir a la línea de montaje las órdenes de producción; en función de la orden emitida se fabricará un vehículo u otro. Como ya hemos mencionado anteriormente, los diferentes tipos de vehículo son: MNO, MNC, MTO, MTC, PNO, PNC, PTO, PTC.

En la simulación estos tipos de vehículo se corresponden con números; la Tabla 4.3. muestra esta relación.

Tabla 4. 8. Tipos de vehículos

Tipo de vehículo	Abreviatura	Número
Monovolumen Normal Oscuro	MNO	1
Monovolumen Normal Claro	MNC	2
Monovolumen Todoterreno Oscuro	MTO	3
Monovolumen Todoterreno Claro	MTC	4
Pick-up Normal Oscuro	PNO	5
Pick-up Normal Claro	PNC	6
Pick-up Todoterreno Oscuro	PTO	7
Pick-up Todoterreno Claro	PTC	8

Esta máquina es de tipo single y tiene un tiempo de ciclo nulo. La entrada de información de la máquina se hace a través de una condición, de manera que las órdenes se transmiten a través de un part que es el part_orden_fab. La Figura 4.8 muestra el Detailing de la máquina de órdenes de producción.

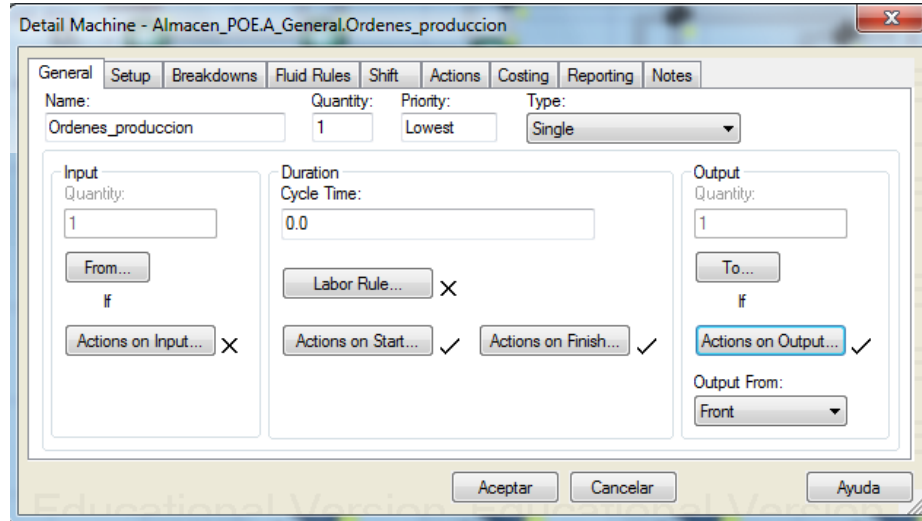


Figura 4. 8. Detailing de la máquina órdenes de producción

La Figura 4.9 muestra el detailing de la pieza part_orden_fab. Es una pieza de tipo pasiva usada para transmitir la información del tipo de vehículo que debe prepararse en la siguiente máquina.

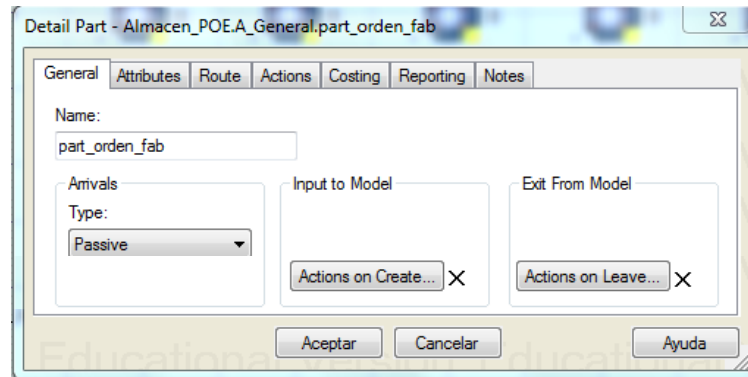


Figura 4. 9. Detailing del Part Orden de fabricación

Al entrar en la máquina, a esta pieza se le asigna un atributo por medio de una función de distribución; el valor de ese atributo lo enviamos a una variable y esa variable será la encargada de transmitir a la máquina de preparación de pedidos cuál es el vehículo que debe fabricarse. Se han creado unas variables que al cambiar de valor nos permiten indicar cuándo debe entrar un nuevo part a la máquina para enviar una nueva orden de fabricación.

En la Figura 4.10 podemos ver las acciones programadas a la entrada de la máquina de órdenes de producción.

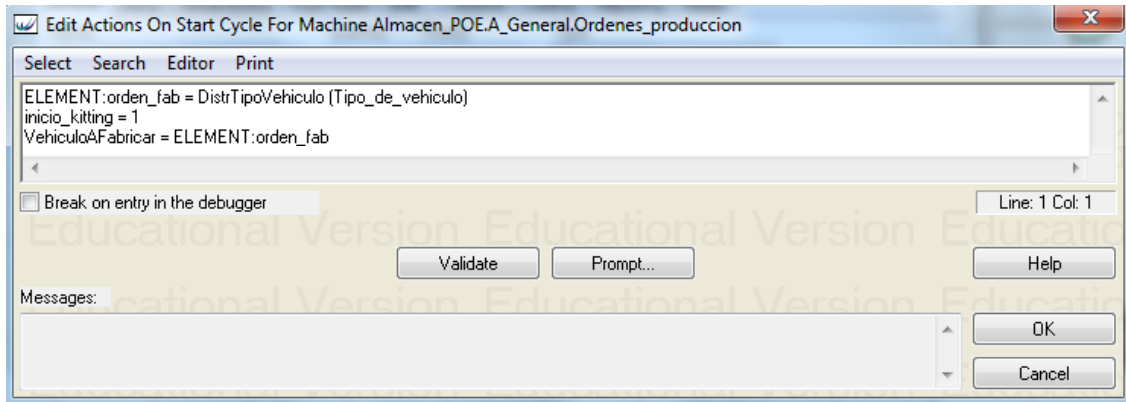


Figura 4. 10. Acciones al empezar

- **Máquina de preparación de pedidos**

El siguiente elemento a definir es la máquina de preparación de pedidos. Es una máquina de tipo Assembly con tiempo de ciclo establecido en función del vehículo a fabricar. Se encarga de coger los parts que forman el vehículo y, al igual que el tiempo de ciclo, el número de parts que la máquina debe coger está definido en las condiciones de Input Quantity en función del tipo de vehículo. El producto a fabricar es el vehículo definido por la máquina de órdenes de producción que acabamos de mencionar anteriormente, que es la encargada de transmitir la información para que pueda configurarse el kit.

La Figura 4.11 muestra el display de la máquina de preparación de pedidos.



Figura 4. 11. Display de la máquina Preparación Kitting

El kit, además de estar formado por las piezas del vehículo, también consta de un contenedor, encargado de transportar las piezas de máquina a máquina a lo largo de la línea de montaje. La entrada de piezas en la máquina se establece a través de una condición: hasta que no se haya enviado el kit al primer puesto de montaje no se podrá comenzar a preparar el siguiente kit. Al acabar el ciclo de la operación la máquina debe esperar a que la maquina de coger el kit del primer puesto tire de él. El conjunto de elementos ensamblados en el kit llevará una variable con la información del tipo de vehículo a fabricar que se irá pasando junto al kit puesto a puesto para no perder la información del vehículos que se está fabricando.

La Figura 4.12 muestra la configuración de la máquina de preparación de pedidos.

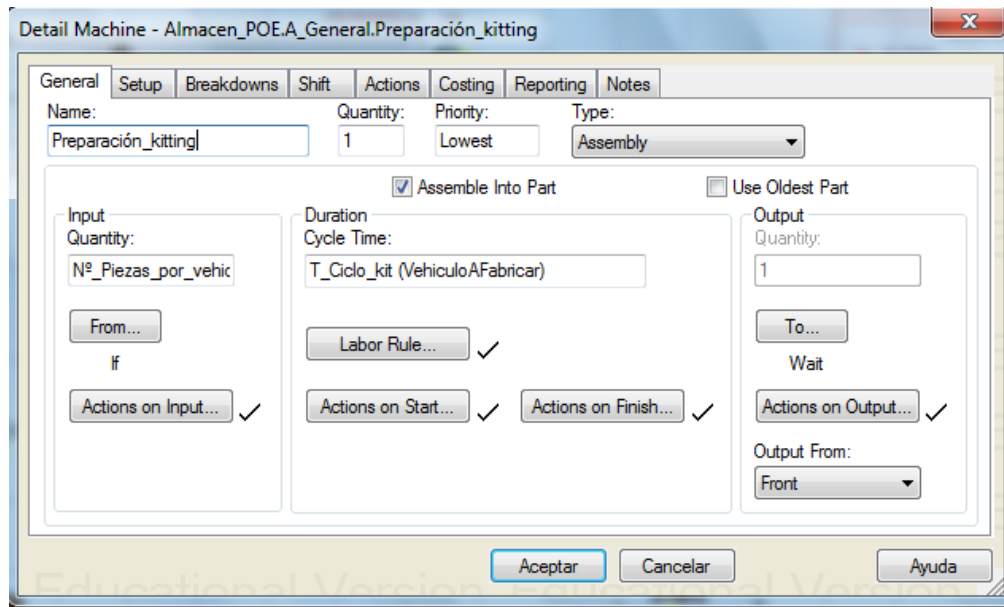


Figura 4. 12. Detailing de la máquina Preparación Kitting

En esta máquina también está definido el operario que trabajará en este puesto (en este caso, el Logístico que se encargará de preparar los kits), así como las acciones de entrada y de salida de la máquina. La Figura 4.13 muestra el detailing del operario asociado a esta máquina.

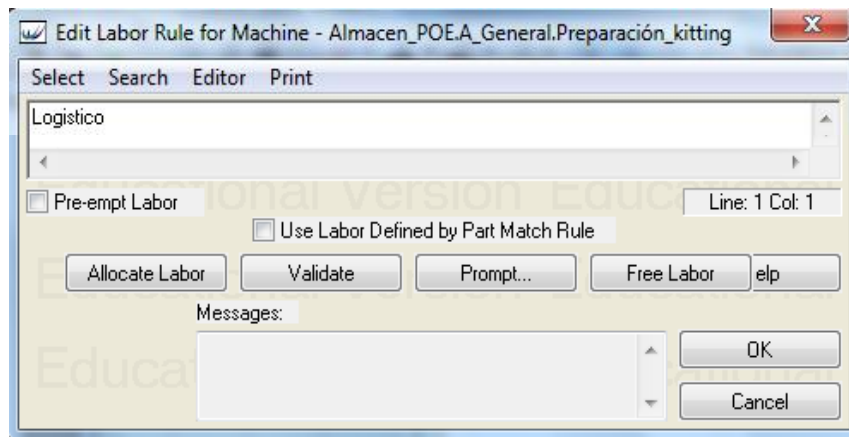


Figura 4. 13. Detailing del Labor Rule

Las órdenes de entrada de esta máquina vienen determinadas a través de condiciones y con acciones de tipo Sequence/Wait. Este tipo de condiciones se muestra en la Figura 4.14, donde se observa como con la acción tipo Sequence se selecciona cada tipo de pieza que compone el kit así como la cantidad de piezas, indicada entre paréntesis; por ejemplo, Perfil_L_Suelo #(2).

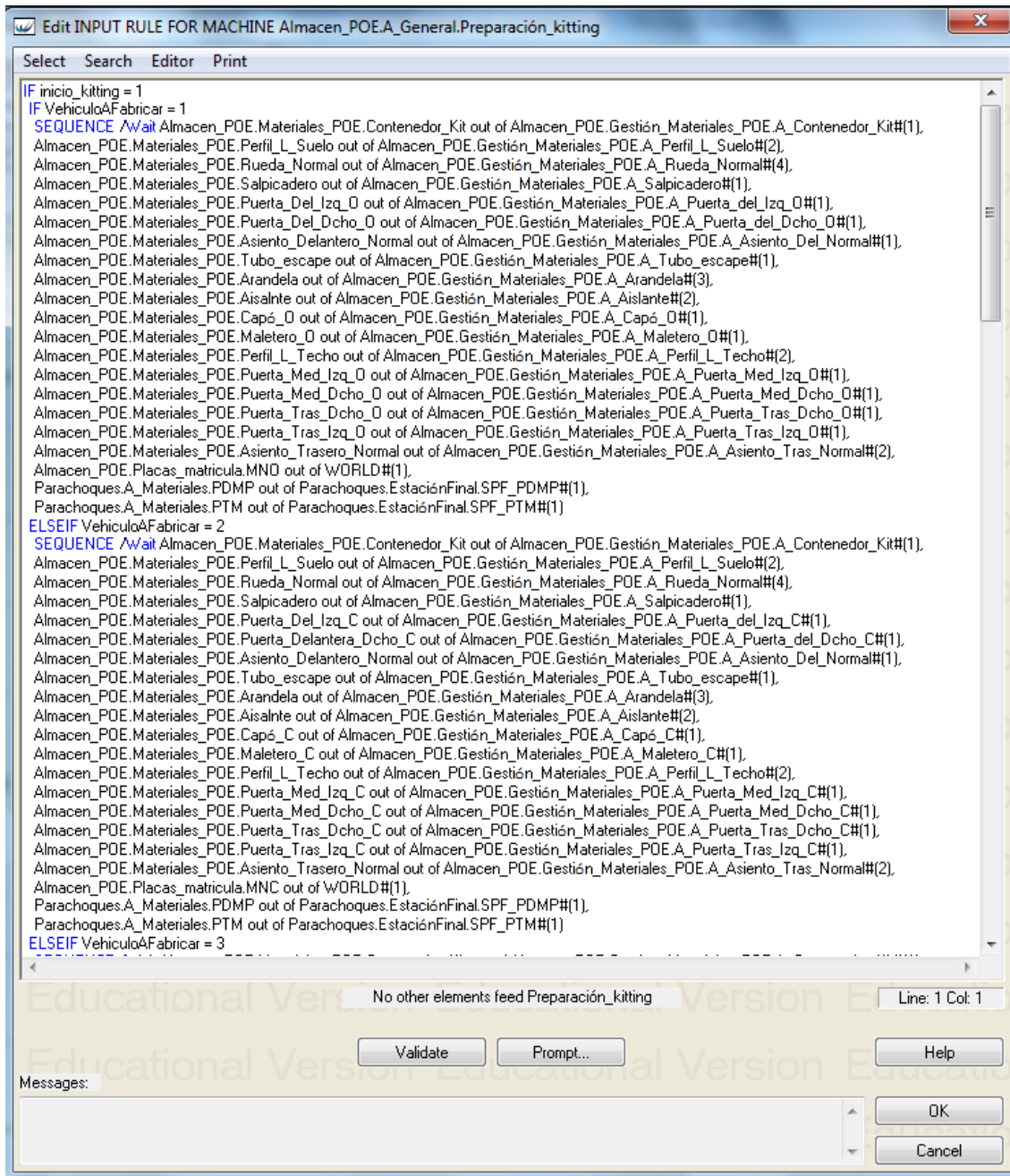


Figura 4. 14. Ordenes de entrada de la Máquina Preparación Kitting

- **Máquinas encargadas de coger el kit**

Es necesario configurar una máquina que recepcione el kit con las piezas; se crearán cinco máquinas de este tipo con las mismas características, una para cada puesto de montaje. Estos elementos se han definido como máquinas de producción y tienen la función de seleccionar las piezas que deben montarse en el puesto. Por ejemplo, la máquina coger el kit 1 seleccionará las piezas que deben montarse en el puesto 1.

Todas las máquinas “coger del kit” cogerán los elementos de la máquina “coger del kit” anterior.

La Figura 4.15 muestra el display de la máquina.

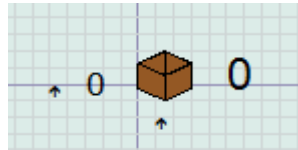


Figura 4. 15. Display de la máquina coger kit

La entrada de elementos de la máquina procede de la máquina de preparación de pedidos y se establece a través de una condición. Al acabar el ciclo de la operación, la máquina debe empujar el conjunto de elementos a las máquinas de montaje. Este kit llevará una variable con la información del tipo de vehículo a fabricar.

