



UNIVERSIDAD de VALLADOLID



ESCUELA de INGENIERÍAS INDUSTRIALES

MÁSTER EN LOGÍSTICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**MODELO DE SIMULACIÓN DEL PROCESO DE
PRODUCCIÓN DE LA ESCUELA LEAN:
CONFIGURACIÓN POR LOTES.
TALLER DE CHASIS**

Autor:

PASTOR MAESO, MARÍA

Tutores:

Benito Martín, Juan José de

Sanz Angulo, Pedro

**Organización de Empresas y Comercio
e Investigación de Mercados**

**Organización de Empresas y Comercio
e Investigación de Mercados**

SEPTIEMBRE – 2014

Modelado de Simulación del Proceso de Producción de la Escuela Lean: Configuración por Lotes. Zona de Montaje

INTRODUCCIÓN.....	3
CAPITULO I: LEAN MANUFACTURING.....	11
CAPITULO II: TEORÍA DE LA SIMULACIÓN.....	43
CAPITULO III: PAQUETE DE SIMULACIÓN WITNES.....	57
CAPITULO IV: MODELADO DE LA ESCUELA LEAN.....	111
CAPITULO V: ESTUDIO ECONÓMICO.....	177
CONCLUSIONES.....	189
BIBLIOGRAFÍA.....	195

INTRODUCCIÓN

Introducción

RESUMEN.....	7
ANTECEDENTES	8
OBJETIVOS	8
ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	9

RESUMEN

En la actualidad y debido a la gran competencia entre las organizaciones, éstas se ven abocadas a reducir sus costes de fabricación para permitir ser competitivas en un mercado cada vez más globalizado e inconformista. Es, por ello, que la reducción de costes se ha erigido en un aspecto clave, en particular los asociados a procesos productivos, sin perder nunca de vista la calidad del producto final.

Conseguir este fin es complicado, y en él deben intervenir desde los propios trabajadores hasta los directivos de la organización. El proceso para lograrlo es largo y complicado, ya que requiere tomar decisiones que cambien el devenir de la empresa, y siempre, evidentemente, para mejorar su competitividad.

Para simplificar o ayudar a la toma de decisiones, hay múltiples técnicas que se emplean en todos los sectores, destacando por sus buenos resultados, la Simulación. Esta técnica tiene una gran aceptación en muchas empresas, debido a sus buenos resultados y a su uso cada vez más sencillo gracias a los constantes desarrollos de los programas de simulación.

En el presente trabajo se realizará una simulación, mediante un paquete informático adecuado y con las características suficientes para ello. Esta simulación se centrará en el proceso productivo que tiene lugar en el aula Lean de la Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid (sede Francisco Mendizábal); en concreto, el proceso de fabricación, por lotes, de vehículos.

Los resultados arrojados por el programa no se deben tener en cuenta como válidos sin verificarlos y validarlos cuidadosamente, ya que esta informatización de la simulación lleva a que se den demasiadas confianzas a los resultados obtenidos. Los resultados que se deduzcan de la simulación dependerán, en buena medida, de todos los datos recopilados a lo largo de las jornadas que se han impartido en el Aula Lean en este modo de trabajo estudiado, intentando presuponer las menores variables y menos determinantes si éstos no pueden conocerse con total fidelidad.

Una vez validado y verificado la simulación de este proceso, se pueden simular tantos casos como se crea conveniente hasta solucionar los problemas que se pueden describir en el modo empleado en la realidad en el aula, y así mejorar la productividad.

Estos procesos de simulación ayudan a tomar decisiones para disminuir costes que no generan valor añadido al producto, bien sea repartiendo carga de trabajo entre

operarios o cambiando diferentes operaciones que permitan mejorar los tiempos y por tanto los costes de producción.

En particular para este trabajo se ha desarrollado la simulación para un proceso productivo en cadena, pero puede aplicarse a infinidad de campos, como al transporte (de todo tipo), para problemas financieros, en supermercados o lugares de pública concurrencia. En definitiva, como se ha indicado, para la gran mayoría de sectores.

ANTECEDENTES

En los trabajos desarrollados por el departamento de Organización de Empresas y Comercio e Investigación de Mercados de la Escuela de Ingenierías Industriales perteneciente a la Universidad de Valladolid, se vienen desarrollando numerosas líneas de investigación sobre modelado de diferentes sistemas de producción mediante el software Witness. Una de estas líneas se focaliza en la aplicación de la filosofía Lean, ya que las técnicas Lean son de gran importancia para mejorar la productividad de las organizaciones.

En concreto, 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, así como para mostrar las posibilidades de la simulación en el ámbito productivo.

En esta línea se enmarca el presente trabajo, en el que se pretende modelar mediante Witness la configuración de producción por lotes en la fabricación de automóviles en la Escuela Lean, de forma que sirva de base a otros proyectos de similares características que continúen la labor que aquí se ha realizado.

OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo fin de máster consiste en modelar mediante Witness el proceso de fabricación job shop que se desarrolla en la Escuela Lean recientemente inaugurada en la Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid (Sede Francisco Mendizábal).

Para lograr este objetivo será preciso conocer el mundo del Lean Manufacturing así como los aspectos básicos de la simulación y de la herramienta que vamos a

emplear. También será necesario conocer y describir correctamente el sistema objeto de estudio antes de pasar a modelar el sistema en el software de simulación.

Este proceso de mejora del sistema productivo del Aula Lean se realizará con el Software informático de Simulación Witness, el cual, en su versión educativa, es lo bastante completa como para poder simular y obtener soluciones al problema planteado.

Deberemos modelar cada una de las máquinas, operarios,..., y demás componentes presentes en todos los puestos de trabajo, así como las traspaletas que los conectan entre sí.

Según se realiza el modelo es necesario introducir todos los datos que se han podido tomar en las diferentes clases impartidas en dicho aula partiendo, por tanto, de un proceso con datos reales, lo que facilita verificar y validar el modelo una vez construido.

Con la simulación de todo este proceso de producción de vehículos, se podrán establecer diferentes formas de mejorarlo, cambiando diferentes variables como el número de piezas que se producen en cada uno de los lotes a fabricar, los tiempos de preparación de las máquinas, o los flujos de transporte de producto en curso entre los puestos de trabajo. 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.

ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

A continuación se procede a introducir de forma escueta el contenido de cada uno de los capítulos de los que consta la memoria del presente proyecto.

En el primer capítulo se dará el enfoque general del trabajo, comentando todo lo referente a la filosofía Lean, permitiendo que a partir de este apartado se pueda ir comprendiendo el trabajo realizado y el porqué de los problemas que se encuentran inicialmente en el modelo real y de las soluciones que se aportan a través de la simulación.

En el segundo capítulo se procede a introducir los principios de la simulación, lo que permitirá conocer ésta técnica y entender cómo pueden mejorarse o predecirse los comportamientos de los sistemas productivos, principalmente. También se

valorarán las ventajas e inconvenientes que implica la utilización de esta metodología y se comentarán los principales campos de aplicación de la simulación.

El tercer capítulo describe las características del programa de simulación empleado en el presente trabajo. Se prestará especial atención a las acciones que se pueden implementar y que serán usadas en el modelado del problema propuesto. Se puede afirmar que es una pequeña guía rápida de manejo y comprensión del programa utilizado.

En el capítulo cuarto se describe el sistema real que se desarrolla en la Escuela Lean cuando se realiza una producción por lotes. Con los datos que se deducen de las clases impartidas y conociendo el funcionamiento de todo el flujo de materiales y operarios en el sistema, se modela en Witness todo este proceso, describiéndose en la parte final del capítulo cómo se ha realizado este modelado: se describen las piezas, maquinas, vehículos y demás elementos presentes en el modelo con las características definidas para hacer que el modelo sea lo más fiel posible al sistema real.

El quinto capítulo se corresponde con el estudio económico, donde se recoge el cálculo de los costes asociados a la realización del presente trabajo.

Para finalizar el desarrollo del trabajo fin de máster, se presentan las conclusiones alcanzadas, las líneas de actuación futuras (para mejorar la simulación) y, por último, la bibliografía empleada en su desarrollo.

CAPÍTULO I:

LEAN MANUFACTURING

I Lean Manufacturing

I.1	Introducción	15
I.2	Conceptos generales del Lean Manufacturing	16
I.2.1	Definición	16
I.2.2	Orígenes y Antecedentes.....	17
I.2.3	Razones de aplicación del sistema Lean Manufacturing	21
I.2.4	Principios del sistema Lean	22
I.2.5	Concepto de despilfarro VS valor añadido	24
I.2.6	Concepto de mejora continua y Kaizen	27
I.2.7	Técnicas Lean.....	29

I LEAN MANUFACTURING

I.1 Introducción

Actualmente las empresas industriales se enfrentan al reto de buscar e implantar nuevas técnicas organizativas y de producción que les permitan competir en un mercado global. El modelo de fabricación esbelta, conocido como Lean Manufacturing, constituye una alternativa consolidada y su aplicación y potencial deben ser tomados en consideración por toda empresa que pretenda ser competitiva.

El Lean Manufacturing tiene su origen en el sistema de producción Just in Time (JIT) desarrollado en los años 50 por la empresa automovilística Toyota. Con la extensión del sistema a otros sectores y países se ha ido configurando un modelo que se ha convertido en el paradigma de los sistemas de mejora de la productividad asociada a la excelencia industrial. De forma resumida puede decirse que Lean consiste en la aplicación sistemática y habitual 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.

Por ello, y debido a la competitividad a nivel mundial de los mercados, al aumento de las expectativas de los clientes, al incremento en los márgenes de ganancia por medio de la reducción de los costos, la necesidad de aumento de la capacidad para cubrir la demanda presente y futura, el cambio en las estrategias de producción (el cambio de economías de escala a una producción flexible y con lotes pequeños), a la necesidad de una fuerza de trabajo más productiva y capacitada, al requerimiento del cliente de participación en la manufactura de sus productos o servicios y la responsabilidad integral de la empresa con el medio ambiente el Lean Manufacturing se presenta como una herramienta indispensable de implantar en la mayoría de las empresas.

I.2 Conceptos generales del Lean Manufacturing

I.2.1 Definición

Lean es una palabra inglesa que se puede traducir como "sin grasa, escaso, esbelto", pero aplicada a un sistema productivo significa "ágil, flexible", es decir, capaz de adaptarse a las necesidades del cliente. Por otra parte, las empresas han adaptado como universales palabras en inglés o japonés que han pasado a ser parte del vocabulario técnico de las empresas que adoptan metodología Lean.

El Lean Manufacturing es una filosofía de trabajo que tiene por objetivo la eliminación del despilfarro, mediante la utilización de una colección de herramientas (TPM, SS, SMED, kanban, kaizen, heijunka, jidoka, etc.), que se desarrollaron fundamentalmente en Japón.

Los pilares del Lean Manufacturing son: la filosofía de la mejora continua, el control total de la calidad, la eliminación del despilfarro, el aprovechamiento de todo el potencial a lo largo de la cadena de valor y la participación de los operarios.

En resumen, entendemos por Lean Manufacturing (en castellano "producción ajustada") la persecución de la mejora y optimización del sistema de fabricación mediante la identificación y eliminación de todo tipo de "desperdicio", definidos éstos como todas aquellas acciones que no aportan valor al producto y por las cuales el cliente no está dispuesto a pagar.

Su objetivo final es el de generar una nueva "cultura" centrada en el valor añadido y basada en la comunicación y en el trabajo en equipo; para ello es indispensable adaptar el método a cada caso concreto. La filosofía Lean no da nada por sentado y busca continuamente nuevas formas de hacer las cosas de manera más ágil, flexible y económica. Su novedad consiste en la combinación de distintos elementos, técnicas y aplicaciones surgidas del estudio a pie de máquina y apoyadas por la dirección en el pleno convencimiento de su necesidad.

I.2.2 Orígenes y Antecedentes

Las técnicas de organización de la producción surgen a principios del siglo XX con los trabajos realizados por F.W. Taylor y Henry Ford, que formalizan y metodifican los conceptos de fabricación en serie que habían empezado a ser aplicados a finales del siglo XIX, y que encuentran sus ejemplos más relevantes en la fabricación de fusiles (EEUU) o turbinas de barco (Europa). Taylor estableció las primeras bases de la organización de la producción a partir de la aplicación de método científico a procesos, tiempos, equipos, personas y movimientos.

Posteriormente Henry Ford introdujo las primeras cadenas de fabricación de automóviles en donde hizo un uso intensivo de la normalización de los productos, la utilización de máquinas para tareas elementales, la simplificación-secuenciación de tareas y recorridos, la sincronización entre procesos, la especialización del trabajo y la formación especializada. En ambos casos se trata de conjuntos de acciones y técnicas que buscan una nueva forma de organización y que surgen y evolucionan en una época en donde era posible la producción rígida en masa de grandes cantidades de producto.

La ruptura con estas técnicas se produce en Japón, donde se encuentra el primer germen reconocido con el pensamiento Lean. Ya en 1902, Sakichi Toyoda, el que más tarde fuera fundador con su hijo Kiichiro de la Corporación Toyota Motor Company, inventó un dispositivo que detenía el telar cuando se rompía el hilo e indicaba con una señal visual al operador que la máquina necesitaba atención. Este sistema de “automatización con un toque humano” permitió separar al hombre de la máquina. Con esta simple y efectiva medida un único operario podía controlar varias máquinas, lo que supuso una tremenda mejora de la productividad que dio paso a una preocupación permanente por mejorar los métodos de trabajo.

Por sus contribuciones al desarrollo industrial del Japón, Sakiichi Toyoda es conocido como el “Rey de los inventores Japoneses”. En 1929, Toyoda vende los derechos de sus patentes de telares a la empresa Británica Platt Brothers y encarga a su hijo Kiichiro que invierta en la industria automotriz naciendo, de este modo, la compañía Toyota. Esta firma, al igual que el resto de las empresas japonesas, se enfrentó, después de la segunda guerra mundial, al reto de reconstruir una industria competitiva en un escenario de post-guerra.

Los japoneses se concienciaron de la precariedad de su posición en el escenario económico mundial, pues, desprovistos de materias primas, sólo podían contar con ellos mismos para sobrevivir y desarrollarse. El reto para los japoneses era lograr beneficios de productividad sin recurrir a economías de escala. Comenzaron a estudiar los métodos de producción de Estados Unidos, con especial atención a las prácticas productivas de Ford, al control estadístico de procesos desarrollado por W. Shewart, a las técnicas de calidad de Edwards Deming y Joseph Moses Juran, junto con las desarrolladas en el propio Japón por Kaoru Ishikawa.

Precisamente, en este entorno de “supervivencia”, la compañía Toyota fue la que aplicó más intensivamente la búsqueda de nuevas alternativas “prácticas”. A finales de 1949, un colapso de las ventas obligó a Toyota a despedir a una gran parte de la mano de obra después de una larga huelga. En ese momento, dos jóvenes ingenieros de la empresa, Eiji Toyoda (sobrino de Kiichiro) y Taiicho Ohno, al que se le considera el padre del Lean Manufacturing, visitaron las empresas automovilísticas americanas.

Por aquel entonces el sistema americano propugnaba la reducción de costes fabricando vehículos en grandes cantidades pero limitando el número de modelos. Observaron que el sistema rígido americano no era aplicable a Japón y que el futuro iba a pedir construir automóviles pequeños y modelos variados a bajo coste. Concluyeron que esto solo sería posible suprimiendo los stocks y toda una serie de despilfarros, incluyendo los de aprovechamiento de las capacidades humanas.

A partir de estas reflexiones, Ohno estableció las bases del nuevo sistema de gestión JIT/*Just in Time* (Justo a tiempo), también conocido como TPS (*Toyota Manufacturing System*). El sistema formulaba un principio muy simple: “producir solo lo que se demanda y cuando el cliente lo solicita”. Las aportaciones de Ohno se complementaron con los trabajos de Shigeo Shingo, también ingeniero industrial de Toyota, que estudió detalladamente la administración científica de Taylor y teorías de tiempos y movimientos de Gilbreth.

Entendió la necesidad de transformar las operaciones productivas en flujos continuos, sin interrupciones, con el fin de proporcionar al cliente únicamente lo que requería, focalizando su interés en la reducción de los tiempos de preparación. Sus primeras aplicaciones se centraron en la reducción radical de los tiempos de cambio de herramientas, creando los fundamentos del sistema SMED (*Single*

Minute Exchange of Die). Al amparo de la filosofía JIT fueron desarrollándose diferentes técnicas como el sistema Kanban, Jidoka, Poka–Yoke que fueron enriqueciendo el sistema Toyota.

El sistema JIT/TPS ganó notoriedad con la crisis del petróleo de 1973 y la entrada en pérdidas de muchas empresas japonesas. Toyota destacaba por encima de las demás compañías y el gobierno japonés fomentó la extensión del modelo a otras empresas.

A partir de este momento la industria japonesa empieza a tomar una ventaja competitiva con occidente. En este punto hay que destacar que Taicho Ohno ha reconocido que el JIT surgió del esfuerzo por la superación, la mejora de la productividad y, en definitiva, la necesidad de reducir los costes, prueba de que en época de crisis las ideas surgen con más fuerza.

Sin embargo, pese a todos estos antecedentes, no es hasta principios de la década de los 90, cuando repentinamente el modelo japonés tiene “un gran eco” en occidente y lo hace a través de la publicación de “La máquina que cambió el mundo” de Womack, Jones y Roos. En este libro se sintetiza el “Programa de Vehículos a Motor” que se realizó en el MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) con el fin de contrastar, de una forma sistemática, los sistemas de producción de Japón, Europa y Estados Unidos. En esta publicación se exponían las características de un nuevo sistema de producción “capaz de combinar eficiencia, flexibilidad y calidad” utilizable en cualquier lugar del mundo.

En esta obra fue donde por primera vez se utilizó la denominación Lean Manufacturing, aunque, en el fondo, no dejó de ser una forma de etiquetar con una nueva palabra occidentalizada el conjunto de técnicas que ya llevaban utilizándose desde hacía décadas en Japón.

Teniendo en cuenta todos estos antecedentes es lógico que técnicos, docentes y expertos en la materia, hagan referencia al sistema de producción Japonés para hablar de Lean, un sistema nacido en un entorno socio-industrial muy diferente al occidental.

Precisamente, según Suzuki (2004), las técnicas JIT, junto al sistema de organización del trabajo japonés JWO (*Japanese Work Organization*) y el Jidoka, son los fundamentos que configuran el Lean Manufacturing.

El JWO consiste en idear y establecer una manera de organizar el trabajo orientado a la exhaustiva aplicación práctica de las habilidades de los trabajadores; esto es, a la plena utilización de las capacidades de la mano de obra. El sistema se completa con otras prácticas organizativas, tales como la formación de trabajadores para que puedan realizar varias tareas, la asignación flexible del trabajo, la asignación de responsabilidad a los trabajadores con el fin de comprobar parámetros de calidad y para efectuar mantenimiento básico. El Jidoka consiste en proporcionar a las máquinas la capacidad de parar el proceso si detecta que no puede fabricar una pieza sin errores (Figura 1.1).



Figura 1.1. Origen y evolución de los principios Lean.

En un primer grupo se encuadran los principios JIT originales, que afectan a la 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.

Para concluir la descripción del origen del Lean Manufacturing es conveniente simplificar los conceptos y desmitificar las denominaciones, en un primer ejercicio de pensamiento Lean que evite “despilfarros” en la comunicación de conceptos. El origen del Lean Manufacturing se encuentra en el momento en que las empresas japonesas adoptaron una “cultura”, que se mantiene hasta nuestros días, consistente en buscar obsesivamente la forma de aplicar mejoras en la planta de fabricación a nivel de puesto de trabajo y línea de fabricación, todo ello en contacto

directo con los problemas y contando con la colaboración, involucración y comunicación plena entre directivos, mandos y operarios. En esa búsqueda adoptaron plenamente los principios de la calidad total y mejora continua logrando un cambio de mentalidad que no se produciría hasta décadas después en las fábricas de occidente (Hernández y Vizán, 2013).

I.2.3 Razones de aplicación del sistema Lean Manufacturing

Debido a las grandes transformaciones de la economía, los clientes son cada vez más exigentes, informados y conscientes del papel importante que juegan, ya que son quienes valoran el producto. Los cambios de hábitos, estilos de vida y preferencias han transformado el panorama cultural, social y económico del mundo, obligando a las empresas a ser más flexibles, adecuar los productos y servicios a la nueva realidad, con nuevas formas de distribución y todo ello apoyados en los tres aspectos fundamentales de la competitividad: calidad, rapidez de respuesta y coste.

El principio fundamental de Lean Manufacturing es que el producto o servicio y sus atributos deben ajustarse a lo que el cliente quiere, y para satisfacer estas condiciones propugna la eliminación de los despilfarros. En general, las tareas que contribuyen a incrementar el valor del producto no superan el 1% del total del proceso productivo, o lo que es lo mismo, el 99% de las operaciones restantes no aportan valor y, por tanto, constituyen un despilfarro. Tradicionalmente, los procesos de mejora se han centrado en el 1% del proceso que aporta valor al producto. Resulta evidente que, si se acepta el elevado porcentaje de desperdicio en el que se incurre en un proceso productivo, existe una enorme oportunidad de mejora.

Otro argumento a favor de la implantación de Lean Manufacturing es la reducción de los costes globales (especialmente los indirectos) mientras se mantienen los estándares de calidad y disminuyen los tiempos de ciclo de fabricación. Cabe señalar que la mayoría de las aplicaciones Lean se encuentran en el entorno de fabricación en serie, línea o repetitiva, en operaciones donde se producen lotes de productos estándar a elevada velocidad y un gran volumen, moviéndose los materiales en flujo continuo.

No es frecuente encontrar casos de implantación exitosa del sistema en talleres artesanales grandes, de trabajos muy complejos, donde la planificación y el control de la producción es extremadamente complicada. Talleres artesanales más pequeños y menos complejos han utilizado algunas técnicas propias de Lean Manufacturing, pero estas empresas han efectuado muchas modificaciones para cambiar las operaciones, comportándose de forma similar a la producción en serie. Para el caso de sistemas productivos del tipo proyectos o continuos, el Lean Manufacturing será válido mediante la adaptación de técnicas específicas incluidas dentro de la propia filosofía, tal como puede deducirse de la concepción de estos dos tipos de sistemas productivos (Rajadell y Sánchez, 2010).

I.2.4 Principios del sistema Lean

El Lean es un sistema con muchas dimensiones que, como ya se ha indicado en puntos anteriores, incide especialmente en la eliminación de los despilfarros mediante la aplicación de las técnicas que se explican más adelante. Supone un cambio cultural en la organización empresarial con un alto compromiso de la dirección de la compañía que decida implementarlo. En estas condiciones es complicado hacer un esquema simple que refleje los múltiples pilares, fundamentos, principios, técnicas y métodos que contempla y que no siempre son homogéneos teniendo en cuenta que se manejan términos y conceptos que varían según la fuente consultada.

De forma tradicional se ha recurrido al esquema de la “Casa del Sistema de Producción Toyota” para visualizar rápidamente la filosofía que encierra el Lean y las técnicas disponibles para su aplicación. Se explica utilizando una casa porque ésta constituye un sistema estructural que es fuerte siempre que los cimientos y las columnas lo sean; una parte en mal estado debilitaría todo el sistema.

El techo de la casa está constituido por las metas perseguidas que se identifican con la mejor calidad, al más bajo costo, el menor tiempo de entrega o tiempo de maduración (Lead-time). Sujetando este techo se encuentran las dos columnas que sustentan el sistema: JIT y Jidoka.

El JIT, tal vez la herramienta más reconocida del sistema Toyota, significa producir el artículo indicado en el momento requerido y en la cantidad exacta.

Jidoka consiste en dar a las máquinas y operadores la habilidad para determinar cuándo se produce una condición anormal e inmediatamente detener el proceso. Ese sistema permite detectar las causas de los problemas y eliminarlas de raíz de manera que los defectos no pasen a las estaciones siguientes.

La base de la casa consiste en la estandarización y estabilidad de los procesos: el heijunka o nivelación de la producción y la aplicación sistemática de la mejora continua (Figura 1.2).

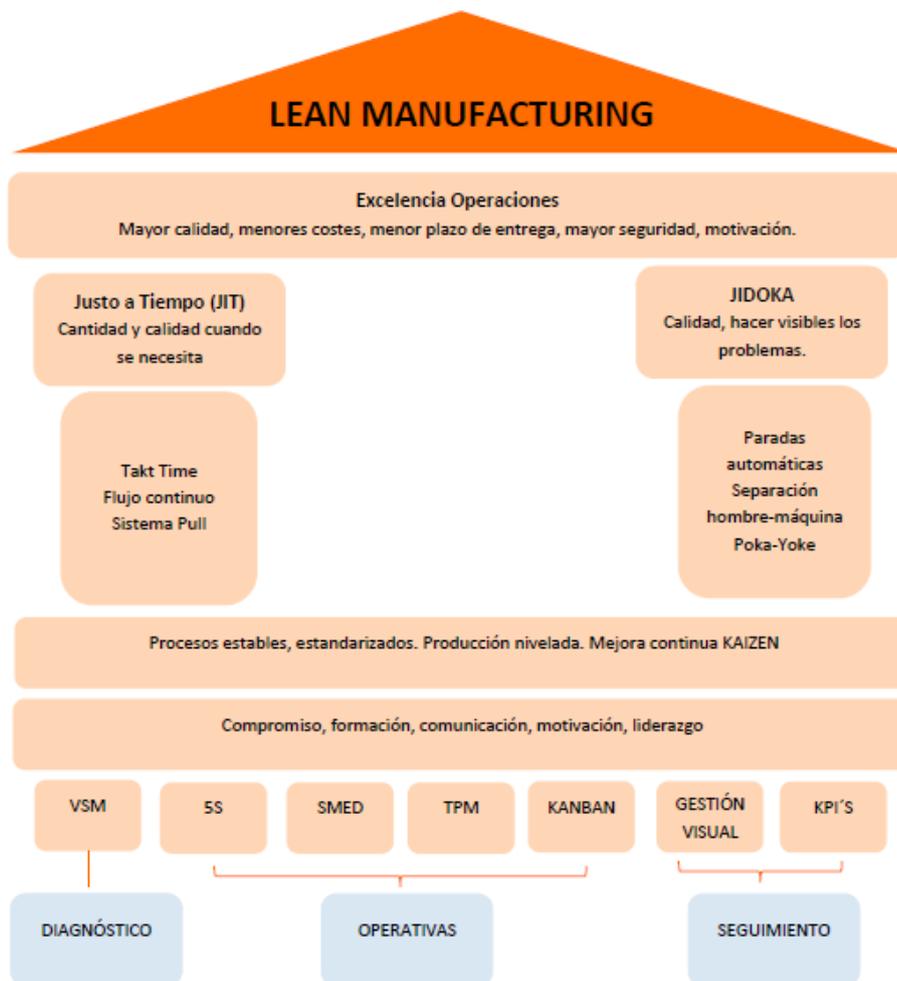


Figura 1.2. “Casa del Sistema de Producción Toyota”.

A estos cimientos tradicionales se les ha añadido el factor humano como clave en las implantación del Lean, factor éste que se manifiesta en múltiples facetas como son el compromiso de la dirección, la formación de equipos dirigidos por un

líder, la formación y capacitación del personal, los mecanismos de motivación y los sistemas de recompensa (Hernández y Vizán, 2013).

Todos los elementos de esta casa se construyen a través de la aplicación de múltiples técnicas que han sido divididas según se utilicen para el diagnóstico del sistema a nivel operativo o como técnicas de seguimiento.

Además de la casa Toyota los expertos recurren a explicar el sistema identificando los principios sobre los que se fundamenta el Lean Manufacturing. Los principios más frecuentes asociados al sistema, desde el punto de vista del “factor humano” y de la manera de trabajar y pensar, consiste en la formación de líderes de equipos que asuman el sistema y lo enseñen al resto, desarrollar personas involucradas que sigan la filosofía de la empresa, respetar a los proveedores ayudándoles y proponiéndoles retos, identificar y eliminar funciones y procesos que no son necesarios, promover equipos y personas multidisciplinarios, descentralizar la toma de decisiones, integrar funciones y sistemas de información y obtener el compromiso total de la dirección con el modelo Lean.

Además, a estos principios hay que añadir los relacionados con las medidas operacionales y técnicas a usar como son: el crear un flujo de proceso continuo que visualice los problemas a la superficie, utilizar sistemas “Pull” para evitar la sobreproducción, nivelar la carga de trabajo para equilibrar las líneas de producción, estandarizar las tareas para poder implementar la mejora continua, utilizar el control visual para la detección de problemas, eliminar inventarios a través de las diferentes técnicas JIT, reducir los ciclos de fabricación y diseño y conseguir la eliminación de defectos.

I.2.5 Concepto de despilfarro VS valor añadido

Cómo bien se lleva indicando en puntos anteriores, el Lean Manufacturing se centra principalmente en la eliminación del despilfarro intentando que la mayor parte de las operaciones productivas aporten un valor al producto. Por ello, este punto se centra muy especialmente en definir y analizar los conceptos de “valor añadido” y “despilfarro”, para de esa forma poder medir la eficiencia y productividad del sistema productivo en términos de éstos.

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, es decir, el valor añadido es lo que realmente mantiene vivo el negocio y su cuidado y mejora debe ser la principal ocupación de todo el personal de la cadena productiva.

Por otro lado, se define “despilfarro” como todo aquello que no añade valor al producto o que no es absolutamente esencial para fabricarlo. No se debe cometer el error de confundir desperdicio con lo necesario, es decir, cuando identificamos una operación o proceso como desperdicio, por no añadir valor, asociamos dicho pensamiento a la necesidad de su inmediata eliminación y eso nos puede crear confusión y rechazo. Cabe señalar que existen actividades necesarias para el sistema o proceso aunque no tengan un valor añadido. En este caso estos desperdicios tendrán que ser asumidos (Hernández y Vizán, 2013).

En el entorno Lean la eliminación sistemática del desperdicio se realiza a través de tres pasos que tienen como objetivo la eliminación sistemática del desperdicio y todo aquello que resulte improductivo, inútil o que no aporte valor añadido y que recibe el nombre de Hoshin (Brújula):

- Reconocer el desperdicio y el valor añadido dentro de nuestros procesos.
- Actuar para eliminar el desperdicio aplicando la técnica Lean más adecuada.
- Estandarizar el trabajo con mayor carga de valor añadido para, posteriormente, volver a iniciar el ciclo de mejora.

La idea principal es buscar por parte de todo el personal involucrado, soluciones de aplicación inmediata tanto en la mejora de la organización del puesto de trabajo como en las instalaciones o flujos de producción, puesto que uno de sus puntos clave del éxito del sistema se fundamenta en la implicación de todo el personal, empezando por la dirección y terminando en los operarios.

El reconocimiento de los desperdicios de cada empresa debe ser el primer paso para la selección de las técnicas más adecuadas. Por ello, a continuación se definen los diferentes tipos de desperdicios:

- *Despilfarro por stock:* constituyen un conjunto de materiales o productos que se almacenan sin una necesidad inmediata. Este tipo de despilfarro hace que se acumule material, antes y después del proceso, indicando que el flujo de producción no es continuo. El mantenimiento de almacenes permite mantener los problemas ocultos pero nunca los resuelve.

Entre otras se caracteriza principalmente por: excesivo espacio del almacén, contenedores o cajas demasiado grandes, rotación baja de existencias, costes de almacén elevados, excesivos medios de manipulación.

- *Despilfarro por sobreproducción:* este despilfarro se manifiesta cada vez que la producción no responde a la demanda, es decir, supone producir productos, para los que no hay una necesidad por parte del cliente. Equivale a decir que la sobreproducción es el peor de los despilfarros ya que a menudo genera otros (transporte, movimientos adicionales, inventarios).

Este tipo de despilfarro se caracteriza por: gran cantidad de stock, ausencia de plan para eliminación sistemática de problemas de calidad, equipos sobredimensionados, tamaño grande de lotes de fabricación, falta de equilibrio en la producción, ausencia de un plan para eliminación sistemática de problemas de calidad, equipamiento obsoleto y necesidad de mucho espacio para almacenaje.