La Figura 4.16 muestra el detailing de la máquina que debe coger el kit. La entrada de elementos en la máquina se hace a través de una condición determinada por la regla Pull que indica que debe cogerse el kit de la máquina de preparación de pedidos.

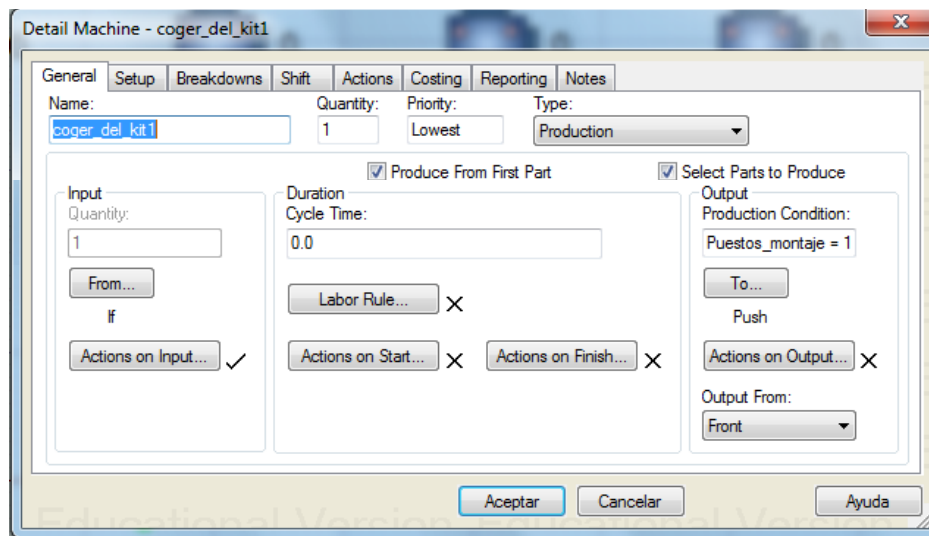


Figura 4. 16. Detailing de la máquina coger kit

Las Figura 4.17 muestra los órdenes de entrada de la máquina coger del kit 1. Por otro lado, en los órdenes de salida de la máquina de coger del kit se determina que la caja donde se transporta el kit debe enviarse a un almacén independiente y ficticio denominado Caja. En la Figura 4.18 se muestra el detailing de los órdenes de salida de esta máquina.

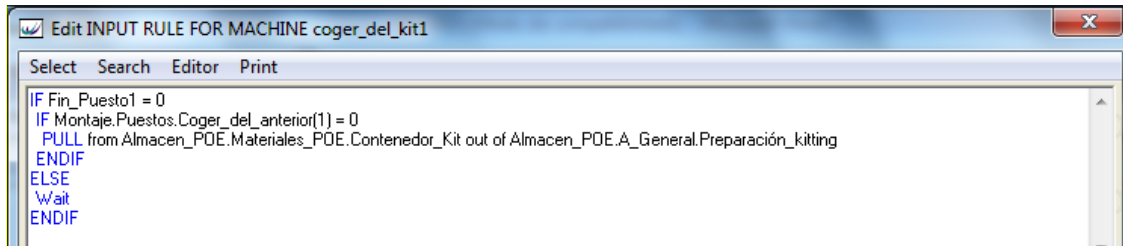


Figura 4. 17. Órdenes de entrada de la máquina coger del kit 1



Figura 4. 18. Órdenes de salida de la máquina coger del kit 1

Las máquinas coger del kit 2, 3, 4 y 5 tienen las mismas características que se han detallado para la máquina coger del kit 1, exceptuando la máquina coger del kit 5, que enviará la caja al almacén de cajas.

- **Máquinas de montaje**

Cada puesto de montaje tiene una máquina de tipo Assembly, que recibe un número determinado de piezas, en función del tipo de vehículo a fabricar, y tendrá un tiempo de ciclo de fabricación diferente, también determinado por el producto que debe ensamblarse. Todos estos datos están definidos en un fichero Excel.

Las condiciones y características son iguales para todos los puestos, excepto para el primero, que tiene alguna función añadida ya que también se encarga del punzonado de techo y suelos. Además, cada máquina de montaje tiene asignado un operario que es la persona que realizará el ensamblado de piezas.

La Figura 4.19 muestra el display de una de las máquinas de montaje.

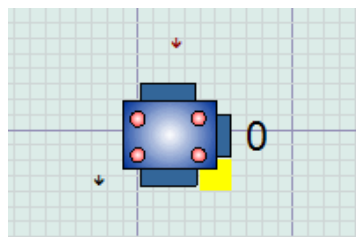


Figura 4. 19. Display de la máquina de montaje

En la Figura 4.20 se detalla la ventana de configuración de la máquina de montaje 1. Conviene aclarar el tipo de órdenes de entrada, el producto intermedio que se obtiene y las órdenes de salida utilizadas en cada máquina de montaje. Todos estos datos se muestran en la Tabla 4.4.

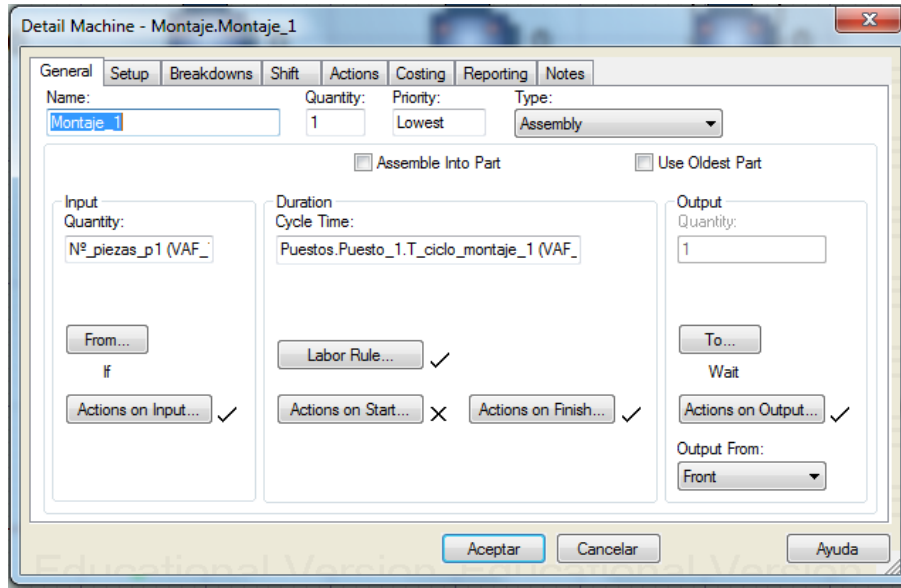


Figura 4. 20. Detailing de la máquina de montaje

Tabla 4. 9. Características de las máquinas de montaje

Máquinas	Orden de entrada	Pieza que se obtiene	Orden de salida
Montaje1	MATCH/CONDITION	Intermedio1	WAIT
Montaje2	PULL	Intermedio2	WAIT
Montaje3	PULL	Intermedio3	WAIT
Montaje4	PULL	Intermedio4	WAIT
Montaje5	PULL	Producto_final	PUSH

A continuación, en la Figura 2.1 se puede observar el cuadro de detalle de las ordenes de entrada a la máquina. Se establece que la regla debe ser de tipo Match/ Condition de forma que se seleccionen todos los elementos si el atributo que llevan esas piezas son Puestos_montaje=1.

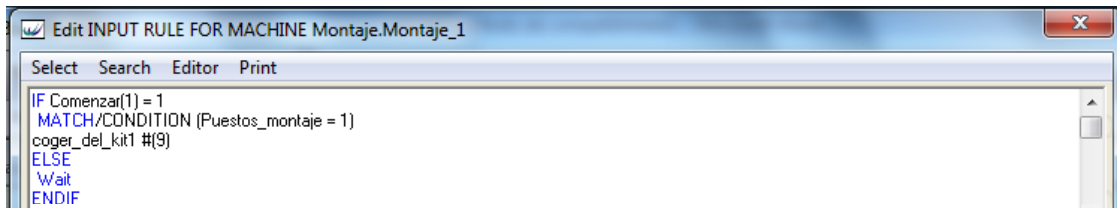


Figura 4. 21. Ordenes de entrada máquina montaje 1

Otra de las características de las máquinas de montaje es que al finalizar las operaciones de ensamblado todas las piezas deben convertirse en un producto intermedio, que será el que pase a la siguiente máquina de montaje para seguir realizando las operaciones necesarias. Este tipo de configuración se puede observar en la Figura 4.22.

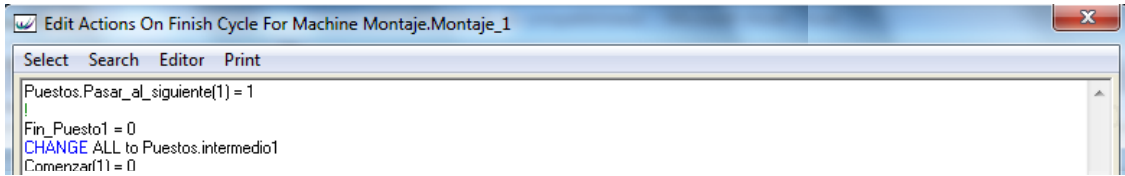


Figura 4. 22. Acciones al finalizar máquina de montaje 1

Para el resto de las máquinas de montaje varía la configuración de las órdenes de entrada a la máquina. La Figura 4.23 muestra que la regla de entrada consiste, simplemente, en coger el producto intermedio de la máquina de montaje anterior.

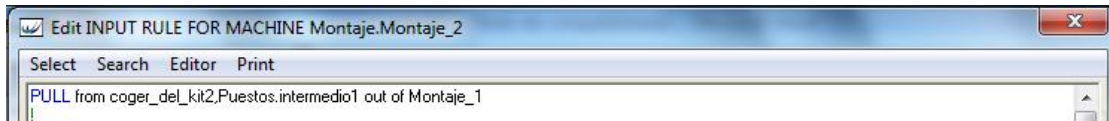


Figura 4. 23. Órdenes de entrada de la máquina de montaje 2

Por último, en la máquina de montaje 5 se obtiene el producto terminado y pasa a un almacén de expedición donde el cliente vendrá a recoger su vehículo. La Figura 4.24 muestra estas características.



Figura 4. 24. Órdenes de salida máquina de montaje 5

En esta última máquina de puestos de montaje se ha configurado un contador para determinar cuántos vehículos y de qué tipo se fabrican. Estos detalles se muestran en la Figura 4.25.

- **Máquina de entrega de producto final al cliente**

Ha sido necesario crear una máquina intermedia de tipo Assembly que realice la entrega del producto final al cliente. Esta máquina cogerá un producto del almacén de expedición, el cual tiene una capacidad máxima de dos elementos, y un cliente de la cola de clientes y los unirá asociando cada uno de los productos finales con un cliente. De esta forma, se considera que el producto ha sido entregado al cliente.

La Figura 4.26 muestra el detailing de la máquina entrega cliente.

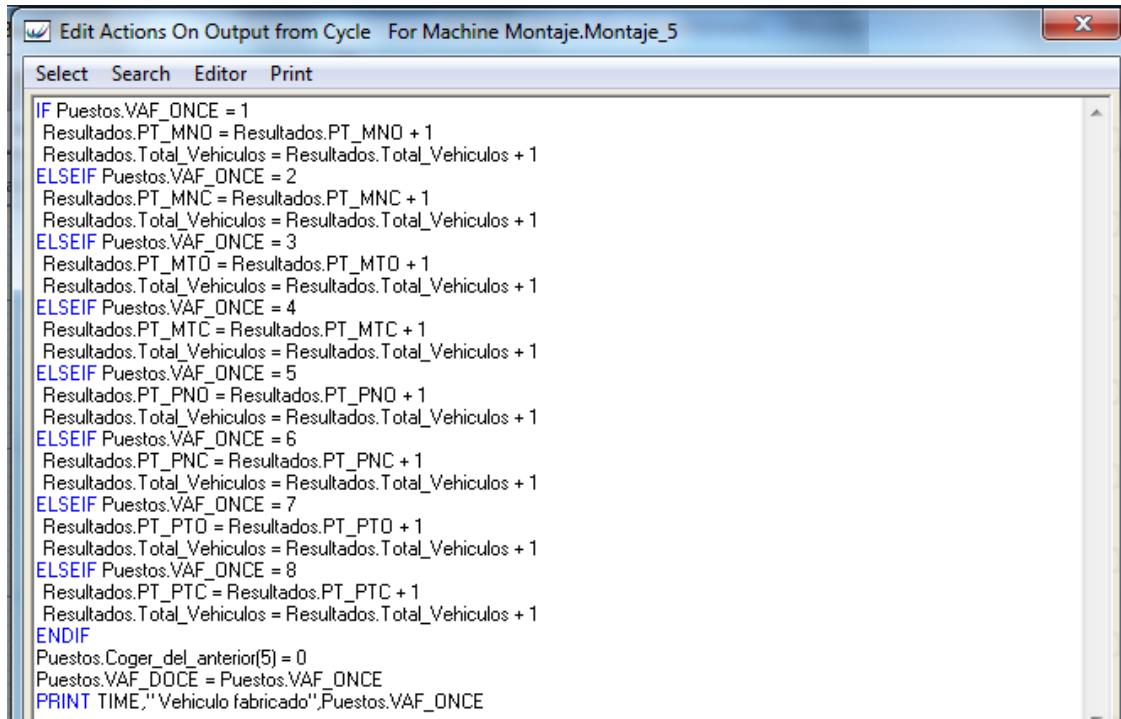


Figura 4. 25. Acciones de salida de la máquina de montaje 5

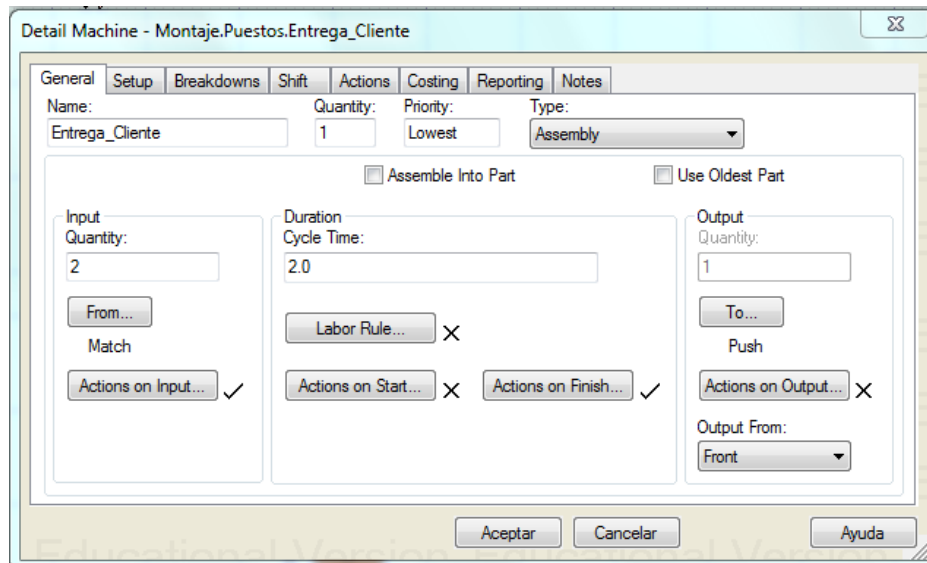


Figura 4. 26. Detailing Máquina Entrega Cliente

- **Máquina de punzado**

Esta máquina forma parte del puesto 1 en la línea de montaje, ya que el operario 1 es el encargado de punzar los elementos que se ensamblan en el puesto 1. Estos elementos son los suelos, tanto para pick-up como para monovolumen, y el techo del monovolumen.

En el puesto 1 existe una zona de punzonado donde se encuentran: las materias primas de suelos y techos, sus almacenes correspondientes y la máquina depunzonado. La Figura 4.27 muestra la zona de punzonado en el modelo de simulación.