- *Despilfarro por tiempo de espera:* el desperdicio por tiempo de espera es el tiempo perdido como resultado de una secuencia de trabajo o un proceso ineficiente. Los procesos mal diseñados pueden provocar que unos operarios permanezcan parados mientras otros están saturados de trabajo. Por ello, es preciso estudiar concienzudamente cómo reducir o eliminar el tiempo perdido durante el proceso de fabricación.

Se caracteriza por: el operario espera a que la máquina termine, exceso de colas de material dentro del proceso, paradas no planificadas, tiempo para ejecutar otras tareas indirectas, tiempo para ejecutar reproceso, la máquina espera a que el operario acabe una tarea pendiente, un operario espera a otro operario, ..., por ejemplo.

- *Despilfarro por transporte y movimientos innecesarios*: el desperdicio por transporte es el resultado de un movimiento o manipulación de material innecesario. Es importante optimizar la disposición de las máquinas de forma que estén lo más cerca posible, de igual manera ocurre con los trayectos de los suministradores, puesto que los materiales deberían fluir directamente desde una estación de trabajo a la siguiente sin esperar en colas de inventario.

Este desperdicio se particulariza por: los contenedores son demasiado grandes, o pesados, difíciles de manipular, exceso de operaciones de movimiento y manipulación de materiales, los equipos de manutención circulan vacíos por la planta.

- *Defectos por rechazos, defectos y reprocesos*: existen otros tipos de desperdicios que se derivan de los errores, lo que incluye el trabajo extra que debe realizarse como consecuencia de no haber ejecutado correctamente el proceso productivo la primera vez.

Debido a este tipo de desperdicio, los procesos productivos deberían estar diseñados a prueba de errores, para conseguir productos acabados con la calidad exigida, eliminando así cualquier necesidad de retrabajo o de inspecciones adicionales. Además, deberían incluirse controles de calidad en tiempo real para detectar errores justo cuando suceden; de esa forma se minimiza el número de piezas que precisan inspección adicional.

Las características principales de estos derroches 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 (Hernández y Vizán, 2013).

I.2.6 Concepto de mejora continua y Kaizen

La mejora continua, uno de los pilares fundamentales del Lean Manufacturing nombrado en puntos anteriores, se basa en la lucha persistente contra el

desperdicio. El pilar fundamental para ganar esta batalla es el trabajo en equipo bajo lo que se ha venido en denominar espíritu Kaizen, verdadero impulsor del éxito del sistema Lean en Japón.

Kaizen significa “cambio para mejorar”; deriva de las palabras KAI-cambio y ZEN-bueno. Kaizen es el cambio en la actitud de las personas, hacia la mejora, hacia la utilización de las capacidades de todo el personal, la que hace avanzar el sistema hasta llevarlo al éxito. La mejora continua y el espíritu Kaizen, son conceptos maduros aunque no tienen una aplicación real extendida. Su significado puede parecer muy sencillo y, la mayoría de las veces, lógico y de sentido común, pero la realidad muestra que en el entorno empresarial su aplicación es complicada sino hay un cambio de pensamiento y organización radical que permanezca a lo largo del tiempo. Comprende tres componentes esenciales: percepción (descubrir los problemas), desarrollo de ideas (hallar soluciones creativas) y, finalmente, tomar decisiones, implantarlas y comprobar su efecto, es decir, escoger la mejor propuesta, planificar su realización y llevarla a la práctica (para alcanzar un determinado efecto).

Los antecedentes de la mejora continua se encuentran en las aportaciones de Deming (Ciclo PDCA) y Juran en materia de calidad y control estadístico de procesos, que supusieron en punto de partida para los nuevos planteamientos de Ishikawa, Imai y Ohno, quienes incidieron en la importancia de la participación de los operarios en grupos o equipos de trabajo, enfocada a la resolución de problemas y la potenciación de la responsabilidad personal. A partir de estas iniciativas, Kaizen se ha considerado como un elemento clave para la competitividad y el éxito de las empresas japonesas.

Ante estas consideraciones es lógico concluir que la mejora continua es el pilar básico del éxito del modelo creado en Japón y es un factor fundamental a la hora de conseguir que los beneficios de implantación de cualquier herramienta Lean Manufacturing sean persistentes en el tiempo.

I.2.7 Técnicas Lean

El Lean Manufacturing se lleva a la práctica a través de la aplicación de una amplia serie de técnicas, las cuales pueden implantarse en el sistema productivo de forma independiente o conjunta, simplemente atendiendo a las características específicas en cada caso.

El número de estas técnicas es muy elevado y los expertos en la materia no se ponen de acuerdo a la hora de identificarlas, clasificarlas y proponer su ámbito de aplicación, aunque lo realmente importante es tener los conceptos claros y la voluntad de cambiar las cosas a mejor, por ello a continuación se realiza una descripción de algunas de ellas sin entrar en mucho detalle puesto que conllevaría un gran estudio no objetivo de este trabajo.

- Las 5S: la herramienta 5S se corresponde con la aplicación sistemática de los principios de orden y limpieza en el puesto de trabajo que, de una manera menos formal y metodológica, ya existían dentro de los conceptos clásicos de organización de los medios de producción. El acrónimo corresponde a las iniciales en japonés de las cinco palabras que definen la 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.

Los principios 5S son fáciles de entender, y su puesta en marcha no requiere ni un conocimiento particular ni grandes inversiones financieras. Además constituye la primera herramienta a implantar en toda empresa que aborde el Lean Manufacturing, ya que los hábitos de comportamiento que se consiguen con las 5S lograrán que las demás técnicas Lean se implanten con mayor facilidad.

Para empezar la implantación de las 5S, se comenzará escogiendo un área piloto para en ella, siguiendo normalmente un proceso de cinco pasos cuyo desarrollo implica la asignación de recursos, la adaptación a la cultura de la empresa y la consideración de aspectos humanos. Se deberán seguir los siguientes principios resumidos en la Figura 1.3:

- *Eliminar (seiri)*: la primera de las 5S significa clasificar y eliminar del área de trabajo todos los elementos innecesarios o inútiles para la tarea que se realiza.
- *Ordenar (seiton)*: consiste en organizar los elementos clasificados como necesarios, de manera que se encuentren con facilidad, definir su lugar de ubicación identificándolo para facilitar su búsqueda y el retorno a su posición inicial.
- *Limpieza e inspección (seiso)*: seiso significa limpiar, inspeccionar el entorno para identificar los defectos y eliminarlos, es decir, anticiparse para prevenir defectos. Si durante el proceso de limpieza se detecta algún desorden, deben identificarse las causas principales para establecer las acciones correctoras que se estimen oportunas.

Otro punto clave a la hora de limpiar es identificar los focos de suciedad existentes para poder así eliminarlos y no tener que hacerlo con tanta frecuencia, ya que se trata de mantener los equipos en buen estado, pero optimizando el tiempo dedicado a la limpieza.

- *Estandarización (seiketsu)*: la fase de seiketsu permite consolidar las metas una vez asumidas las tres primeras “S”, porque sistematizar lo conseguido asegura unos efectos perdurables. Estandarizar supone seguir un método para ejecutar un determinado procedimiento de manera que la organización y el orden sean factores fundamentales. Un estándar es la mejor manera, la más práctica y fácil de trabajar para todos, ya sea con un documento, un papel, una fotografía o un dibujo.
- *Disciplina (shitsuke)*: shitsuke se puede traducir por disciplina y su objetivo es convertir en hábito la utilización de los métodos estandarizados y aceptar la aplicación normalizada. Su aplicación está ligada al desarrollo de una cultura de autodisciplina para hacer perdurable el proyecto de las 5S.



Figura 1.3. Resumen de la técnica “5S”.

- Cambio rápido de herramientas - SMED: La técnica SMED (*Single-Minute Exchange of Dies*), es una metodología o conjunto de técnicas que persiguen la reducción de los tiempos de preparación de máquina. Esto se consigue estudiando detalladamente el proceso e incorporando cambios radicales en la máquina, utillaje, herramientas e incluso el propio producto de forma que disminuyan tiempos de preparación, dichos cambios implican la eliminación de ajustes y la estandarización de las operaciones (Figura 1.4). (Rajadell y Sánchez, 2010)



Figura 1.4. Representación del tiempo de cambio de herramienta.

La reducción en los tiempos de preparación merece especial consideración y es importante por varios motivos. Cuando el tiempo de cambio es alto los lotes de producción son grandes y, por tanto, la inversión en inventario es elevada; sin embargo, cuando el tiempo de cambio es insignificante se puede producir diariamente la cantidad necesaria eliminando casi totalmente la necesidad de invertir en inventarios.

Los métodos rápidos y simples de cambio eliminan la posibilidad de errores en los ajustes de técnicas y útiles. Así mismo reducen sustancialmente los defectos y suprimen la necesidad de inspecciones.

Otro de los beneficios importantes que aporta la reducción en el tiempo de cambio y preparación de las máquinas es aumentar su rendimiento, puesto que si una máquina se encuentra a plena capacidad esto constituye una opción para aumentarla.

Para llevar a cabo una acción SMED, las empresas deben acometer estudios de tiempos y movimientos relacionados específicamente con las actividades de preparación. Dichos estudios suelen encuadrarse en cuatro fases bien diferenciadas:

- *Fase 1: Diferenciación de la preparación externa y la interna.* Por preparación interna, se entienden todas aquellas actividades que para poder efectuarlas requiere que la máquina se detenga. En tanto que la preparación externa se refiere a las actividades que pueden llevarse a cabo mientras la máquina funciona. El principal objetivo de esta fase es separar la preparación interna de la preparación externa, y convertir cuanto sea posible de la preparación interna en preparación externa.
- *Fase 2: Reducir el tiempo de preparación interna mediante la mejora de las operaciones.* Las preparaciones internas que no puedan convertirse en externas deben ser objeto de mejora y control continuo.
- *Fase 3: Reducir el tiempo de preparación interna mediante la mejora del equipo.* Todas las medidas tomadas a los efectos de reducir los tiempos de preparación se han referido hasta ahora a las operaciones o actividades sin embargo esta fase debe enfocarse a la mejora del equipo.
- *Fase 4: Preparación Cero.* El tiempo ideal de preparación es cero por lo que el objetivo final debe ser plantearse la utilización de tecnologías adecuadas y el diseño de dispositivos flexibles para productos pertenecientes a la misma familia.

Los beneficios de la aplicación de las técnicas SMED se traducen en una mayor capacidad de respuesta rápida a los cambios en la demanda (mayor flexibilidad de la línea), permitiendo la aplicación posterior de los principios y técnicas Lean como el *one piece flow*, la producción mezclada o la producción nivelada (Rajadell y Sánchez, 2010).

- Estandarización: La “estandarización” supone uno de los pilares principales del Lean Manufacturing. Una definición precisa de lo que significa la estandarización es la siguiente: “Los estándares son descripciones escritas y gráficas que nos ayudan a comprender las técnicas y técnicas más eficaces y fiables de una fábrica y nos proveen de los conocimientos precisos sobre personas máquinas, materiales, métodos, mediciones e información, con el objeto de hacer productos de calidad de modo fiable, seguro, barato y rápidamente” (Hernández y Vizán, 2013).

La estandarización se ha convertido en el punto de partida y la culminación de la mejora continua. Partiendo de las condiciones corrientes, primero se define un estándar del modo de hacer las cosas; a continuación se mejora, se verifica el efecto de la mejora y se estandariza de nuevo un método que ha demostrado su eficacia. La mejora continua es la repetición de este ciclo. En este punto reside una de las claves del pensamiento Lean: “Un estándar se crea para mejorarlo” (Hernández y Vizán, 2013).

Las características que debe tener una correcta estandarización se pueden resumir en los cuatro principios siguientes:

- Ser descripciones simples y claras de los mejores métodos para producir cosas.
- Proceder de mejoras hechas con las mejores técnicas y herramientas disponibles en cada caso.
- Garantizar su cumplimiento.
- Considerarlos siempre como puntos de partida para mejoras posteriores.

- **Mantenimiento Productivo Total - TPM:** El TPM (*Total Productive Maintenance*) es un conjunto de técnicas orientadas a eliminar las averías a través de la participación y motivación de todos los empleados, su objetivo es asegurar que el equipo de fabricación se encuentre en perfectas condiciones y que continuamente produzca componentes de acuerdo con los estándares de la calidad en un tiempo de ciclo adecuado. La idea fundamental es que la mejora y buena conservación de los activos productivos es una tarea de todos, desde los directivos hasta los ayudantes de los operarios.

Desde una perspectiva tanto estratégica como operativa el TPM propone cuatro objetivos:

- Maximizar la eficacia del equipo.
- Desarrollar un sistema de mantenimiento productivo para toda la vida útil del equipo que se inicie en el mismo momento de diseño de la máquina (diseño libre de mantenimiento) y que incluirá a lo largo de toda su vida acciones de mantenimiento preventivo sistematizado y mejora de la mantenibilidad mediante reparaciones o modificaciones.
- Implicar a todos los departamentos que planifican, diseñan, utilizan o mantienen los equipos.
- Implicar activamente a todos los empleados, desde la alta dirección hasta los operarios, incluyendo mantenimiento autónomo de empleados y actividades en pequeños grupos.

Esta herramienta promueve la concienciación sobre el equipo y el automantenimiento, por lo que es necesario asegurar la formación de los operarios de forma que adquieran habilidades para descubrir anomalías, tratarlas y establecer las condiciones óptimas del equipo de forma permanente.

El proceso de implantación TPM se puede desplegar en los siguientes pasos:

- Paso 1.- *Volver a situar la línea en su estado inicial*: el objetivo debe ser dejar la línea en las condiciones en las que fue entregada por parte del proveedor el día de su puesta en marcha.
- Paso 2.- *Eliminar las fuentes de suciedad y las zonas de difícil acceso*: una fuente de suciedad (fugas de aire o de aceite, caídas de componentes, virutas de metal, etc.) es aquel lugar en el que, aunque se limpie continuamente, se sigue generando suciedad. Estas fuentes de suciedad hay que considerarlas como causas de un mal funcionamiento o anomalías de los equipos.
- Paso 3.- *Aprender a inspeccionar el equipo*: para el proceso de implantación del TPM es fundamental que el personal de producción, poco a poco, se vaya encargando de más tareas propias de mantenimiento, hasta llegar a trabajar de forma casi autónoma.
- Paso 4.- *Mejora continua*: en este paso los operarios de producción realizan las tareas de TPM de forma autónoma, se hacen cargo de las técnicas necesarias y proponen mejoras en las máquinas que afecten a nuevos diseños de línea. En esta fase cobra vital importancia la determinación de las causas de averías, para lo que se pueden utilizar las mismas técnicas de calidad total que se usan en SMED.

Dentro de una empresa conviene definir un sistema de indicadores accesible y fiable para medir, analizar y evaluar los resultados y desviaciones respecto al objetivo de manera metódica y fiable. Indicadores como el rendimiento de la mano de obra, las horas dedicadas a trabajos urgentes, los costes de reparación o la disponibilidad son válidos para estos sistemas.

En el entorno Lean cobra vital importancia el indicador numérico natural para el TPM, denominado Índice de Eficiencia Global del Equipo, conocido como OEE (*Overall Equipment Efficiency*), que establece la comparación entre el número de piezas que podrían haberse producido, si todo hubiera ido perfectamente, y las unidades sin defectos que realmente se han producido (Figura 1.5).

El índice OEE se obtiene de la siguiente ecuación:

$$OEE \text{ (Eficiencia Global de Equipos Productivos)} = D * E * C \quad (1)$$

Dónde:

- El *coeficiente de disponibilidad* (D) es la fracción de tiempo que el equipo está operando realmente reflejando las pérdidas por averías y paradas.
- El *coeficiente de eficiencia* (E) mide el nivel de funcionamiento del equipo contemplando las perdidas por tiempos muertos, paradas menores y perdidas por una velocidad operativa más baja que la de diseño.
- El *coeficiente 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 1.5. Cálculo del indicador OEE.

- *Control Visual.* Las técnicas de control visual son un conjunto de medidas prácticas de comunicación que persiguen plasmar, de forma sencilla y evidente, la situación del sistema productivo con especial hincapié en las anomalías y despilfarros, focalizándose exclusivamente en aquella información de alto valor añadido que ponga en evidencia las pérdidas en el sistema y las posibilidades de mejora.

En este sentido, el control visual se convierte en la herramienta Lean que convierte la dirección por especialistas en un dirección simple y transparente con la participación de todos de forma que puede afirmarse que es la manera con la que Lean Manufacturing “estandariza” la gestión.

- *Jidoka*. El Jidoka, que significa automatización con un toque humano o autonomación, define el sistema de control autónomo bajo la perspectiva Lean. En otras palabras, persigue que el proceso tenga su propio autocontrol de calidad, de forma que, si existe una anomalía durante el proceso éste se detendrá, ya sea automática o manualmente por el operario, impidiendo que las piezas defectuosas avancen en el proceso, lo que permite minimizar el número de piezas defectuosas a reparar y la posibilidad de que éstas pasen a etapas posteriores del proceso.

Las fases de inspección, si son necesarias, se realizan dentro de la misma línea y cada operario garantiza la calidad de su trabajo. En otras palabras, se muestra más interés en controlar el proceso y menos el producto. Todas las unidades producidas deben ser buenas, no se permite el lujo de tener piezas defectuosas ya que no está prevista la producción de piezas adicionales.

La técnica Jidoka se puede aplicar de distintas maneras; en casi todos los casos depende de la creatividad aplicada para evitar que una pieza defectuosa siga avanzando en su proceso. Normalmente se identifican las técnicas Jidoka con sistemas de autonomación de las máquinas o con la capacidad (y autoridad) del operario de parar la línea.

La capacidad de parar la línea por parte del operario es un aspecto fundamental del Jidoka. Cada operario puede pulsar un botón para detener la producción cuando detecta defectos o irregularidades. Cuando el operario pulsa el botón, una señal (andon) indica el problema y alerta a todos los compañeros de la sección de las dificultades de la operación asignada al operario. Este sistema de luces, permite la comunicación entre los operarios.

En la práctica funciona como se describe a continuación. Una luz verde significa que no hay problemas, mientras que una de color ámbar indica que la producción se está quedando atrás, como consecuencia de un problema, pero el operario que lo ha detectado se ve capacitado para resolverlo personalmente. Una luz roja indica la detección de un problema grave: el proceso se paraliza de manera que los compañeros y el propio encargado deben contribuir decididamente a encontrar una solución factible.

Otro punto clave de las técnicas Jidoka 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. En otras palabras, se trata de que “los errores no deben producir defectos y mucho menos aún progresar”. Los poka-yoke se caracterizan por su simplicidad (pequeños dispositivos de acción inmediata, muchas veces sencillos y económicos), su eficacia (actúan por sí mismos, en cada acción repetitiva del proceso, con independencia del operario) y tienen tres funciones contra los defectos: pararlos, controlarlos y avisar de ellos.

El diseño de un poka-yoke debe partir de la base de que han de ser baratos, duraderos, prácticos, de fácil mantenimiento, ingeniosos y, preferiblemente, diseñados por los operarios.

- *Técnicas de Calidad:* La garantía de alta calidad constituye un pilar extraordinariamente importante en el contexto de Lean manufacturing. La calidad se entiende como el compromiso de la empresa en hacer las cosas “bien a la primera” y en todas sus áreas para alcanzar la plena satisfacción de los clientes, tanto externos como internos. El esfuerzo continuo mediante el despliegue de las técnicas de calidad es la única forma de asegurar que todas las unidades producidas cumplan las especificaciones dadas.

En esta situación cada empleado se convierte en un inspector de calidad, no habiendo distinción entre los operarios de la línea y el personal del departamento de calidad. De esta manera la reparación de

los defectos no se realiza después de un largo tiempo de producción defectuosa, sino inmediatamente después de la localización de un problema.

Sin embargo, la búsqueda de soluciones aplicables en cada caso industrial no es sencilla y en muchas ocasiones depende de la creatividad de las personas involucradas en los procesos de diseño, ejecución y control del proceso el evitar que una pieza defectuosa siga avanzando en su proceso. Para alcanzar estos objetivos, Lean Manufacturing propugna un uso intensivo de las técnicas de Calidad TQM (*Total Quality Management*), destacando entre todas ellas los chequeos de autocontrol, la Matriz de Autocalidad, 6 Sigma, el análisis PDCA y la implantación de planes cero defectos.

- *Sistemas de Participación del Personal:* Los sistemas de participación del personal (SPP) se definen como el conjunto de actividades estructuradas de forma sistemática que permiten canalizar eficientemente todas las iniciativas que puedan incrementar la competitividad de las empresas. Estos sistemas tienen como objetivo común la identificación de problemas o de oportunidades de mejora para plantear e implantar acciones que permitan resolverlos, de aquí que son pieza fundamental en el proceso de mejora continua propugnado por el Lean Manufacturing. (Hernández y Vizán, 2013)

Estos sistemas de participación ofrecen al personal de la empresa la oportunidad de expresar sus ideas sobre diferentes aspectos de la organización, consiguiendo una mayor implicación y motivación de éstos en la misma, mejorando las relaciones entre los diferentes niveles jerárquicos así como fomentar la creatividad y la conciencia de grupo frente a la conciencia individual consiguiendo una mayor integración en la estructura organizativa.

Los sistemas de participación más empleados son:

- *Grupos de mejora:* entre los que se distinguen los grupos kaizen o los grupos autónomos de producción (GAP).
- *Programas de sugerencias:* otro de los tipos de sistemas de participación del personal destacados son los programas de

sugerencias, los cuales están dirigidos a aprovechar el potencial individual de los empleados mediante la canalización de sus sugerencias, entendiendo como tal ideas que supongan una modificación, simplificación, o mejora de los métodos de trabajo, tanto administrativos como productivos, y cuya consecuencia es una reducción de costes y que deben enfocarse a temas como: mejora de la calidad y de los procesos productivos y administrativos, ergonomía y seguridad de los puestos de trabajo, reutilización y aprovechamiento de materiales, eliminación de cualquier tipo de despilfarro, ahorros de energía, horas máquina, gastos generales, etc.

- *Heijunka*: es la técnica que sirve para planificar y nivelar la demanda de clientes en volumen y variedad durante un periodo de tiempo, normalmente un día o turno de trabajo. Evidentemente, esta herramienta no es aplicable si hay nula o poca variación de tipos de producto. La gestión práctica del Heijunka requiere un buen conocimiento de la demanda de clientes y los efectos de esta demanda en los procesos y, a su vez, exige una estricta atención a los principios de estandarización y estabilización. (Hernández y Vizán, 2013).
- *Kanban*: sistema de control y programación sincronizada de la producción, basada en un sistema de tirar de la producción (pull) mediante un flujo sincronizado, continuo y en lotes pequeños, mediante la utilización de tarjetas Kanban. La principal aportación del uso de estas tarjetas es conseguir el reaprovisionamiento único del material vendido, reduciéndose de este modo, los stocks no deseados y consiguiendo una alta calidad.

El sistema consiste en que cada proceso retira los conjuntos que necesita de los procesos anteriores y éstos comienzan a producir solamente lo que se ha retirado, sincronizándose todo el flujo de materiales (Figura 1.6).

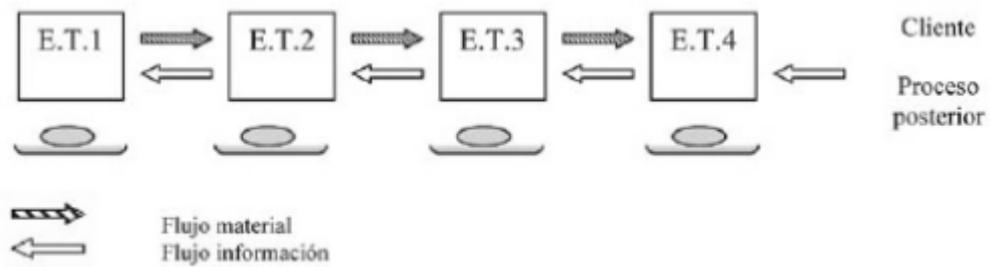


Figura 1.6. Línea de producción con cuatro estaciones de trabajo.

Estas tarjetas Kanban se adjuntan a contenedores o envases de los correspondientes materiales o productos, de forma que cada contenedor tendrá su tarjeta y la cantidad que refleja la misma es la que debe tener el envase o contenedor, convirtiéndose en el mecanismo de comunicación de las órdenes de fabricación entre las diferentes estaciones de trabajo.

Además de que pueden contener otro tipo de información de especial relevancia como, por ejemplo, el código de la pieza a fabricar, la denominación y el emplazamiento del centro de trabajo de procedencia de las piezas, el lugar donde se fabricará, la cantidad de piezas a producir, el lugar donde se almacenarán los artículos elaborados, etc. (véase Figura 1.7).

Kanban de transporte			De:
Código:			
Descripción:			
Automóvil:			
Cap. Caja	Tipo Caja	Kanban Nº	

KANBAN	
CÓDIGO Art.	63 10 2200
DESCRIPCIÓN	PLA 63x10x2200
Cantidad a fabricar	Consumo promedio
50	100
Cantidad de Tarjetas KANBAN	
2 de 2	
Almacén Estante:	A 02
Material:	63x11

Figura 1.7. Tarjetas Kanban.

CAPÍTULO II:

TEORÍA DE LA SIMULACIÓN

ÍNDICE

II Teoría de la Simulación

II.1	Concepto de la Simulación	47
II.2	Etapas de un proceso de Simulación.....	47
II.3	Simulación de Montecarlo	50
II.3.1	Definición	50
II.3.2	Metodología de cálculo.....	50
II.4	Ventajas e Inconvenientes de la Simulación.....	52
II.5	Programas de Simulación	53
II.6	Aplicaciones de la Simulación	54

II TEORÍA DE LA SIMULACIÓN

II.1 Concepto de la Simulación

La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y experimentar con él, para comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias para el funcionamiento del sistema (Shanon, 1976).

En cuanto a la simulación por ordenador, se trata de un intento de modelar las situaciones reales por medio de un programa informático, para estudiar los sistemas reales y comprobar cómo varían por el cambio de diferentes variables y condiciones. Ésta simulación se ha convertido en una parte útil del modelado de inmensos sistemas naturales, tanto en física, química o en otras ciencias como las sociales o económicas.

Tradicionalmente, el modelado de sistemas se ha realizado a través de un modelo matemático que intenta encontrar soluciones analíticas a problemas, permitiendo la predicción del comportamiento de un sistema de un conjunto de condiciones iniciales. Cuando las soluciones analíticas no son posibles en un sistema se recurre a la simulación por ordenador.

Existen diferentes tipos de simulación por ordenador, pero todas ellas se basan en generar una muestra de los escenarios representativos para un modelo cuyos estados serían imposibles de enumerar de forma completa de otro modo.

II.2 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 pueda parecer secuencial, en la práctica no es así, puesto que si no se supera la etapa de validación se requerirá modificar las anteriores. [Piera, 2006].

Las diferentes etapas de un proceso de simulación quedan enumeradas a continuación:

- *Formulación del problema:* especificar los objetivos es una de las tareas más importantes de cualquier proyecto para poder abordar el problema o problemas por los que se ha solicitado el proceso de simulación. Por tanto, es necesario saber identificar los objetivos para los cuales se ha optado por utilizar la simulación, y que servirán de guía para todo el estudio.

Diseño del modelo conceptual: antes de construir el modelo de simulación, es importante especificarlo empleando un modelo conceptual que evite el desarrollo de modelos con deficiencias. Esta etapa permite detectar partes del modelo que pueden ser simplificadas, bien sea porque son redundantes o por no contribuir a responder al problema solicitado en la etapa inicial.

Recogida de datos: en el momento de la recogida de datos es necesario cuestionar toda la información y datos disponibles, para obtener buenos resultados (confirmando qué 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. Cuando los datos son insuficientes o no son fiables, se debe ser prudente a la hora de extraer conclusiones de los resultados generados por el simulador; estas conclusiones pueden ser complementadas con el conocimiento adquirido durante el estudio de simulación.

- *Construcción del modelo:* esta tarea no debe ser el objetivo prioritario del proceso, ya que la estrategia para realizar la simulación debe ser comprender el problema, analizar los resultados y obtener soluciones. Por este motivo, es recomendable trabajar progresivamente en la construcción del modelo, empezando por modelos simplificados que engloben las partes esenciales del sistema a estudiar.
- *Verificación y validación:* se debe suponer todo modelo erróneo hasta que se pueda validar por completo. Esta etapa tiene el riesgo de no realizarse, ya que las modernas herramientas de simulación pueden

incitar a dar por válidos los resultados del modelo. Para poder tomar decisiones estratégicas u operacionales basándose en los resultados es necesario verificar y validar el modelo de simulación.

- La *verificación* consiste en comprobar que el modelo se ejecuta correctamente y según las especificaciones iniciales.
- La *validación* 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). Si el proceso aún no existe se validara parte del mismo mediante el estudio de componentes conocidos y contrastar los resultados con expertos del proceso estudiado para comprobar si se comporta como estos esperan.

La no realización de esta etapa trae consigo costes incalculables y puede retrasar los proyectos o provocar que se tomen decisiones erróneas.

- *Diseño de experimentos y experimentación:* dependiendo de los objetivos del estudio se desarrollaran las estrategias de definición de los escenarios a simular. Se implementan los cambios que se intente realizar en el proceso real para ver su evolución y se experimenta realizando cambios según los conocimientos del sistema.
- *Análisis de resultados:* consiste en analizar los resultados de la simulación con la finalidad de detectar problemas o recomendar mejoras o soluciones.
- *Documentación:* se debe proporcionar toda la documentación sobre el trabajo realizado para que quede reflejado como se ha realizado la simulación. Los objetivos que se persiguen con la documentación son los siguientes:
 - Reflejar el estado del proyecto en un momento dado. Utilizando herramientas de trabajo en grupo, el personal sigue día a día el progreso del proyecto.
 - Informar sobre todo el proyecto
 - Facilitar la futura reutilización del modelo si fuese de interés.
 - Se recomienda recoger los informes con una estructura clara con unas conclusiones finales.

Implementación: es la parte correspondiente a la toma de decisiones y aplicación de conclusiones como consecuencia directa del estudio de simulación. La implementación es el fin último de todo proceso 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.

II.3 Simulación de Montecarlo

II.3.1 Definición

La Simulación de Montecarlo es una técnica que permite llevar a cabo la valoración de los proyectos de inversión considerando que una, o varias, de las variables pueden tomar varios valores. Por tanto, se trata de una técnica que permite introducir el riesgo en la valoración de los proyectos de inversión.

La técnica de la simulación de Montecarlo se basa en simular la realidad a través del estudio de una muestra, que se ha generado de forma totalmente aleatoria. Resulta, por tanto, de gran utilidad en los casos en los que no es posible obtener información sobre la realidad a analizar, o cuando la experimentación no es posible o es muy costosa. Permite tener en cuenta para el análisis un elevado número de posibilidades aleatorias. De esta forma, se pueden realizar análisis que se ajusten en mayor medida a la variabilidad real de las variables consideradas. La aplicación de esta técnica se basa en la identificación de las variables que se consideran más significativas, así como las relaciones existentes entre ellas.

II.3.2 Metodología de cálculo

La aplicación del método de Monte Carlo plantea dos aspectos fundamentales: la estimación de las variables y la determinación del tamaño de la muestra.

En relación a la *estimación de las variables*, para la aplicación de la simulación de Montecarlo se han de seguir varios pasos. En primer lugar, hay que seleccionar el modelo matemático que se va a utilizar para, a continuación, identificar las variables cuyo comportamiento se va a simular, es decir, aquellas que se consideran que no van a tomar un valor fijo, sino que pueden tomar un rango de valores por no tratarse de

variables ciertas, así como las relaciones que existen entre ellas. Si no se tuvieran en cuenta dichas interrelaciones, y se simularan las variables de forma independiente, se estaría incurriendo en un error en los resultados obtenidos y se reduciría la variabilidad de los resultados al tener lugar el efecto de compensación en la interacción de las variables.

Una vez identificadas las variables que se van a simular, hay que determinar la función de densidad de probabilidad asociada a cada una de ellas. Posteriormente, se obtendrán las funciones de distribución asociadas a las variables. A continuación se procede a la generación de números aleatorios comprendidos entre cero y uno, y con estos números se obtienen las correspondientes funciones de distribución de las variables del modelo. Estos datos serán el valor de la muestra simulada.

Este proceso habrá de repetirse el número de veces necesario para poder disponer del número adecuado de valores. A continuación, se sustituyen los valores simulados en el modelo matemático para ver el resultado obtenido para las simulaciones realizadas. Posteriormente, se agrupan y clasifican los resultados. Se comparan los casos favorables, con los casos posibles, y se agrupan por categorías de resultados.

Por lo que se refiere a la *estimación del tamaño de la muestra*, se empezará utilizando un número no demasiado elevado de simulaciones, que se sustituirán en el modelo matemático seleccionado, y se calculará la media y la desviación típica correspondiente al mismo. A continuación, se irá ampliando el tamaño de la muestra hasta que la media y la desviación típica no varíen significativamente en relación con los resultados obtenidos con la muestra anterior.

Se pueden aplicar dos procedimientos:

- Procedimiento aditivo: se parte de un número inicial de simulaciones (n), y se calcula la media y la desviación típica del modelo matemático utilizado. A continuación se procede a añadir un número de nuevas simulaciones equivalente al bloque inicial (n), de tal forma que ahora se calcula la media y la desviación típica del modelo matemático utilizando para ello un número de simulaciones que asciende a " $2n$ ". La nueva media y desviación típica así calculadas se comparan con las anteriores, repitiéndose el proceso hasta que la media y la desviación típica no diverjan en más de un 0,5 ó 1 %. El inconveniente que presenta este método es que según se van añadiendo nuevos bloques

de simulaciones, las simulaciones antiguas tienen mayor peso que las nuevas.

- Procedimiento multiplicativo: se parte de un número inicial de simulaciones (n), y se calcula la media y la desviación típica del modelo matemático utilizado. A continuación se procede a añadir un número de nuevas simulaciones equivalente a las acumuladas hasta ese momento, de tal forma que ahora se calcula la media y la desviación típica del modelo matemático utilizando para ello un número de simulaciones que es el doble de las utilizadas en el paso anterior. La nueva media y desviación típica así calculadas se comparan con las anteriores, repitiéndose el proceso hasta que la media y la desviación típica no diverjan en más de un 0,5 ó 1 por ciento. De esta forma se soluciona el inconveniente presentado por el procedimiento anterior, dado que los nuevos bloques de simulaciones que se van agregando tienen el mismo peso que el existente en el paso anterior, por lo que la variabilidad del nuevo bloque de simulaciones tiene el mismo peso sobre el total que la del bloque anterior, siendo por tanto en un método más perfecto.

II.4 Ventajas e inconvenientes de la Simulación

La disponibilidad en el mercado de diferentes entornos de simulación orientados a campos específicos, con librerías preprogramadas y la capacidad de programación gráfica, además de la visualización, han hecho que ésta sea una técnica muy utilizada en el análisis y mejora de sistemas.

Los objetivos para los que pueden utilizarse de forma satisfactoria las técnicas de simulación por ordenador son:

- Análisis y estudio de la incidencia sobre el rendimiento global del sistema de pequeños cambios realizado sobre los componentes de éste. Muy importante en el sector de la Logística, ya que un pequeño cambio en los elementos intervinientes en los diferentes sistemas logísticos pueden derivar en un comportamiento no deseado, implicando una gran repercusión económica.
- Permite simular fácilmente cambios en la organización de una empresa, así como en la gestión de la información, permitiendo experimentar con el modelo y analizar los efectos que se darían en el sistema real.

- Se pueden sugerir medidas para mejorar el rendimiento de los modelos, gracias al conocimiento adquirido en la etapa de simulación de cada sistema.
- La observación de los resultados obtenidos en la simulación, experimentado con diferentes parámetros, permiten conocer aspectos relativos a la sensibilidad del sistema y que variables son las que benefician al rendimiento del mismo.
- Elimina la experimentación en condiciones de operación que pueden ser peligrosas y generar grandes costes económicos
- En resumen, es una técnica barata y segura que reduce el riesgo en la toma de decisiones.

Por otro lado, la simulación, conlleva el riesgo de no realizarse de forma correcta, no comprobando su validez y las fases del proyecto de modelado, lo que trae consigo que la toma de decisiones a través de este método sea errónea.

Se puede dar un mal uso de estos sistemas de simulación, debido a las herramientas fáciles de usar existentes en el mercado, que permiten la proliferación de usuarios menos especializados y, con ello, su mal uso.

II.5 Programas de Simulación

En el mercado actual existen diferentes programas que permiten la simulación de procesos, destacando los siguientes:

- Arena: válido para procesos manufactureros, de servicios o financieros, principalmente. Destaca por su entorno intuitivo, por su versatilidad y por su gran capacidad gráfica.
- Witness: es el software que se desarrolla y emplea a lo largo del presente trabajo. Al igual que Arena, se recomienda su uso para procesos manufactureros, de servicios o financieros, principalmente. Posee versión educativa, por lo que permite la formación de personal para operar con él.
- ExtendSim: es una de las mejores herramientas de simulación que existen en el mercado actual; proporciona un entorno gráfico que permite visualizar el comportamiento de un sistema dinámico. Permite el uso de

una herramienta que facilita su uso. También es válido para procesos financieros.

Existen más programas de características similares y no se puede decir a ciencia cierta cuál es el mejor ya que, dependiendo del caso a estudiar, uno tiene mejores características que otro. Sin embargo, sí se puede afirmar que todos son fiables y permiten, de forma relativamente fácil, simular infinitas problemáticas.

II.6 Aplicaciones de la Simulación

Actualmente, la mayoría de las empresas, organizaciones y procesos productivos se encuentran presionados por adaptarse a los cambios provocados por la alta competitividad en los mercados, lo que ha llevado a muchas empresas a involucrarse en un proceso de reingeniería de sus procesos.

A continuación se describen los campos que más recurren o aplican la simulación para ayudar a la toma de decisiones:

- *Fabricación y sistemas de manipulación de materiales:* los aspectos específicos que se pueden estudiar son las necesidades de personal, el análisis de rendimientos o la evaluación de estrategias operacionales.
- *Transporte:* la simulación es usada por todos los modos de transporte (ferroviario, aeroportuario, marítimo o transporte por carretera), pero las simulaciones que se realizan tienen algunas características que son inherentes a los modelos de simulación para estos sistemas de transporte:

Complejidad: el rendimiento del sistema suele estar determinado por el buen control entre los diferentes recursos que intervienen en las operaciones de carga y descarga, así como por la priorización de las peticiones de transporte.

Azar: los sistemas reales de transporte están sujetos al azar, como los tiempos de carga y descarga o los tiempos entre averías o los tiempos de mantenimiento.

- Sensibilidad del sistema: el rendimiento global del sistema es muy sensible a las interacciones entre los subsistemas que lo forman, por lo que es imprescindible recoger en la simulación la dinámica de los distintos subsistemas.
- Supply chain: se pueden emplear muchos modelos para tomar decisiones para casos de cadena de suministro, como modelos de predicción (estimar la demanda futura), modelos de costes (evolución de costes directos e indirectos), modelo de optimización (permiten determinar el punto de diseño óptimo) o modelos de simulación (describen el comportamiento de toda o parte de la cadena de suministro a largo plazo).

En la Sanidad, donde se hace necesario el control de los costes. Por eso, mediante la simulación se busca incrementar la eficiencia de las actividades realizadas en cada centro sanitario.

- En *planes de emergencia*, ya que permiten solucionar problemáticas que se dan con los simulacros, como son su coste, la falta de flexibilidad y la complejidad de llevar a cabo este tipo de técnicas.

CAPÍTULO III:

PAQUETE DE SIMULACIÓN

WITNESS

III Paquete de Simulación Witness

III.1	Introducción	60
III.2	Descripción del Software.....	61
III.3	Descripción del Software.....	63
III.4	Construcción de un modelo con Witness	64
III.4.1	Elementos de modelización de witness	68
III.4.2	Elementos básicos de procesos discretos	74
III.4.3	Elementos no básicos de procesos discretos	82
III.4.4	Elementos de procesos continuos.....	91
III.4.5	Elementos logicos	92
III.4.6	Elementos graficos y de informes.....	100
III.4.7	Gestión de elementos.....	104
III.4.8	Formatos de archivos de los modelos de witness.....	107

III PAQUETE DE SIMULACIÓN WITNESS

III.1 Introducción

La utilización de modelos para realizar el análisis de sistemas constituye una gran alternativa frente a la posibilidad de ensayar directamente sobre el sistema estudiado, dado que resulta menos costoso y menos arriesgado elaborar un modelo del sistema y estudiar su comportamiento, que los posibles costes derivados de una decisión poco acertada.

Muchos de estos análisis pueden ser realizados manualmente. Sin embargo cuando la complejidad aumenta, también lo hace la necesidad de usar una herramienta basada en un ordenador. Por ello el empleo de diferentes softwares para llevar a cabo 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 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. Los primeros modelos de simulación fueron desarrollados principalmente usando lenguajes de programación como FORTRAN. Conforme creció el interés en la simulación, se desarrollaron muchos lenguajes de simulación (GPSS, SIMSCRIPT, SIMAN, SLAM, etc.) para modelar una clase de sistemas conocidos como “sistemas de cola”. Estos lenguajes generaban características para definir entidades básicas procesadoras del tiempo, uso de los recursos y situaciones de espera.

Durante los 80 la simulación se dispersó a otras industrias y aparecieron otros productos específicos (AutoMod, ProModel, WITNESS,...) que incorporaban características de un sector industrial. Debido a que muchos de estos productos se manejaban con datos y carecían de capacidades de programación, eran referidos más como simuladores, que como lenguajes. En la actualidad, muchos de los productos tienen una capacidad para programar completa y la facilidad de uso de un simulador; además, los productos de simulación se están haciendo más

adaptables y fáciles de usar, ya que están orientados hacia ciertos productos o industrias de servicios específicos, y se usa terminología específica.

Las diferentes versiones avanzadas de los softwares de simulación actuales poseen características diferentes en cuanto a su capacidad de modelización, su rapidez, su rigurosidad estadística, su capacidad gráfica, su facilidad en el análisis y su coste,... Además, permiten que el usuario cree rápidamente un modelo gracias a la tecnología de sistemas expertos que genera automáticamente los detalles, mientras las pantallas y menús automáticos guían al usuario a través del proceso de modelado. También admiten verificar y testear el diseño, así como realizar cambios con muy poca probabilidad de error. La elección de un software u otro dependerá del sistema a simular y la experiencia del analista además del coste de adquisición que supone para la empresa.

III.2 Descripción del Software

El software WITNESS es un paquete informático de simulación de Lanner Group, resultado de más de dos décadas de experiencia en el desarrollo de simulación con ordenador. Esta experiencia ha llevado a desarrollar un enfoque de la simulación visual e intuitiva, ofreciendo la posibilidad de construir modelos altamente complejos y elaborar otros más sencillos con un esfuerzo relativamente pequeño de programación mediante código interpretado que no exige la compilación.

El fabricante de WITNESS, 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 resulta en 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 ahorrar dinero; 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 incluyendo Fabricación, Automoción, Farmacéutica y Nuclear.

WITNESS permite representar procesos reales mediante modelos informáticos animados. Se puede observar exactamente cómo funciona el proceso a medida que el tiempo avanza, 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.

Además, permite mejorar los procesos de las organizaciones líderes de todo el mundo, puesto que los responsables de negocios pueden modelar, analizar y optimizar procesos de manera que se mejoren las decisiones en diferentes entornos, constituyendo una pieza clave para la mejora de la productividad y la eficiencia así como para reducir costes.

Se trata de una herramienta de simulación de procesos dinámicos muy experimentada, utilizada por miles de organizaciones para validar cambios en los diseños de una instalación o un proceso, conseguir los indicadores de eficiencia deseados en un proceso o como apoyo para la mejora continua de las actividades de la empresa.

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.

Entre las diferentes ventajas que aportar WITNESS como herramienta de simulación caben destacar las siguientes:

- Reduce el riesgo en la toma de decisiones. Permite prever con certeza cómo afectan los cambios en una instalación o un proceso.
- Sirve de apoyo para la toma de decisiones de inversión. Aporta pruebas para identificar las ideas rentables y evitar los errores costosos.
- Permite a los decisores identificar las mejores decisiones. Permite comparar distintos escenarios para buscar la mejor solución y la muestra de forma gráfica.
- El uso de la simulación la convierte en un activo en las decisiones operativas de la empresa.

III.3 Descripción del Software

WITNESS es uno de los programas más punteros en simulación de procesos dinámicos y cuya eficacia está avalada por varios centenares de compañías multinacionales y nacionales de gran prestigio. Se trata de una potente herramienta de simulación que permite modelar el entorno de trabajo, simular las implicaciones de las diferentes decisiones y comprender cualquier proceso, por muy complejo que éste sea, para de esta forma obtener de resultado la mejor solución de negocio.

Es una herramienta sencilla que incluye numerosas funcionalidades y las siguientes características:

- *Extremadamente interactivo* permitiendo crear modelos de simulación de forma gráfica y dinámica de forma que interactúe con el usuario cuando el programa está corriendo; el usuario tan sólo debe detener la simulación a su voluntad e interactuar con el programa que está en ejecución.
- *Diseño sencillo y potente a través de bloques*: creación de modelos con diferentes tipos de elementos discretos, continuos, lógicos y gráficos (piezas, máquinas, puestos de trabajo, almacenes, transportadores, operarios, turnos de trabajo, vehículos, tanques, fluidos, variables,...) que ayudan a definir de una forma más clara el sistema a modelar.
- *Estructura jerárquica y modular*, permitiendo la creación de submodelos que puedan ser copiados, borrados, desplazados y/o interconectados.
- *Facilidad de uso* con implementación estándar en Windows: no precisa de un lenguaje complejo de programación, ni su compilación.

- *Visualizadores gráficos de gran calidad y en 3D*, creando modelos dinámicos de gran claridad, entendimiento, rigurosidad e impacto visual.
- *Ofrece una gran cantidad de datos como salida de un experimento de simulación*. Además ofrece la posibilidad de creación de gráficas e histogramas de determinados parámetros del modelo que interese estudiar, para facilitar su comprensión y conocer su variación temporal.
- *Permite correr la simulación hasta el punto que se precise y, a diferentes velocidades*. De igual forma permite la posibilidad de dejar corriendo el ordenador hasta que finalice todas las simulaciones programadas.
- *Grandes 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. También permite migrar los resultados de la simulación a un fichero manipulable desde otro programa informático, para su posterior estudio.
- *Pueden emplearse gran cantidad de distribuciones de probabilidad*, tanto teóricas como empíricas, para proporcionar aleatoriedad al modelo así como el uso de una gran cantidad de variables y atributos que permitirán una modelización clara, sencilla y correcta del sistema.
- *Su uso resulta relativamente sencillo gracias al entorno Windows*. Sin embargo el dominio de todos sus elementos resulta complejo.
- *Permite la representación de la información y del estado del proceso de una manera 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.
- *Dispone de una gran cantidad de modelos de ejemplo*.

III.4 Construcción de un modelo con Witness

Para llevar a cabo la construcción de un sistema en Witness, lo primero que debemos realizar es un estudio del mismo para modelizarlo. De esta forma cada elemento representará a una parte del sistema real que deseamos simular. Cada uno de los elementos puede simular una gran variedad de cosas y de igual forma, una misma parte de nuestro sistema se podrá simular con varios elementos indistintamente. La elección de unos u otros se deberá hacer con el objetivo de conseguir un modelo lo más claro, eficaz y sencillo posible para su interpretación.

Una vez realizado un estudio de nuestro sistema, y elegidos los elementos de Witness más adecuados para llevar a cabo la construcción de nuestro modelo, se llevará a cabo la programación del modelo mediante una lógica de control adecuada.

Para comenzar a trabajar entraremos en el programa, apareciendo inicialmente la Figura 3.1.

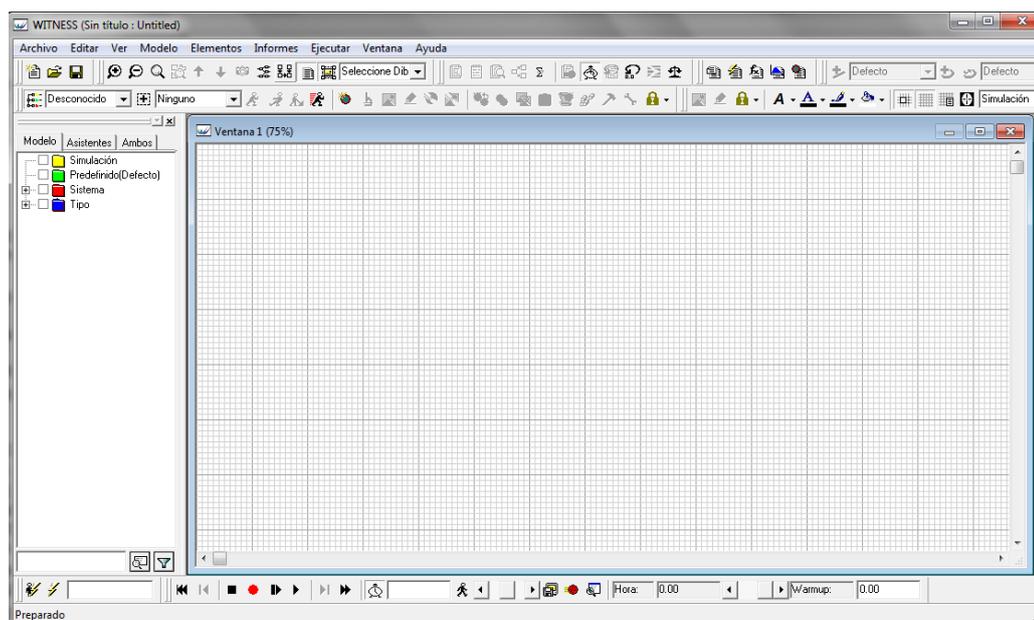


Figura 3.1. Pantalla Inicial del programa.

Para poder comenzar de una manera más sencilla Witness contiene en su ruta de carpeta de instalación una carpeta con Demos, (diferentes ejemplos de simulación). Uno de esos modelos es un archivo con el nombre Startup.mod que contiene elementos predefinidos que facilitan la creación del modelo. Al abrir el archivo el programa nos muestra la Figura 3.2.

En dicha pantalla se puede ver lo siguiente:

- La ventana de Selección de elementos, a la izquierda, que contiene tres pestañas. Una de ellas, Modelo contiene diferentes tipos de elementos para construir el modelo.
- La Ventana gráfica para crear el modelo que ocupa la mayor parte de la pantalla, que es una de las ventanas en las que aparece la representación gráfica del modelo.

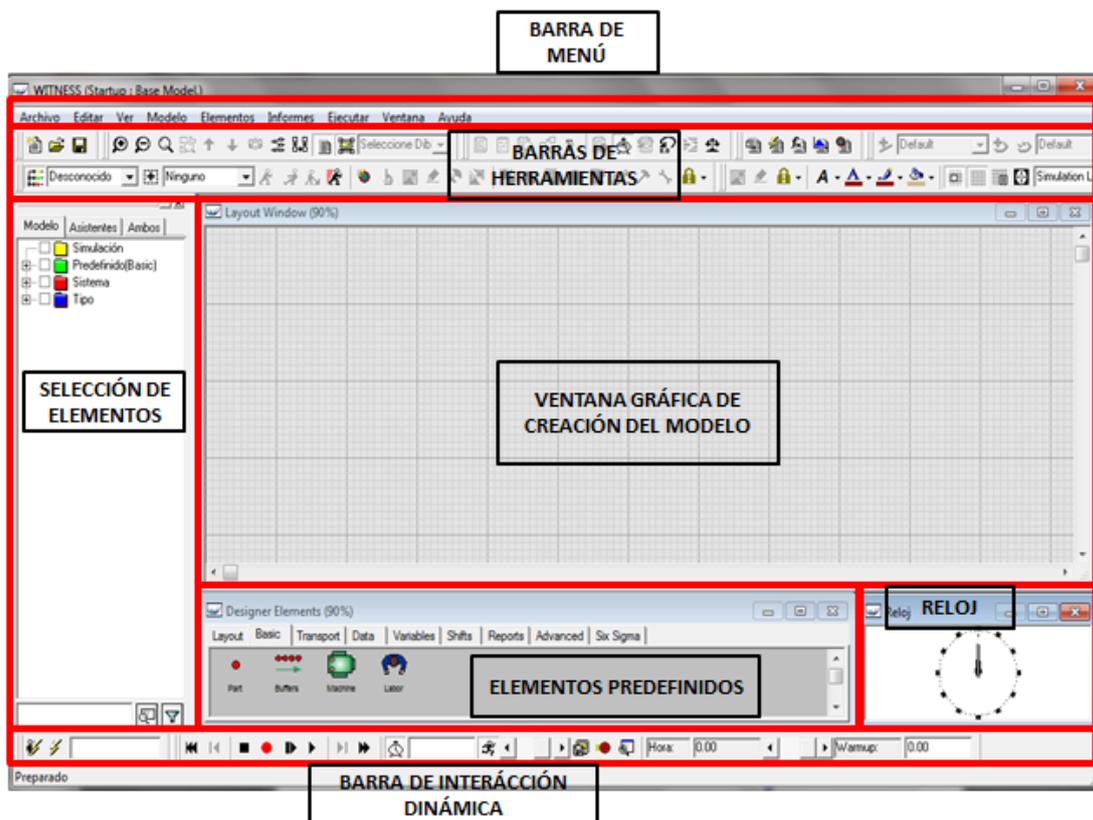


Figura 3.2. Pantalla Inicial Startup.mod.

- La ventana de los Elementos predefinidos, que contiene varias pestañas. Por defecto, aparece seleccionada la pestaña Básico con algunos de los elementos de Witness.
- Un conjunto de Barras de herramientas con botones para acceder a diferentes funciones
- Una pequeña ventana con un Reloj analógico que indica el instante en el que se encuentra la simulación.
- En la parte superior encontramos la Barra de menú común en el entorno Windows.
- En la parte Inferior encontramos la Barra de Interacción dinámica, con la que podremos correr el modelo, detenerlo, etc.

Para comenzar a trabajar con nuestro modelo el primer paso a realizar será rellenar los datos relativos al mismo y que lo personalizarán. Para ello se pincha sobre la pestaña Modelo de la barra de herramientas principal y del desplegable que aparece sobre Título, apareciendo una ventana emergente como la que se muestra en la Figura 3.3.

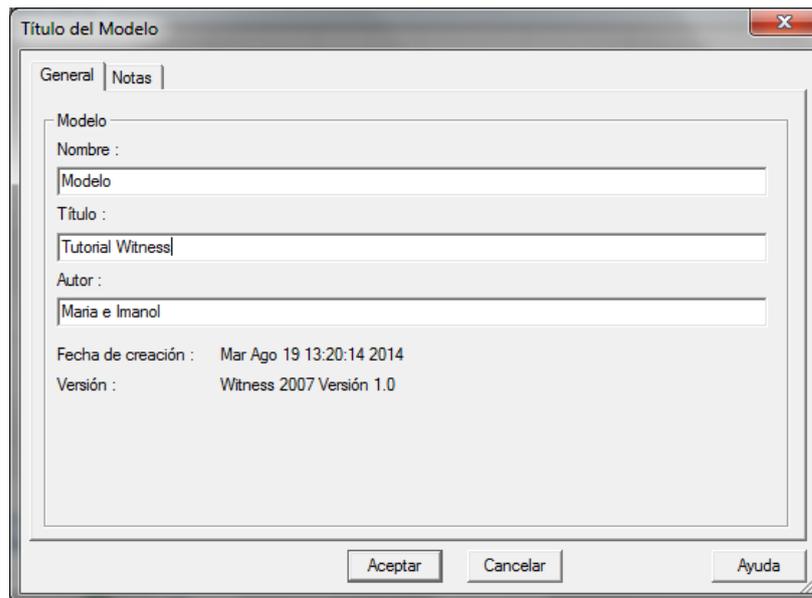


Figura 3.3. Definición del modelo.

El modo de funcionamiento de Witness es bastante simple:

Existen entidades (*Parts*) que son los elementos que fluyen por el modelo a través de una serie de Actividades (*Machines*). Estas entidades deben circular en un determinado orden y sentido representando un único elemento o muchos del sistema real: piezas, personas, llamadas,... Estas entidades se pueden transformar, agrupar, separar, almacenar, transportar, etc.

El resto de los elementos del sistema que se modelizan con Witness gobiernan el control del flujo de las entidades mediante lo que se conoce como Reglas (*Rules*). De esta forma, por ejemplo, una pieza saldrá de una máquina hacia un almacén a través de una regla que represente el empujar la pieza.

Además, para completar la lógica del modelo, generalmente hay que utilizar Acciones (*Actions*), que modifican el estado de los elementos. Por ejemplo, tras finalizar el mecanizado de una pieza, una acción puede actualizar el contador que registra cuántas piezas se han mecanizado esa máquina, por lo que habrá que introducir una acción del tipo incrementar el contador del número de piezas en una unidad cada vez que mecanice.

III.4.1 Elementos de modelización de witness

Como se acaba de explicar, los modelos en Witness se construyen a partir 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.

Para simular un proceso, Witness utiliza la misma combinación de personas, piezas y máquinas que en la vida real. Cada factor de producción será uno de los llamados ELEMENTOS del modelo.

Existen tres categorías principales de elementos: de tipo físico, de tipo lógico y de tipo gráfico.

Los *elementos de tipo físico* son elementos que pueden representar entidades existentes en un sistema real. Existen elementos de tipo físico de procesos discretos, como es el caso: de los elementos de tipo part, pieza o entidad que pueden representar muchos elementos de un sistema real, los elementos de tipo machine o actividad realizan algún tipo de operación con las entidades y permiten representar (por ejemplo, un torno, una planta de fabricación entera, un puesto de atención al público...); un buffer o cola son lugares donde se almacenan entidades y pueden representar (por ejemplo, un área de almacenamiento de producto intermedio, una cola de personas a la espera de ser atendidas, un lugar donde se somete a un proceso de enfriamiento a las piezas que llegan).

Otros elementos de tipo físico son: las cintas transportadoras, los recursos, las vías, los vehículos, los caminos, etc.

Así mismo existen elementos de tipo físico que representan procesos continuos como es el caso de los fluidos (*fluids*), depósitos (*tanks*), unidades de procesos (*processors*), tuberías (*fluids pipes*),...

En los modelos de este texto, estos elementos también pueden no representar elementos físicos del sistema real.

Los *elementos de tipo lógico* son los elementos que permiten gestionar la información y la lógica del modelo. Son: variables, atributos, distribuciones (tanto predefinidas como definidas por el usuario), funciones (de usuario y predefinidas), archivos, archivos de entidades y turnos.

Los *elementos de tipo gráfico* son elementos que permiten visualizar gráficamente algún aspecto del modelo como, por ejemplo, la evolución del tiempo medio de entrega de pedidos o el número de productos enviados a los clientes. Por ejemplo histogramas, diagramas de tarta,...

Estos elementos también se pueden clasificar según la forma en que se almacenan. Están organizados en cuatro carpetas cuyo contenido se puede visualizar en la ventana de Selección de elementos (Figura 3.4).

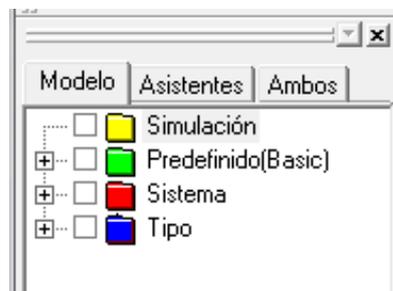


Figura 3.4. Ventana selección de elementos.

- La carpeta *Tipo* contiene todos los tipos de elementos básicos a partir de los cuales se pueden construir los modelos en Witness. Estos elementos están disponibles en su versión más simple, es decir, sin ningún tipo de caracterización o configuración.
- La carpeta *Sistema* almacena un conjunto de elementos especiales. Por ejemplo, el elemento TIME que almacena el tiempo del reloj de la simulación, el elemento WORLD que permite introducir piezas al modelo. (Figura 3.5).

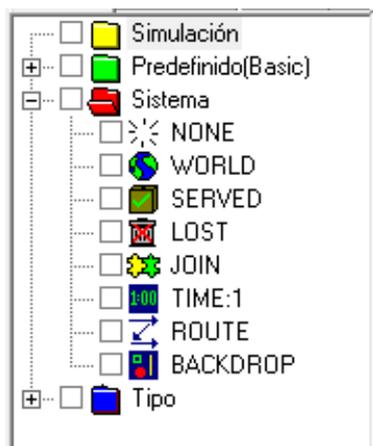


Figura 3.5. Carpeta Sistema.

- En la carpeta *Predefinidos* existen diferentes tipos de elementos, organizados por grupos, que aparecen, también, en diferentes pestañas en la ventana de Elementos predefinidos. Cuando se selecciona una pestaña en esta ventana, los elementos correspondientes se muestran en la carpeta verde Predefinidos.

Los elementos predefinidos, son elementos que pueden tener algún grado de configuración. Estos elementos están disponibles para, a partir de ellos, crear elementos idénticos en el modelo.

Por último, la carpeta *Simulación* contiene los elementos de la simulación que representan el comportamiento del sistema real.

- Esta carpeta, por defecto, está vacía, por lo que para llevar a cabo la simulación del sistema a estudiar será aquí donde deberán definirse los diferentes elementos que representarán las partes de nuestro sistema a estudiar.

Introducir elementos en el modelo de simulación se puede realizar empleando los elementos de la carpeta Tipo o de la carpeta Predefinidos. Para ello habrá que hacer clic con el botón principal en un elemento de la ventana de Elementos predefinidos y hacer clic de nuevo (sin arrastrar) en la Ventana gráfica para crear el modelo. De esta forma se crea un elemento en la carpeta Simulación idéntico al elemento predefinido correspondiente, con el mismo nombre seguido de “001”. La segunda manera consiste en hacer clic con el botón secundario del ratón y, en el menú contextual que aparece, seleccionar la opción Definir (Figura 3.6).



Figura 3.6. Definición de un elemento a partir de otro elemento predefinido.

La correcta definición de los elementos creados, implica pasar por tres etapas diferentes a través de las cuales se va avanzando en la construcción del modelo: definir, configurar y representar cada uno de los elementos.

- *Definir.* Esta operación consiste en crear los elementos de los que consta el modelo, eligiendo para ello el tipo de elemento de un cuadro desplegable, así como un nombre para el mismo (Figura 3.7).

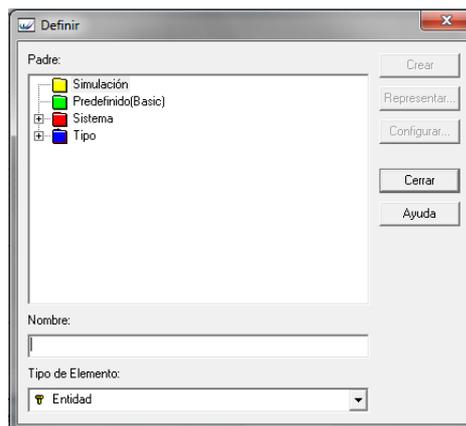


Figura 3.7. Ventana Definir.

Como se acaba de comentar en párrafos anteriores, existen dos formas de introducir un elemento en el modelo, haciendo uso de los elementos predefinidos o a través de la opción Definir.

Para algunos tipos de elementos hay que introducir algún dato más. En este segundo caso, se puede seleccionar (arriba) si el elemento se crea como elemento de la simulación o como elemento predefinido (para ser reutilizado de nuevo de la manera anterior).

Sin el desarrollo de esta fase no pueden desarrollarse las otras dos.

- *Representar*. La representación de un elemento no es un paso estrictamente necesario para que el elemento funcione dentro del modelo. Sin embargo, la animación de la representación gráfica proporciona información tanto durante la construcción como durante la explotación del modelo, haciendo la simulación más intuitiva y fácil de comprender.