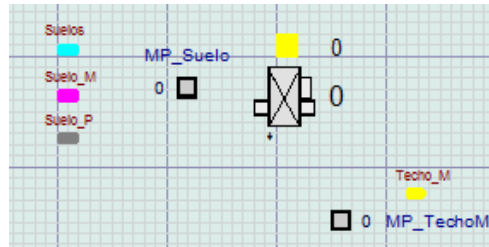


Figura 4. 27. Vista puesto de punzado del modelo en Witness

La máquina punzonadora recibe la información del pedido a ensamblar a través de una variable. Si el vehículo a fabricar es un monovolumen, el operario punzona un suelo monovolumen y un techo monovolumen. En caso de tener que fabricar un vehículo pick-up, el operario únicamente punzará un techo pick-up. Los elementos salen del punzonado una vez que el operario haya terminado la operación y la máquina de montaje 1 coja esas piezas.

Este elemento es una máquina tipo Batch, en la que se define el tiempo de ciclo en función del vehículo a fabricar. La Figura 4.28 muestra el detailing de la máquina de punzonado.

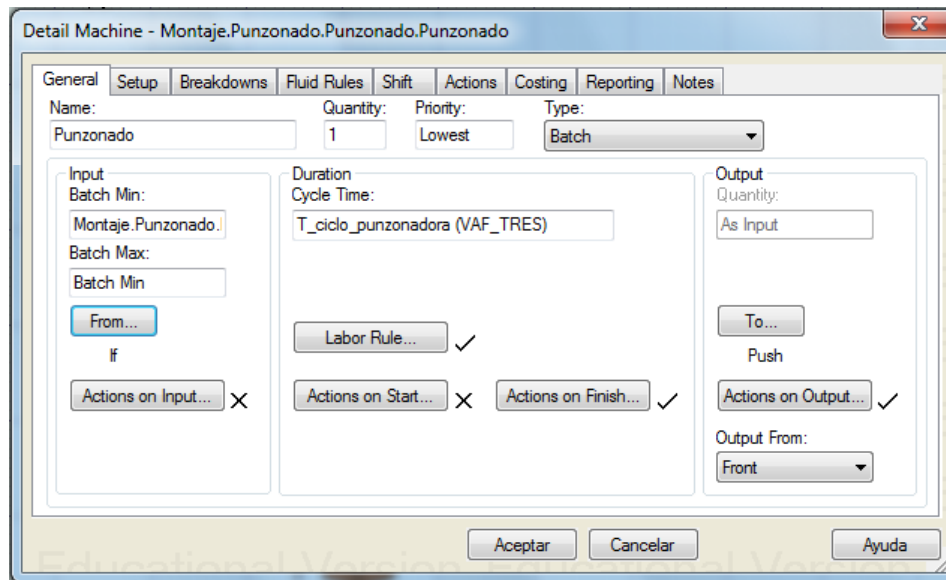


Figura 4. 28. Detailing de la máquina de punzonado

Como se menciona en el apartado anterior, el operario encargado de realizar esta operación es el operario del puesto de montaje 1.

La Figura 4.29 muestra las condiciones de entrada de elementos a la máquina, que se realiza a través de una regla tipo Sequence en la que se seleccionan las diferentes piezas a punzonar dependiendo del vehículo a fabricar, es decir, si es monovolumen o pick up.

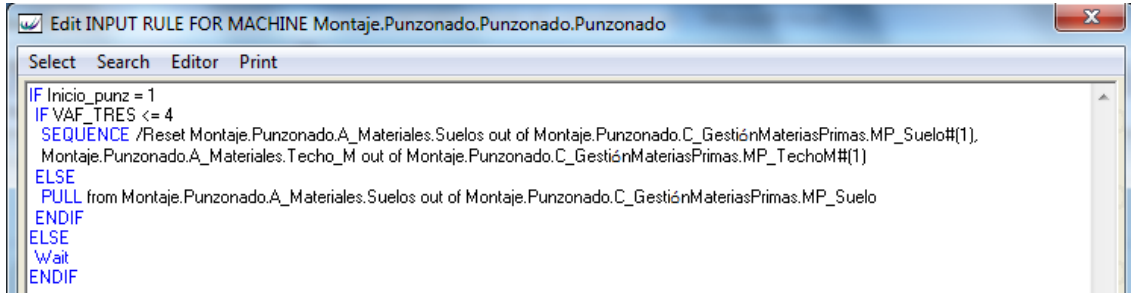


Figura 4. 29. Órdenes de entrada de la máquina de punzonado

Los elementos punzonados son enviados a la máquina de montaje 1 para comenzar a ensamblarlos. La Figura 4.30 muestra las condiciones de salida de esta máquina.

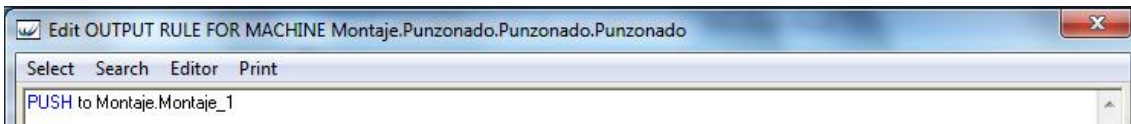


Figura 4. 30. Condiciones de salida de la máquina de punzonado

Al igual que en la última máquina de montaje, la máquina de punzonado también cuenta con un contador que indica qué cantidad de elementos se han punzonado y de qué tipo. La Figura 4.31 detalla estas condiciones.

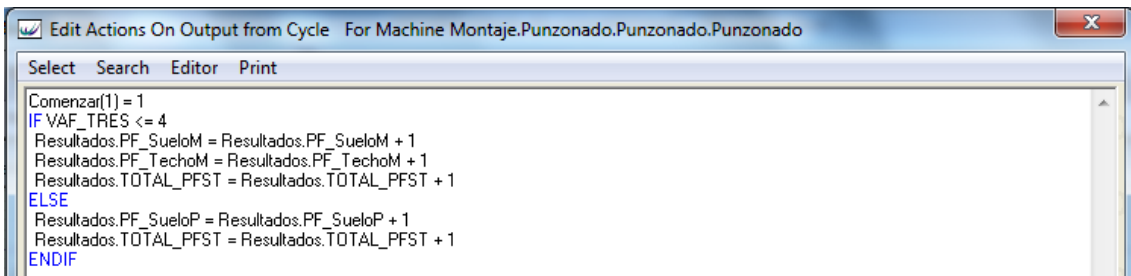


Figura 4. 31. Acciones de salida máquina de punzonado

Mostramos a continuación, en la Tabla 4.5, el resumen de las máquinas:

Tabla 4. 5. Máquinas

Máquina	Tipo orden de entrada	Tipo orden de salida
Máquina órdenes de producción	Pull	Push
Máquina preparación kitting	Sequence/Wait	Wait
Máquinas coger el kit	Pull	Push
Máquinas de montaje		
Máquina de punzonado	Sequence/Reset	Push
Máquina de entrega de producto final al cliente	Pull	Push to ship

4.3.2 Modelado trabajadores

Cada máquina de montaje tiene un trabajador que opera en ella. La Tabla 4.6 detalla la cantidad de trabajadores en el modelo de simulación y el lugar donde operan.

Tabla 4. 6. Trabajadores

Trabajadores	Elemento asociado
Logístico	Almacén
Operario1	Máquina montaje1 y Máquina punzonado
Operario2	Máquina montaje2
Operario3	Máquina montaje3
Operario4	Máquina montaje4
Operario5	Máquina montaje5
Pepe	Parachoques

4.3.3 Modelado de buffers

Dentro de la línea de montaje existen diferentes almacenes: el almacén de expedición y el almacén de contenedores vacíos que transportan las piezas.

- **Almacén de expedición**

Este elemento es el buffer donde se almacenan los productos terminados. Tiene una capacidad máxima de dos elementos, ya que el cliente es el que llega y retira su producto. La Figura 4.32 muestra el display del buffer y la Figura 4.33 el detailing del buffer de expedición.



Figura 4.32. Display buffer expedición

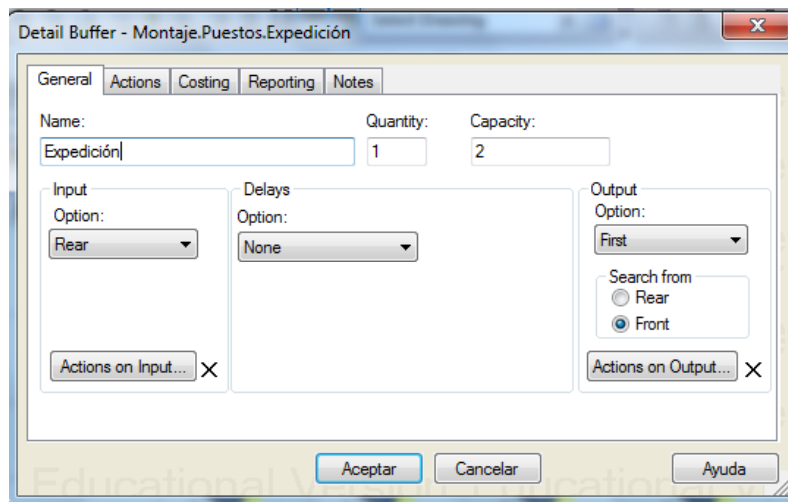


Figura 4.33. Detailing buffer expedición

- **Almacén de contenedores vacíos**

En el modelo existe un buffer donde se almacenan los contenedores vacíos encargados de transportar el kit. Una vez que el producto se fabrica, el contenedor no pasa a la expedición y se lo lleva el cliente, sino que se almacena en este buffer para seguir utilizándolo para preparar pedidos. De esta forma, existe un determinado número fijo de contenedores circulando por la cadena. La Figura 4.34 muestra el display de este buffer.

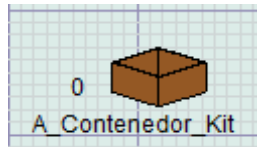


Figura 4.34. Display buffer de contenedores

La Figura 4.35 muestra el detailing del almacén de contenedores vacíos.

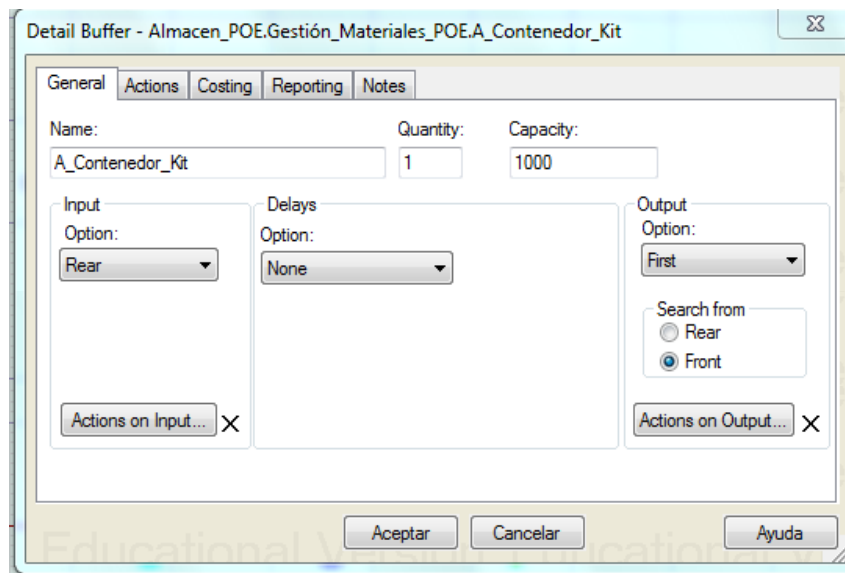


Figura 4.35. Detailing buffer contenedores

En este buffer, entra el contenedor que es un part configurado como muestra la Figura 4.36.

- **Almacén de cajas**

Existen tres almacenes de cajas, que se encuentran entre las máquinas de “coger el kit” y las máquinas de montaje. A estos almacenes va el contenedor que transporta todas las piezas que componen el kit.

La Figura 4.37 muestra la configuración de este tipo de buffer, cuya característica principal es que tienen únicamente capacidad para un elemento.

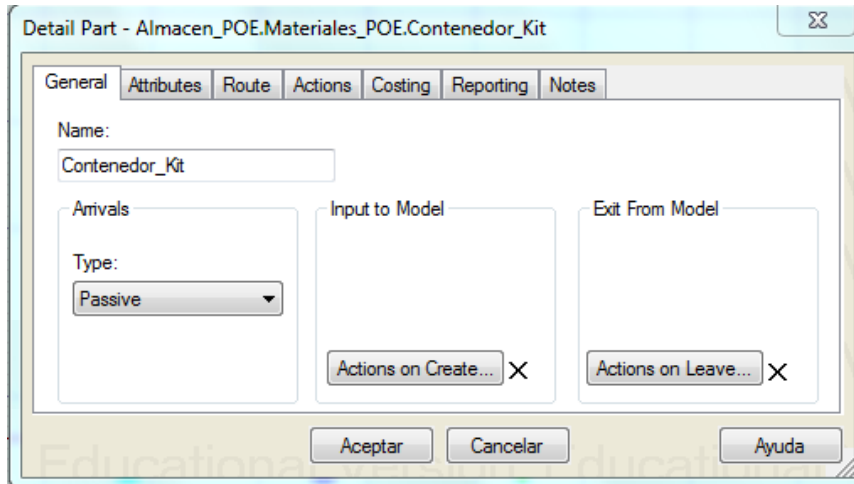


Figura 4.36. Detailing del Part contenedor

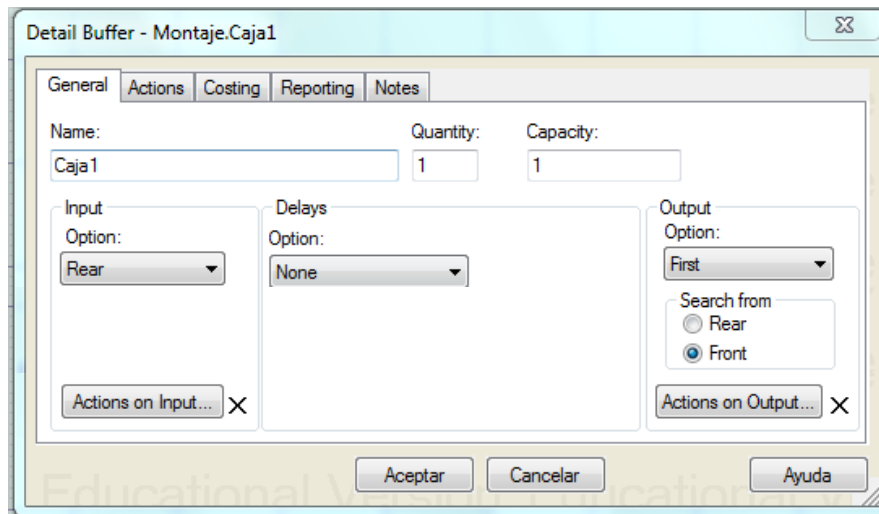


Figura 4.37. Detailing del almacén Caja 1

4.3.4 Modelado de parts

Una vez iniciado el proceso de fabricación de vehículos, cada puesto obtendrá un producto semiterminado que pasará al siguiente puesto para que continúe la fabricación del vehículo ensablado el resto de piezas sobre este producto intermedio. La Tabla 4.7 muestra en detalle el producto intermedio que se obtiene en cada puesto y sus características.

Tabla 4.7. Parts del montaje

Nombre del part	Tipo	Puesto donde se obtiene
Intermedio1	Pasivo	Puesto 1
Intermedio2	Pasivo	Puesto 2
Intermedio3	Pasivo	Puesto 3
Intermedio4	Pasivo	Puesto 4
Producto_terminado	Pasivo	Puesto 5

4.3.5 Modelado cliente

El cliente es el elemento encargado de recoger el producto terminado. El cliente se modela en la simulación a través de un part; la Figura 4.38 muestra el display de este part.

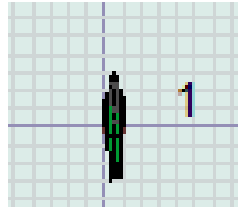


Figura 4.38. Display del Cliente

El cliente llega al final de la línea de montaje para recoger su vehículo. Debido a que la fabricación es un flujo continuo, los clientes van llegando cada dos minutos a por su producto terminado, y cabe la posibilidad de que se genere una cola de espera si se producen retrasos en la cadena de montaje.