Para realizar la representación de elementos que no han sido creados a partir de los elementos predefinidos o para la actualización de la representación de cualquier elemento se hace clic con el botón secundario sobre el elemento (bien en su nombre dentro de la carpeta Simulación o en cualquiera de sus elementos representados) y eligiendo Representar dentro del menú contextual, se muestra la ventana de la Figura 3.8.

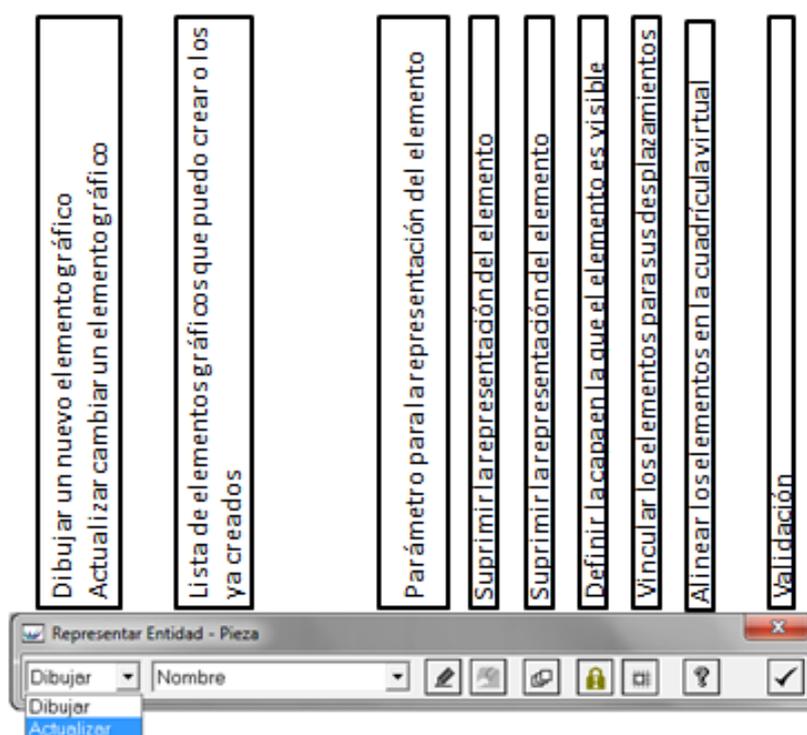


Figura 3.8. Representación de Elementos.

Al seleccionar Dibujar en el primer menú desplegable, en el segundo se pueden encontrar todos los elementos de representación que se pueden añadir y que dependen del tipo de elemento. Cuando se selecciona Actualizar, en segundo menú desplegable, aparecen los elementos de representación ya existentes y que se pueden modificar (véanse las Figuras 3.9, 3.10 y 3.11).

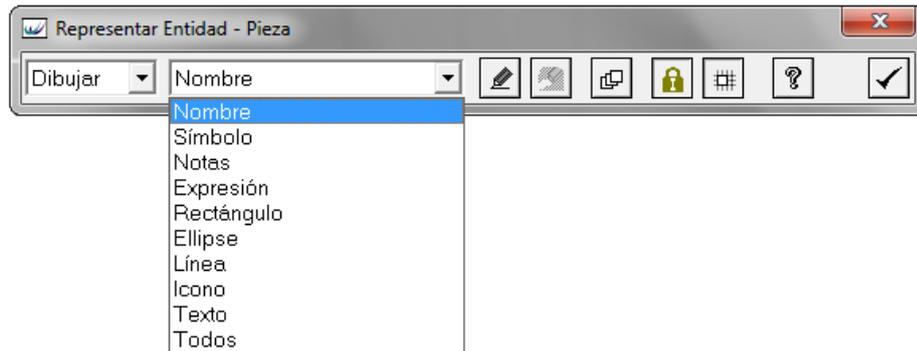


Figura 3.9. Representación de Elementos.

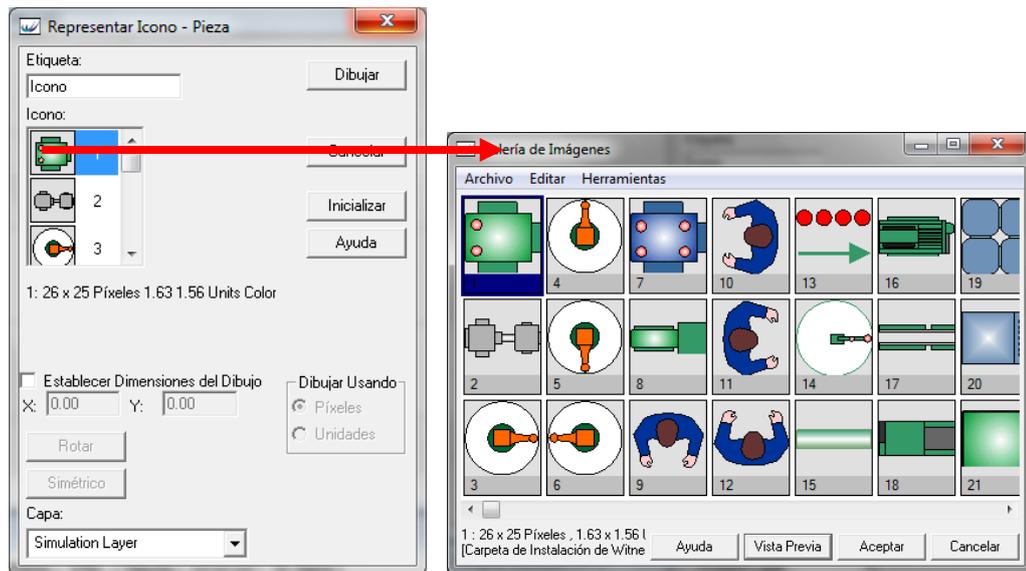


Figura 3.10. Iconos de representación.

Figura 3.11 Galería de imágenes.

- **Configurar.** Esta fase consiste en detallar todas las características del elemento, es decir, establecer cuál es su comportamiento.

La configuración también incluye la introducción de las reglas que gobiernan el movimiento de las entidades y las acciones que modifican los estados del sistema. Para configurar un elemento se puede hacer de dos maneras. La primera, haciendo doble clic en el nombre correspondiente en la ventana de Selección de elementos o bien haciendo clic con el botón secundario y seleccionando la opción Configurar. Para cada tipo de elemento aparecerá una ventana diferente que explicaremos más adelante en cada tipo de elemento.

Una vez definidos los elementos del modelo, hay que indicar cuáles son las relaciones entre ellos y entre qué puntos se mueven, esto se hará utilizando las

reglas de salida y entrada que deberán ser especificadas para cada uno de los elementos.

Definidas ya las relaciones entre elementos es el momento de poner en funcionamiento el modelo, y se podrán realizar las modificaciones convenientes en cada caso, como puede ser añadir, cambiar o borrar elementos y comparar los efectos que producen estos cambios.

La posibilidad de construir un modelo en el que se pueden realizar pequeños incrementos y ver qué consecuencias producen, va a resultar ser muy útil para la etapa de validación del modelo.

III.4.2 Elementos básicos de procesos discretos

▪ Parts

Los Parts son los elementos que circulan por el modelo en función de una serie de reglas de entrada y de salida de los mismos. La entrada en el modelo se realiza desde un elemento predefinido llamado WORLD o a través de un fichero de piezas que indica cuándo entra cada pieza en el modelo y en qué número, y la salida del modelo se hace hacia otro elemento predefinido llamado SHIP o hacia un fichero de piezas que recoge cuándo sale cada pieza del modelo. Puede ocurrir que el destino sea SCRAP. El elemento al cual Witness evacua los elementos repelidos, esto puede ser automático en caso de avería o voluntario especificándolo en las reglas de salida del elemento. Y como último elemento predefinido de Witness en cuanto a salida de piezas se encuentra ASSEMBLE, donde van a parar los parts que han sido combinados con otros en una máquina tipo assembly (Figura 3.12).

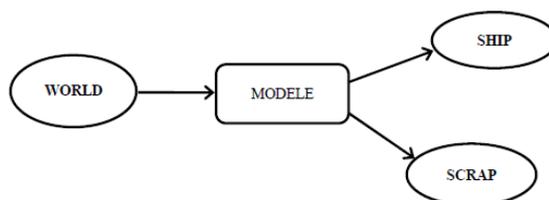


Figura 3.12. Flujo de los Parts.

Estos elementos pueden representar, por ejemplo, productos (coches, motores, etc.) lotes de producción, un proyecto que avanza a lo largo de una

gran empresa, llamadas en una centralita,... En el modelo se pueden representar de diferentes maneras como se explicó en puntos anteriores: con un símbolo o con texto descriptivo, iconos, o como un simple contador que señala el número de parts que hay dentro de un elemento.

Las piezas, entidades o parts se pueden caracterizar mediante un conjunto de atributos (por ejemplo, peso, longitud, color), que pueden ser fijos (para todas las entidades del mismo tipo) o variables (para cada entidad de un mismo tipo). Es posible gestionarlos de diferentes maneras (en lotes, crear de forma individual o por lotes, varias entidades se pueden combinar en una sola, o una entidad puede descomponerse en varias entidades) y de igual forma moverse individualmente, en grupo, juntarse o dividirse, transformarse en otro tipo de piezas en el transcurso de la simulación, etc. Otra de las características que poseen es que pueden ser llenadas con fluidos o vaciar el fluido que contengan. Además, hay que destacar que cada pieza puede llevar asociada uno o varios atributos que pueden tomar distintos valores en distintos momentos de la simulación, activando o no diferentes eventos lógicos.

Para configurar las características de las Parts hay que definir los siguientes aspectos desde la opción Detail (Figura 3.13 y Tabla 3.1):

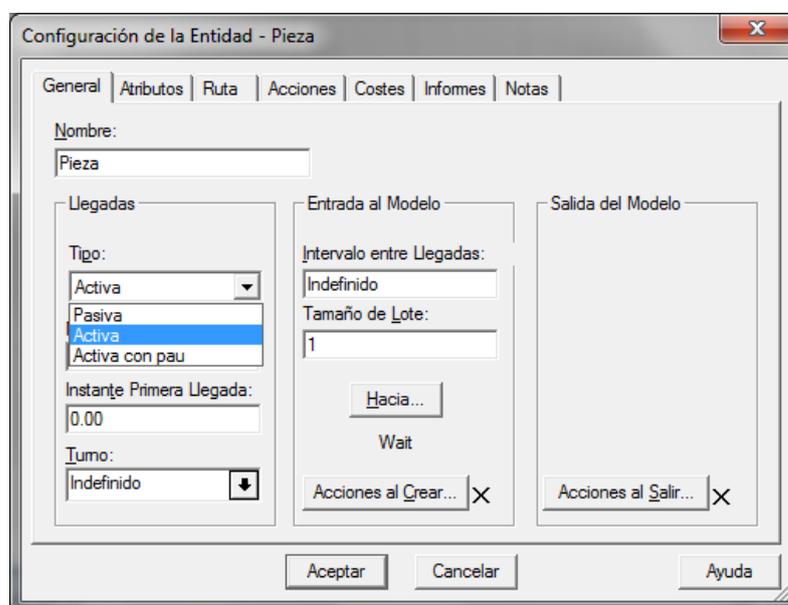


Figura 3.13. Ventana de configuración de los Parts.

Tabla 3.1. Aspectos de configuración de los Parts.

ASPECTO	FUNCIÓN
NAME	Designación que se le da a la pieza, part o entidades (hasta 8 caracteres).
TYPE	Indica si los atributos de la part serán fijos (no puede cambiar su valor durante la simulación) o variables (puede variar su valor durante la simulación).
VALUES	Da valor a los atributos fijos, caso que sean de este tipo. A los variables se les da valor en el campo Actions.
GROUP NUMBER	Indica en número del grupo de atributos variables al que pertenece el part.
ARRIVAL MODE	Indica si la llegada activa de piezas al modelo desde el world está activada o no. Se debe emplear el modo PASIVE cuando las piezas entren a través de un Part file).
MAXIMUN ARRIVALS	Máximo número de piezas que pueden entrar al modelo.
INTER ARRIVAL TIME	Tiempo entre llegadas de las distintas piezas al modelo.
FIRST ARRIVAL AT	Momento temporal en que la primera pieza llega al modelo.
LOT SIZE	Tamaño del lote de piezas que llegan a la vez al modelo.
SHIFT	Turno de trabajo en el que llegan las piezas.
OUTPUT RULE	Regla de salida que indica a qué elemento y bajo qué condiciones será enviada la pieza a dicho elemento.
PART ROUTE	Turno de trabajo en el que llegan las piezas.
CONTAINS FLUIDS	Indica si ese part es un fluido, su tipo y su volumen.
ACTIONS	Indican las órdenes lógicas programadas a ejecutar cuando una pieza es creada (create) o abandona el modelo (leave). Estas acciones permiten "programar" el modelo de modo que actúe como es deseado que lo haga.
REPORTING	Sirve para indicar, si se desea, que se tomen estadísticas sobre esa pieza.

▪ **Machines**

Son uno de los elementos más usados. Representan cualquier trabajo que se ha de realizar a las Parts en cualquier momento, procesarlos (cycle time) y enviarlos al próximo destino. Es en estos elementos donde las Parts pueden ser moldeadas y cambiadas, gastando tiempo procesándolas, cambiando de un estado a otro al tiempo que las hace avanzar.

Una Machine puede procesar una Part o más de una a la vez. Puede ensamblar diferentes Parts juntas dentro de una o disgregar una en varias.

Gráficamente pueden representarse por un icono (propio del programa o diseñado por nosotros) que puede cambiar de color en función del estado de la máquina durante la simulación, seleccionando status en el menú display machine como se observa en las Figuras 3.14 y 3.15, aunque sólo los elementos monocromáticos pueden cambiar de color cuando el elemento cambia de estado.

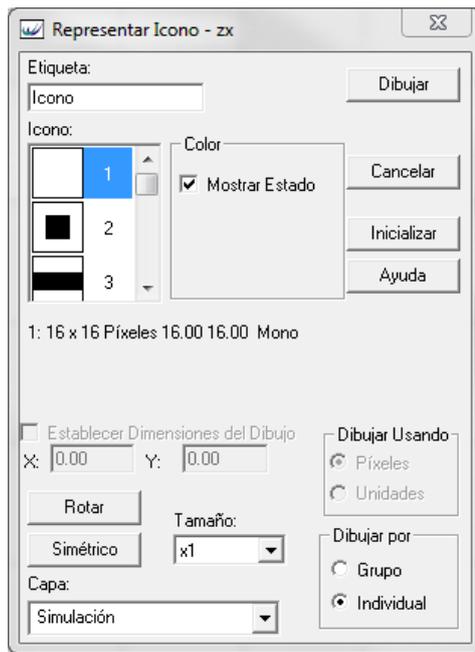


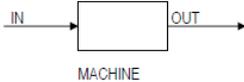
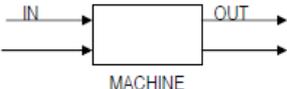
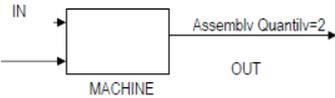
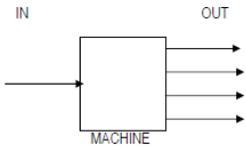
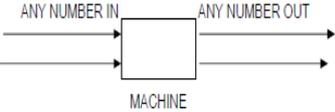
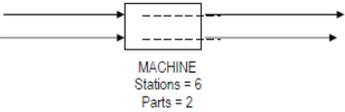
Figura 3.14. Iconos de representación.



Figura 3.15. Galería de imágenes.

Seguidamente se describen diferentes tipos de máquinas que pueden implementar (Tabla 3.2):

Tabla 3.2. Tipos de Máquinas.

TIPO DE MÁQUINA	CARACTERÍSTICAS	ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO
SINGLE	Sólo procesan una pieza cada vez	
BATCH	Procesa un lote de piezas a la vez. En éste tipo de máquinas, las piezas van entrando hasta completar el tamaño del lote, para el tiempo ciclo, que no empieza a correr hasta no disponer de todas las piezas del lote, y el lote sale de la máquina hacia el siguiente elemento detallado en la output rule	
ASSEMBLY	Entran varias piezas, son ensambladas y sale sólo una pieza. El cycle time no empieza a contar hasta no disponer de todas las piezas en la máquina.	
PRODUCTION	Entra una pieza y sale esa pieza más una cantidad fijada de otra pieza que se desea producir.	
GENERAL	Entra una cantidad fijada de piezas y sale otra cantidad fijada de esas piezas. Si entran dos piezas de tipo distinto y sale sólo una pieza, su tipo será el mismo que el de la primera pieza que entró	
MULTI-STATION	Máquina con varias posiciones a las que van entrando secuencialmente las piezas una tras otra	

Las características de las Machines que hay que definir en Witness son las que aparecen en la siguiente Tabla (Tabla 3.3 y Figura 3.22) y en cada una de sus pestañas:

Tabla 3.3. Aspectos de configuración de las máquinas.

ASPECTO	FUNCIÓN
NAME	Designación de la máquina (hasta 8 caracteres)
QUANTITY	Número de máquinas exactamente iguales (hasta 99) que deseamos modelizar.
TYPE	Tipo de la máquina de las anteriormente explicadas.
PRIORITY	Prioridad de esa máquina frente a las demás cuando una pieza o un labour puede ir a varias máquinas. Un "1" indica máxima prioridad y un "0" indica sin prioridad.
LABOUR	Indica si la máquina precisa de algún labour (operario, herramienta) para su puesta en marcha (set-up), su funcionamiento normal (cycle) o su reparación (repair). Se indica además la cantidad (quantity) de labour requerida y su tipo.
RULES	Sirven para indicar a las máquinas los criterios bajo los cuales las piezas entran (Input rules) o salen (Output rules) de las máquinas.
CYCLE TIME	Indica el tiempo de operación de la máquina
BREAKDOWNS	Sirven para establecer cómo la máquina se estropea, fijando la ley o distribución estadística bajo la que lo hace, el tiempo medio de reparación y el tiempo medio entre fallos. Las máquinas sólo pueden romperse si tienen dentro pieza/s
ACTIONS	Indica las acciones lógicas programadas a ejecutar cuando la máquina comienza a trabajar, cuando finaliza, cuando se rompe o cuando es reparada
SETUP	Establece si es requerida una puesta en marcha de la máquina, si se hace siempre o cada cierto tiempo, y su duración.
REPORTING	Sirve para indicar si deseamos que se tomen estadísticas sobre esa máquina
FLUID RULES	Definen las reglas para el manejo de fluidos (llenado y vaciado).
SHIFT DETAIL	Permite especificar el turno de trabajo en el que opera la máquina

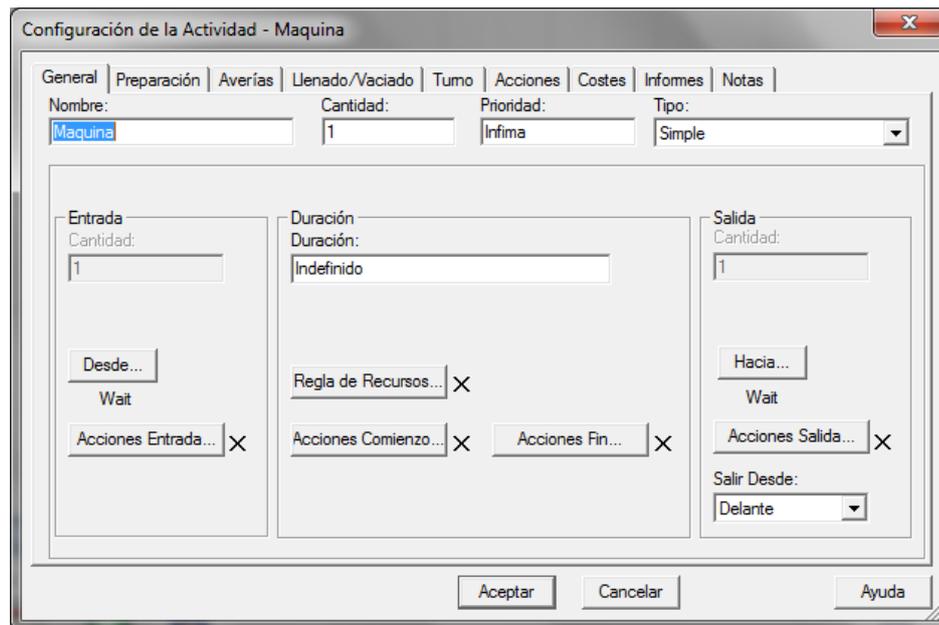


Figura 3.22. Ventana de configuración de los elementos Machine.

- **Buffers o Colas**

En ellos se almacenan las Parts sirviendo para representar un almacén, una cola, un conjunto de pedidos a procesar, etc. Los buffers son elementos pasivos que no pueden tomar ni soltar piezas desde/hacia otros elementos, sino simplemente almacenarlas; por ello si las Parts no son activas, deben ser lanzadas hacia otros elementos desde los Buffers o empujados desde estos hacia otros elementos mediante las reglas de salida.

Puede especificarse la forma en que las piezas entran y salen del buffer, de diferentes formas: definiéndose reglas fifo (por defecto), lifo, por el valor de algún atributo, por una posición concreta, etc.

La opción delay del Buffer puede alterar el comportamiento del Buffer. Seguidamente se muestran las opciones que se pueden ejecutar (Tabla 3.4):

Tabla 3.4. Comportamiento de Almacenes.

OPCIONES DELAY	COMPORTAMIENTO DEL ALMACÉN
NONE	Se comporta como pasivo, es decir, las Parts pueden ser llevadas en cualquier momento a otros elementos
MIN	Se comporta como de retraso, es decir, las Parts pueden estar un tiempo en el Buffer hasta que otro elemento llegue a él.
MAX	Se comporta como de detención, es decir, que un elemento puede llevar Parts en cualquier momento, pero si una Part permanece en el Buffer por un período mayor al período máximo especificado, será movido del Buffer usando una regla de salida. Así si la regla de salida falla la Part permanecerá en el Buffer indefinidamente, o hasta que otro elemento se la lleve.
BOTH	El Buffer retrasa las Parts que están en él por el mínimo tiempo establecido en detail, entonces se comporta como un Buffer de detención para las Parts que están en el Buffer por el máximo tiempo (Buffer Max).

Otras características de los Buffers que hay que definir en Witness, y que se observan en la Figura 3.23 y en la Tabla 3.5, son:

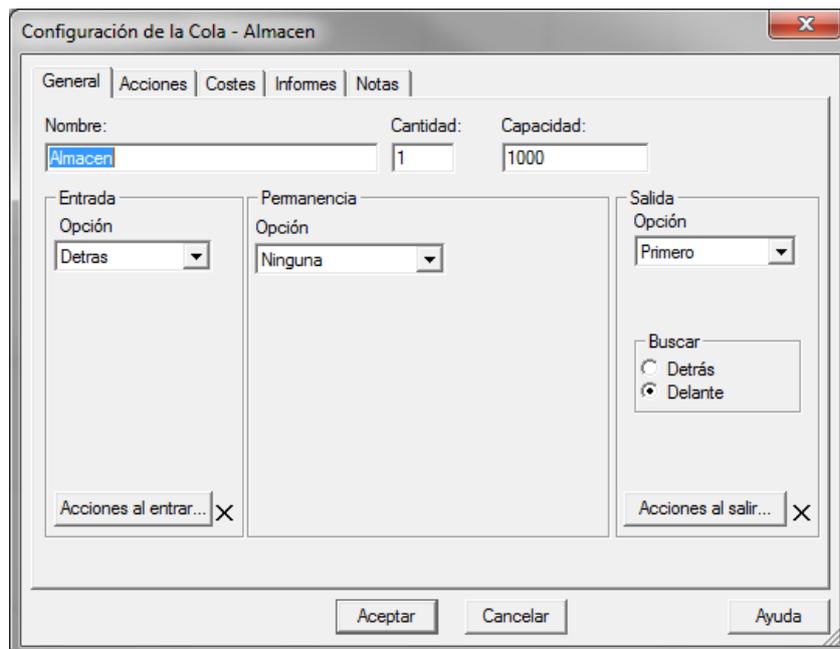


Figura 3.23. Ventana de configuración de los Almacenes.

Tabla 3.5. Aspectos de configuración de Almacenes.

ASPECTO	FUNCIÓN
NAME	Designación que atribuimos al buffer (hasta 8 caracteres).
QUANTITY	Número de buffers exactamente iguales en el modelo.
CAPACITY	Número máximo de piezas que se pueden almacenar en un buffer.
INPUT POSITION	Indica cómo son colocadas las piezas cuando entran al buffer (Rear, última posición, Front, primera posición, At, colocadas en una posición específica, By attribute, ordenadas según el valor de algún atributo).
OUTPUT POSITION	Indica cómo abandonan las piezas el buffer (First, la que ocupa la primera posición, Max/min, aquella cuyo valor de una expresión es máximo/mínimo, Any, aquella que ocupa una determinada posición, Condition, aquella que satisfaga una condición).
SEARCH FROM	Indica la forma en que Witness escanea el buffer en busca de la primera pieza que debe salir del mismo (Rear, desde atrás hacia delante, Front, desde delante hacia atrás).
ACTIONS	Indica las acciones lógicas programadas a ejecutar cuando una pieza entra en el buffer (in), cuando una pieza sale del buffer (out) o cuando una pieza cumple su delay time (end delay).
REPORTING	Sirve para indicar si deseamos que se tomen estadísticas sobre ese buffer.

III.4.3 Elementos no básicos de procesos discretos

- **Conveyor o cinta transportadora**

Las cintas transportadoras se usan para mover entidades desde un punto fijo a otro, empleando un determinado tiempo y a una velocidad dada.

Un conveyor tiene un determinado número de posiciones. Las piezas entran en el conveyor según la regla de entrada programada, van atravesando sucesivamente las distintas posiciones del conveyor (tardando un cycle time en pasar de una posición a otra), hasta llegar a su final o a un punto prefijado, abandonando el conveyor según la regla de salida programada.

La entrada y salida de piezas puede realizarse por cualquier punto (posición) del conveyor.

Se pueden representar tanto las cintas transportadoras que son cintas propiamente dichas como las que están compuestas de rodillos. Existen dos tipos de cintas transportadoras:

- *Conveyor Fixe*: en los que las entidades mantienen distancias constantes entre sí. Si la cinta transportadora se detiene, la distancia entre las entidades se mantiene.
- *Conveyor Queueing*: que permite que las entidades se aproximen entre sí y se acumulen. Si una cinta transportadora con acumulación se bloquea, las entidades deslizarán y se aproximarán hasta que la cinta esté llena.

En ambos casos es necesario indicar los siguientes parámetros:

- *Length in Parts*: se refiere a la longitud del Conveyor en unidades de posiciones de Parts en el Conveyor (por ejemplo, si el Conveyor mide 30 metros de largo, y una Part mide 0.5 metros de largo, hay como máximo 60 posiciones de Parts).
- *Max. Capacity*: puede suceder que existan restricciones de no poner más de un cierto número de Parts aunque quepan (por ejemplo por motivos de peso).
- *Index Time*: es el tiempo requerido para indexar una posición, o lo que se conoce como tiempo ciclo, que es el tiempo que se tarda en recorrer desde el principio hasta el fin, partido por la longitud de las Parts.

El ejecutar muchos Conveyors en el modelo puede afectar a la velocidad de ejecución. Los Conveyors sólo afectan a los inputs y outputs de los ciclos, mientras que en las Machines los inputs se realizan tan pronto como haya Parts disponibles y los outputs cuando hay espacio libre.

Las características de los Conveyors que hay que definir en Witness, son las que se indican a continuación en la Tabla 3.6 y en la Figura 3.24:

Tabla 3.6. Aspectos de configuración de los Conveyor.

ASPECTO	FUNCIÓN
NAME	Designación del conveyor (máximo 8 caracteres).
QUANTITY	Número de conveyors exactamente iguales.
TYPE	Tipo de conveyor (fixed o queuing).
PART LENGTH	Número de posiciones del conveyor.
MAX CAPACITY	Máximo número de piezas que puede haber a la vez en el conveyor.
RULE INPUT	Regla de entrada que indica cómo las piezas entran en el conveyor.
CYCLE TIME	Tiempo que tarda una pieza en pasar de una posición a otra del conveyor.
BREAKDOWNS	Indica cómo son las averías que puede tener el conveyor. Se implementa de modo análogo a los breakdowns de las máquinas descritos anteriormente.
PRIORITY	Prioridad de ese conveyor frente a otros elementos cuando una pieza o labour puede ir a varios elementos. Un "1" indica máxima prioridad y un "0" indica sin prioridad.
LABOUR	Indica si es necesaria la presencia de uno o más labours (operario, herramienta) cuando el conveyor sufre una avería para su reparación.
SHIFT	Permite especificar el turno de trabajo en el que opera el conveyor.
ACTIONS	Indican las acciones lógicas programadas a ejecutar cuando una pieza entra en el conveyor (join) o cuando una pieza abandona el conveyor (reach front).
REPORTING	Sirve para indicar si deseamos que se tomen estadísticas sobre ese conveyor.

- **Labor o Recurso**

Este elemento se puede utilizar para modelar recursos tanto humanos como 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, generalmente, muy importante en los modelos.

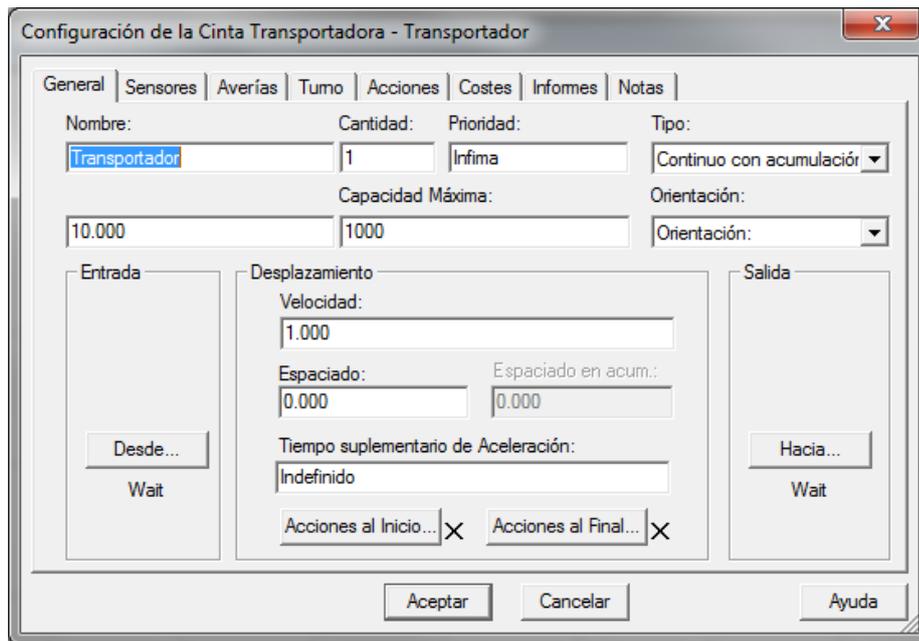


Figura 3.24. Ventana de configuración de los elementos de tipo Conveyour.

Existen muchas opciones en WITNESS: por ejemplo, reglas complejas de asignación y la capacidad de retirar recursos de un elemento para realizar alguna tarea más importante en otro elemento (apropiación de recursos).

Puede priorizarse su uso, de modo que cuando un mismo labour sea requerido a la vez por varios elementos, el labour irá a aquel elemento con mayor prioridad o priority (número más pequeño).

Muchas veces no es necesario modelizar los labours. Por ejemplo, si cada máquina tiene su operario para hacerla trabajar, no hace falta implementar los operarios como labours.

Unas características de los labours se definen en el Detail del labour, mientras que otras se definen en el campo labour de los elementos que los emplean. Las características de los labours que hay que definir en Witness en el Detail del labour son las que se muestran en la siguiente Tabla 3.7 y la Figura 3.25:

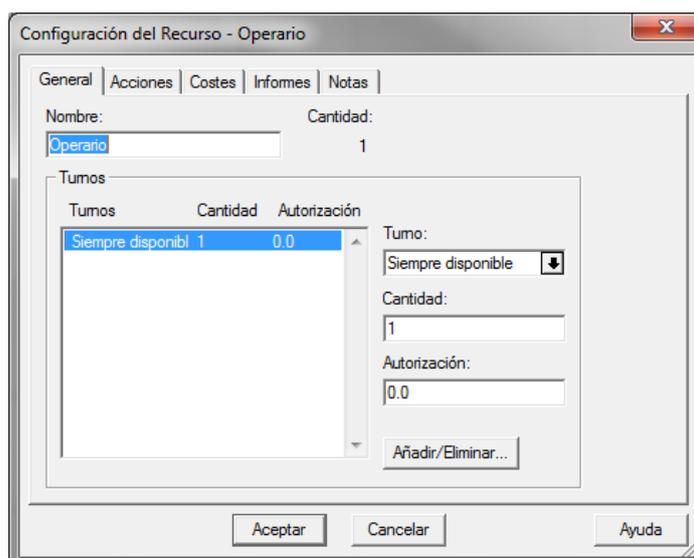


Figura 3.25. Ventana de configuración de los Labours.

Tabla 3.7. Aspectos de configuración de los Labor (Trabajadores).

ASPECTO	FUNCIÓN
NAME	Designación del labour (máximo 8 caracteres)
QUANTITY	Número de labours exactamente iguales.
SHIFT	Indica los turnos de trabajo en los que el labour puede actuar.
PRE-EMPT LEVEL	Si un labour está realizando una tarea y en ese momento es requerido por un elemento de prioridad superior al que está atendiendo, el labour abandonará la tarea actual sin terminarla en caso de que la diferencia de niveles de prioridad sea mayor o igual que el pre-emp level
ALLOWANCE	Si al introducir el pre-emp level se ha definido un allowance to finish, entonces la operación actual no se interrumpirá si el tiempo que falta para que termine es menor que el allowance to finish.
TIME PENALTY	Es el tiempo que tarde de más un labour en terminar la operación por haberla abandonado prematuramente (puede representar el tiempo que tarde el labour en desplazarse de un elemento a otro).
LABOUR RULE	Indica la regla de elección del labour por ese elemento cuando se cumple alguna condición.
REPORTING	Sirve para indicar si deseamos que se tomen estadísticas sobre ese labour.

- **Path o Camino**

Un camino es un elemento por el que las entidades o las unidades de recurso pueden viajar para llegar desde un elemento hasta otro. Se pueden utilizar para representar en el modelo la longitud y la ruta física de los desplazamientos en el sistema real (Figura 3.26):

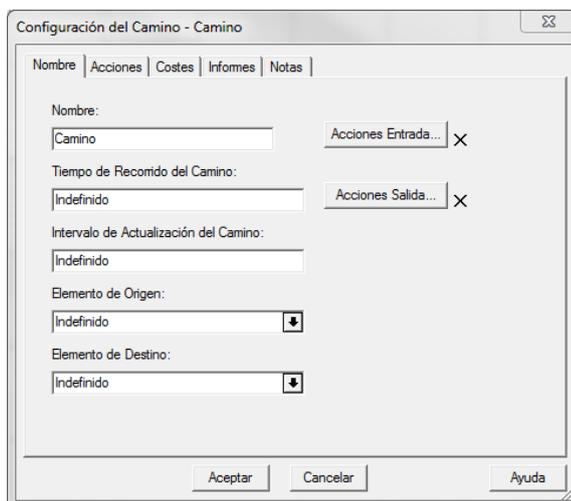


Figura 3.26. Ventana de configuración de los Paths.

- **Tracks (Vías) y Vehicles (Vehículos)**

Los Tracks son los caminos que siguen los vehículos cuando transportan o no entidades, definiendo a su vez los lugares en los cuales los vehículos pueden cargar o descargar entidades y aparcarse. Estos elementos añaden complejidad al modelo y haciendo que la simulación corra más lenta, por lo que deben ser evitados en la medida de lo posible. Existen vías unidireccionales o con dos direcciones.

Estos dos elementos están muy vinculados entre sí, funcionando de forma que un vehicle entra en un track por su parte trasera (rear) y se mueve hacia su parte delantera (front) a una velocidad determinada. Al llegar al final, puede realizar operaciones de carga y descarga si éstas están configuradas. Al terminar, pasará al siguiente track de su recorrido o bien al track indicado por su regla Destination.

Cada track sólo puede contener un vehículo cada vez, y éstos siempre circulan de rear a front en el interior del track. Puede hacerse que un vehículo quede aparcado en el interior de un track mientras no sea demandado por algún elemento. Los principales parámetros a configurar en los track son los siguientes (Figura 3.27 y Tabla 3.8):

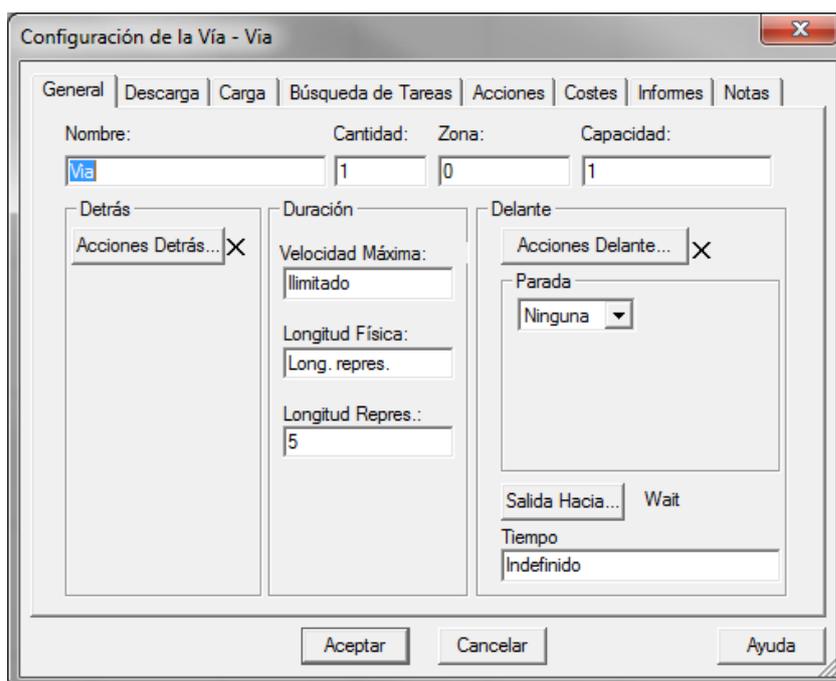


Figura 3.27. Ventana de configuración de los Tracks.

Tabla 3.8. Aspectos de configuración de los Tracks (Vías).

ASPECTO	FUNCIÓN
NAME	Designación del track.
QUANTITY	Número de tracks con el mismo nombre.
ZONE	Forma de agrupar los tracks.
CAPACITY	Máximo número de vehículos permitidos sobre el track al mismo tiempo.
ACTIONS ON	Permite definir las acciones que se ejecutarán cuando un vehículo accede a un track. Se pueden utilizar para calcular la velocidad del vehículo.
DURATION	Permite controlar el tiempo que estará el vehicle en el track. Se puede restringir la velocidad máxima del vehículo con Maximum Speed of Vehicle
ACTIONS ON FRONT	Permite definir acciones para ser ejecutadas.
STOP	Campo que detalla cuando el vehicle debería parar y esperar antes de continuar al siguiente track, se puede hacer que este valor dependa de una variable o una expresión.

OUTPUT RULE	Especifica la lógica utilizada en la ruta del vehicle al siguiente track.
BUSY TIME	Indica el tiempo que el track permanece ocupado después de que un vehicle lo haya abandonado.
LOAD	es una de las pestañas de la ventana de configuración en la cual se debe programar y establecer la lógica de carga del vehículo que circula por el track, definiendo a su vez la cantidad de carga y la velocidad de carga entre otros
UNLOAD	Es una de las pestañas de la ventana de configuración en la cual se debe programar y establecer la lógica de descarga del vehículo que circula por el track, definiendo a su vez la cantidad de descarga y la velocidad de descarga entre otros.

Los aspectos a definir para los vehículos se muestran en la Figura 3.28 y en la Tabla 3.9:

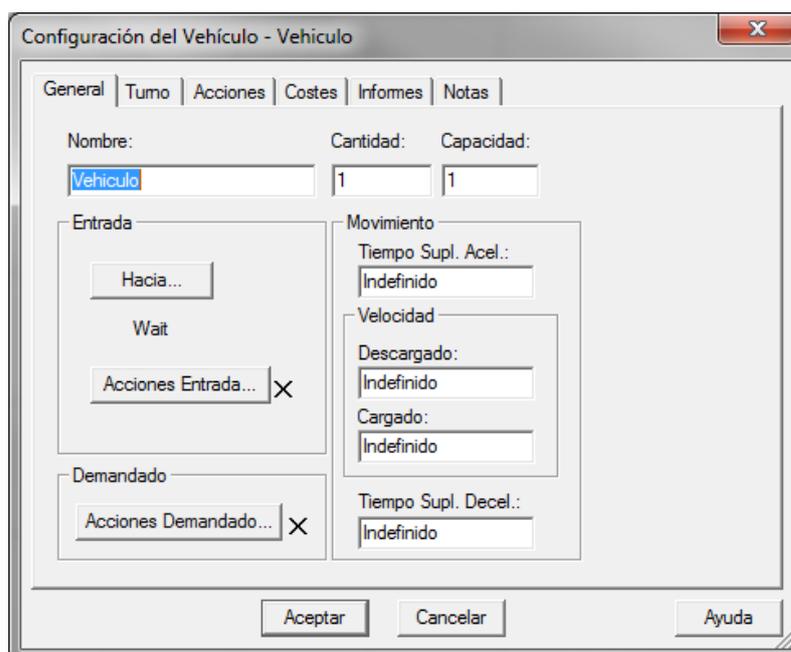


Figura 3.28. Ventana de configuración de los elementos tipo Vehicle.

Tabla 3.9. Aspectos de configuración de los Vehices (Vehículos).

ASPECTO	FUNCIÓN
NAME	Nombre del vehicle.
QUANTITY	Número de vehices definidos bajo el mismo nombre.
CAPACITY	Es el número de parts que puede llevar.
SPEED LADED y SPEED UNLOADED	Velocidad de cargar y descargar el vehicle.
START DELAY y STOP DELAY	Se puede añadir estos parámetros a las anteriores velocidades para simular la aceleración y desaceleración del vehículo.
ENTRY TO RULE	Determina dónde empieza en el modelo
ACTIONS ON ENTRY	Define las acciones a desarrollar con la entrada del vehículo al modelo.

▪ **Módulos (Modules)**

Son agrupaciones de elementos físicos que se realizan para su mejor comprensión y manipulación a la hora de efectuar la modelización de un sistema. Un módulo puede estar compuesto por diversos elementos individuales, de modo que una alteración en uno de estos elementos será automáticamente actualizada en ese elemento del módulo.

Los módulos son útiles para modelizar sistemas en los que hay zonas que se repiten, ahorrándonos trabajo. Para ello, el módulo debe ser salvado como submodelo (*.sub).

▪ **Redes**

Una red agrupa un conjunto de secciones, estaciones y transportadores. Hay dos tipos de redes: autopropulsadas e impulsadas por las secciones. El tipo de red condiciona el comportamiento de las secciones y de los transportadores de la red.

- **Secciones**

Una sección es un camino por el que se mueve un transportador. Las secciones deben formar parte de una red y su comportamiento está condicionado por el tipo de red.

- **Estaciones**

Una estación es un punto (al comienzo o al final de una sección) en el que se pueden ejecutar acciones bien sobre el transportador o bien sobre la entidad del transportador. Hay cuatro tipos de estaciones: estaciones básicas (que permiten realizar acciones simples), estaciones de carga, de descarga y de estacionamiento.

- **Transportadores**

Un transportador mueve entidades a lo largo de secciones o a través de estaciones; su comportamiento depende del tipo de red en la que opera. Si la red es autoimpulsada, los transportadores son activos y se impulsan a sí mismos a través de secciones pasivas. Si la red es de impulso de secciones, los transportadores son pasivos y son capturados y transportados por las secciones mediante ganchos.

III.4.4 Elementos de procesos continuos

- **Fluidos**

Los fluidos representan líquidos y son productos que fluyen libremente. Se representan gráficamente como bloques de color que fluyen a través de tuberías, tanques y procesadores y que se emplean para modelizar procesos continuos.

Las mezclas de fluidos se muestran como franjas de diferentes colores (proporcionales a la cantidad de cada fluido que contiene la mezcla).

- **Procesadores**

Los fluidos entran a los procesadores, se someten a algún tipo de operación durante un cierto tiempo y salen de ellos (es decir, actúan como máquinas para fluidos). Un ejemplo de procesador sería un recipiente en el que se mezclan varios fluidos o se calientan durante un tiempo determinado.

Los procesadores pueden: tener diferentes niveles, de manera que su contenido se puede mostrar de forma precisa; mostrar la proporción de la mezcla de fluidos en forma de porcentaje, así como los nombres de los fluidos; tener un nivel mínimo, por debajo del cual el procesador no opera; ser limpiados según diferentes criterios; averiarse según diferentes criterios; tener niveles de alerta al llenarse o vaciarse, de manera que se puede realizar alguna acción cuando se alcanzan dichos niveles; cambiar el nombre o el color de un fluido al entrar o al salir.

▪ Tanques

Los tanques son elementos de proceso continuo en los que los fluidos se pueden almacenar (es decir, actúan como buffers para los fluidos) y cuya capacidad se mide en volumen.

Los tanques pueden: limpiarse en diferentes momentos; tener niveles de alerta al llenarse o vaciarse de manera que algo ocurre cuando se alcanzan dichos niveles; 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 color según su estado, representarse para mostrar en pantalla su contenido en unidades; representarse para mostrar la proporción de fluidos que contiene en porcentajes junto con los nombres de los fluidos e incluyen la posibilidad de añadir reglas de entrada/salida para manipular la entrada y salida de los fluidos. Así mismo, disponen de posibilidad de prioridad, breakdowns, labours, actions, etc.

▪ Tuberías

Las tuberías se utilizan para conectar procesadores y tanques. Los fluidos fluyen a través de las tuberías con un determinado caudal. Las tuberías pueden: ser limpiadas de acuerdo con ciertos criterios; averiarse con determinados 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. Disponen de reglas de entrada/salida y posibilidad de breakdowns, labours, actions, etc.

III.4.5 Elementos lógicos

Estos elementos representan los aspectos relativos a los datos y los informes (es decir, la gestión de la información). Permiten gestionar información de manera

sencilla, personalizar informes e introducir lógica más compleja en los modelos de WITNESS para una correcta modelización.

▪ Atributos

Los atributos son características específicas de una entidad, part o de un recurso. Por ejemplo, el número de cilindros de un motor podría estar almacenado en un atributo, y se podría utilizar el valor de ese atributo para determinar la cantidad de tiempo necesario para realizar un ajuste.

Cada atributo puede tomar 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 los actions de los distintos elementos. Se trata de algo propio de un part que se mueve con ella pudiendo cambiar su valor a lo largo de la simulación.

Hay dos tipos de atributos:

- **FIXED:** aquellos cuyo valor ha de ser el mismo para todos los parts del mismo nombre.
- **VARIABLE:** aquellos cuyo valor puede ser distinto para cada part individual y puede ser modificado en el transcurso de la simulación.

A cada tipo de part puede dársele su propio conjunto de atributos. Es por ello, que estos se concentran en grupos numerados que son seleccionados en el campo Group de las parts.

Los atributos pueden aparecer en órdenes lógicas que dan gran flexibilidad y capacidad a la modelización.

Las características de los atributos que hay que definir en Witness, como al igual que en la mayoría de los elementos vistos, son: el nombre o designación del atributo, la cantidad de atributos con el mismo nombre, el tipo y el grupo al que pertenece el atributo (seleccionar este número en el campo Group de la part que vaya a utilizar éste tipo de atributo) (Figuras 3.29 y 3.30).

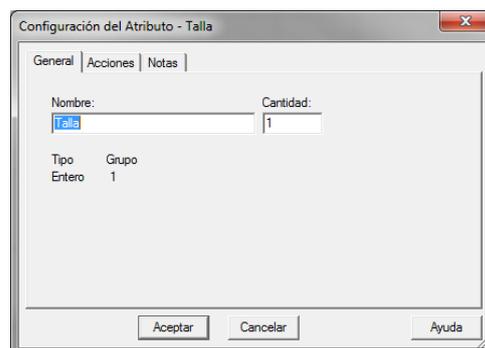
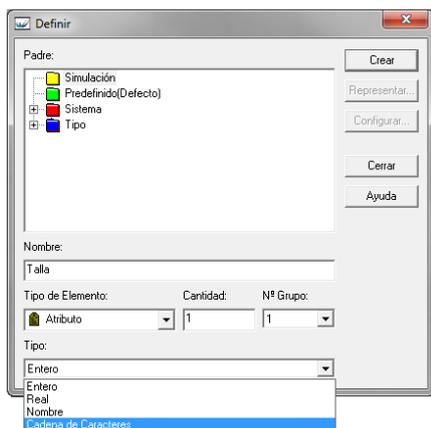


Figura 3.29. Ventana Definir Elemento Atributo. Figura 3.30 Ventana configuración Atributo.

Hay una serie de atributos que ya vienen definidos por el programa para cada pieza, y que pueden manipularse en los actions de cualquier elemento, bien empleándolos en reglas lógicas o bien alterando su valor.

- **Variables**

Las variables son valores a los que se puede acceder desde cualquier sitio del modelo. Por ejemplo, una variable podría utilizarse para guardar el número de piezas que hay en un almacén. Además de las variables que el usuario puede definir, WITNESS tiene varias variables de sistema (como la que guarda el tiempo de la simulación o la que indica el número de entidades que hay en una cola).

Una variable puede tener valores enteros, reales, una cadena o la referencia a otro elemento del modelo de WITNESS; además puede ser igual a una expresión en la que se utilizan atributos, constantes, un valor de una distribución u otra variable y representar gráficamente, en particular, su nombre y su valor.

No van asociadas a ningún part, 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 los actions. En cualquier momento podemos conocer el valor de una variable visualizándola por medio de la fase display.

Las características de las variables que hay que definir en Witness son (Figuras 3.31 y 3.32 y Tabla 3.10):

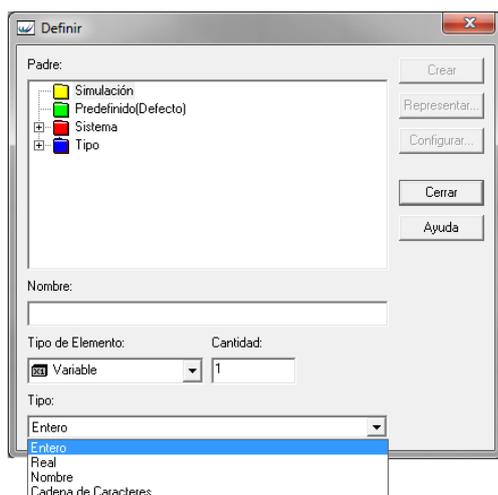


Figura 3.31. Ventana Definir Variables.

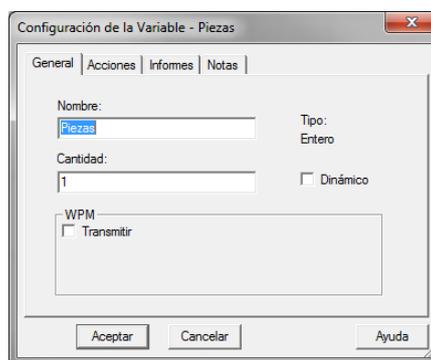


Figura 3.32 Ventana configuración Variable.

Tabla 3.10. Aspectos de configuración de las variables.

ASPECTO	FUNCIÓN
NAME	Nombre de la variable.
TYPE	Tipo de la variable (caracteres, enteros, real).
QUANTITY	Número de variables con el mismo nombre (dimensión de la variable).
REPORTING	Indica si deseamos que se recojan estadísticas sobre esa variable.

Una variable puede representar un sólo valor o bien puede constituir un “array” (cadena) de valores:

- Si Quantity=1, la variable representa un sólo valor.
- Si Quantity=x, la variable representa un array unidimensional de x valores.
- Si Quantity=x, y, la variable representa un array bidimensional de x columnas por y filas de valores. Para referirnos a un valor concreto lo haremos como: Nombre Variable (posición column de 1 a x, posición fila de 1 a y).

▪ **Archivos**

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).

La lectura y la escritura de valores en un file se lleva a cabo mediante la inclusión de las órdenes READ/WRITE en algún actions del modelo.

▪ **Distribuciones**

Las distribuciones permiten introducir variabilidad en un modelo alimentando el modelo con datos recogidos de la realidad. Por ejemplo, si las observaciones muestran que una operación de pulido de una determinada pieza X dura entre 5 y 10 minutos, pero lo más habitual es que dure 8,2, esta información podría introducida en el modelo mediante una distribución.

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

- Distribuciones enteras: binomial, uniforme, poisson.
- Distribuciones reales: beta, erlang, gamma, logarítmica normal, negativa exponencial, normal, normal truncada, triangular, uniforme, weibull.
- También pueden estar definidas por el usuario introduciendo los valores numéricos así como sus frecuencias de aparición (Figura 3.33).

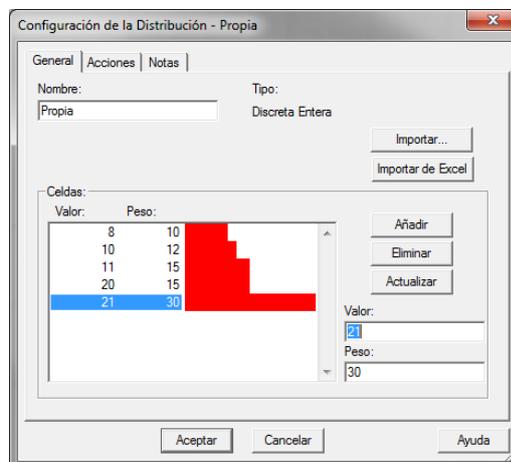


Figura 3.33. Ventana de configuración de una Distribución.

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 (al ir empleando números de su cadena), desfigurando los resultados de la simulación.

Por otra parte, los eventos aleatorios son reproducibles con Witness. Si se dispone de un modelo con diversos eventos estocásticos y se corre varias veces, se observa que el resultado siempre es el mismo, ya que la semilla generadora de las cadenas de números aleatorios no ha variado. Esto es muy útil, ya que si ahora se hace una modificación en el modelo y se ejecuta, se sabe que la diferencia en el resultado está motivada por el cambio efectuado, y no por una variación en la aleatoriedad del modelo.

También es posible cambiar la semilla generadora de las cadenas de números aleatorios en un momento dado (opción Model, Random Numbers). Se pueden hacer varias ejecuciones de un mismo modelo variando la semilla generadora. Si se observa que los resultados en todos los casos son semejantes, se habrá probado la robustez y validez del modelo, cuyos resultados no dependerán de la aleatoriedad sino de su funcionamiento.

- **Funciones**

WITNESS proporciona un gran número de funciones predefinidas que se pueden utilizar para mejorar la lógica del modelo: por ejemplo, se podría utilizar una función para detectar el número de entidades que están en un determinado momento en una cinta transportadora. Las funciones se pueden representar gráficamente, para mostrar en la pantalla su nombre y el último valor devuelto o como elementos y, después, se pueden utilizar de forma repetida con la misma sencillez que las funciones predefinidas.

Sin embargo, y como ocurre con las distribuciones, el usuario también puede crear sus propias funciones.

Las funciones predefinidas incluyen:

- *Funciones de informes y de estados*, por ejemplo, que devuelven el número de entidades en un elemento determinado, o que devuelven el espacio libre en un elemento.
- *Funciones para generar variables aleatorias*, por ejemplo, generando valores de una distribución normal.
- *Funciones aritméticas* y para gestionar nombres.

Existen funciones matemáticas, estadísticas y funciones de estado.

- *Funciones matemáticas*: para realizar cálculos matemáticos en las expresiones.
- *Funciones estadísticas*: para conocer datos estadísticos sobre la simulación.
- *Funciones de estado*: para dar información sobre el estado actual de los elementos durante la simulación que se está efectuando. Las hay de uso general y otras específicas para cada tipo de elemento.

Para observar su potencia y como muestra se destacan algunas de estas últimas en la Tabla 3.11:

Tabla 3.11. Funciones de Estado.

FUNCIONES	DATOS QUE SE OBTIENEN
ISTATE	Devuelve el nº que corresponde al estado actual de ese elemento.
NPARTS	Nº de parts que hay actualmente en ese elemento.
APARTS	Nº medio de parts en un buffer o conveyor.
NWIP	Nº de parts actualmente en el modelo.
NCREATE	Número de Parts del tipo especificado que han sido creadas.

NFREE	Cantidad del espacio libre del elemento especificado.
PUTIL	Porcentaje de tiempo del elemento especificado que se ha gastado en el estado especificado.
LIFE	El tiempo de vida de permanencia de tiempo de mantenimiento de la Machine en términos de número de operaciones.
FLOAT	Especifica un entero como número real
IFIX	Parts enteras de un número real.
MAX	Máximo de la lista de número enteros.
MIN	Mínimo de la lista de números enteros.
MOD	Devuelve el resto de dividir un entero por otro entero.

Si se necesita crear una función los campos a definir son los que aparecen en la Figura 3.34, ofreciendo la posibilidad de escribir el código necesario seleccionando el botón Actions.

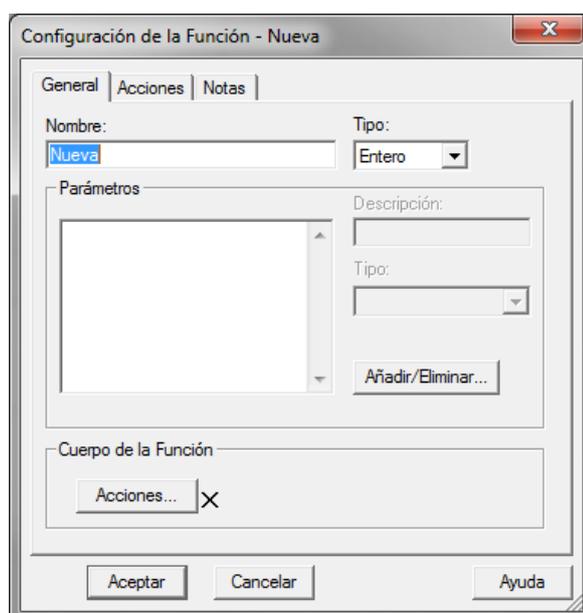


Figura 3.34. Ventana de configuración de una Función.

- **Archivos de entidades**

Un archivo de entidades o parts contiene una lista de parts; para cada entidad se puede especificar el tamaño de lote (cuántas entidades llegan cada vez), los atributos de la entidad (por ejemplo, el símbolo, el color, el peso) 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**

El elemento turno se utiliza para simular turnos (o un conjunto de ellos), los cuales son una secuencia de periodos de trabajo y de descanso. La información de los elementos tipo turno se puede aplicar a recursos y otros elementos para simular turnos de trabajo.

III.4.6 Elementos gráficos y de informes

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

- **Diagramas de tarta**

Los diagramas de tarta permiten representar los resultados de la simulación en la pantalla mediante un diagrama con el formato estándar de sectores. La representación del diagrama se puede poner en 3D y también separar los distintos sectores entre sí para destacar el resultado. Los diagramas de tarta son útiles para representar el porcentaje de tiempo que un elemento ha permanecido en un determinado estado (por ejemplo, la cantidad de tiempo que ha permanecido en los estados de ocupado o de ocioso).

Su ventana de configuración es la que muestra la Figura 3.35, en la que encontramos el nombre del diagrama su cantidad en el modelo y el intervalo de tiempo en el que el diagrama se actualizará.

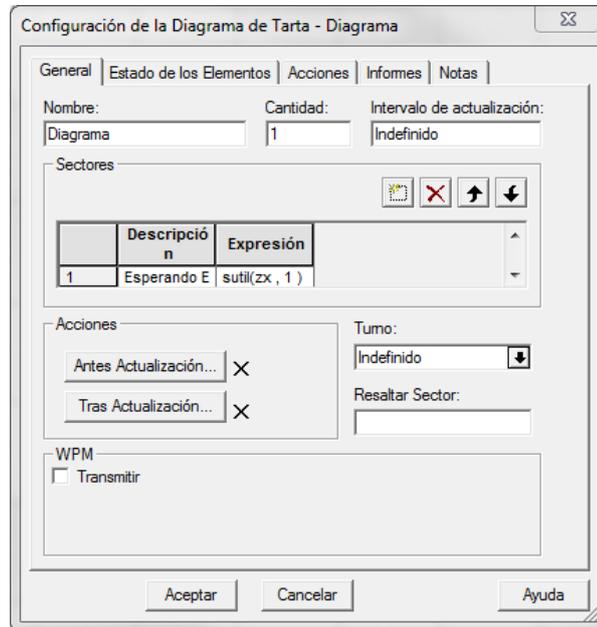


Figura 3.35. Ventana de configuración de una Diagrama de tarta.

- **Series temporales**

Las series temporales permiten representar por pantalla los resultados de un modelo en forma de una Figura que representa algún valor 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. Su configuración se realiza a través de la ventana emergente mostrada en la Figura 3.36.

Las características de los timeseries que hay que definir son: el nombre, la cantidad de timeseries exactamente iguales, el intervalo de muestreo y las expresiones cuyos valores en el tiempo se desean registrar.



Figura 3.36. Ventana de configuración de una Timeseries.

- **Histogramas**

Los histogramas permiten representar los resultados de la simulación en forma de un diagrama de barras. Esto es útil para determinar el rango de valores observados para algún parámetro de la simulación. Las expresiones se registran cuando así lo ordena algún action (mediante mandatos tipo RECHST, DRAWBAR, ADDBAR), tomando nota del valor y frecuencia de aparición de algún parámetro u expresión.

Las características de configuración son muy básicas, tal como se muestra en la Figura 3.37.

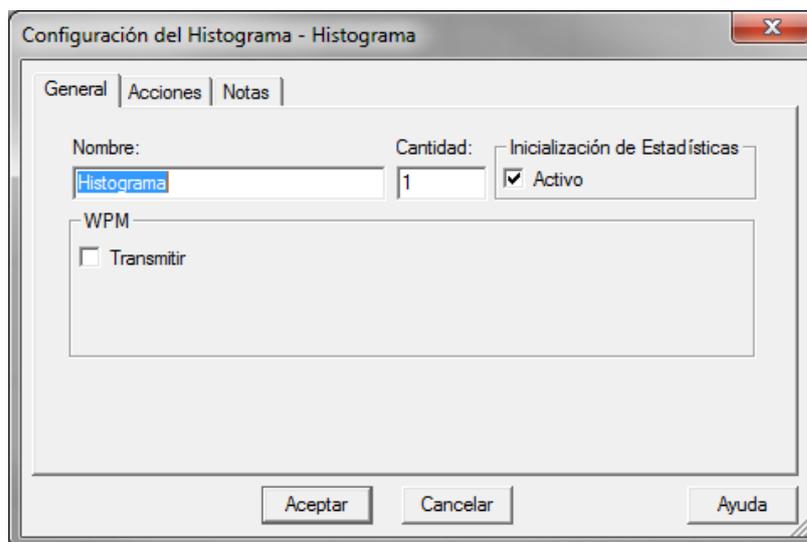


Figura 3.37. Ventana configuración de un Histograma.

▪ **Informes**

Los elementos de tipo informe permiten 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.

Esta es una de las posibilidades más potentes que facilita Witness. Así una vez construido el modelo y puesto en marcha, se pueden utilizar los informes que se pueden generar 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.

Para visualizar los informes generados durante la ejecución de los experimentos se seleccionará la opción Reports del menú proporcionando las siguientes alternativas (Tabla 3.12):

Tabla 3.12. Informes.

INFORMES	FUNCIÓN
USED	Indica donde es utilizado y referenciado cada elemento del modelo.
EXPLODE	Permite observar si en un determinado elemento hay part, cuántas, de qué tipo, cuáles son sus atributos, etc.
SUMMARY	Ofrece las características generales de cada elemento del modelo (nombre, tipo, cantidad, regla de entrada/salida, si tiene programado algún action, etc.)
REPORTS	Para cada uno de los elementos del modelo, lista muy completa de datos estadísticos recogidos durante el tiempo de simulación.