Esta cola se ha representado mediante un buffer; de esta forma, en la simulación se representa gráficamente cómo los clientes van llegando a por su producto.

En la Figura 4.39. se observa el detailing del buffer de la cola de clientes.

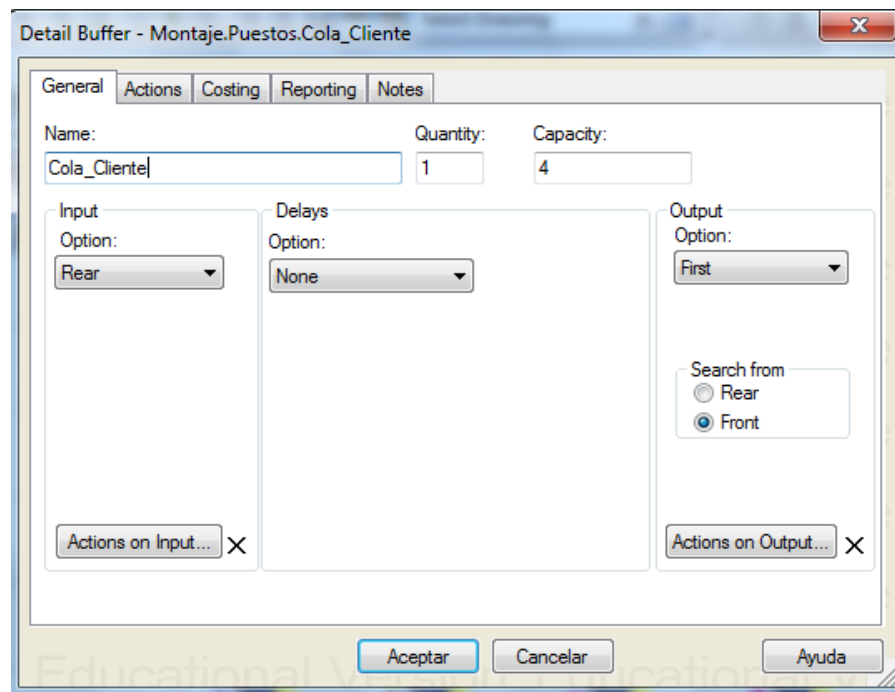


Figura 4.39. Detailing del Buffer Cliente

4.3.6 Distribuciones

Las distribuciones permiten dar variabilidad al modelo introduciendo datos tomados de la realidad. En este caso, se ha utilizado una distribución de tipo entero, cuyos datos se definen en un fichero excel como muestra la Tabla 4.8.

Tabla 4.8. Distribución Tipo Vehículo

Demanda	Tipo vehículo		Porcentaje
9	MNO	1	30,0 %
6	MNC	2	20,0 %
2	MTO	3	6,7 %
3	MTC	4	10,0 %
2	PNO	5	6,7 %
3	PNC	6	10,0 %
3	PTO	7	10,0 %
2	PTC	8	6,7 %

En Witness existe una opción característica para establecer distribuciones. Es una función de distribución que permite insertar los datos de la distribución que queremos simular en Witness. La Figura 4.40 muestra la configuración de la distribución simulada.

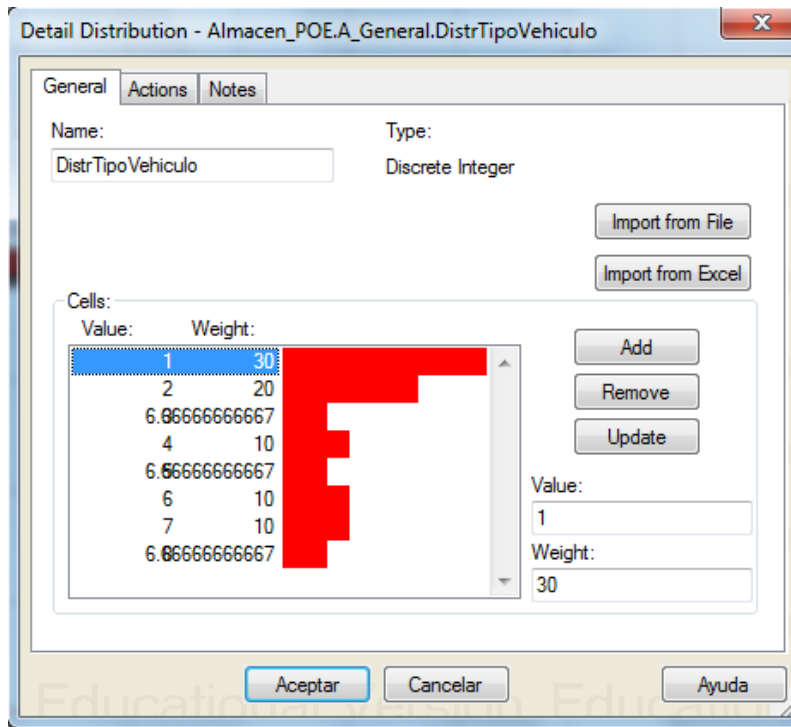


Figura 4.40. Detailing Distribución tipo de vehículo

4.3.7 Horarios/Turnos

Se ha creado un turno denominado “TurnoOnePieceFlow” con el que se trabajará en todos los puestos de la cadena, incluida la cadena de parachoques, ya que lo que se pretende con una fabricación one piece flow es tener un flujo continuo de pieza a pieza fabricando tan sólo lo que demanda el cliente.

En la Figura 4.41 podemos observar el detailing del turno creado.

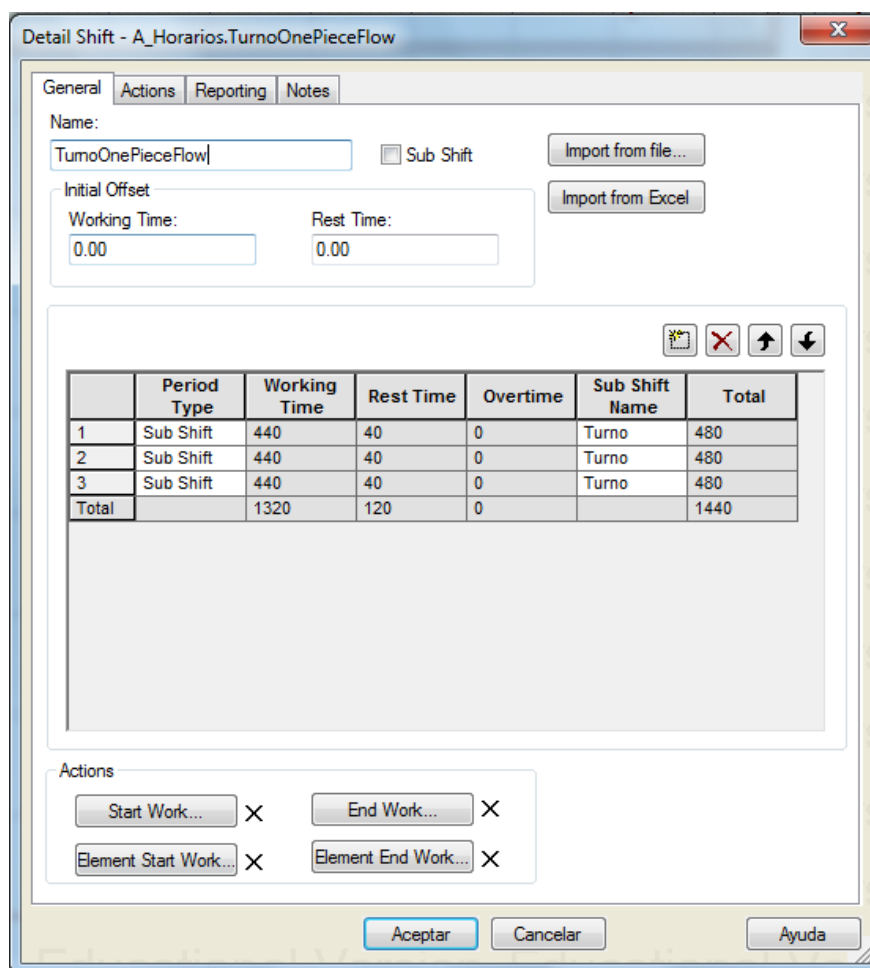


Figura 4. 26. Detailins Distribución tipo de vehículo

4.3.8 Funciones

Witness proporciona un gran número de funciones predefinidas que se pueden utilizar para mejorar la lógica del modelo, pero el usuario también puede crear sus propias funciones.

En este caso, se han creado diferentes funciones para establecer tiempos de ciclo, el número de piezas por vehículo o el número de piezas en cada puesto de montaje. La Tabla 4.9 detalla todas las funciones del modelo, así como las variables que se utilizan en ellas.

Tabla 4. 9. Funciones

Nombre	Función	Variables	
T_Ciclo_Kit	Su función es determinar el tiempo de preparación del kit. Para determinar este tiempo, se crean dos variables: una para los vehículos monovolumen y otra para los vehículos pick-up	Pieza	2 valores: T_ciclo_kitting<4 T_ciclo_kiting>4
Nº_piezas_por_vehículo	Su función es definir la cantidad de piezas que entran a la línea de montaje, dependiendo de si el vehículo a fabricar el monovolumen o pick-up	Coche	2 valores: Monovolumen → 30 piezas Pick up → 2 piezas
Nº_piezas_punzonadora	Su función es definir la cantidad de piezas que entran en la punzonadora, dependiendo de si el vehículo a fabricar el monovolumen o pick-up	Piezas	2 valores: Monovolumen → 4piezas Pick up → 2 piezas
T_ciclo_punzonadora	Su función es determinar el tiempo del punzonado. Este tiempo se define en función de la variable que entre en la máquina de punzonado con la información del tipo de vehículo	Vehículo	2 valores: - Si el vehículo es =4 (monovolumen) se da el Tciclo_monovolumen - Si el vehículo es >4 (pick up) se da el Tciclo_pickup
Nº_piezas_p1	Su función es determinar el número de piezas que entrar en el puesto de montaje1	Piezas	2 valores - Piezas<= 4 → se devuelve el número de piezas correspondientes al puesto - Piezas>4 → se devuelve el número de piezas correspondientes al puesto
Nº_piezas_p2	Su función es determinar el número de piezas que entrar en el puesto de montaje2		
Nº_piezas_p3	Su función es determinar el número de piezas que entrar en el puesto de montaje3		
Nº_piezas_p4	Su función es determinar el número de piezas que entrar en el puesto de montaje4		
Nº_piezas_p5	Su función es determinar el número de piezas que entrar en el puesto de montaje5		
T_ciclo_montaje_1	Su función es determinar el tiempo del punzonado. Este tiempo se define en función de la variable que entre en la máquina de punzonado con la información del tipo de vehículo	Vehículo	2 valores - Vehículo<=4 → se devuelve el tiempo de ciclo correspondiente al modelo monovolumen - Vehículo >4 → se devuelve el tiempo de ciclo correspondiente al modelo pick up
T_ciclo_2			
T_ciclo_3			
T_ciclo_4			
T_ciclo_5			

4.3.9 Modelado de variables

Las variables son valores a los que se puede acceder en el modelo de simulación. Estas variables, normalmente, tienen sus valores asignados en un grupo de acciones y no van asociados a ninguna entidad. De esta forma se consigue que el valor de la variable sea en el mismo en cualquier punto de la simulación en un mismo instante, aunque pueden variar su valor en el tiempo a través de las acciones.

En la Tabla 4.10 se detalla las variables existentes en el modelo, indicando cuál es su función y el elemento donde se aplica.

Tabla 4. 10. Variables

Nombre de la variable	Función	Elemento donde se aplica	Tipo
Tipo_de_vehiculo	Variable que toma 8 valores (1,2,3,4,5,6,7,8) definiendo el tipo de vehículo a fabricar	DistTipoVehículo	Integer
Inicio_orden_fab	Variable que toma los valores 1 ó 0 dependiendo de si se puede iniciar la orden de fabricación (1) o no (0)	Máquina órdenes de producción Máquina preparación kitting	Integer
Num_Contenedores	Variable que define el número de contenedores que circulan por la línea de montaje (datos cogidos de excel)	Máquina Contenedores Kit	Integer
T_ciclo_kitting	Variable que toma 2 valores dependiendo del tipo de kitting a preparar	Función T_Ciclo_Kit	Real
VehiculoAFabricar	Variable que toma 8 valores (1,2,3,4,5,6,7,8) definiendo el tipo de vehículo a fabricar. Variable que pasa la información	Máquina órdenes de producción Máquina preparación kitting	Integer
Material_a_reponer	Variable que toma 33 valores, uno por cada tipo de pieza. Define la cantidad de material a reponer en los buffer del almacén	Máquinas de alimentación buffers	Integer
Stock_seguridad_POE	Variable que toma 33 valores, uno por cada tipo de pieza. Define el stock de seguridad de cada part	Máquinas alimentación buffers	Integer
Averias_montaje	Variable que define el porcentaje de averías en los diferentes puestos de montaje	Máquina Montaje1 Máquina Montaje2 Máquina Montaje3 Máquina Montaje4 Máquina Montaje5	Real
Costes	Variable que define los costes que se generan en los diferentes puestos de montaje	Máquina Montaje1 Máquina Montaje2 Máquina Montaje3 Máquina Montaje4 Máquina Montaje5	Real
Cogerdelanterior	Variable que toma los valores 1 ó 0 -	Maquinas de montaje y máquinas coger del kit	Integer

Pasar_al_siguiete	Variable que toma los valores 1 ó 0 dependiendo de si el producto intermedio puede pasar al siguiente puesto (1) o no (0)	Máquinas de montaje y de coger el kit	Integer
Fin_puesto1	Variable que toma los valores 1 ó 0 dependiendo de si la tarea a realizar en el puesto 1 a terminado o no	Máquina montaje1	Integer
VAF_CERO	Variables utilizadas en cada una de las máquinas, para pasar la información del tipo de vehículo que se debe fabricar	Máquina preparación kitting Máquinas coger del kit Máquinas de montaje	Integer
VAF_UNO			
VAF_DOS			
VAF_TRES			
VAF_CUATRO			
VAF_CINCO			
VAF_SEIS			
VAF_SIETE			
VAF_OCHO			
VAF_NUEVO			
VAF_DIEZ			
VAF_ONCE			
VAF_DOCE			
VAF_TRECE			
VAF_CATORCE			
T_ciclo_monovolumen	Se utiliza para determinar el tiempo que tarda en montarse el producto	Máquinas de montaje Máquina de punzonado	Real
T_ciclo_pickup	Se utiliza para determinar el tiempo que tarda en montarse el producto	Máquinas de montaje Máquina de punzonado	Real
Inicio_kitting	Variable que toma los valores 1 ó 0. La variable iniciará la preparación del kitting si el valor es 1	Máquina de preparación de pedidos y órdenes de producción	Integer
Inico_punz	Variable que toma los valores 1 ó 0. La variable iniciará el punzonado si el valor es 0	Máquina punzonado y máquina coger del kit 1	Integer
PT_PNC	Variables que sirven para analizar los resultados obtenidos	Máquina de montaje 5	Integer
PT_PNO			
PT_MNC			
PT_MNO			
PT_PTO			
PT_PTC			
PT_MTO			
PT_MTC			
Total_vehiculos			
Comenzar	Variable que toma los valores 1 ó 0	Montaje1 y punzonado	integer

4.3.10 Modelado de atributos

Los atributos son características de una parte específica o una unidad de trabajo (entidad, parte o recurso); por ejemplo, color, tamaño, tiempo de ciclo, etc. En este caso, se asignan atributos a las piezas que forman los vehículos.

Estos atributos son una característica propia de la pieza que se mueve con ella, pudiendo tener distintos valores a lo largo de la ejecución del modelo.

A cada uno de los atributos se les puede dar un valor entero, un valor real, una cadena de caracteres o hacer referencia a otro elemento de la simulación de Witness. Los atributos se introducen o modifican a través de las acciones de los distintos elementos. En la Tabla 4.11 podemos observar los atributos utilizados en el modelado.

Tabla 4. 11. Atributos

Nombre	Función	Elemento	Tipo
VAFabricar	Atributo que se le asigna al elemento que sera igual a la variable vehiculoAFabricar	Máquina preparación de pedidos	Integer
Monovolumen_o_Pickup	Atributo que se asigna a las placas de matrícula; de esta manera, se dará el valor 1 a los vehículos monovolumen y 2 a los pick up.	Placas de matrícula	Integer
Orden_fab	Atributo que define la orden de fabricación a mandar	Máquina órdenes de producción	Integer
Puestos_montaje	Atributo que define el puesto de montaje en el que deben montarse las piezas	Máquinas de montaje y punzonado	Integer

4.3.11 Modelado de los tiempos de ciclo

Está establecido que cada 2 minutos llegue un cliente a recoger su producto terminado, definiendo de esta forma que el tiempo de ciclo que hay que conseguir en nuestra cadena es de 2 minutos, ni más ni menos.

En nuestro modelo se definirán diferentes hipótesis a la hora de la simulación, considerando diferentes tiempos de ciclo para los diferentes puestos de montaje. Sobre todo, hay que tener en cuenta que en cada una de las hipótesis los tiempos varían para cada tipo de vehículo, por lo que éste es el elemento clave a la hora de equilibrar la producción.

Los tiempos de ciclo asociados a cada uno de los puestos de trabajo en función del vehículo, al igual que muchos otros datos, se definirán en un fichero Excel del cual Witness leerá los datos para simular con ellos.

4.4. Simulación

Una vez definidos todos estos elementos, y validado su comportamiento frente al sistema real, se puede comenzar a simular diferentes escenarios. Las variaciones que se han realizado para la realización de las diferentes simulaciones son cuatro casos con diferentes tiempos de ciclo de los puestos de montaje, los cuales podemos ver en la Tabla 4.12.

Tabla 4. 12. Tiempos

CASO A							
	MÁQUINAS	T ciclo	T ciclo máx.	T ciclo min.	T ciclo	T ciclo máx.	T ciclo min.
1	Punzonadora	0,35	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
	Puesto 1	1,65	2	1,3	1,7	2,1	1,3
2	Puesto 2	1,9	2,3	1,5	1,6	2	1,2
3	Puesto 3	1,9	2,3	1,5	1,6	2	1,2
4	Puesto 4	2,1	2,5	1,7	1,8	2,2	1,4
5	Puesto 5	1,9	2,3	1,5	1,6	2	1,2

CASO B							
	MÁQUINAS	T ciclo	T ciclo máx.	T ciclo min	T ciclo	T ciclo máx.	T ciclo min
1	Punzonadora	0,45	0,5	0,4	0,35	0,4	0,3
	Puesto 1	1,55	2	1,1	1,65	2,1	1,2
2	Puesto 2	1,9	2,2	1,6	1,6	1,9	1,3
3	Puesto 3	1,9	2,2	1,6	1,6	1,9	1,3
4	Puesto 4	2,1	2,6	1,6	1,8	2,1	1,5
5	Puesto 5	1,9	2,2	1,6	1,6	1,9	1,3

CASO C							
	MÁQUINAS	T ciclo	T ciclo máx.	T ciclo min	T ciclo	T ciclo máx.	T ciclo min
1	Punzonadora	0,3	0,3	0,3	0,25	0,3	0,2
	Puesto 1	1,5	1,9	1,1	1,55	1,9	1,2
2	Puesto 2	1,8	2,2	1,4	1,5	1,9	1,1
3	Puesto 3	1,8	2,2	1,4	1,5	1,9	1,1
4	Puesto 4	1,9	2,3	1,5	1,6	2	1,2
5	Puesto 5	1,8	2,2	1,4	1,8	2,2	1,4

CASO D							
	MÁQUINAS	T ciclo	T ciclo máx.	T ciclo min	T ciclo	T ciclo máx.	T ciclo min
1	Punzonadora	0,3	0,3	0,3	0,25	0,3	0,2
	Puesto 1	1,5	1,9	1,1	1,55	1,9	1,2
2	Puesto 2	1,8	2,1	1,5	1,5	1,8	1,2
3	Puesto 3	1,8	2,1	1,5	1,5	1,8	1,2
4	Puesto 4	1,9	2,3	1,5	1,9	2,3	1,5
5	Puesto 5	1,8	2,1	1,5	1,8	2,1	1,5

Los resultados obtenidos en las simulaciones a partir de estos datos se muestran en la Tabla 4.13 y la Figura 4.27.

Tabla 4. 13. Resultados

TIEMPO TOTAL DE LA SIMULACIÓN		4.800 min	DEMANDA PREVISTA		2.400 vehículos			
MÁQUINAS	VEHÍCULO		AVERÍAS		COSTES UNITARIOS			
	Monovol.	Pickup	Tiempo entre paradas	Tiempo Reparación	Fijos	Variables		
	T ciclo	T ciclo				Máquina Ocupada	Máquina Ociosa	
1	Punzonadora	Caso A B C D	Caso A B C D	20	2	1,37	2,13	0,68
	Puesto 1	Caso A B C D	Caso A B C D	17	3	1,42	2,88	0,57
2	Puesto 2	Caso A B C D	Caso A B C D	10	2	1,02	2,9	0,49
3	Puesto 3	Caso A B C D	Caso A B C D	15	2	1,21	2,74	0,56
4	Puesto 4	Caso A B C D	Caso A B C D	20	1,5	1,68	2,15	0,31
5	Puesto 5	Caso A B C D	Caso A B C D	18	3	1,3	2	0,44

MÁQUINAS	RESULTADOS OBTENIDOS								
	% Máquina Ociosa	% Máquina Ocupada	% Máquina Bloqueada	% Máquina Averiada	Nº. Operaciones	Fijos	Variables	total costes	
1	Punzonadora	100	0	0	0	1635	6.576 €	2.992 €	70.673 €
	Puesto 1	25,29	37,14	31,03	6,55	1634	6.816 €	6.282 €	
2	Puesto 2	28,38	37,12	27,1	7,41	1633	4.896 €	6.091 €	
3	Puesto 3	30,38	37,09	27,58	4,95	1632	5.808 €	6.021 €	
4	Puesto 4	28,95	62,27	4,1	4,67	1631	8.064 €	6.405 €	
5	Puesto 5	55,71	37,05	1,03	6,2	1630	6.240 €	4.478 €	

DEMANDA	TIPO VEHÍCULO		%	Nº de vehículos vendidos
9	MNO	1	30%	490
6	MNC	2	20%	347
2	MTO	3	7%	111
3	MTC	4	10%	160
2	PNO	5	7%	115
3	PNC	6	10%	144
3	PTO	7	10%	156
2	PTC	8	7%	107
				1.630

OPERARIOS	% de ocupación
Pepe	35,08
Logístico	34,06
Operario puesto 1	40,04
Operario puesto 2	40,81
Operario puesto 3	38,54
Operario puesto 4	61,37
Operario puesto 5	39,65

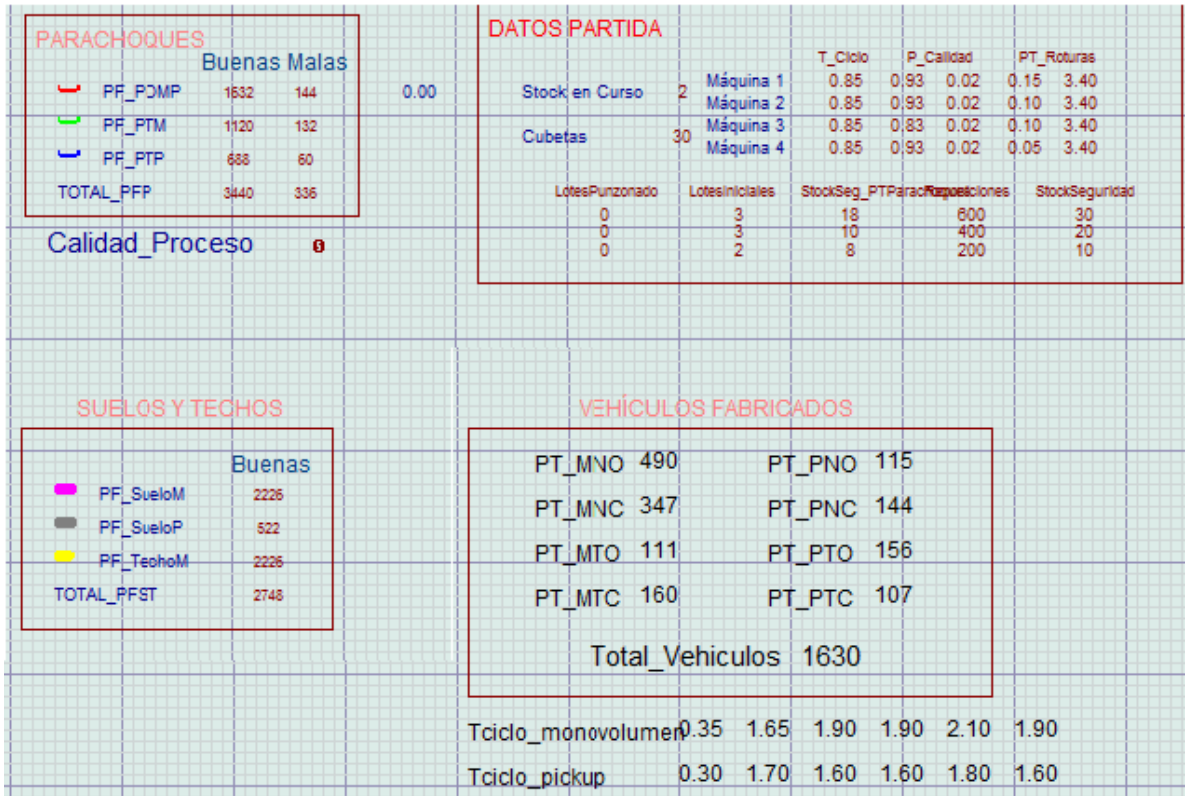


Figura 4. 27. Resultados de la simulación

Una vez simuladas las cuatro hipótesis mencionadas se ha observado que los resultados obtenidos son iguales en todos los casos debido a que todas las condiciones de la simulación son idénticas, exceptuando los tiempos de ciclo de los puestos de montaje. Pero los tiempos ciclo de las diferentes hipótesis son lo suficientemente similares como para obtener los mismos datos en todos los casos, tanto en el porcentaje de ocupación de las máquinas, de los operarios y los costes en los que se incurre.

Los resultados de la simulación se pueden observar con mayor detalle en el archivo adjunto a este proyecto “Resultados.xls” donde podemos ver el orden de producción de todos los vehículos fabricados y el momento en el que han sido entregados. Se observa que hay tramos de la simulación en la que no se consigue entregar un vehículo cada 2 minutos, tal y como se ha estipulado el takt time, y ello provoca no ser capaces de fabricar el número de vehículos previsto.

Entre los motivos de estos periodos en los que no se entrega un vehículo al cliente encontramos las averías en las máquinas y la coordinación entre la cadena de parachoques y la de montaje. Existen instantes de la simulación en las que la preparación del kitting tiene que esperar a la fabricación de algún tipo de parachoques porque el almacén de productos terminados de parachoques se ha quedado a cero. La cadena de parachoques trabaja bajo la filosofía kaizen, pero debido al tiempo necesario desde que se recoge la orden de fabricación de un tipo de parachoques, hasta que el pack de 4 parachoques pasa por los 4 puestos y llega a entregarse, en ocasiones provoca que haya alguna espera a pesar de considerar un stock de seguridad.

Otra de las hipótesis que se ha simulado ha sido la diferencia entre la necesidad de fabricación de un porcentaje muy alto de monovolúmenes respecto a pickup y viceversa, en los dos casos con los mismos tiempos ciclo.

En la Tabla 4.14 observamos los resultados de la simulación con un porcentaje muy alto de monovolúmenes y en la Tabla 4.15 podemos ver la simulación con un porcentaje muy alto de pickup.

Tabla 4. 14. Alto porcentaje de monovolúmen

TIEMPO TOTAL DE LA SIMULACIÓN	4.800 min	DEMANDA PREVISTA	2.400 vehículos
--------------------------------------	-----------	-------------------------	-----------------

DEMANDA	TIPO VEHÍCULO		%	Nº de vehículos vendidos	OPERARIOS	% de ocupación
8	MNO	1	27%	325	Pepe	37,25
7	MNC	2	23%	412	Logístico	30,23
9	MTO	3	30%	431	Operario puesto 1	35,54
4	MTC	4	13%	195	Operario puesto 2	36,27
1	PNO	5	3%	42	Operario puesto 3	34,27
0	PNC	6	0%	0	Operario puesto 4	63,05
0	PTO	7	0%	0	Operario puesto 5	35,28
1	PTC	8	3%	45		
				1.450		

Tabla 4. 15. Alto porcentaje de pickup

TIEMPO TOTAL DE LA SIMULACIÓN		4.800 min		DEMANDA PREVISTA		2.400 vehículos	
--------------------------------------	--	-----------	--	-------------------------	--	-----------------	--

DEMANDA	TIPO VEHÍCULO		%	Nº de vehículos vendidos	OPERARIOS	% de ocupación
1	MNO	1	3%	60	Pepe	37,25
0	MNC	2	0%	0	Logístico	37,48
1	MTO	3	3%	52	Operario puesto 1	44,09
0	MTC	4	0%	10	Operario puesto 2	44,94
4	PNO	5	13%	235	Operario puesto 3	42,42
9	PNC	6	30%	565	Operario puesto 4	42,94
8	PTO	7	27%	486	Operario puesto 5	43,65
7	PTC	8	23%	387		
				1.795		

Comparando los dos casos se demuestra que, como era de esperar, si existe una demanda muy alta de monovolúmenes, al tener un tiempo de ciclo más alto que el tiempo ciclo de los pickup, no se es capaz de fabricar tantos vehículos como si hay una demanda muy alta de pickup; de hecho, simulando un periodo de 5 días de trabajo a 2 turnos observamos una diferencia de 345 vehículos.

Para conseguir fabricar ese déficit de 345 vehículos necesitaríamos estar trabajando durante 11,5 horas a mayores, por lo que en el caso de tener una alta demanda de monovolúmenes sería interesante pensar en meter un sexto puesto de montaje.

Un último caso de simulación que se ha experimentado ha sido la eliminación del último puesto de montaje, dejando de esta forma 4 puestos de montaje. Para ello es necesario reorganizar cada uno de los puestos de montaje, reubicando las actividades a realizar en cada uno de los puestos. En cuando a tiempo ciclo, se ha distribuido el valor del tiempo ciclo del puesto 5 en los otros 4 puestos y se ha repartido en partes iguales. Podemos observar los resultados de esta simulación en la Tabla 4.16.

Como es de esperar, trabajando tan solo con 4 puestos el tiempo ciclo de cada uno de los puestos es mayor al takt time, por lo que la producción final de vehículos es menor. Una de las cosas interesantes que se puede observar en este caso son los costes; el total de los costes generados con 4 puestos es menor que el generado trabajando con 5 puestos por lo que sería de gran interés seguir trabajando en la mejora de cada uno de los puestos de montaje y llegar a conseguir reducir los tiempos ciclo de cada uno de los puestos para trabajar con tan solo 4 puestos y ser más rentables.