III.4.7 Gestión de elementos

- **Las reglas de entrada y salida**

Sirven para direccionar los parts a través de los elementos del modelo, es decir, regulan los mecanismos por los cuales una part entra en un elemento procedente de otro, o sale del mismo hacia otro elemento.

Estas reglas se especifican en los campos Input Rule y Output Rule de la fase Detail de los diversos elementos. No todas las reglas son aplicables a todos los elementos.

El significado de cada regla depende de si ésta se utiliza como regla de entrada o como regla de salida.

Las principales Reglas de Entrada y Salida son (Tabla 3.13):

Tabla 3.12. Reglas de Entrada Y Salida.

REGLAS DE ENTRADA Y SALIDA	FUNCIÓN
WAIT	No realiza acción alguna sobre la part. Es la regla por defecto.
PULL	El elemento “coge” la part desde algún otro elemento que esté en su lista de demanda. Sólo puede emplearse como regla de entrada.
PUSH	Los parts tratan de ser tirados/empujados desde/hacia una lista de elementos secuencialmente.
SEQUENCE	Hay tres opciones, cuyos significados dependen del tipo de elemento en que sean empleadas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ WAIT: se espera a que esté disponible (la part -Rule input- o el elemento -Rule output). ▪ RESET: si un part o elemento de la lista no está disponible, se resetea la secuencia y se vuelve a intentar desde el principio. ▪ NEXT: si un part o elemento de la lista no está disponible, se salta al siguiente en la lista.

SELECT	El part se coge/empuja desde/hacia aquel elemento de la lista que ocupa la posición dada por el valor de alguna variable
PERCENT	El part se coge/empuja aleatoriamente desde/hacia alguno de los elementos de la lista en función de unos determinados porcentajes de probabilidad. Ej. PERCENT/(semilla aleatoria 1-1000) B1 70.00, B2 30.00. La part se estirará/empujará desde/hacia el elemento B1 con una probabilidad del 70% o hacia B2 con un 30%.
MOST	El elemento coge/empuja el part desde/hacia aquel elemento de su lista que posea el mayor nº de parts (opción parts) o el mayor nº de espacios desocupados (opción free)
LEAST	El elemento coge/empuja el part desde/hacia aquel elemento de su lista que posea el menor nº de parts (opción parts) o el menor nº de espacios desocupados (opción free).
IF	Coge/empuja las parts en función de que una expresión condicional del tipo If/Else/Elseif/End sea verdadera. Puede combinarse con otras reglas, excepto con Sequence y Percent por dar un resultado ambiguo y confuso.
RANDOM	Permite introducir una componente aleatoria en el modelo, indicando una serie de elementos y la probabilidad de que una part vaya o venga hacia cada uno de ellos. Por ejemplo, puede crearse un elemento con una Rule input que sea Random de modo que tome distintas parts del world en una proporciones determinadas de un modo aleatorio.

▪ **Acciones (Actions)**

Permiten dotar al modelo de la lógica necesaria para que funcione correctamente y del modo más parecido a la realidad.

Mediante ellas es posible manipular variables y atributos, leer o escribir datos desde/hacia ficheros de disco, controlar las parts, etc.

Tanto para los actions como para las reglas de entrada y salida, Witness ofrece una serie de facilidades para su implementación:

- Pueden hacerse actions/reglas muy complejas (hasta de 32 Kb cada una, sin superar los 256 caracteres por línea), si bien éstas hacen la simulación más lenta.
- Puede moverse o copiarse el texto de los actions/reglas de un lugar a otro del modelo.
- Puede recibirse ayuda del programa para escribir una action/regla cuyo empleo desconocemos seleccionando el botón Prompt en las cajas de diálogo.

Mediante un action pueden realizarse a la vez cálculos matemáticos y lógicos:

- *Cálculos matemáticos.* Pueden realizarse cálculos con números o variables, empleando operadores aritméticos que, ordenados conforme Witness los evalúa son: paréntesis (), potenciación **, multiplicar *, dividir /, sumar +, y restar -.
- *Cálculos lógicos.* Pueden implementarse reglas lógicas en las que se incluyan los operadores lógicos y aritméticos que, ordenados por orden de evaluación son: paréntesis (), NOT (expresión), potenciación **, multiplicar *, dividir /, sumar +, restar -, igual=, desigual < >, menor que <, mayor que >, menor o igual que <=, mayor o igual que >=, AND (dos subexpresiones), OR (dos subexpresiones).

▪ **Acciones especiales**

El paquete Witness permite implementar una serie de acciones en unos momentos determinados que pueden ser muy útiles a la hora de hacer que un modelo funcione correctamente. Si se estima oportuno, pueden emplearse tres tipos de acciones, cada una de las cuales se implementa en una caja de diálogo tras seleccionar la opción oportuna en los menús desplegados de Witness:

- *Acciones de inicialización* (INITIALIZE ACTIONS) son aquellas que se realizarán siempre justo antes de que la simulación comience a correr. Suelen emplearse para dar valores a algunas variables para leer datos de un fichero necesarios para la simulación, etc.

Se ha de tener en cuenta que estas acciones se ejecutarán siempre en cada ejecución y que se sobrescriben a los datos leídos desde ficheros de arranque (P.e. si en un fichero de arranque hemos puesto a una variable el valor $X=15$ y en el Initialize Actions tenemos una orden que dice $X=20$, la simulación acabará corriendo con el valor $X=20$).

- *Acciones de usuario* (USUARY ACTIONS) son aquellas que se realizarán sólo cuando el usuario seleccione la opción Run Usuary.
- *Acciones inmediatas* (INMEDIATE ACTIONS) son aquellas que se ejecutan justo en el momento en el que el usuario escribe la orden.

III.4.8 Formatos de archivos de los modelos de Witness

WITNESS permite grabar los modelos o partes de los modelos en diferentes formatos. Algunos de los más utilizados son:

- *.MOD Archivo de Modelo.* Es el formato estándar en el que se guardan los modelos. Se incluyen todas las definiciones de los modelos en un formato que se carga rápidamente.
- *.SIM Archivo de Modelo y Estado.* Es un formato para guardar modelos de WITNESS muy útil para modelos de los que queremos guardar tanto el modelo en sí como el estado en el que está el modelo en la última ejecución realizada del mismo. Al cargar este tipo de archivos se pueden ver las estadísticas de ejecuciones previas así como ejecutar de nuevo desde el estado en el que se ha guardado.
- *.LST Archivo de Bibliotecas.* Es un archivo en el que se guarda el modelo en formato de texto plano. Este archivo puede ser editado en cualquier editor estándar como con el Bloc de notas o Wordpad. Estos archivos pueden ser modificados (con mucho cuidado) y abrirlos de nuevo en WITNESS.
- *.DES Archivo de Elementos Predefinidos.* Mediante este formato se guarda en un archivo una pestaña de las que hay en la ventana de

elementos predefinidos. De esta manera se pueden intercambiar fácilmente elementos predefinidos entre un modelo y otro: simplemente hay que añadir una nueva pestaña en la ventana de Elementos Predefinidos y cargar el archivo .DES correspondiente.

- *.MDL Archivo de Módulo.* En este tipo de archivo se graba parte de un modelo (o todo si es un módulo único) en un archivo para poder ser reutilizado en otro modelo. Se puede introducir un módulo en la ventana de elementos predefinidos enlazada a un archivo .MDL y así introducir un módulo en un modelo como un bloque y de forma muy sencilla.
- *.WXM Archivo XML WITNESS.* En este caso se guarda en formato texto de acuerdo al esquema de WITNESS XML.

▪ Reloj de simulación

Witness dispone de un reloj (Clock) interno para llevar la cuenta del tiempo de simulación. A través de la opción Clock del menú Edit puede especificarse la unidad mínima temporal y sus múltiplos, que se emplearán para confeccionar el modelo y realizar la simulación. Esto es muy importante, ya que si, por ejemplo, seleccionamos como unidad temporal mínima el minuto, deberemos introducir todos los datos referidos a nuestro modelo en minutos.

Podemos visualizar el tiempo que se lleva de simulación activando la opción Clock del menú desplegable Windows. (Figura 3.38.)

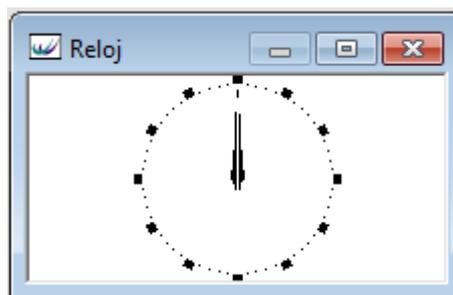


Figura 3.38. Representación del Reloj.

▪ Ejecución de una simulación

Una vez se tiene construido el modelo, hay que proceder a comenzar a realizar experimentos con el mismo, es decir, hay que realizar “corridas” del modelo. Witness ofrece en su menú desplegable Run diversas opciones para ello (Figura 3.39):

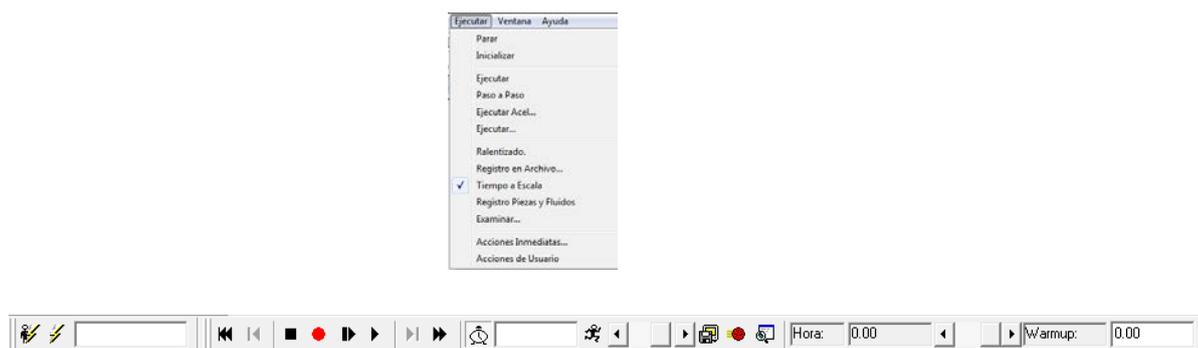


Figura 3.39. Barras de ejecución de la simulación.

Tabla 3.14. Opciones de ejecución de la simulación.

OPCIONES DE EJECUCIÓN	FUNCIÓN
BEGIN	Pone a cero el reloj interno de la simulación.
STOP	Para una simulación en el acto.
RUN	Activa una simulación en el acto.
BATCH	Activa una simulación hasta el instante temporal indicado en unidades temporales mínimas. Por ejemplo, si nuestra unidad temporal es el minuto, poniendo uno se ejecutará hasta ese instante.
ADVANCE	Activa la simulación llevando el reloj hacia delante tantas unidades temporales como el valor introducido.
WALK	Disminuye la velocidad de la simulación para poder observar mejor los sucesos que ocurren durante la simulación en pantalla.
STEP	Ejecuta la simulación en modo paso a paso, es decir, de modo que cada vez que se haga clic con el ratón sólo se ejecute una acción de la simulación. Esta opción es muy útil para depurar la programación lógica del modelo y observar si está bien definida.

CAPÍTULO IV:

**MODELADO DE LA
ESCUELA LEAN**

IV Modelado de la Escuela Lean

IV.1	Introducción	115
IV.2	Descripción y modo de funcionamiento de la Escuela Lean	115
IV.3	Modelado de la Escuela Lean. Taller de Chasis.	135
IV.3.1	Línea de Punzonado	135
1.	Modelado de las Piezas (parts)	135
2.	Modelado de las Máquinas (Machine)	136
3.	Modelado de los transportadores (Conveyours)	139
4.	Modelado de los Almacenes (Buffer)	140
5.	Modelado de los Caminos y Vehículos (Tracks y Vehicle)	141
6.	Modelado de los Turnos (Shift)	144
IV.3.2	Línea de MPM	145
1.	Modelado de las Piezas (parts)	145
2.	Modelado de las Máquinas (Machine)	146
3.	Modelado de los Almacenes (Buffer)	148
4.	Modelado de los transportadores (Conveyours)	150
5.	Modelado de los Caminos y Vehículos (Tracks y Vehicle)	152
6.	Modelado las Variables	154
7.	Modelado de los Turnos (Shift)	156
8.	Modelado de los operarios (Labor)	157
IV.4	Modelado de la Escuela Lean. Taller de Montaje	158
1.	Modelado de las Piezas (parts)	158
2.	Modelado de los Almacenes (Buffer)	163
3.	Modelado de los Caminos y Vehículos (Tracks y Vehicle)	167
4.	Modelado de las Máquinas (Machine)	169
5.	Modelado de Operarios (Labor)	171
6.	Modelado de los Turnos (Shift)	171
7.	Modelado las Variables	172
IV.4	Simulación del sistema	174

IV ESCUELA LEAN

IV.1 Introducción

El Lean Manufacturing, como se ha explicado en capítulos anteriores, 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, surgió la idea de crear de una Escuela Lean donde se representa un entorno industrial formado por un aula de formación y dos talleres de producción (uno de ensamblado y otro de simulación de máquinas semiautomáticas), constituyendo un ambiente industrial y pedagógico único.

Con todo esto, y gracias a la existencia de softwares de simulación como Witness, se plantea la posibilidad de construir un modelo de simulación del entorno de la Escuela Lean que la muestre de una manera más clara y que destaque los beneficios reales de implantación de una herramienta de productividad y optimización como es el Lean Manufacturing.

IV.2 Descripción y modo de funcionamiento de la Escuela Lean

La Escuela Lean representa un entorno industrial dedicado a la producción de automóviles estructurada y organizada de igual forma que si se tratará de una planta de producción de vehículos real. Los productos finales que se obtienen son turismos de dos categorías, monovolumen y pick up, pudiendo elegir el cliente en cada uno de ellos si desea la diversidad normal todoterreno y claro oscuro, lo que particulariza el producto final y dificulta la producción dado que el número de vehículos diferentes a fabricar es ocho (Figura 4.1).

Para poder llevar a cabo la fabricación de estos automóviles, nuestra planta industrial en miniatura se organiza del siguiente modo: por un lado se dedica a la elaboración de productos semiterminados, necesarios para la fabricación del producto final, y por otro lado se dedica al montaje de todos los elementos que conforman nuestros coches.



Figura 4.1 Tipos de vehículos.

En la Figura 4.2 se muestra el layout de la Escuela Lean. En ella podemos distinguir diferentes zonas como son, el Taller de Montaje, el Taller de Chasis y diferentes áreas de almacenamiento así como las zonas habilitadas para los operarios. Al tratarse de una escuela de formación que representa una fábrica de verdad en vez de zonas de descanso y vestuarios, disponemos de zonas de material para los alumnos y áreas de reunión para la correcta formación.

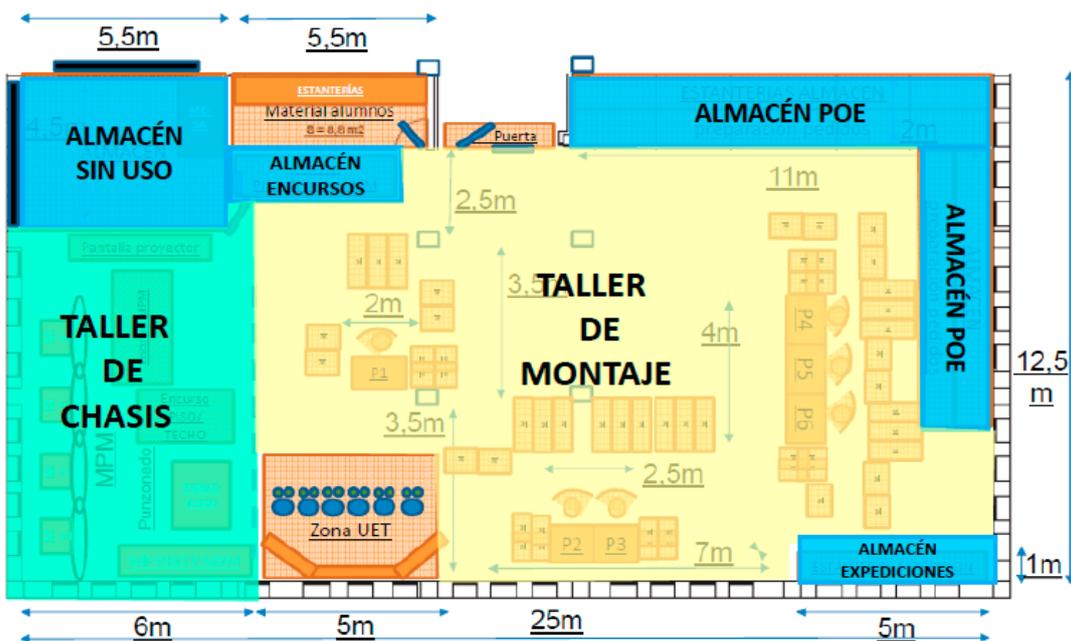


Figura 4.2 Representación del layout de la Escuela Lean.

Los coches a fabricar en nuestra escuela están compuestos de una serie de piezas. En el caso de tratarse de un vehículo monovolumen éste constará de veintiuna referencias distintas como se muestra en la Figura 4.3. De igual forma, en dicha figura se observa la cantidad de piezas igual de la misma referencia o en función de la diversidad la elección de un tipo de pieza u otra.

MONOVOLUMEN									
1		Rueda ensamblada	2 = Normal/ Todoterreno	4	12		Asiento delantero	1	1
2		Suelo	2 = Normal/ Todoterreno	1	13		Asiento trasero	1	2
3		Salpicadero	1	1	14		Aislante	1	2
4		Parachoques delantero	1	1	15		Arandela	1	3
5		Perfil L de suelo	1	2 = Derecha/ Izquierda	16		Tubo de escape	1	1
6		Puerta delantera izquierda	1	1	17		Parachoques trasero monovolumen	1	1
7		Puerta media izquierda	1	1	18		Maletero	1	1
8		Puerta trasera izquierda	1	1	19		Perfil L de techo monovolumen	1	2 = Derecha/ Izquierda
9		Puerta delantera derecha	1	1	20		Placas orden producción y diversidad	1	1
10		Puerta media derecha	1	1	21		Capó	1	1
11		Puerta trasera derecha	1	1	22		Techo monovolumen	1	1

Figura 4.3. Piezas del Monovolumen.

El pick up, por su parte, está formado de dieciocho referencias, las cuales podemos observar en la Figura 4.4 así como la cantidad de piezas que lo conforman y su diversidad.

Capítulo IV: Modelado de la Escuela Lean

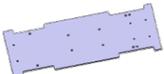
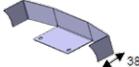
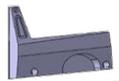
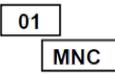
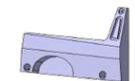
Nº	CROQUIS	DENOMINACIÓN	DIVERSIDAD	PIEZAS/VEHÍCULO	Nº	CROQUIS	DENOMINACIÓN	DIVERSIDAD	PIEZAS/VEHÍCULO
PICK UP									
									
1		Rueda ensamblada	2 = Normal/ Todoterreno	4	10		Asiento delantero	1	1
2		Suelo	2 = Normal/ Todoterreno	1	11		Aislante	1	2
3		Salpicadero	1	1	12		Arandela	1	3
4		Parachoques delantero	1	1	13		Tubo de escape	1	1
5		Perfil L de suelo	1	2 = Derecha/ Izquierda	14		Perfil L de techo pick up	1	2 = Derecha/ Izquierda
6		Puerta delantera izquierda	1	1	15		Parachoques trasero pick up	1	1
7		Panel trasero izquierdo pick up	1	1	16		Techo pick up	1	1
8		Puerta delantera derecha	1	1	17		Placas orden producción y diversidad	1	1
9		Panel trasero derecho pick up			18		Capó	1	1

Figura 4.4. Piezas del Pick up.

Muchas de las piezas expuestas en las Figuras 4.4 y 4.5 referentes al tipo de vehículo, monovolumen o pick up, son comunes a ambos. En concreto: las ruedas cuya diversidad dependerá únicamente de si el automóvil es normal o todoterreno, el salpicadero, el parachoques delantero, ambos perfiles L de suelo tanto derechos como izquierdos, las puertas delanteras tanto izquierda como derecha, los asientos

delanteros; el tubo de escape; el aislante; la arandela; las placas de orden y producción y los capós. El resto sin embargo son específicos de cada uno.

La gran mayoría de estas piezas son de origen exterior, es decir, referencias procedentes de otros proveedores o que se fabrican en otro lugar externo a la factoría. Sin embargo, hay algunas (como son los parachoques, tanto delanteros como traseros, los suelos y los techos) que son de origen interior, es decir, fabricadas en la propia planta de producción.

Todas estas piezas de origen interior se fabrican en un área de la Escuela Lean denominada Taller de Chasis, como se mostró en la presentación del layout de la fábrica. Este taller, a su vez, presenta la distribución expuesta en la Figura 4.5.

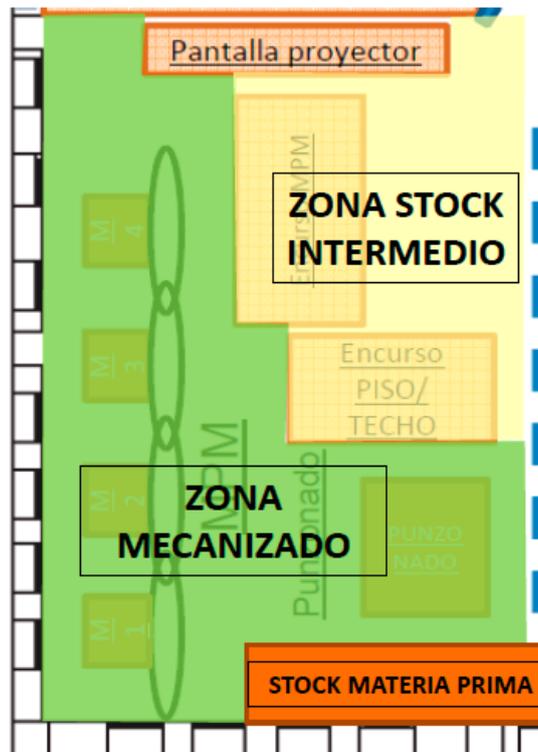


Figura 4.5. Layout Taller de Chasis.

En la figura anterior se puede distinguir la zona de Stock de Materia Prima, la zona de Mecanizado y la de Zona de Stock Intermedio.

En la *zona de Stock de Materia Prima* encontramos un almacén en el que se reciben y almacenan los brutos de las piezas que posteriormente se mecanizarán. Podemos distinguir principalmente materia prima destinada a la zona

de mecanizado, que denominaremos MPM, y la destinada a la zona de Punzonado que a continuación se explica.

En la *zona de Mecanizado* hallamos dos líneas de producción: la de punzonado y la de MPM.

La línea de Punzonado está destinada a la producción de techos y suelos, tanto de monovolumen como de pick up. Su modo de funcionamiento es muy básico puesto que está constituida únicamente por una máquina que recibe el bruto de piezas a través de una estantería de rodillos que desliza por gravedad. Dicha materia prima entra en la máquina que realiza una serie de taladros, los cuales serán diferentes según el tipo de pieza.

Realizada la operación de punzonado las piezas se introducen en una serie de grandes embalajes hasta alcanzar la capacidad máxima (20 piezas). Al disponer de una sola máquina y puesto que los taladros a realizar en las piezas no se encuentran en la misma posición para cambiar el tipo de producción de techos a suelos de monovolumen así como de estos a suelos de pick up es preciso realizar a la máquina unos cambios de útiles, llevados a cabo por un operario y con un tiempo de cambio bastante relevante para la producción de 15 minutos.

La línea de MPM se destinada, sin embargo, a la producción de parachoques delanteros y traseros de monovolumen y pick up.

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. Estos se meten dentro de una estantería de rodillos destinándolos por gravedad hasta la primera de las cuatro máquinas de mecanizado que constituyen esta línea de producción.

En la primera máquina las piezas entran y son mecanizadas por lotes mientras que a la salida se les realiza un control de calidad donde se determinan si son piezas buenas, 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 ser mecanizadas y cuyo error de calidad ha sido resuelto se envían de nuevo a una estantería de

rodillos en los pequeños embalajes para pasar a la segunda máquina de mecanizado. Esta segunda máquina, de igual forma que la primera, realiza su operación correspondiente por embalajes, es decir, por lotes de cuatro piezas. Una vez mecanizada, se verifica la calidad de la operación y, de igual forma que en la máquina anterior, las piezas pueden ser enviadas al contenedor de chatarra por ser rechazadas, a la zona de retoques propia de la operación que se realiza en la máquina dos o buenas continuando así su flujo normal. De nuevo, las piezas enviadas a la zona de retoques son tratadas para corregir el error de calidad y posteriormente se envían de nuevo a la máquina para realizarles la operación de mecanizado correspondiente.

Las piezas que prosiguen con el flujo normal se envían a otra estantería de rodillos deslizándose por gravedad hasta llegar a la tercera máquina de mecanizado. De igual manera a las otras dos anteriores, las piezas son sometidas a una operación y posterior control para verificar que la operación ha sido realizada correctamente. De nuevo, si no es así pero el problema es solucionable se envían a retoques para volver a someterlas posteriormente a la operación; en caso contrario se envían a la zona común de chatarra.

Una vez alcanzada la salida de la máquina en condiciones óptimas, los lotes se introducen de uno en uno en otra estantería de rodillos para, finalmente, llegar a la cuarta y última operación de mecanizado. Se verifica la operación mediante los controles oportunos de calidad de forma que las piezas pueden ser destinadas a chatarra, retoques para pasar de nuevo por la máquina o a otra estantería de rodillos.

Al llegar al final de la estantería de rodillos un operario se encarga de introducir las piezas finales o productos semiterminados en sus grandes embalajes correspondientes hasta alcanzar la capacidad máxima de veinte piezas.

La capacidad máxima de las estanterías de rodillos que permiten el desplazamiento de los lotes de piezas de unas máquinas a otras es de seis embalajes, de forma que todas las máquinas sólo podrán procesar si no se alcanza esta capacidad, es decir, si las estanterías no están saturadas.

Por otro lado, es preciso conocer que la capacidad máxima de la zona de retoques es de tres lotes, de forma que si ésta se alcanza en un determinado momento, entonces se produce la entrada de lotes retocados a la máquina de

mecanizado correspondiente; en caso contrario, tienen prioridad los lotes procedentes de la máquina anterior.

La línea de MPM, a diferencia de la línea de Punzonado que produce por tiradas o ráfagas dado que precisa realizar una serie de cambios de útiles para fabricar un tipo de pieza u otra, fabrica 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 intermedia almacenada en las estanterías sirve de pulmón para evitar la parada de fabricación.

Por último, dentro del taller de Chasis nos encontramos con la *Zona de Stock Intermedio*. Denominamos así a la parte de la Escuela destinada al almacenaje de los grandes embalajes de las piezas o productos semiterminados hasta que estos alcancen su capacidad máxima para ser trasladados posteriormente a un gran almacén de encursos.

La zona del taller de chasis de mecanizado trabaja a tres turnos, 1440 minutos productivos, mientras que la zona de punzonado lo hace únicamente durante medio turno 220 minutos, obteniéndose en ese tiempo una producción de:

- Parachoques delanteros: 440 unidades
- Parachoques traseros monovolumen: 293 unidades
- Parachoques traseros pick-up: 147 unidades
- Techos monovolumen : 293 unidades
- Suelos monovolumen: 293 unidades
- Suelos pick-up: 147 unidades

Dicha producción diaria se envía al almacén de encursos existente, donde se tendrán el tiempo necesario hasta ser consumido en el Taller de Montaje.

El resto de piezas que se emplean para la fabricación de vehículos se obtienen del exterior, por lo que se las denomina piezas de origen exterior o POE. Estas piezas que se reciben en grandes embalajes, se reciben y estocan en el almacén de POE, para su posterior consumo. Muchas de estas piezas son traspasadas por un operario logístico a pequeños embalajes para su posterior uso

en el puesto correspondiente a través de estanterías de rodillos, dado que son mejores ergonómicamente para los operarios además de necesitar menos espacio en las estaciones de consumo.

Para poder conseguir el objetivo final de producción de vehículos disponemos de un área de la Escuela denominada Taller de Montaje, formado por seis puestos manuales (en la configuración Job Shop) en los cuales se van ensamblando las piezas y realizando los controles de calidad oportunos hasta obtener nuestro producto.

El layout de nuestro Taller de Montaje se muestra en la Figura 4.6.

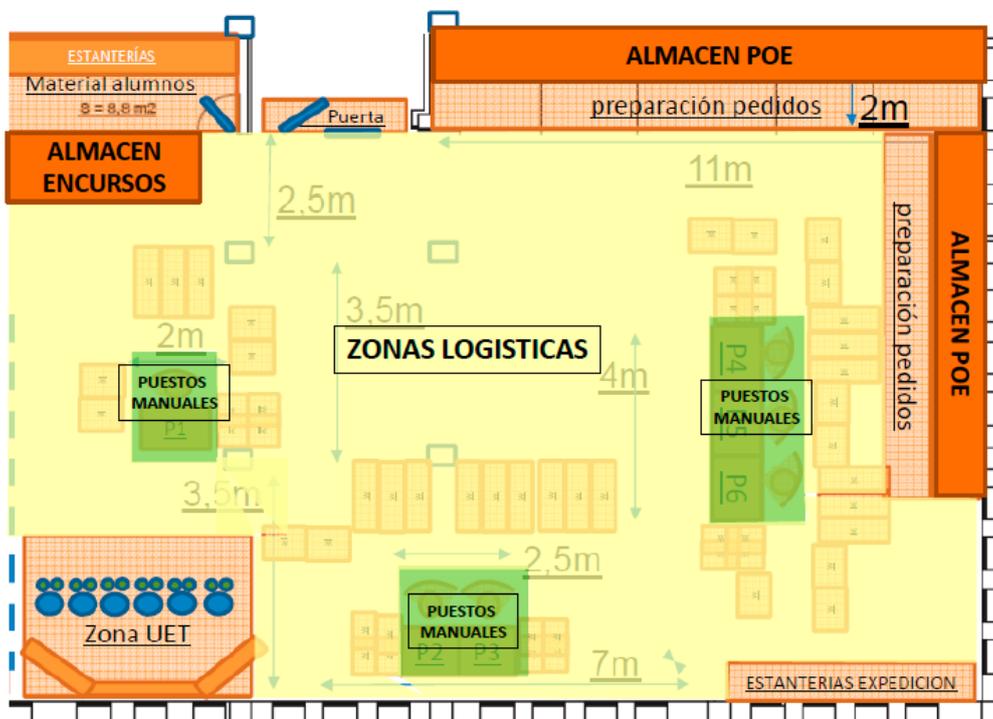


Figura 4.6. Layout Taller de Montaje.

Como se observa en la figura, el puesto uno está situado más a la izquierda, el puesto dos y tres se ubican en la parte central, mientras que los de la parte derecha se corresponden con los puestos cuatro, cinco y seis.

Los departamentos de ingeniería de la Escuela Lean han establecido que para obtener el vehículo final, el orden de ensamblaje de los diferentes puestos debe hacerse obteniéndose los siguientes productos intermedios: chasis bastidor, lateral derecho, lateral izquierdo, tubo de escape, parte trasera y parte delantera y techo,

así el primero corresponde con el producto intermedio del puesto uno, el segundo con el del puesto dos y así respectivamente.

Dentro del taller de Montaje debemos distinguir dos unidades elementales de trabajo diferentes, que son fundamentales para el funcionamiento de la fábrica: la unidad de trabajo de fabricación y la unidad de trabajo de logística. Cada uno de ellos posee un número determinado de operarios; en el caso de fabricación disponemos de seis operarios, uno por cada puesto manual, mientras que en el caso de los logísticos se dispone de tres.