Tabla 4. 16. Resultados de 4 puestos de montaje

TIEMPO TOTAL DE LA SIMULACIÓN		4.800 min		DEMANDA PREVISTA		2.400 vehículos		
MÁQUINAS	VEHÍCULO		AVERÍAS		COSTES UNITARIOS			
	Monovol.	Pickup	Tiempo entre paradas	Tiempo Reparación	Fijos	Variables		
	T ciclo	T ciclo				Máquina Ocupada	Máquina Ociosa	
1	Punzonadora	0,35	0,3	20	2	1,37	2,13	0,68
	Puesto 1	2,12	2,1	17	3	1,42	2,88	0,57
2	Puesto 2	2,37	2	10	2	1,02	2,9	0,49
3	Puesto 3	2,37	2	15	2	1,21	2,74	0,56
4	Puesto 4	2,55	2,2	20	1,5	1,68	2,15	0,31
5	Puesto 5	0	0	18	3	1,3	2	0,44

MÁQUINAS	RESULTADOS OBTENIDOS								
	% Máquina Ociosa	% Máquina Ocupada	% Máquina Bloqueada	% Máquina Averiada	Nº Operaciones	Fijos	Variables	total costes	
1	Punzonadora	100	0	0	0	1507	6.576 €	2.992 €	69.154 €
	Puesto 1	4,05	68,49	15,4	12,07	1506	6.816 €	9.257 €	
2	Puesto 2	13,83	68,44	4,05	13,68	1505	4.896 €	9.193 €	
3	Puesto 3	19,5	68,4	2,97	9,14	1504	5.808 €	8.821 €	
4	Puesto 4	26,53	68,35	0	5,11	1503	8.064 €	6.729 €	
5	Puesto 5	100	0	0	0	0	0 €	0 €	

DEMANDA	TIPO VEHÍCULO	%	Nº de vehículos vendidos	
9	MNO	1	30%	426
6	MNC	2	20%	306
2	MTO	3	7%	106
3	MTC	4	10%	142
2	PNO	5	7%	109
3	PNC	6	10%	127
3	PTO	7	10%	142
2	PTC	8	7%	100
			1.458	

OPERARIOS	% de ocupación
Pepe	34,85
Logístico	31,42
Operario puesto 1	73,84
Operario puesto 2	75,28
Operario puesto 3	71,07
Operario puesto 4	67,34
Operario puesto 5	0

Capítulo V: Estudio económico

5.1. Propósito del estudio económico

Este capítulo tiene como objetivo determinar los costes ligados a la realización del propio proyecto. Esto puede ayudar a decidir si la ejecución del mismo es viable desde un punto de vista económico.

Este estudio económico analizará tan solo los costes implicados en la realización del proyecto y de los medios necesarios para su realización, por lo que el resultado final del cálculo del importe económico corresponderá a un presupuesto en el que no se considera ningún tipo de beneficio adicional, sino el coste real orientativo que lleva consigo el desarrollo del proyecto.

Para el cálculo del coste económico que conlleva desarrollar este proyecto se tendrán en cuenta tanto los costes directos como los costes indirectos asociados a todo el proceso de realización del proyecto.

Por **costes directos** entendemos aquellos costes que son directamente identificables y atribuibles al objetivo. Esta identificación directa entre el coste y el objetivo de coste debe poder hacerse por medio del sentido común (mediante una simple observación), o de una forma técnica (siempre que la identificación sea inequívoca y económicamente factible).

Estos costes directos se asocian con el producto de una forma muy clara, sin necesidad de ningún tipo de reparto. Dentro de estos, los más habituales son:

- *Materias Primas*: los materiales que hemos consumido para fabricar el producto. Pueden extraerse directamente de la naturaleza o haber sido elaborados previamente por otra empresa.
- *Mano de Obra Directa (MOD)*: las personas relacionadas directamente con el producto debido a que se encargan de su elaboración.

En nuestro caso, los costes directos están constituidos tanto por los costes de personal que han trabajado en este proyecto, contabilizando el número de horas dedicadas a su ejecución, como por los de materiales directos y el material amortizable.

En cuanto a **costes indirectos**, nos referimos a aquellos costes que no son identificables directamente con el producto o servicio. Esto se debe a que estos costes están asociados a varios objetivos de coste; por tanto, los costes indirectos son compartidos por varios objetivos. En la mayoría de los casos, los costes indirectos son costes fijos.

No es posible establecer de una forma directa qué cantidad de coste es atribuible a un objetivo determinado. Los costes indirectos sólo pueden ser repartidos a los objetivos de coste que los causan de forma indirecta mediante algún método de reparto.

Se engloban en este apartado costes tales como:

- *Costes Indirectos de Producción (CIP)*: costes del producto necesarios para la producción, tales como el coste del consumo eléctrico o el coste de aprovisionamiento y fabricación.
- *Mano de Obra Indirecta (MOI)*: las personas que no tocan el producto durante todo el proceso de fabricación, como por ejemplo, supervisores, gerentes de planta, personal de ventas y marketing.
- *Costes Indirectos Generales (CIG)*: costes del período no necesarios para fabricar, tales como comerciales, administración y financieros.

5.2. Planificación del desarrollo del proyecto

Antes de comenzar a calcular el número de horas necesarias para desarrollar el proyecto, indicaremos en la Tabla 5.1 el número de horas efectivas que hay por año en un calendario laboral, para poder, de esta forma, distribuir la carga de trabajo en jornadas laborales.

Tabla 5.1.- Horas efectivas en un año laboral

Días naturales / año(Dn)		365 días
Deducciones, (D):		
Domingos	52	143 días
Sábados	52	
Vacaciones en días laborables	22	
Asuntos propios	5	
Días festivos	12	
Días reales de trabajo / año, (Dr = Dn – D)		222 días
Horas de trabajo diarias		8 horas
Horas efectivas por año		1.776 horas

A partir de aquí podemos comenzar a contabilizar el número de horas empleadas en la realización del proyecto, distribuyéndolas tanto en las diferentes actividades que implican el desarrollo del proyecto como en el número de personas que han participado en su ejecución.

En el desarrollo de este proyecto han participado **tres personas**. Dos de estas personas han realizado la mayor parte del proyecto, trabajando de forma conjunta y en paralelo, y dependiendo el tipo de actividades que han ido realizando a lo largo del proyecto se les considerará diferentes categorías profesionales en función de las tareas realizadas. Sus categorías profesionales, para poder calcular el coste de personal, rondan entre ingeniero y administrativo. La otra persona partícipe ha sido el Jefe de Proyecto, el cual ha participado realizando tareas de seguimiento y supervisión de los trabajos y, sobre todo, en los jalones de planteamiento y análisis de resultados.

En cuanto a las diferentes actividades y etapas por las que se ha ido pasando en la elaboración del proyecto, tenemos las siguientes:

- Planteamiento general del proyecto y objetivos del mismo
- Organización de tareas y reparto de actividades
- Búsqueda de información y documentación para el desarrollo de la parte teórica

- Desarrollo y redacción de los temas teóricos
- Construcción del modelo de la Escuela Lean con Witness
- Verificación y validación del modelo
- Experimentación con el modelo y tratamiento de resultados
- Análisis de los resultados y los datos obtenidos
- Redacción de la memoria y las conclusiones

Podemos observar en la Figura 5.1 el desarrollo temporal de las etapas del planning, representado con un diagrama de Gantt; en él se muestra el tiempo de dedicación previsto para diferentes tareas o actividades a lo largo del periodo planificado.

		2015																																						
ACTIVIDADES	MES	MARZO					ABRIL					MAYO					JUNIO					JULIO					AGOSTO					SEPTIEMBRE								
	SEMANA	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40								
Planteamiento																																								
Organización de tareas																																								
Búsqueda de documentación																																								
Temas teóricos																																								
Construcción del modelo																																								
Verificación y validación																																								
Experimentación																																								
Tratamiento de resultados																																								
Análisis de resultados																																								
Memoria y conclusiones																																								

Figura 5.1.- Planning

En este tipo de diagramas podemos ver, de forma individualizada, el origen y el final de cada una de las actividades, así como la existencia de solapes en el tiempo entre unas actividades y otras.

5.3. Costes ligados a la realización del proyecto

5.3.1. Costes directos

Dentro de los costes directos en los que se ha incurrido encontramos los de personal y de material empleado.

COSTES DE PERSONAL

En función del número de horas dedicadas por cada una de las personas que han intervenido en el proyecto a desarrollar sus actividades, se podrá calcular el coste de personal. Hay que tener en cuenta que el salario correspondiente será diferente dependiendo del grado de cualificación del trabajador.

Para calcular el coste por hora de trabajo de los miembros que colaboran en la realización del proyecto, debe conocerse: las horas efectivas de trabajo dedicadas al proyecto, el sueldo bruto, los incentivos, las cotizaciones a la seguridad social y el número de horas efectivas de trabajo anuales.

Las *horas efectivas de trabajo* dedicadas por cada miembro del personal son las que podemos ver en la Tabla 5.2. Indicar que en las horas correspondientes a ingenieros y administrativos están contabilizadas las horas de las dos personas partícipes de forma conjunta:

Tabla 5.2.- Horas efectivas dedicadas al proyecto

Actividad	Horas efectivas dedicadas		
	Ingenieros	Administrativos	Jefe de Proyecto
<i>Planteamiento</i>	10	0	3
<i>Organización de tareas</i>	10	0	0
<i>Búsqueda de documentación</i>	0	30	0
<i>Temas teóricos</i>	0	120	10
<i>Construcción del modelo</i>	240	0	25
<i>Verificación y validación</i>	40	0	10
<i>Experimentación</i>	60	0	10
<i>Tratamiento de resultados</i>	20	0	6
<i>Análisis de resultados</i>	30	0	6
<i>Memoria y conclusiones</i>	0	80	0
HORAS EFECTIVAS TOTALES	410	230	70
	640		70
	710		

El *salario* de las categorías que tiene cada uno de los trabajadores que han participado en el proyecto son los que aparecen en la Tabla 5.3:

Tabla 5.3.- Salario por categorías profesionales

	INGENIERO	ADMINISTRATIVO	JEFE DE PROYECTO
Sueldo bruto + incentivos	26.000 €	24.000 €	38.000 €
Cotizaciones a la Seguridad Social (35% del sueldo bruto)	9.100 €	8.400 €	13.300 €
Coste total anual.....	35.100 €	32.400 €	51.300 €
Coste por hora de trabajo.....	19,76 €	18,24 €	28,89 €

Los costes totales de personal estimados para la realización del proyecto son los de la Tabla 5.4:

Tabla 5.4.- Costes de personal

	INGENIERO	ADMINISTRATIVO	JEFE DE PROYECTO
Horas efectivas empleadas	410	230	70
Coste por hora de trabajo	19,76 €	18,24 €	28,89 €
Costes de personal	8.103,04 €	4.195,95 €	2.021,96 €
Total costes de personal.....	14.320,95 €		

COSTES DE MATERIAL

Debido a que es un proyecto de carácter absolutamente teórico, en el que se realizan unos estudios de simulación, los costes de materiales directos están formados por los costes de amortización de los medios informáticos empleados.

Para calcular los costes de material se considera la inversión inicial realizada por la adquisición de los medios necesarios y se determina la amortización lineal de dicha inversión, aplicando los criterios de inversión estipulados por la Hacienda Pública.

Para realizar el cálculo, determinaremos el importe bruto del inmovilizado adquirido y aplicaremos una tasa de amortización en función del tipo de inmovilizado para poder obtener el coste de amortización de cada uno de los medios.

Los medios en los que ha sido necesario invertir para poder desarrollar el proyecto son los siguientes:

- Ordenador Ultrabook™ HP Pavilion TouchSmart 14-n006ss (F4B47EA), Procesador Intel® Core™ i5-4200U (1.6GHz), AMD Radeon 8670M 2GB
- Impresora HP LaserJet Pro 200 color MFP M276nw
- Sistema operativo Windows 7
- Paquete de programas de Microsoft Office 2007: Para el empleo de Word, Excel y Power Point
- Software Witness, cuya licencia tiene un coste de 30.000 €

Hemos considerado una vida útil de los equipos informáticos de 4 años (tasa de amortización del 25% anual) y de 5 años para el software de simulación (20% de amortización anual) porque pasado este tiempo los equipos se suele quedar obsoletos, debido a la rápida evolución que existe hoy en día en las nuevas tecnologías, y no pueden utilizar las aplicaciones informáticas que continuamente salen al mercado. A continuación, en la Tabla 5.5 podemos observar el coste de los materiales a amortizar:

Tabla 5.5.- Coste de materiales a amortizar

	PRECIO (INVERSIÓN)	TASA DE AMORTIZACIÓN	AMORTIZACIÓN ANUAL	COSTE MENSUAL	MESES	COSTE
Ordenador	1.100 €	25%	275,00 €	22,92 €	4	91,67 €
Impresora	330 €	25%	82,50 €	6,88 €	0,4	2,75 €
Windows	100 €	25%	25,00 €	2,08 €	4	8,33 €
Microsoft	400 €	25%	100,00 €	8,33 €	3	25,00 €
Witness	270 €	20%	54,00 €	4,50 €	3,5	15,75 €
Licencia	30.000 €	20%	6.000 €	500 €	3,5	1.750 €
TOTAL.....	32.200 €					1.893,50 €

A estos costes añadiremos aquellos materiales de oficina que son susceptibles de ser amortizados y que hemos necesitado para elaborar el proyecto. Aquí consideramos folios, bolígrafos, fotocopias, cartuchos de tinta, CD ROM, USB que valoraremos en 100 € Por lo tanto, el total de los costes directos son los de la Tabla 5.6.

Tabla 5.6.- Costes directos

Costes de personal	14.320,95€
Costes de materiales directos	Costes de amortización 1.893,50 €
	Material de oficina 100,00 €
Total costes de directos.....	16.314,45 €

5.3.2. Costes indirectos

Los costes indirectos engloban todos aquellos que no están directamente relacionados con el proyecto y son los de la Tabla 5.7:

Tabla 5.7.- Costes indirectos

Tarifa plana de internet	4 meses	27,34 €/mes	109,36 €
Línea telefónica	4 meses	17,40 €/mes	69,60 €
Consumo eléctrico			
Potencia facturada	90 días	8,05 KW	0,12013€/kW día 87,03 €
Energía facturada	90 días	18 kWh/día	0,178032 €/kWh 288,41 €
Alquiler de oficina	4 meses	210 €/mes	840,00 €
Calefacción y climatización	4 meses	40 €/mes	160,00 €
Servicios de limpieza	4 meses	28 €/mes	112,00 €
Servicios administrativos			120,00 €
Impuestos y tasas			198,74 €
Total costes indirectos			1.985,14 €

5.3.3. Costes totales

Finalmente, calculamos en la Tabla 5.8 el coste total del proyecto:

Tabla 5.8.- Costes totales

Costes directos.....	16.314,45€
Costes de personal	14.320,95 €
Costes de materiales directos	Costes de amortización 1.893,50 €
	Material de oficina 100,00 €
Costes indirectos.....	1.985,14 €
Tarifa plana de internet	109,36 €
Línea telefónica	69,60 €
Consumo eléctrico	375,44 €
Alquiler de oficina	840,00 €
Calefacción y climatización	160,00 €
Servicios de limpieza	112,00 €
Servicios administrativos	120,00 €
Impuestos y tasas	198,74 €
Costes totales.....	18.299,59 €

A continuación, en la Figura 5.2 podemos observar la distribución de los costes totales que están implicados en el coste de la elaboración del proyecto:

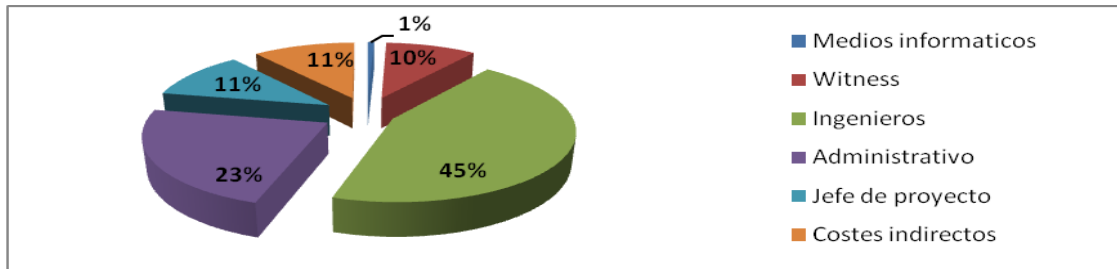


Figura 5.2.- Distribución de los costes totales

Por último, se desarrolla el presupuesto del desarrollo del proyecto tal y como se muestra en la Tabla 5.9. En esta tabla se detallan los costes que se generan por el trabajo del persona, por los materiales utilizados, los costes directos y los costes indirectos. Como resultado se obtienen unos costes totales de aproximadamente 18.300 €.