Por tanto, a la hora de describir el funcionamiento de este taller se deben distinguir dos tipos de actividades cuya organización se describe a continuación:

- *Actividades logísticas:* dentro de éstas se agrupan las acciones necesarias para el suministro de piezas a los diferentes puestos de fabricación. El funcionamiento logístico del taller de montaje se ha ido adelantando en párrafos anteriores; por un lado, tenemos estocados las denominadas piezas de origen interior en nuestro almacén de encursos, y, por otro, las piezas de origen exterior que están almacenadas en el almacén de POE, consiguiendo de este modo evitar que se mezclen los flujos de las piezas y reduciendo las distancias a recorrer, dado que el almacén de encursos se sitúa muy próximo tanto del taller de Chasis en el que se fabrican; como de los puestos manuales de consumo del taller de Montaje.

Todas las piezas situadas en ambos almacenes están guardadas en los denominados grandes embalajes (véase la Figura 4.7). Sin embargo, no todas se suministran a los puestos en dichos embalajes. Existe cierto número de piezas que se trasvasan de estos grandes embalajes a otros más pequeños denominados pequeños embalajes. Dicho trasvase se debe a la ergonomía que ofrece su consumo en los puestos, así como a lo práctico que supone su suministro a través de la organización de diferentes flujos logísticos que permitan suministrar varias referencias en diferentes puestos a la vez.



Figura 4.7. Grandes Embalajes.

El trasvase de las piezas de esos grandes embalajes a los pequeños lo realiza un operario logístico en unas zonas del almacén de POE destinada a ello, la cual denominamos *zona de preparación de pedidos*, ya que es en ese punto donde se analizan las necesidades de piezas en los diferentes puestos preparando los pequeños embalajes con lotes y organizando el flujo que permita suministrar los embalajes llenos y recoger los vacíos en un único recorrido.

Por otra parte, los grandes embalajes son suministrados por otro operario logístico diferente al que realiza la preparación de pedidos. Su modo de funcionamiento consiste en la alerta o llamada por parte del operario del puesto manual, indicando que el número de piezas que hay en el embalaje en ese momento es inferior a cinco. De ese modo, el logístico se desplazará con la traspaleta al almacén correspondiente, según se trate de piezas de origen interior o piezas de origen exterior, cogiendo el embalaje correspondiente a sustituir para, a continuación, ir al puesto manual y cambiar el vacío por el lleno.

Como es de esperar, la mayoría de las piezas suministradas en los grandes embalajes son piezas grandes, voluminosas, imposibles de introducir en pequeños embalajes. Existen, sin embargo, otras más pequeñas cuyo suministro en esos embalajes perjudica la logística de la Escuela.

Por último, en la fábrica podemos encontrar un tercer y último operario logístico que se encargará de realizar el transporte de los productos intermedios de un puesto manual a otro. Este transporte lo realizará con diferentes vehículos o carros, existiendo así tres para realizar el transporte

de las tres isletas de puestos manuales existentes, tal y como se mostró en la Figura 4.6: uno para el transporte del chasis del vehículo del puesto uno a la isla de los puestos manuales dos y tres (Figura 4.8); otro para el desplazamiento del vehículo con los laterales de los puestos dos y tres a la última isla de los puestos cuatro, cinco y seis; y, por último, un carro de transporte del vehículo acabado al almacén de expediciones.



Figura 4.8. Carro transporte chasis de puesto uno a isleta de puestos dos y tres.

- *Actividades de fabricación:* son las actividades a través de las que se obtiene el producto final. La organización de las tareas principales de fabricación se agrupan en seis puestos manuales, cada uno de ellos con un operario, en los que se realizan operaciones como remachado, atornillado, controles de calidad, etc.

Los puestos manuales estos constituidos físicamente por una mesa de operación, en la que encontramos diferentes herramientas en función del puesto. Entre estos utensilios encontramos diferentes tipos de destornilladores, llaves inglesas, reglas de medición,..., por ejemplo (Figura 4.9).

Además, también existen unos pequeños cajones de plástico con la tornillería necesaria para el ensamblaje de cada puesto.



Figura 4.9. Elementos existentes en un puesto manual.

Para poder llevar a cabo el montaje del vehículo, además de disponer de todos los elementos anteriormente citados, es preciso disponer de otros en los cuales ubicar las piezas a unir. Para ello, disponemos de unas plataformas o unidades de manutención en las que se sitúan los grandes embalajes. Para el caso de los pequeños embalajes existen unas estanterías de rodillos en las que se introduce el embalaje por la parte trasera y por gravedad cae hacia la parte delantera, donde será consumido por el operario. Una vez que el embalaje está vacío, dispone en su parte baja de otros railes de rodillos que, de nuevo por gravedad, devuelven el embalaje de la parte delantera a la trasera para ser recogidos por el logístico (Figura 4.10).



Figura 4.10. Estantería de rodillos.

Definidos los elementos necesarios en los puestos manuales de fabricación, se procede a explicar el funcionamiento genérico de los mismos, para posteriormente indicar qué tipos de piezas se montan, la

forma de realizarlo, así como los productos intermedios que se obtienen y la forma en que fluyen los mismos de unos puestos a otros.

En concreto, a continuación se describe la forma en que se trabaja en las diferentes estaciones manuales.

Para comenzar, el Jefe de la Unidad de Trabajo de fabricación (JU) dispone de la secuencia de fabricación de la cual informa a sus operarios para que estos ensamblen las piezas correctas en función de las diversidades posibles de vehículos que podemos obtener. Conocidas las necesidades de fabricación, cada puesto, con excepción del primero, recibirá un producto intermedio de la estación anterior, bien sea a través del carrito logístico citado en párrafos anteriores o bien directamente del puesto anterior. Así mismo, todos enviarán su producto correspondiente final a otro puesto de forma directa o a través del carrito logístico, salvo el puesto seis, que al tratarse del último puesto de fabricación enviará el producto final a un carro logístico pero destinado al almacén de expedición.

Una vez que se recibe el producto intermedio, cada operario de fabricación cogerá las piezas necesarias del embalaje correspondiente para, a continuación, proceder a su ensamblaje. Una vez terminada la operación correspondiente se enviará al puesto siguiente.

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

- *Puesto 1:* en el que se obtiene como producto intermedio el chasis del vehículo. Para obtenerlo se ensamblan las siguientes piezas: el suelo, que será monovolumen o pick up en función de la demanda; las cuatro ruedas, cuya elección dependerá de si el vehículo final a obtener es normal o todoterreno; los perfiles L de suelos, derecho e izquierdo, el parachoques delantero y el salpicadero. Todas estas referencias son suministradas por la logística en grandes embalajes, salvo las ruedas, que irán en pequeños embalajes en lotes de cuatro en cuatro (es decir, cada lote se corresponde con un vehículo).

El operario cogerá el suelo correspondiente en función del tipo de automóvil a fabricar. Posteriormente lo colocará sobre un útil que lo guiará para el montaje de las ruedas y que evitará posibles fallos de

calidad. Montados estos, pasará a atornillar los perfiles, el salpicadero y, por último, el parachoques delantero. Para conocer el modo de montaje exacto existen en la escuela unas fichas de operación que indican la forma detallada de llevar a cabo los ensamblajes.

Una vez ensambladas todas las piezas el operario del puesto colocará sobre el carrito correspondiente el encurso obtenido, 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, no sólo por ser el primero sino por los cambios de útiles que se deben realizar para el montaje al demandar una diversidad de suelo u otra puesto que, como se vio en puntos anteriores, el punzonado de agujeros es diferente para el suelo del monovolumen que para el del pick up.

En la Figura 4.11 se muestra lo expuesto en párrafos anteriores.



Figura 4.11. Puesto manual 1.

- *Puesto 2:* en este puesto se ensambla el lateral izquierdo del vehículo, que corresponderá con el montaje de las siguientes piezas: puerta delantera izquierda; en el caso de monovolumen, puerta media izquierda y puerta trasera izquierda; en el caso de pick up panel trasero izquierdo (todas estas variables según la diversidad

de claro u oscuro); y asiento delantero. Las referencias se encuentran ubicadas en las estanterías de rodillos en pequeños embalajes con lotes de cuatro en cuatro piezas, salvo los asientos delanteros que lo hacen en grandes embalajes.

En este caso, el operario cogerá el chasis o producto en curso que un logístico ha dejado en una mesa con su carrito correspondiente, y comenzará con el ensamblaje: en primer lugar el asiento delantero seguido de las puertas medias, en el caso de existir, las puertas traseras o paneles traseros y las puertas delanteras. Realizado el ensamblaje, se coloca el producto semiterminado en un pequeño hueco existente entre las mesas de los puestos manuales dos y tres, cuyo espacio es suficiente únicamente para un producto en curso, que servirá de pulmón para evitar crear un flujo de piezas tenso parando el puesto de fabricación siguiente por falta de pieza.

La complejidad de esta operación se basa fundamentalmente en asegurar la calidad del montaje del lateral del vehículo cumpliendo con las tolerancias estipuladas. Para ello precisa de una regla que permite comprobar dichas tolerancias; pero solamente comprobarla, dado que en el modo de proceder en el montaje no hay ningún tipo de útil que asegure dicha calidad.

- *Puesto 3:* este puesto es muy similar al anterior. En él se ensambla el lateral derecho del vehículo, que corresponderá con el montaje de las siguientes piezas: puerta delantera derecha; en el caso de monovolumen, puerta media derecha y puerta trasera derecha; en el caso de pick up panel trasero derecha (variables según la diversidad de claro u oscuro). Las piezas necesarias para la fabricación se encuentran ubicadas en las estanterías de rodillos en pequeños embalajes con lotes de cuatro en cuatro. Para los puestos dos y tres existen en total tres estanterías de rodillos: una propiedad del dos y otra del tres, mientras que la última, situada físicamente en el medio de las otras dos, es compartida por ambos puestos (en una única estantería no entran todas las referencias pero situar dos supondría un consumo de espacio excesivo).

Para realizar el montaje el operario cogerá el producto en curso del stock generado entre las dos mesas de los puestos, comenzando con el ensamblaje del lateral derecho. Para ello se procede de la misma forma que en el puesto anterior realizando, tras acabar la unión de las diferentes referencias, el control de calidad de las puertas que asegure las tolerancias permitidas. Acabado el proceso se ubican los vehículos en el carrito existente entre las islas de los puestos 2-3 y 4-5-6, para que posteriormente el logístico correspondiente lo traslade en lotes de dos de una zona de fabricación a otra.

La Figura 4.12 muestra la isla de puestos dos y tres:



Figura 4.12. Puesto manual 2 y 3.

- *Puesto 4:* en este puesto se termina de ensamblar el interior del vehículo, así como los elementos correspondientes al tubo de escape. En concreto, se acoplan las siguientes referencias: aislantes, arandelas, tubo de escape y los asientos traseros en el caso de que la diversidad sea monovolumen. Todas las referencias correspondientes al montaje del tubo de escape se ubican en pequeños embalajes en una estantería de rodillos. Al tratarse de piezas de tamaño reducido, la cantidad del lote es elevada, existiendo las piezas suficientes para la producción diaria de forma que el logístico se encarga de reponerlas únicamente una vez al día.

Sin embargo los asientos traseros se suministran en grandes embalajes de capacidad veinte.

En este puesto el operario cogerá el vehículo ya montado con los laterales del carrito correspondiente, y realizará el ensamblaje de los asientos traseros en caso de existir. Posteriormente, atornillará el conjunto de los aislantes y el tubo de escape con unas arandelas. La dificultad de este puesto radica principalmente en el correcto ensamblaje de este conjunto, lo cual puede constituir para el proceso de fabricación un gran problema dado que si el operario no es muy habilidoso forma un importante cuello de botella.

Una vez finalizado el montaje, al tratarse de una isla de puestos manuales, ocurre igual que con la de los puestos dos y tres; es decir, entre las mesas de los puestos manuales existe el espacio suficiente para crear pequeños stock de un vehículo que evite la parada de los puestos. Por ello, finalizada la operación de fabricación el operario colocará el producto semiterminado en dicho espacio, para pasar a la siguiente estación de trabajo.

- *Puesto 5:* es en éste donde se van terminando de ensamblar las aperturas de los vehículos; es decir, se montan los parachoques traseros correspondientes en función de si el vehículo es monovolumen o pick up. Así mismo, deja predispuesto el montaje del techo en el puesto siguiente con el atornillado correspondiente de los perfiles L de techos, diferentes en largura según la diversidad sea monovolumen o pick up. Todas estas referencias, con excepción de los parachoques que proviene del almacén de encursos y van en grandes embalajes, son suministradas en pequeños embalajes, en el caso del maletero lotes de cuatro piezas, mientras que los perfiles L techos disponen de la capacidad suficiente para la fabricación diaria.

La forma en que procede el operario consiste en: coger el vehículo del stock entre puestos; posteriormente ensambla el maletero y el parachoques correspondiente; finalmente, y para acabar la operación, termina atornillando los perfiles de techo. Realizadas

estas operaciones situará el encurso en el último stock intermedio existente entre los puestos manuales cinco y seis.

Este puesto no es realmente complejo, y de hecho es el que presenta menores tiempos de todas las estaciones de trabajo.

- *Puesto 6:* en este puesto se terminan de ensamblar los techos y el capó del vehículo. En otras palabras, las referencias a ensamblar serían: los capós, según la diversidad clara u oscura, y los techos, también variable en función de si es monovolumen o pick up. Todas estas referencias son suministradas al puesto a través de grandes embalajes con capacidad de veinte piezas a excepción de los techos del pick up que, por tratarse de piezas de tamaño reducido y para optimizar flujos, se suministran a una estantería de rodillos en pequeño embalaje.

Es en este puesto donde se termina el proceso productivo. Para ello el operario cogerá del stock intermedio procedente del puesto cinco, ensamblará el capó delantero y, finalmente, el techo. Al tratarse de la última operación por la cual pasará el automóvil antes de su expedición, se debe asegurar su calidad; por ello, es en este puesto donde se debe verificar la correcta ejecución de todas las operaciones de fabricación anteriores. En esta estación debe haber un operario de gran habilidad en controles de calidad, dado que de no ser así podría retrasar el proceso de entrega de los vehículos e incluso entregarlos en mal estado, generando así insatisfacción en el cliente.

Finalizada la operación de control de la calidad, si el vehículo presenta algún defecto se enviará a retoques para comprobar si esos errores pueden ser subsanados o si por el contrario ese vehículo debe destinarse a chatarra. En el caso de que el vehículo pase correctamente el control de calidad, el operario lo colocará en el carrito final, que un operario logístico trasladará cuando esté lleno (posee una capacidad de dos) al almacén de expediciones final.

En la Figura 4.13 se muestra la isla de puestos manuales cuatro, cinco y seis:



Figura 4.13. Puesto manual 4, 5 y 6.

A modo de resumen, podemos decir que en la Escuela Lean encontramos, por una parte, el taller de fabricación de piezas semiterminadas donde se fabrica la producción necesaria para la producción del taller de montaje y, por otra parte, el taller de montaje, donde se lleva a cabo la fabricación. Aunque el taller de fabricación de piezas semiterminadas es independiente de los flujos del taller de montaje, posee una gran importancia en el funcionamiento global del sistema, dado que un problema en el mismo podría provocar una falta de piezas y, por tanto, la parada del taller de montaje.

En el taller de montaje, su responsable es el encargado de informar de la orden de producción diaria, llevada a cabo en lotes de diversidades de vehículos. De esa forma el proceso de montaje comenzará por el puesto uno y finalizará en el seis como se ha ido explicando en puntos anteriores. Todo esto será supervisado en todo momento por el responsable correspondiente que verificará que todo el proceso transcurre en condiciones normales.

Se debe destacar que en este capítulo no se ha descrito si no una forma de organización y producción, y que puede verse alterada o modificada para cada caso particular de puesta en práctica de la Escuela Lean. Así mismo, no indica que dicha organización sea la más adecuada para un ritmo de producción de dos minutos ni la más óptima.

IV.3 Modelado de la Escuela Lean. Taller de Chasis.

La forma de modelar un sistema real depende de una serie 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 del taller de Chasis se ha construido en dos partes, de igual forma que en la realidad: por un lado, se ha modelado la línea de Punzonado y, por otro, la línea de mecanizado denominada MPM.

IV.3.1 Línea de Punzonado

La línea de Punzonado está compuesta por veinticuatro elementos entre los cuales podemos encontrar: cuatro parts, dos conveyours, una máquina, tres almacenes, dos tracks, un vehículo y doce variables. A continuación se describirán los aspectos más relevantes de cada uno de ellos.

1. Modelado de las Piezas (parts)

Los parts representan las piezas de nuestro modelo. En este caso tenemos uno para la materia prima que punzonaremos, y otros tres para las piezas que obtenemos después del punzonado, es decir, techos de monovolumen, suelos de monovolumen y suelos de pick up.

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 4.14.

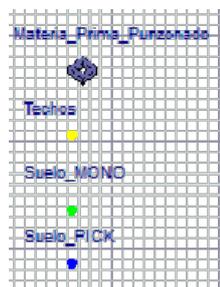


Figura 4.14. Display de los parts.

A continuación, en la Figura 4.15 se muestra la ventana de configuración de una de las piezas, Materia Prima Punzonado, similar para el resto de los casos.

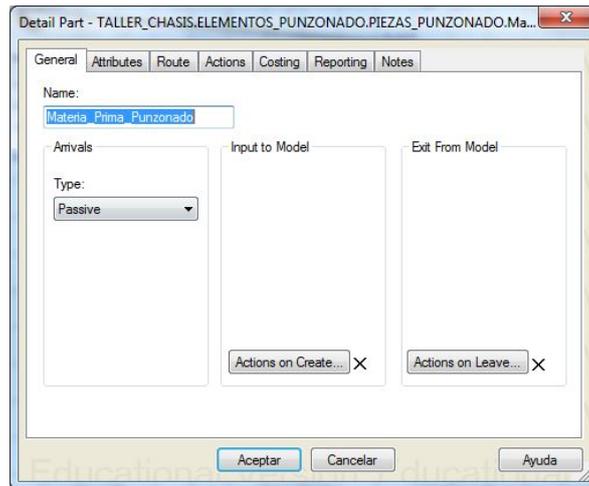


Figura 4.15. Detailing del part Materia Prima Punzonado.

2. Modelado de las Máquinas (Machine)

Una vez definidas las piezas pasaremos a crear la máquina de punzonado, que se ha modelizado como una machine de tipo simple, cuyo tiempo ciclo de trabajo será de 0,25 minutos (Figura 4.16). Esta máquina coge el part Materia Prima Punzonado del Conveyor denominado Almacén Punzonado y envía las piezas que se obtienen después de realizar la operación a otro de nombre Punzonado Encurso. Las piezas que se obtienen corresponden con los parts definidos como Techos, Suelo Mono y Suelo Pick.

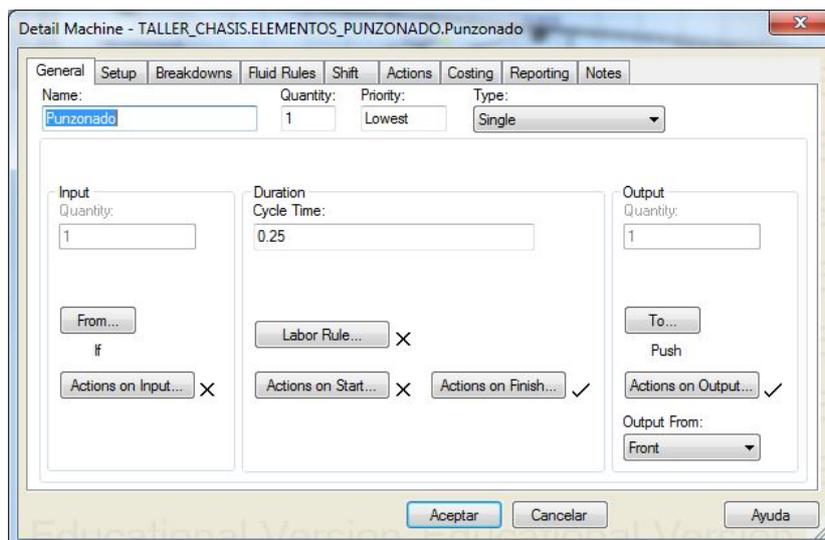


Figura 4.16. Detailing de la máquina de punzonado.

Las necesidades de producción las obtenemos de un Excel, cuyos valores guardamos en unas variables de tipo entero. Éstas, denominadas Cantidad Techos, Cantidad Suelo Mono y Cantidad Suelo Pick, nos ofrecen la cantidad necesaria a fabricar de cada una de ellas. Mediante el uso de estas variables introducimos unas acciones que la máquina ejecutará al acabar de realizar la operación. Así, y como muestra la Figura 4.17, usamos una condición para realizar el cambio de la materia prima del punzonado a Techos. Finalizada la fabricación, comenzará a cambiar la materia prima por Suelos de monovolumen, y de igual forma con los suelos del pick up.

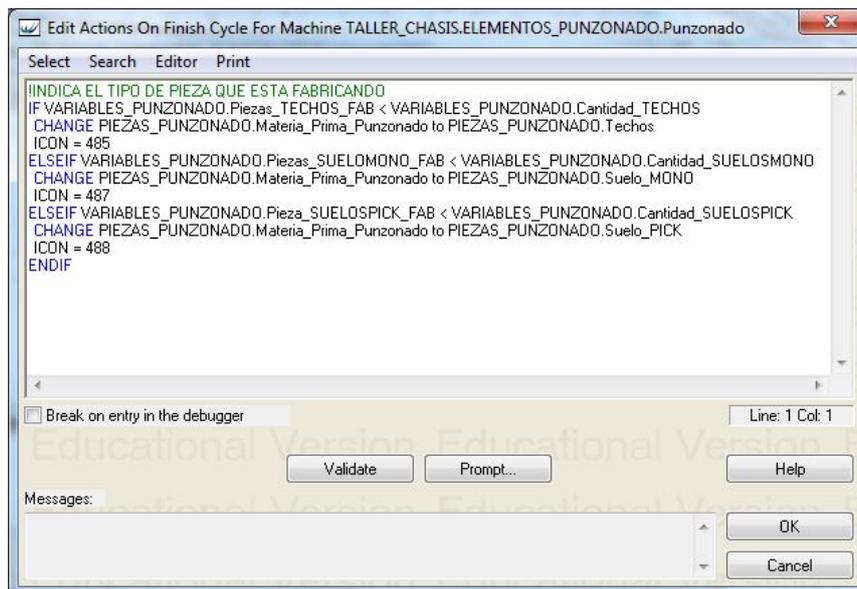


Figura 4.17. Actions on finish de la máquina de punzonado.

Además de éstas, introducimos otra serie de acciones que se ejecutarán en el momento en que el part abandone la pieza (Figura 4.18). Estas condiciones tienen diferentes objetivos, pero para poder ejecutarlas es preciso definir otra serie de variables de tipo entero. De este modo, tenemos una condición que empleamos para contar el número total de piezas que se fabrican o salen de la máquina, Caden Diaria Punzonado, que nos indica la cadencia de la máquina y cuyo valor obtenemos a través del fichero Excel; y Total piezas fabricadas, cuyo valor nos da las piezas fabricadas. Estas variables debemos inicializarlas a cero en las acciones correspondientes. De esta forma, a través de las condiciones establecidas conseguimos que mientras el total de piezas fabricadas sea menor que la cadencia necesaria, siga sumando.



Figura 4.18. Actions on output de la máquina de punzonado.

Otra de las condiciones es la correspondiente al conteo de cada una de las piezas. En este caso es preciso definir otras tres variables, denominadas Piezas Techos Fab, Piezas Suelo Mono Fab y Piezas Suelo Pick Fab, cuyos valores de inicialización son cero. A partir de estos, establecemos con la condición correspondiente que si el tipo de pieza que sale de la máquina es techo nos cuente en su variable correspondiente, y así respectivamente con el resto.

Por último, encontramos la última condición. Ésta nos determina en qué momento debemos realizar el setup definido en la máquina, que corresponde con el cambio de útil del sistema real. Es preciso definir dos variables correspondientes con los dos cambios de fabricación de una pieza a otra y son: cambio rafaga1 y cambio rafaga2, ambas de tipo entero inicializadas en cero. Lo que obtendremos a través de esta condición es que cuando la cantidad fabricada sea igual a la que es necesario fabricar dichas variables cambiarán de valor del cero a uno.

A través de este cambio de valor se define en la máquina, en la pestaña correspondiente de setup, una parada de quince minutos a la que se le asigna un labor, tal y como que se describe en puntos posteriores.

3. Modelado de los transportadores (Conveyours)

Como se ha descrito en párrafos anteriores, es preciso definir dos conveyours a través de los cuales se transportan los parts, desde el mundo a la máquina y desde la misma a los buffers de almacenamiento correspondientes.

El denominado Almacén Punzonado es el encargado de llevar las piezas a la máquina, definido como un tipo de conveyour indexed queuing, es decir, un conveyour con posiciones diferentes a través del mismo y cuyo tiempo de transferencia del part de una posición a otra es de 0,25 minutos. Su máxima capacidad, así como longitud, es de seis, siendo éste el número máximo de parts que puede haber en su interior. Para completar la configuración se deben definir el input y output del mismo, con las reglas pull y push correspondientes en cada caso, para que de esa manera coja las piezas del mundo y las introduzca en la máquina (Figura 4.19).

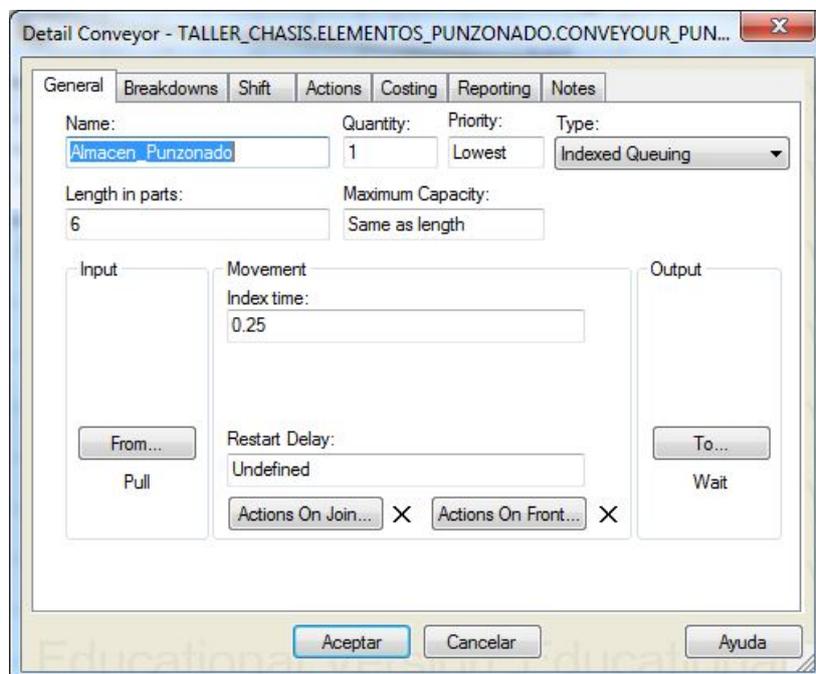


Figura 4.19. Detailing del conveyour Almacén Punzonado.

Por otro lado, tenemos el nombrado como Punzonado Encurso, cuya definición corresponde exactamente con la del anterior con la salvedad de que en este caso no tendrá ningún input, puesto que es la máquina la que se encarga de enviar los parts al mismo, mientras que el output será diferente, es decir, se introduce una condición para que en función del tipo de pieza que vaya a salir del mismo vaya a su buffer correspondiente.

4. Modelado de los Almacenes (Buffer)

Para almacenar las piezas fabricadas empleamos unos elementos denominados buffers. Con el objetivo de representar fielmente el sistema real se han creado seis: tres correspondientes a los embalajes donde se guardan las piezas y otros tres para almacenar las piezas antes de destinarse al taller de montaje.

Los situados a la salida del conveyour se les denominan EC Techos, EC SuelosM y EC SueloP. Para configurarlos correctamente se establece como cien su capacidad máxima, además de indicar que la salida de las piezas corresponda por el orden en el que entran (Figura 4.20).

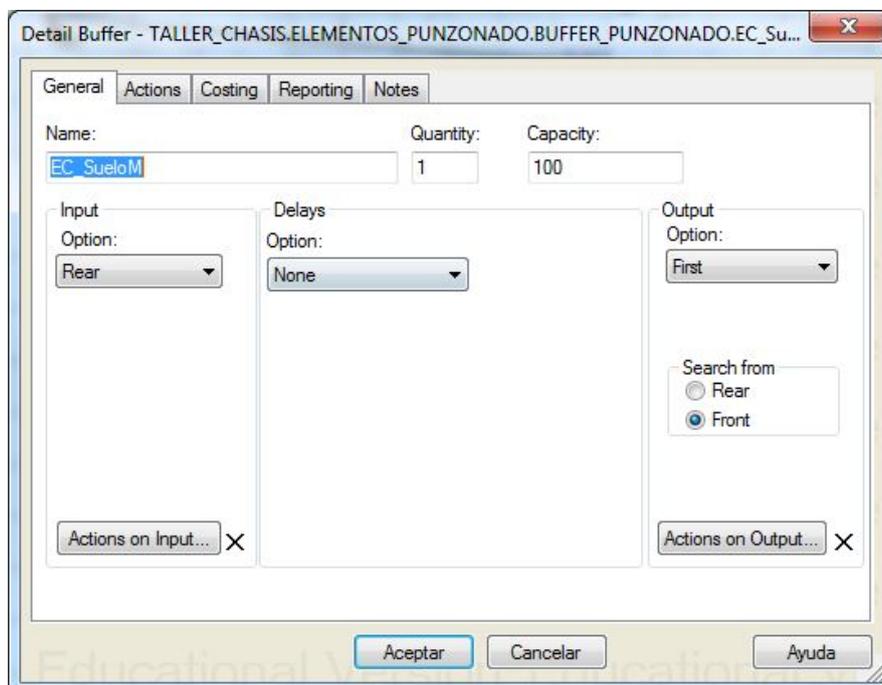


Figura 4.20. Detailing del buffer EC SueloM.

Los otros tres hacen referencia a los almacenes en los que guardaremos los parts, es decir, los techos y suelos, para posteriormente ser recogidos por los vehículos de montaje. Su denominación corresponde con Encurso Suelo Mono, Encurso Suelo Pick y Encurso Techos. Definidos igual que los anteriores cambiando únicamente la capacidad (Figura 4.21).

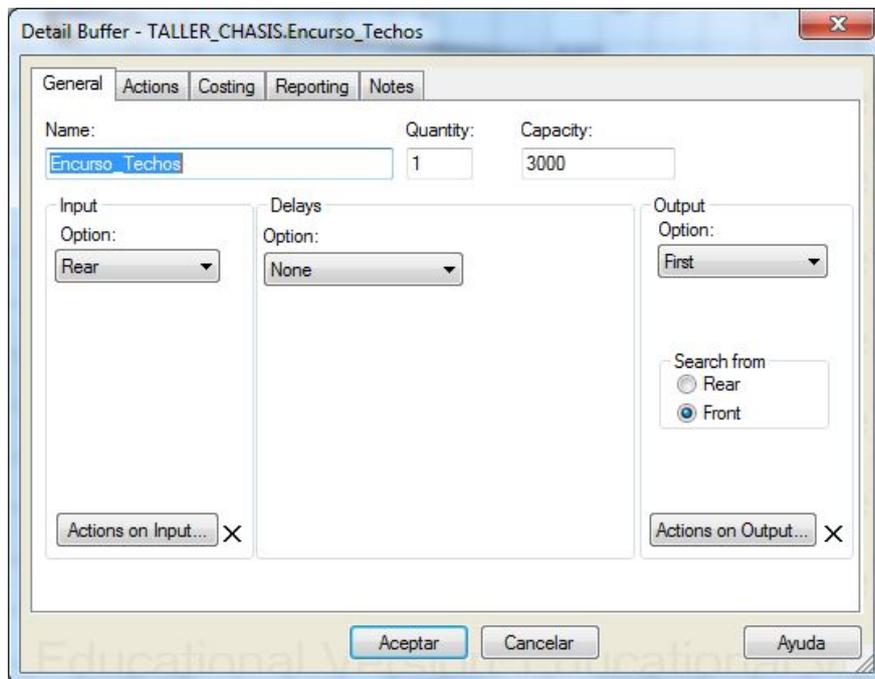


Figura 4.21. Detailing del buffer Encurso Techos.