Tabla 5.9.- Presupuesto

PRESUPUESTO DESARROLLO DEL PROYECTO		Simulación de la escuela Lean con Witness		
		ONE PIECE FLOW		
CONCEPTO	DESCRIPCIÓN		IMPORTE	
Ingeniero	410 horas		19,76 €/h	8.103,04 €
Administrativo	230 horas		18,24 €/h	4.195,95 €
Jefe de proyecto	70 horas		28,89 €/h	2.021,96 €
Total costes de personal.....				14.320,95 €
Ordenador	4 meses	1.100 € - 25%	22,92 €/mes	91,67 €
Impresora	0,4 meses	330 € - 25%	6,88 €/mes	2,75 €
Sistema operativo	4 meses	100 € - 25%	2,08 €/mes	8,33 €
Software Microsoft	3 meses	400 € - 25%	8,33 €/mes	25,00 €
Software Witness	3,5 meses	270 € - 25%	4,5 €/mes	15,75 €
Licencia Witness	3,5 meses	30.000 € - 25%	500 €/mes	1.750,00 €
Material de oficina				100,00 €
Total costes de materiales.....				1.993,50 €
Total costes directos				16.314,45 €
Tarifa plana de internet	4 meses		27,34 €/mes	109,36 €
Línea telefónica	4 meses		17,40 €/mes	69,60 €
Consumo eléctrico				
Potencia facturada	90 días	8,05 KW	0,12013€/kW día	87,03 €
Energía facturada	90 días	18 kWh/día	0,178032 €/kWh	288,41 €
Alquiler de oficina	4 meses		210 €/mes	840,00 €
Calefacción y climatización	4 meses		40 €/mes	160,00 €
Servicios de limpieza	4 meses		28 €/mes	112,00 €
Servicios administrativos				120,00 €
Impuestos y tasas				198,74 €
Total costes indirectos				1.985,14 €
Costes totales.....				18.299,59 €

Conclusiones y futuros desarrollos

Conclusiones

Hoy en día las herramientas de simulación son muy importantes en las empresas, ya que gracias a ellas tienen recursos que les permiten conocer antes de tiempo lo que ocurrirá en la realidad, pudiendo de esta forma tomar decisiones que ayuden a eliminar valores no añadidos al producto, a reducir costes y conseguir ofrecer productos de gran calidad y económicamente atractivos.

Por otro lado, es necesario tener en cuenta que no se debe abusar de estas herramientas ya que antes de realizar cualquier simulación debe tenerse la seguridad de que el modelo con el que se realicen estudios y simulaciones esté validado. Sólo de esta forma podrá proporcionar resultados correctos y lo más reales posibles.

En la actualidad existen diversidad de programas informáticos de manejo muy sencillo que nos permite realizar simulaciones; pero no por ser de manejo sencillo tiene por que ser fácil conseguir un modelo válido. Por culpa de estos programas existe el riesgo de confiarse y tomar por bueno un modelo sin haberlo validado.

En el presente proyecto se ha simulado el proceso productivo para la fabricación de vehículos de la Escuela Lean de la Escuela de Ingenierías Industriales perteneciente a la Universidad de Valladolid con una configuración one piece flow. Una vez realizado el trabajo, se han simulado diferentes casos y se han analizado los resultados que han permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- Si el trabajo se desarrolla en cuatro puestos en lugar de en cinco los costes generados son menores. Por tanto, para ser más rentable sería interesante buscar mejoras, optimizar cada uno de los puestos y conseguir reducir las tareas y tiempos de ciclo para llevar a cabo la producción en una línea de montaje con cuatro puestos.
- La coordinación entre los puestos de la zona de montaje y la línea de MPM produce paradas de la línea de montaje. El taller de chasis no empieza a fabricar otro tipo de pieza hasta que acaba de producir el lote anterior lo que provoca en ocasiones ruptura de stock. Esto hace que el producto final no salga en los tiempos correspondientes, ya que no se disponen de las piezas necesarias en el momento preciso. Sería necesaria una correcta integración entre la línea de MPM y la línea de montaje.
- En la zona de almacén y preparación de kittings trabaja un solo operario; la persona encargada de la logística. Se comprueba que con una sola persona se abastece correctamente a la línea de fabricación. Pueden establecerse mejoras en la zona de almacén, colocando las piezas de una forma más útil a la hora de coger los elementos y configurar el kit, lo que proporcionará tiempos ociosos al logístico; de esta manera, el logístico podría integrarse en el puesto uno realizando tareas de punzonado y liberando de carga de trabajo al operario de dicho puesto.

- El desarrollo de este trabajo fin de máster concluye que las simulaciones son eficaces y sirven para ahorrar dinero a las organizaciones. Si se diseñan modelos con los datos correctos, se verifican y anilizan pueden convertirse en una herramienta fiable para las empresas ya que con estas simulaciones pueden llegar a elaborar diferentes planes a la hora de llevar a cabo sus producciones.
- A su vez, es interesante que las empresas inviertan en personas expertas que controlen los softwares de simulación. Estas personas implican unos costes a las organizaciones, pero pueden resultar de gran ayuda ya que son profesionales en interpretar los resultados y pueden aportar información a los directivos sobre qué estrategias son correctas, dónde existen cuellos de botella en el proceso productivo o qué mejoras realizar en la fabricación.
- Una opción válida es hacer una simulación de la Escuela Lean de la Universidad de Valladolid. Se pueden sacar grandes conclusiones simulando los diferentes escenarios del sistema de producción de vehículos implantado en esta escuela. Gracias a estas simulaciones pueden tomarse decisiones a la hora de realizar cambios en el funcionamiento del sistema, como por ejemplo establecer el número de puestos de trabajo en la línea de producción.

Los softwares informáticos pueden resultar de gran ayuda para realizar cambios en los sistemas productivos pero también es necesario contar con el personal adecuado. Deben contratarse ingenieros con conocimientos del sistema real de fabricación que tengan una idea correcta del funcionamiento para no caer en errores y poder realizar una simulación más precisa y rápida.

La simulación de sistemas productivos es una forma idónea para tomar decisiones. Permite observar los aciertos y errores del sistema de producción y aplicar las mejoras necesarias al sistema real una vez que se obtengan resultados satisfactorios. Esto implica la mejora continua del sistema real y ocasiona mejoras económicas.

Futuros desarrollos

Como trabajos futuros fruto de este proyecto proponemos ante todo la mejora del propio modelado de la Escuela Lean. A partir del modelo actual se pueden ir realizando mejoras que permitan simular la cadena productiva con una mayor semejanza a la realidad.

Una de las principales mejoras a realizar podría ser adentrarse más en la definición del almacén de piezas POE y construir un almacén en el que se puedan ver los flujos que recorre el logístico a la hora de preparar los pedidos y el camino que recorre hasta llegar a la cadena de montaje para entregar el kitting.

Otro de los aspectos que se podría mejorar es la definición de las piezas que se montan en cada uno de los puestos mediante el Excel para facilitar el cambio de las piezas de un puesto a otro y poder realizar aún más hipótesis de una forma simple y rápida. Esto se podría conseguir leyendo del Excel con un ReadArray una matriz en la que se encuentren definidas las piezas de cada uno de

los puestos y organizado de tal forma que sea simple actualizar en Excel la posición de cada una de ellas.

Sería interesante acabar de externalizar en Excel todos los datos de entrada al modelo para que su manejo sea rápido y visual, pudiendo de esta forma simular diferentes escenarios cualquier persona que no domine Witness.

Otro punto útil sería externalizar los resultados que se obtienen del modelo en una hoja Excel. De esta forma se puede tener recogida toda la información de una forma ordenada, visual y rápida, pudiendo consultar los resultados cualquier usuario.

También sería curioso poder comparar este modelado de configuración one piece flow con otro modelo de fabricación por lotes. Si se tiene la oportunidad de disponer de ambos modelos, sería interesante simular hipótesis en ellos y comparar los resultados a fin de poder obtener mayores conclusiones.

En la Escuela Lean no solo se desarrollan procesos productivos de fabricación de vehículos sino que se intenta innovar con la producción de diferentes productos dentro del aula. Como futuro desarrollo se propone diseñar y construir previamente modelos de los procesos de fabricación de los nuevos productos que se estén desarrollando para la Escuela Lean antes de implantarlos físicamente. De esta forma se tendrá una idea más clara del desarrollo del proceso, así como su evolución y experimentación.

Gracias a la implantación de productos diferentes podría considerarse el desarrollo de estándares que permitan trasladar el trabajo realizado en la Escuela Lean a plantas de producción real de cualquier sector.

Por último, se propone la implementación de las diferentes herramientas Lean dentro del desarrollo del proceso de producción. Una de las técnicas a implantar puede ser el Value Stream Mapping.

Anexos



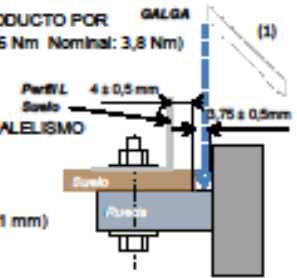

Hoja de operaciones puesto 1





Hoja de operaciones puesto 2

Hoja de operaciones puesto 3

Hoja de operaciones puesto 4

Hoja de operaciones puesto 5

Hoja de Operación Estándar			Plazo de Aprendizaje	Tiempo de ciclo de producción	Fecha de modificación									
(ENGAGEMENT OPERARIO)					Tiempo por modelo					Operario	A	Jefe UET	A	Jefe de Taller
Mes	Nombre de proceso	LEAN PUESTO 1 / 5	2 DÍAS	2	M	P					B		B	
N°	Etapa principal	Punto clave	M	P										
MIO1	LECTURA DIVERSIDAD Y ORDEN DE PRODUCCIÓN		0,01	0,01										
01	PRESENTAR PARACHOQUES DELANTERO SOBRE PLANTILLA		0,25	0,25										
OA1	DESPLAZAMIENTO A FUNZONADORA DESDE PUESTO		0,02	0,02										
02	FUNZONAR TECHO	1. COLOCAR FUNZONES EN POSICION DE TECHO	0,15									1. EVITAR ENVIAR TECHO SIN FUNZONAR		
03	FUNZONAR SUELO	1. OCULTAR FUNZONES DE TECHO 2. COLOCAR FUNZONES EN POSICION SUELO SEGÚN DIVERSIDAD	0,18	0,18								1. EVITAR DAÑAR SUELO CON FUNZONES DE TECHO 2. EVITAR ERROR DE DIVERSIDAD EN PUESTOS SIGUIENTES		
OA2	DESPLAZAMIENTO DESDE FUNZONADORA A PUESTO		0,02	0,02										
04	PRE-ATORNILLAR RUEDAS Y PERFILES L DE SUELO EN EL SUELO		0,55	0,55								1 EVITAR ERRORES DIMENSIONALE 		
MIO2	INTRODUCIR DOS GALGAS ENTRE RUEDAS Y PERFIL L		0,04	0,04										
06	ATORNILLAR RUEDAS Y PERFILES L DE SUELO EN EL SUELO	1. ATORNILLADOR EN POSICION 15 2. EN CONTACTO RUEDA, GALGA Y PERFIL Y GALGA CON SUELO (1) 3. ALINEADO PERFIL SUELO CON EXTREMO TRASERO DEL SUELO	0,35	0,35								1. EVITAR DAÑOS EN EL PRODUCTO POR PAR FUERA ESPECIF. (3 a 4,6 Nm Nominal: 3,8 Nm) 2. EVITAR DEFECTO DE PARALELISMO 3. EVITAR DEFECTO JUEGO EN PUERTA MEDIA (3 mm ± 1 mm)		
														
MIO3	EXTRAER DOS GALGAS ENTRE RUEDAS Y PERFIL L		0,03	0,03										
08	PRE-ATORNILLAR SALPICADERO + PARACHOQUES DELANTERO		0,36	0,36								1. EVITAR ERRORES DE ENSAMBLADO 		
OA3	COGER/DEJAR CONJUNTO MONTADO Y TECHO EN ENCURSO DE PUESTO POSTERIOR		0,03	0,03										
OA4	DESPLAZAMIENTO IV HACIA ENCURSO DE PUESTO POSTERIOR		0,02	0,02										
MIO4	EVACUAR 4 EMB. VACIOS (FREC. 1/4)		0,02	0,02										
Tiempo total de operaciones asociadas			0,09	0,09										
Tiempo objetivo total			2,03	1,88										

SÍMBOLO	Seguridad	Stock	Control de operación
			
			

Hoja de Operación Estándar

(ENGAGEMENT OPERARIO)

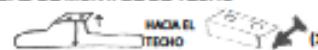
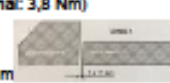
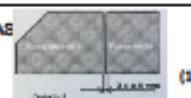
Plazo de Aprendizaje

Tiempo de ciclo de producción

Fecha de modificación



Mes	Nombre de proceso	LEAN PUESTO 2 / 5	2 DÍAS	2	Tiempo por modelo					Operario	A	B	C	Jefe UET	A	B	C	Jefe de Taller
					M	P												
Nº	Etapa principal		Punto clave		M	P												
MIO1	LECTURA DIVERSIDAD Y ORDEN DE PRODUCCIÓN				0,01	0,01												
0A1	COGER/DEJAR ENCURSO DE PUESTO ANTERIOR (LATERAL DCHO ARRIBA Y PARACH DEL A LA DRCHA)				0,03	0,03												
0A2	DESPLAZAMIENTO IV HACIA ENCURSO PUESTO ANTERIOR				0,02	0,02												
01	CLIP&AR ASIENTO DELANTERO		1. REMACHE LARGO "TIPO A"		0,35	0,35									1. EVITAR CAIDA ASIENTO			
02	PRE-ATORNILLAR PUERTA MEDIA DERECHA MONOV.				0,40										1. RESPETAR JUEGO ENTRE PUERTAS			
03	CLIP&AR PUERTA DELANTERA DERECHA MONOV.		1. REMACHE LARGO "TIPO A"		0,40										1. EVITAR CAIDA DE LA PUERTA			
04	CLIP&AR PUERTA TRASERA DERECHA MONOV.		1. REMACHE LARGO "TIPO A"		0,40										1. EVITAR CAIDA DE LA PUERTA			
06	CLIP&AR PERIL L TECHO MONOV. DERECHO		1. DOS EXTREMOS CON REMACHE CORTO "TIPO B"		0,30										1. EVITAR CAIDA DE PERFIL			
			2. CON 4 AGUJEROS HACIA EL TECHO (1)												2. EVITAR IMPOSIBILIDAD DE MONTAJE DE TECHO			
MIO2	GIRO 90° (LATERAL DCHO HACIA SI Y PARACH DEL A DRCHA)					0,01												
06	PRE-ATORNILLAR PUERTA DELANTERA DRCHA PICK UP					0,20									1. EVITAR ERRORES DE POSICIÓN			
07	PRE-ATORNILLAR PANEL TRASERO DRCHO PICK UP					0,20									2. RESPETAR AFLORAMIENTO			
MIO3	INTRODUCIR CALA 3MM ENTRE PUERTAS					0,01												
08	ATORNILLAR PUERTA DELANTERA DCHA Y PANEL TRASERO DERECHO PICK UP		1. ATORNILLADOR EN POSICION 15			0,55									1. EVITAR DAÑOS EN EL PRODUCTO POR PAR FUERA ESPECIF. (3 a 4,6 Nm Nominal: 3,8 Nm)			
			2. CON CALA 3MM EMPUJANDO PANEL TRASERO A TOPE HACIA DELANTE (1)												2. EVITAR JUEGO ENTRE PUERTAS FUERA ESPECIFICACION (3 mm ± 0,5 mm)			
08	ATORNILLAR PERFIL L TECHO PICK UP DERECHO		1. ATORNILLADOR EN POSICION 15			0,40									1. EVITAR DAÑOS EN EL PRODUCTO POR PAR FUERA ESPECIF. (3 a 4,6 Nm Nominal: 3,8 Nm)			
			2. CON 2 AGUJEROS MÁS CENTRADOS HACIA EL TECHO (1)												2. EVITAR IMPOSIBILIDAD DE MONTAJE DE TECHO			
			3. EMPUJANDO PERFIL HACIA ATRÁS												3. EVITAR JUEGOS DE TECHO FUERA DE ESPECIFICACION			
MIO4	EXTRAER CALA 3MM ENTRE PUERTAS					0,01												
0A3	COGER/DEJAR CONJUNTO MONTADO EN ENCURSO PUESTO POSTERIOR				0,03	0,03												
0A4	DESPLAZAMIENTO IV HACIA ENCURSO DE PUESTO POSTERIOR				0,02	0,02												
MIO5	EVACUAR 4 EMB. VACIOS (FREC. 1/4)				0,02	0,02												
			Tiempo total de operaciones asociadas		0,10	0,10												
			Tiempo objetivo total		1,97	1,85												



SIMBOLO	Seguridad	Stock	Control de operación	



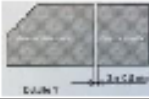

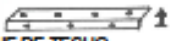
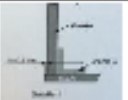

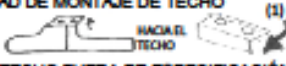
Hoja de Operación Estándar

(ENGAGEMENT OPERARIO)

Plazo de Aprendizaje

Tiempo de ciclo de producción

Fecha de modificación

Mes	Nombre de proceso	LEAN PUESTO 3 / 5	Plazo de Aprendizaje		Tiempo de ciclo de producción		Tiempo por modelo				Operario	Jefe UET			Jefe de Taller
			1 DIA	2	M	P						A	B	C	
N°	Etapa principal		Punto clave		M	P									
MIO1	LECTURA DIVERSIDAD				0,01	0,01									
0A1	COGER/DEJAR ENCURSO DE PUESTO ANTERIOR (LATERAL IZDO ARRIBA Y PARACH DEL A LA IZDA)				0,03										
0A2	COGER/DEJAR ENCURSO DE PUESTO ANTERIOR (LATERAL IZDO HACIA SI Y PARACH DEL A LA IZDA)					0,03									
0A3	DESPLAZAMIENTO IV HACIA ENCURSO PUESTO ANTERIOR				0,02	0,02									
01	PRE-ATORNILLAR PUERTA MEDIA IZQUIERDA MONOV.				0,40										
02	CLIP&AR PUERTA DELANTERA IZQUIERDA MONOV.	1. REMACHE LARGO "TIPO A"			0,40									1. RESPETAR JUEGO ENTRE PUERTAS 1. EVITAR CAIDA DE LA PUERTA	 (1)
03	CLIP&AR PUERTA TRASERA IZQUIERDA MONOV.	1. REMACHE LARGO "TIPO A"			0,40									1. EVITAR CAIDA DE LA PUERTA	
04	PRE-FIJAR DOS ASIENTOS TRASEROS	1. REMACHE LARGO "TIPO A" SOLO EN EL 2. EN EL LADO IZQDO SENTIDO DE MARCHA (1)			0,40									1. EVITAR CAIDA ASIENTOS 2. EVITAR MAL MONTAJE TUBO ESCAPE	 (1)
06	CLIP&AR PERIL L. TECHO MONOV. IZQUIERDO	1. DOS EXTREMOS CON REMACHE CORTO "TIPO B" 2. CON 4 AGUJEROS HACIA EL TECHO (1)			0,30									1. EVITAR CAIDA DE PERFIL 2. EVITAR IMPOSIBILIDAD DE MONTAJE DE TECHO	 (1)
08	PRE-ATORNILLAR PUERTA DELANTERA IZQDA PICK UP					0,20								1. EVITAR ERRORES DE POSICIÓN	 (1)
07	PRE-ATORNILLAR PANEL TRASERO DRCHA PICK UP					0,20								RESPETAR AFLORAMIENTO	
MIO2	INTRODUCIR CALA 3MM ENTRE PUERTAS					0,01									
08	ATORNILLAR PUERTA DELANTERA IZQDA Y PANEL TRASERO IZQDO PICK UP	1. ATORNILLADOR EN POSICION 15 2. CON CALA 3MM EMPUJANDO PANEL TRASERO A TOPE HACIA DELANTE (1)				0,55								1. EVITAR DAÑOS EN EL PRODUCTO POR PAR FUERA ESPECIF. (3 a 4,6 Nm Nominal: 3,8 Nm) 2. EVITAR JUEGO ENTRE PUERTAS FUERA ESPECIFICACION (3 mm ± 1 mm)	 (1)
08	ATORNILLAR PERIL L. TECHO PICK UP IZQUIERDO	1. ATORNILLADOR EN POSICION 15 2. CON 2 AGUJEROS MÁS CENTRADOS HACIA EL TECHO (1) 3. EMPUJANDO PERFIL HACIA ATRÁS				0,40								1. EVITAR DAÑOS EN EL PRODUCTO POR PAR FUERA ESPECIF. (3 a 4,6 Nm Nominal: 3,8 Nm) 2. EVITAR IMPOSIBILIDAD DE MONTAJE DE TECHO 3. EVITAR JUEGOS DE TECHO FUERA DE ESPECIFICACIÓN	 (1)
MIO3	EXTRAER CALA 3MM ENTRE PUERTAS					0,01									
0A4	COGER/DEJAR CONJUNTO MONTADO EN ENCURSO PUESTO POSTERIOR				0,03	0,03									
0A5	DESPLAZAMIENTO IV HACIA ENCURSO PUESTO POSTERIOR				0,02	0,02									
MIO4	EVACUAR 4 EMB. VACIOS (FREC. 1/4)				0,02	0,02									
		Tiempo total de operaciones asociadas			0,10	0,10									
		Tiempo objetivo total			2,03	1,50									

SIMBOLO	Seguridad	Stock	Control de operación
			

Hoja de Operación Estándar

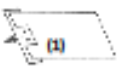
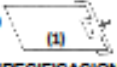

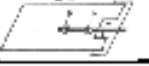


(ENGAGEMENT OPERARIO)





Plazo de Aprendizaje




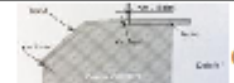

Tiempo de ciclo de producción

Fecha de modificación





Mes	Nombre de proceso	LEAN PUESTO 4 / 5	2 DÍAS	2	Tiempo por modelo					Operario	Jefe UET		Jefe de Taller
					A	B	C	A	B		C		
Nº	Etapa principal	Punto clave	M	P									
MIO1	LECTURA DIVERSIDAD Y ORDEN DE PRODUCCIÓN		0,01	0,01									
OA1	COGER/DEJAR ENCURSO DE PUESTO ANTERIOR		0,03	0,03									
	(SUELO ARRIBA Y PARACH DEL A LA IZDA)												
OA2	DESPLAZAMIENTO IV HACIA ENCURSO PUESTO ANTERIOR		0,02	0,02									
01	ATORNILLAR PARACHOGUES DELANTERO	1. ATORNILLADOR EN POSICION 15	0,15	0,15								1. EVITAR DAÑOS EN EL PRODUCTO POR PAR FUERA ESPECIF. (3 a 4,6 Nm Nominal: 3,8 Nm)  (1)	
		2. EMPUJAR A FONDO POR EL MEDIO (1)										2. EVITAR JUEGO DE PARACHOQUE FUERA DE ESPECIFICACION	
02	ATORNILLAR PARACHOGUES TRASERO	1. ATORNILLADOR EN POSICION 15	0,30	0,30								1. EVITAR DAÑOS EN EL PRODUCTO POR PAR FUERA ESPECIF. (3 a 4,6 Nm Nominal: 3,8 Nm)  (1)	
		2. EMPUJAR A FONDO POR EL MEDIO (1)										2. EVITAR JUEGO DE PARACHOQUE FUERA DE ESPECIFICACION	
03	PRE-ATORNILLAR CONJUNTO ESCAPE Y ASIENTOS TRASEROS	1. TUBO DE ESCAPE A LA DERECHA EN EL SENTIDO DE LA MARCHA (1)	0,45									1. EVITAR DEFECTO DE ESPECIFICACION TUBO DE ESCAPE  (1) VISTA DESDE EL SUELO	
04	PRE-ATORNILLAR CONJUNTO ESCAPE	1. TUBO DE ESCAPE A LA DERECHA EN EL SENTIDO DE LA MARCHA (1)		0,35								1. EVITAR DEFECTO DE ESPECIFICACION TUBO DE ESCAPE  (1) VISTA DESDE EL SUELO	
05	ATORNILLAR CONJUNTO ESCAPE	1. ATORNILLADOR EN POSICION 15	0,85	0,85								1. EVITAR DAÑOS EN EL PRODUCTO POR PAR FUERA ESPECIF. (3 a 4,6 Nm Nominal: 3,8 Nm)	
		2. ÚTIL EN TOTAL CONTACTO CON PARED VERTICAL DEL PARACHOGUES (1)										2. EVITAR COTA TUBO ESCAPE FUERA ESPECIFICACION (8mm ± 1mm)  (1)	
		3. ASEGURAR SUPERPOSICIÓN ARANDELAS (2) Y AISLANTES DENTRO DE CONTORNO (3)										3. EVITAR DEFECTOS: SUPERPOSICIÓN -SUPERPOSICION ARANDELAS >1mm  (2)	
												(3)	
OA3	COGER/DEJAR CONJUNTO MONTADO EN ENCURSO PUESTO POSTERIOR		0,03	0,03									
	(LATERAL IZDO HACIA SI Y PARACH DEL A LA IZDA)												
OA4	DESPLAZAMIENTO IV A ENCURSO PUESTO POSTERIOR		0,02	0,02									
MIO2	EVACUAR 4 EMB. VACIOS (FREC. 1/4)		0,02	0,02									
		Tiempo total de operaciones asociadas	0,10	0,10									
		Tiempo objetivo total	1,88	1,78									


SÍMBOLO	Seguridad	Stock	Control de operación
			
			


Hoja de Operación Estándar			Plazo de Aprendizaje	Tiempo de ciclo de producción	Fecha de modificación									
(ENGAGEMENT OPERARIO)			1 Día	2	Tiempo por modelo					Operario	Jefe UET			Jefe de Taller
Mes	Nombre de proceso	L34N PUESTO 5 / 5			A	B	C	A	B		C			
N°	Etapa principal	Punto clave	M	P										
MIO1	LECTURA DIVERSIDAD		0,01	0,01										
0A1	COGER/DEJAR ENCURSO DE PUESTO ANTERIOR (LATERAL IZDO HACIA SI Y PARACH DEL A LA IZDA)		0,03											
0A2	COGER/DEJAR ENCURSO DE PUESTO ANTERIOR (LATERAL DCHO HACIA SI Y PARACH DEL A LA DCHA)			0,03										
0A3	DESPLAZAMIENTO IV HACIA ENCURSO PUESTO ANTERIOR		0,02	0,02										
MIO2	INTRODUCIR DOS CALAS DE 3MM ENTRE PUERTAS MONOV.		0,04											
01	ATORNILLAR PUERTA MEDIA IZQDA EN PERFIL L DE SUELO IZQDO	1. ATORNILLADOR EN POSICION 15 2. CON CALA 3MM EMPUJANDO PUERTA MEDIA A TOPE HACIA DELANTE (1)	0,30										1. EVITAR DAÑOS EN EL PRODUCTO POR PAR FUERA ESPECIF. (3 a 4,5 Nm Nominal: 3,8 Nm) 2. EVITAR JUEGO ENTRE PUERTAS FUERA ESPECIFICACION (3mm ± 0,5mm)  (1)	
02	ATORNILLAR PERFIL L DE TECHO IZQDO MONOV.	1. ATORNILLADOR EN POSICION 15 2. EMPUJANDO PERFIL L HACIA ATRÁS Y PUERTA TRASERA HACIA DELANTE	0,30										1. EVITAR DAÑOS EN EL PRODUCTO POR PAR FUERA ESPECIF. (3 a 4,5 Nm Nominal: 3,8 Nm) 2. EVITAR JUEGOS DE TECHO FUERA DE ESPECIFICACIÓN	
MIO3	GIRAR VEHÍCULO 180° (LATERAL DCHO HACIA SI Y PARACH DEL A LA DCHA)		0,02											
03	ATORNILLAR PUERTA MEDIA DCHA EN PERFIL L DE SUELO DRCHO	1. ATORNILLADOR EN POSICION 15 2. CON CALA 3MM EMPUJANDO PUERTA MEDIA A TOPE HACIA DELANTE (1)	0,30										1. EVITAR DAÑOS EN EL PRODUCTO POR PAR FUERA ESPECIF. (3 a 4,5 Nm Nominal: 3,8 Nm) 2. EVITAR JUEGO ENTRE PUERTAS FUERA ESPECIFICACION (3mm ± 0,5mm)  (1)	
04	ATORNILLAR PERFIL L DE TECHO DRCHO MONOV.	1. ATORNILLADOR EN POSICION 15 2. EMPUJANDO PERFIL L HACIA ATRÁS Y PUERTA TRASERA HACIA DELANTE	0,30										1. EVITAR DAÑOS EN EL PRODUCTO POR PAR FUERA ESPECIF. (3 a 4,5 Nm Nominal: 3,8 Nm) 2. EVITAR JUEGOS DE TECHO FUERA DE ESPECIFICACIÓN  (1)	
05	CLIPAR CAPÓ	1. CAPÓ ENTRE PARACHOQUES Y SUELO (1)	0,19	0,19									1. EVITAR CAIDA DE CAPÓ  (1)	
06	CLIPAR TECHO MONOV.	1. CHAFLANES HACIA ARRIBA (1) 2. LOS ORIFICIOS MÁS CERCANOS AL EXTREMO DE DEL TECHO HACIA EL CAPÓ	0,21										1. EVITAR CAIDA DE TECHO  (1) 2. EVITAR AFLORAMIENTO DEL TECHO	
07	CLIPAR MALETERO		0,12											
08	CLIPAR TECHO PICK-UP	1. LOS ORIFICIOS HACIA EL CAPÓ		0,12									1. EVITAR IMPOSIBILIDAD DE MONTAJE	
MIO4	EXTRAER LAS DOS CALAS DE 3MM DE PUERTAS MONOV.		0,03											
0A4	COGER/DEJAR CONJUNTO TERMINADO EN STOCK SALIDA LINEA (LATERAL DCHO HACIA SI Y PARACH DEL A LA DCHA)		0,03	0,03										
0A5	DESPLAZAMIENTO IV HACIA STOCK SALIDA LINEA		0,02	0,02										
MIO5	EVACUAR 4 EMB. VACIOS (FREC. 1/6)		0,02	0,02										
Tiempo total de operaciones asociadas			0,10	0,10										
Tiempo objetivo total			1,94	0,44										

SIMBOLO

Seguridad 

Stock 

Control de operación 



Bibliografía

REFERENCIAS

De Benito, J.J. (2008). *“Manual básico de Witness”*. [Universidad de Valladolid].

Guasch (2002). *Modelado y Simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*. Madrid: Ediciones UPC.

Hernández Matías, J.C. y Vizán Idoipe A. (2013). *“Lean manufacturing. Conceptos, Técnicas e implantación”*.

Marton M. y Paulavá I. *One piece flow: another view on production flow in the next process improvement*.

Ortega, García. (2010). *Primeros pasos con Witness*.

Rajadell Carreras M. y Sánchez García J.L. (2010). *Lean manufacturing: la evidencia de una necesidad*. Editorial: Diaz de Santos.

Universidad politécnica de Madrid (2012). *Elementos de simulación. Un enfoque práctico con witness*.

Vallejo C. (2014) *“Manual de operaciones Escuela Lean”*. Escuela Lean Renault Consulting.

CONSULTAS EN INTERNET

Lean roots. En <http://www.leanroots.com/one-piece-flow.html>. Última visita: mayo de 2015.

Lean solutions. En <http://www.leansolutions.co/conceptos/>. Última visita: mayo de 2015.

Página oficial de Lanner. En <http://www.lanner.com/en/witness.cfm>. Última visita: mayo 2015.

Periódico ABC, Escuela Lean. En <http://www.abc.es/motor-reportajes/20140130/abci-renault-escuela-lean-201401292101.html>

Simulador Witness. En <http://simuladorwitness.blogspot.com.es/2010/04/witness.html>. Última visita: mayo de 2015.