5. Modelado de los Caminos y Vehículos (Tracks y Vehicle)

Continuando con los elementos de modelización de la línea de punzonado hay que definir dos tracks y un vehículo. Los tracks son los caminos por los que circulará un vehículo denominado traspaleta. Es preciso definir dos: uno que realice el trayecto desde los buffer ubicados a la salida de la máquina hasta los buffers previos a montaje, y el otro la travesía inversa.

Así, encontramos el track Punzonado Almacen, cuya configuración se muestra en la Figura 4.22. En ella se observa que dicho elemento presenta una capacidad máxima de vehículos de uno mientras que la velocidad máxima a la que se puede circular y su longitud toman el valor de cinco. Debemos introducir una condición en el output; en ella establecemos el track siguiente por el que circulará la traspaleta puesto que en el taller de chasis se trabaja únicamente con un vehículo,

debiéndose encargar de realizar el transporte tanto de los parts de la línea de MPM como de la de Punzonado.

Además, es en éste donde se tiene que configurar la carga. Para ello, en la pestaña loading introducimos una condición, de forma que cuando el buffer de la salida de la máquina ontengan más de veinte parts, coja de veinte en veinte y los traslade. En las Figuras 4.23 y 4.24 se pueden apreciar los parámetros definidos. Es en este punto donde debe emplearse la función Attach Labor para que el vehículo esté asignado al labor.

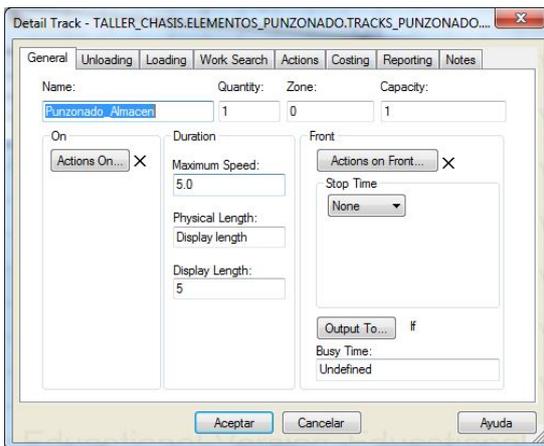


Figura 4.22. Detailing del track.

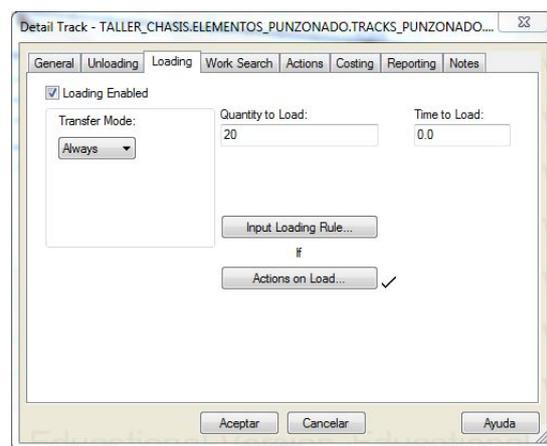


Figura 4.23. Pestaña Loading del track.

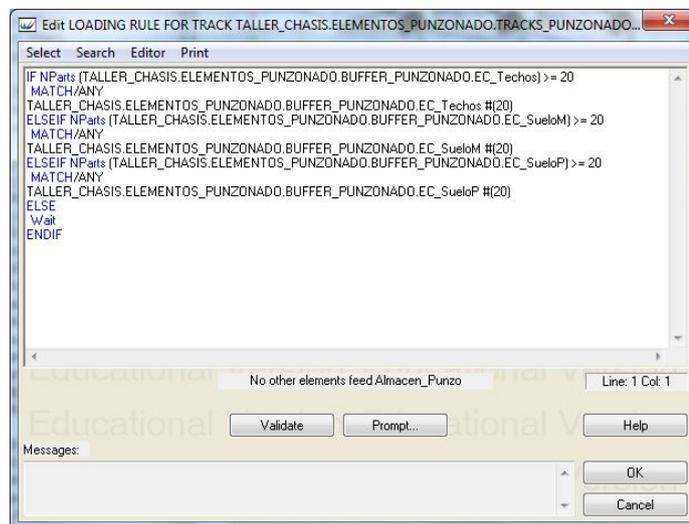


Figura 4.24. Actions on Load del track.

El track que realiza el recorrido inverso, denominado Almacén Punzonado, posee las mismas características en lo que se refiere a capacidad, velocidad

máxima y longitud. Sin embargo, como output corresponderá siempre el track denominado Punzonado Almacén.

Es en éste donde especificarse la descarga de los parts del vehículo, indicando, como se muestra en la Figura 4.25, que se descargarán todos las piezas. Además, en la regla de salida se detalla con una condición que el buffer de descarga será en función del tipo de part; por ejemplo, si se transportaran suelos de monovolumen el vehículo los dejaría en el buffer de encurso de suelos de monovolumen (Figura 4.26). Como acciones se debe realizar el detachlabor, para que una vez que vacíe se libere al labor.

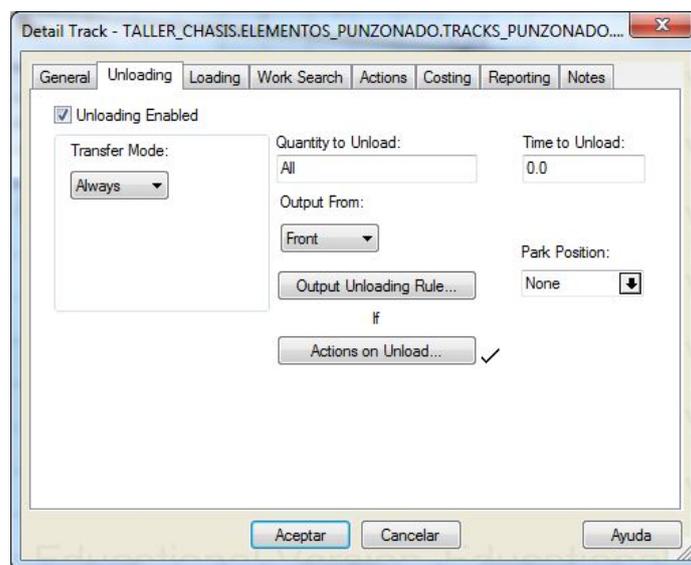


Figura 4.25. Unloading del track Almacén Punzonado.

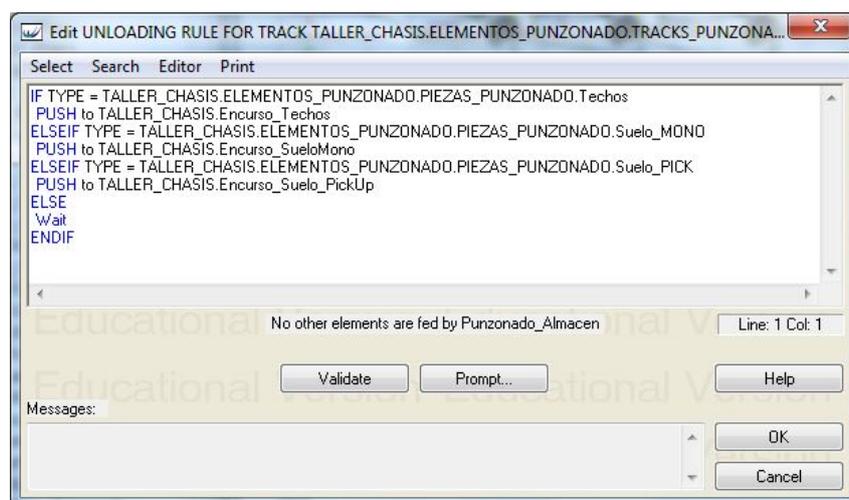


Figura 4.26. Actions unloading del track Almacén Punzonado.

El vehículo, traspaleta, único en todo el taller de chasis, se configura como se muestra en la Figura 4.27, especificando que posee una capacidad de veinte, y unos determinados valores de velocidades.

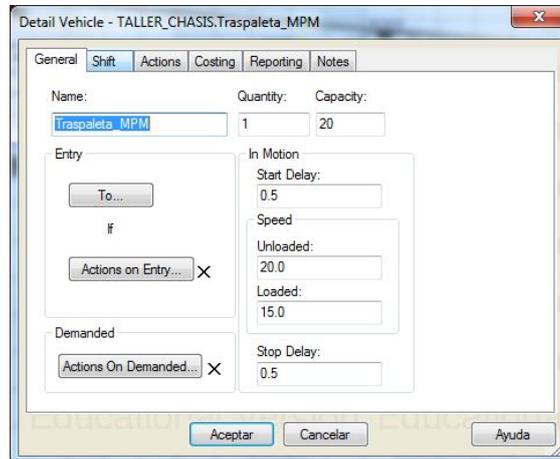


Figura 4.27. Detailing del vehículo traspaleta.

Lo más representativo e importante de este elemento, en lo que a su configuración se refiere, es detallar en la acciones de entrada una condición exacta a la de salida del track Punzonado Almacén, para que de esta forma dicho vehículo realice la entrada al track en el momento en que el buffer alcance su capacidad máxima.

6. Modelado de los Turnos (Shift)

El último elemento específico de esta línea del taller corresponde con el turno. En él definimos que dicha línea trabaja únicamente durante medio turno correspondiente con 240 minutos, de forma que el resto del tiempo del día, los 1200 minutos, estará la línea parada. Para hacerlo efectivo se debe ir asignando el turno a todos los elementos descritos y que conforman la línea de punzonado. Para ello, bastará con asignar el turno creado en la pestaña shift de la ventana de detail de cada elemento (Figura 4.28.)

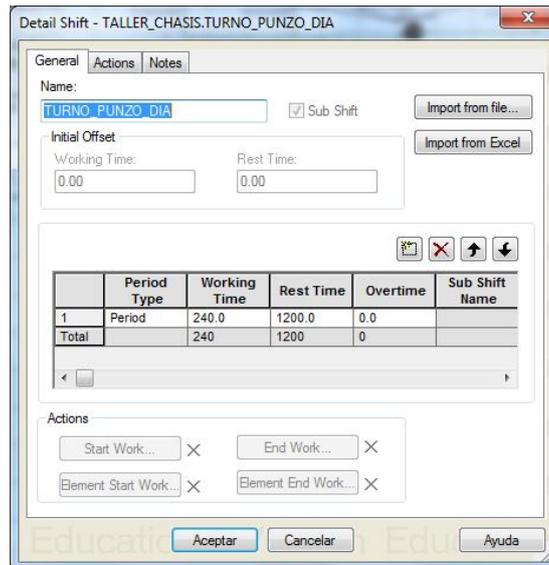


Figura 4.28. Detailing del turno de punzonado.

IV.3.2 Línea de MPM

Esta línea, como se describió en puntos anteriores, está compuesta por cuatro máquinas en serie a través de las cuales van pasando las piezas para ser mecanizadas. Una vez sometidas a las operaciones serán guardadas en embalajes para almacenar. En nuestro modelo esta línea se ha configurado a través de los elementos que se definen a continuación.

1. Modelado de las Piezas (parts)

La representación de las piezas se hace a través de los part. Para simular el correcto funcionamiento es necesario definir siete parts,

El primero corresponde con la materia prima que se mecaniza, cuya denominación es Materia Prima MPM. Así mismo, nos podemos encontrar con otros tres que representan los lotes de cuatro piezas que se mecanizan: Lote Paragolpes Delantero, Lote Paragolpes TrasMono y Lote Paragolpes TrasPick. Por último, encontramos los que identifican cada una de las piezas individualmente: Paragolpes Delantero, Paragolpes TrasMono y Paragolpes TrasPick.

Todos estos parts están configurados en el modelo como pasivos, por lo que no es preciso detallar ningún valor más para su definición que su display (Figura 4.30). En la Figura 4.29 se muestra la ventana de configuración de la materia prima, siendo idéntica para el resto.

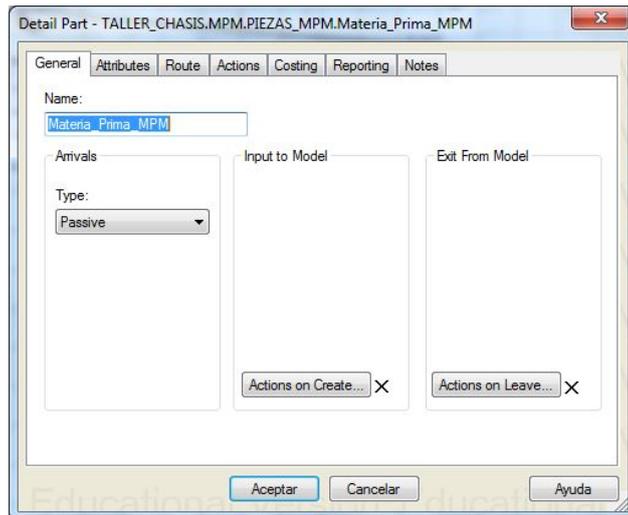


Figura 4.29. Detailing del part Materia Prima MPM.



Figura 4.30. Display de los parts.

2. Modelado de las Máquinas (Machine)

Los siguientes elementos a definir son las máquinas, denominadas M1, M2, M3 y M4, según la posición que ocupan en la línea en serie de mecanizado. Se han definido como máquinas de tipo simple de tiempo ciclo 3,4. Se encargan de coger los parts que representan los lotes de piezas y que pueden proceder bien de un conveyour que transporte piezas de máquina a máquina (en el caso de la primera máquina sería el conveyour de entrada de las piezas al modelo) o bien de un conveyour que procede del buffer de lotes en los que se almacenan los parts retocados.

Esta entrada en la máquina se establece a través de una condición, dado que entrarán piezas del conveyour de retoques en el caso de que exista una posición vacía en el conveyour que comunica dos máquinas, o si el buffer de almacenamiento de retoques ha alcanzado su capacidad máxima.

La salida de los parts puede tener tres destinos configurados con la regla percent. Esto nos indica si, según unos porcentajes establecidos, las piezas van a retoques, al conveyour de la siguiente máquina o bien al conveyour que las almacena en el buffer de rechazos.

Al acabar el ciclo de operación se introduce la condición correspondiente para que, a través de una serie de variables, la salida del part sea de un tipo o de otro consiguiendo así la producción diaria necesaria.

Por último, y exclusivamente en la máquina M1, se definen otra serie de acciones a la salida a través de las cuales podemos obtener los valores del número total de piezas que van siendo fabricadas, tanto totales como de cada tipo.

El último paso para constituir la configuración de las máquinas pasa por definir en la pestaña de breakdowns las averías. En ella se define el intervalo de fallos, el tiempo de reparación de los mismos y la asignación del labor u operario para poder subsanarlo.

En la Figura 4.31 se muestra la ventana de configuración de la máquina M1, que es idéntica para el resto de los casos como se ha explicado, con la excepción de las acciones de salida que sólo están definidas para esta máquina.

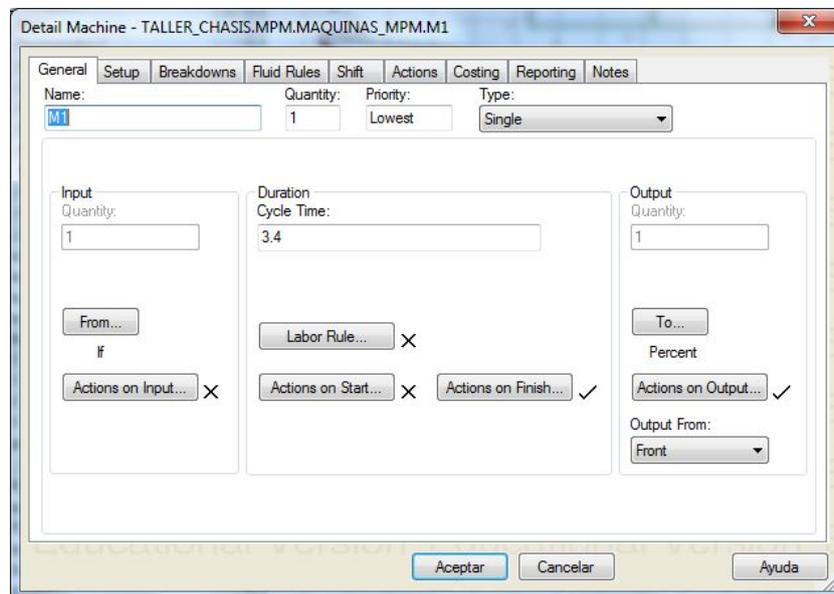


Figura 4.31. Detailing de la máquina M1.

Es preciso definir otro tipo de máquina diferente a las anteriores, denominada Elimina Lotes. Se trata de una máquina tipo production cuyo objetivo único es eliminar los lotes de los parts. Así recibirá del último conveyour los lotes correspondientes y por cada uno de ellos sacará cuatro piezas. Según el tipo de part de entrada se obtendrá el tipo de part a la salida.

Es fundamental definir esta máquina con un tiempo ciclo cero para que no influya en los tiempos y cantidades de producción.

En la Figura 4.32 se muestra la ventana de configuración de la máquina elimina lotes.

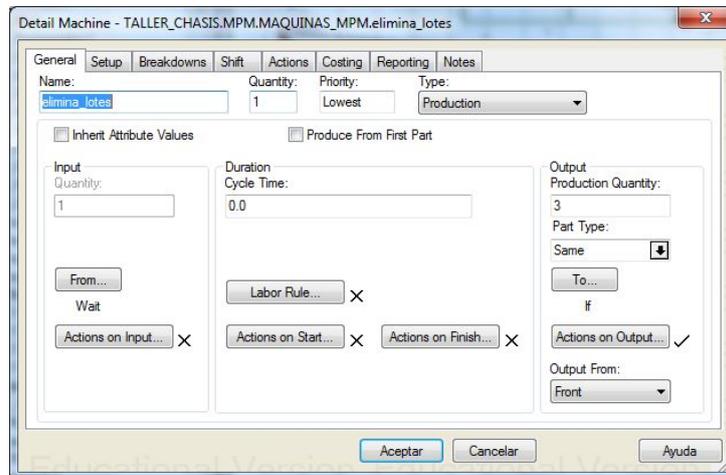


Figura 4.32. Detailing de la máquina que elimina los lotes.

3. Modelado de los Almacenes (Buffer)

A continuación se definen los buffer o almacenes. Es necesario definir once elementos de este tipo. Cada máquina lleva asociado uno, correspondiente con el buffer de retoques de la misma y a los que denominaremos Retoques1, Retoques2, Retoques3 y Retoques4.

Los únicos datos a configurar se corresponden con su capacidad, siendo ésta de tres, y que la salida de las piezas se realice en el orden de entrada. Además, en las acciones de entrada se incluye una serie de condiciones para poder realizar el conteo del número total y de cada tipo de parts que pasan por retoques.

En la Figura 4.33 se muestra la ventana de configuración de uno de estos cuatro buffers y en la Figura 4.34 la condición para realizar la contabilidad.

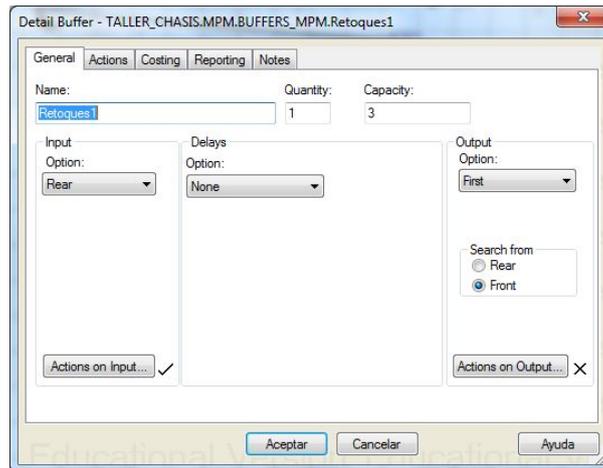


Figura 4.33. Detailing del buffer Retoques 1.

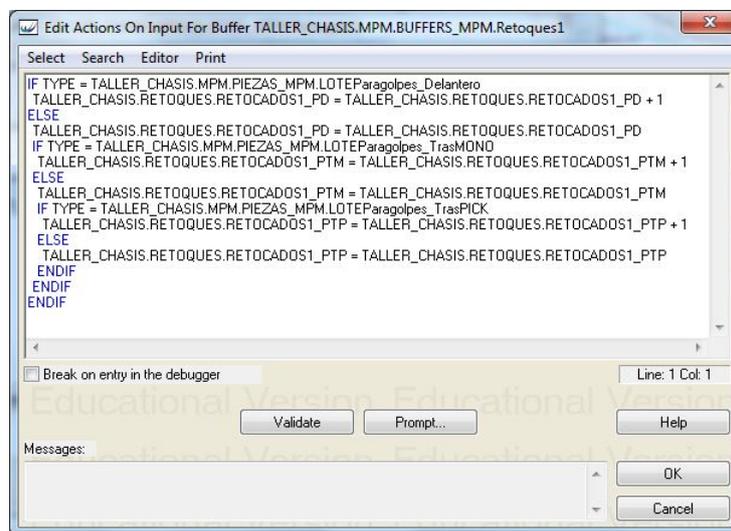


Figura 4.34. Actions on Input del buffer de Retoques 1.

Para almacenar las piezas que van a rechazados se define otro buffer, Rechazados, exactamente igual que los anteriores, salvo que será común para todas las máquina (por ello su capacidad será mucho más grande).

Al final de la línea se requiere definir otros tres buffers en los que almacenaremos los parts: EC PDelan, que corresponde con el almacenamiento de los paragolpes delanteros, EC PTrasP para los paragolpes traseros de pick up y EC PTrasM para los paragolpes traseros de monovolumen. Tanto en estos como los anteriores no es preciso definir nada especial; simplemente su capacidad y que la salida de los parts se realice en el orden de entrada. Se muestra su ventana de configuración en la Figura 4.35.

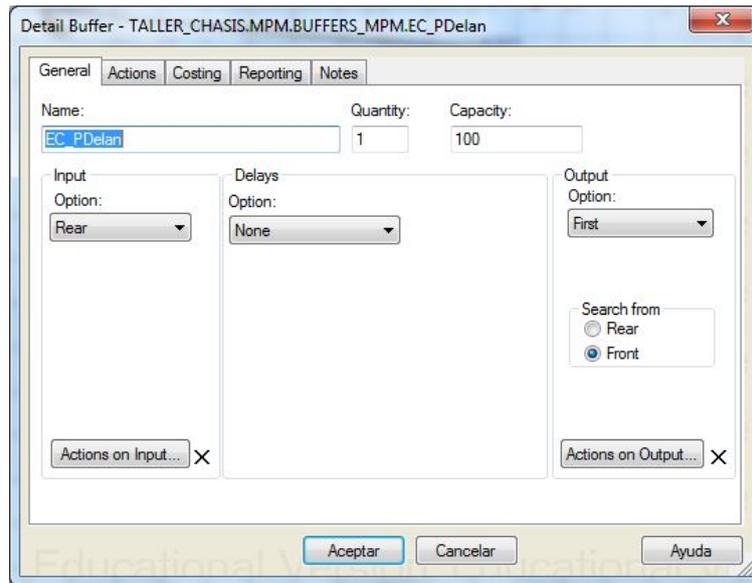


Figura 4.35. Detailing del buffer EC_PDelan.

Por último, es preciso definir otros tres con las mismas características que todos los anteriores. Estos, sin embargo, representan cada uno de los almacenes finales donde se guardaran los parts hasta ser consumidos en montaje.

4. Modelado de los transportadores (Conveyours)

Dentro de esta línea de mecanizado el transporte de los parts se debe hacer entre máquinas y entre buffers, o entre máquina y buffer. El transporte entre máquinas o entre una máquina y un buffer lo realizamos con los elementos denominados conveyours.

Podemos distinguir los siguientes conveyours: Almacén M1, M1 M2, M2 M3, M3 M4, M4 Encurso, M1 Retoques, M2 Retoques, M3 Retoques, M4 Retoques, M1 Rechazados, M2 Rechazados, M3 Rechazados, M4 Rechazados, Retoques M1, Retoques M2, Retoques M3 y Retoques M4.

Todos estos se pueden clasificar en función de sus inputs y outputs, es decir, de sus entradas y salidas, tal y como se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Características de los Conveyours.

CONVEYOUR	CAPACIDAD	ENTRADA	SALIDA
Almacen_M1	6	Pieza Materia Prima MPM	Wait
M1_M2	6	Wait	Wait
M2_M3	6	Wait	Wait
M3_M4	6	Wait	Wait
M4_Encurso	6	Wait	Buffer correspondiente
M1_Retoques	3	Wait	Buffer Retoques1
M2_Retoques	3	Wait	Buffer Retoques2
M3_Retoques	3	Wait	Buffer Retoques3
M4_Retoques	3	Wait	Buffer Retoques4
M1_Rechazados	6	Wait	Buffer Rechazados
M2_Rechazados	6	Wait	Buffer Rechazados
M3_Rechazados	6	Wait	Buffer Rechazados
M4_Rechazados	6	Wait	Buffer Rechazados
Retoques_M1	6	Wait	Maquina M1
Retoques_M2	6	Wait	Maquina M2
Retoques_M3	6	Wait	Maquina M3
Retoques_M4	6	Wait	Maquina M4

Sin embargo, todos ellos se configuran del tipo Indexed Queuing, de forma que en su interior existen diferentes posiciones que van siendo ocupadas por los parts. A parte del tipo de conveyor, para completar su configuración es preciso definir su longitud, la máxima capacidad de parts que permiten en su interior y el tiempo que un part tarda en pasar de una posición a otra. En la Figura 4.36 se muestra la ventana de configuración de uno de estos elementos.

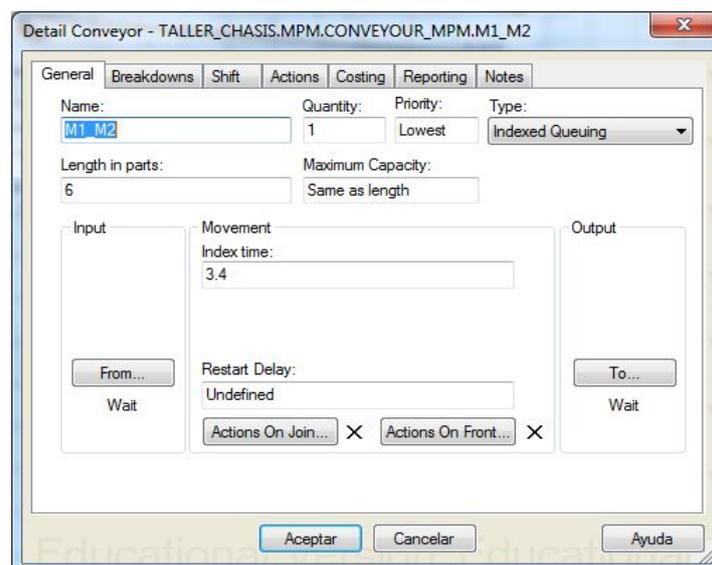


Figura 4.36. Detailing del conveyour M1 M2.

5. Modelado de los Caminos y Vehículos (Tracks y Vehicle)

Por otro lado, y como se ha comentado en el punto anterior, existen otros elementos que transportan las piezas entre buffers; estos elementos son los tracks. Se precisa definir un track de ida y otro de vuelta, así como un vehículo que circule por el interior de ambos que transporte los parts. Este vehículo es el anteriormente descrito en la línea de punzonado dado que, como se ha comentado, en el sistema real dicho transporte se realiza con una única traspaleta.

Por un lado tenemos el track, al que denominamos MPM Almacén. Dentro de su ventana de configuración definiremos lo siguiente: capacidad, velocidad máxima a la cual puede ir el vehículo en su interior y su longitud. Como salida de este elemento debemos introducir una condición, pues ocurre lo mismo que en los tracks de la línea de punzonado, y es que al contar con un único vehículo debemos indicarle en dicha salida que en función de si hay un buffer con más de veinte piezas en un lado o en otro entre en dicho track para realizar la recogida de los parts.

En este track se debe definir la descarga de las piezas, indicando que se realice por el final efectuándose en un tipo de buffer u otro en función de la pieza que transporte. Así podemos apreciarlo en las Figuras 4.37 y 4.38.

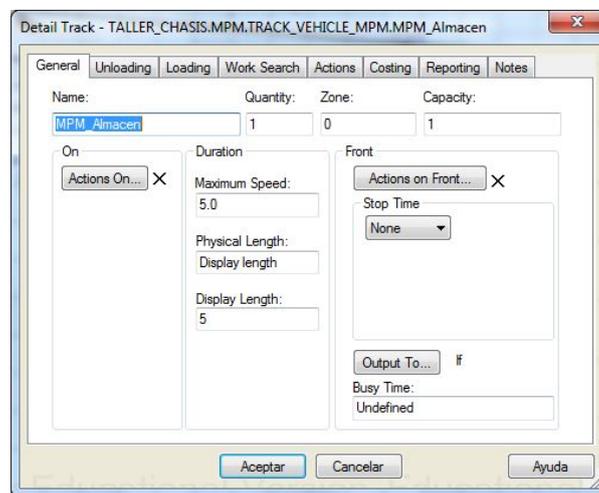


Figura 4.37. Detailing del track MPM Almacén.

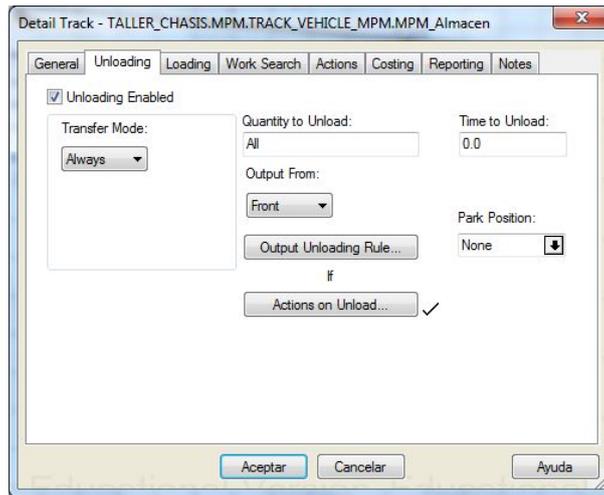


Figura 4.38. Unloading del track.

El otro track, Almacen MPM, que realiza el camino desde el almacén hasta el MPM como su designación indica, se configura de igual forma que el anterior en cuanto a capacidad, velocidad máxima y longitud se refiere. Sin embargo, la salida de éste siempre corresponderá con su track complementario, MPM Almacén.

Para realizar el proceso de transporte de los parts se debe definir en éste su carga; así, en la pestaña correspondiente indicaremos mediante una condición que cuando en alguno de los buffers de las piezas contenga más de veinte piezas, realice la carga, y que dicha carga sea de esos veinte parts, indicándolo a través de la regla MATCH. En las Figuras 4.39 y 4.40 se observa la configuración de este elemento.

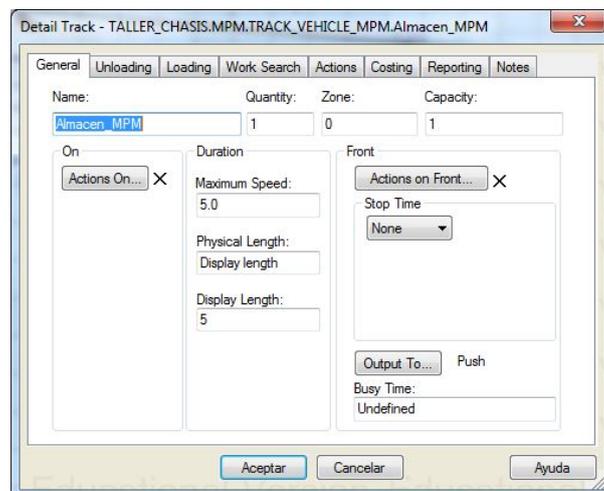


Figura 4.39. Detailing del track Almacén MPM.

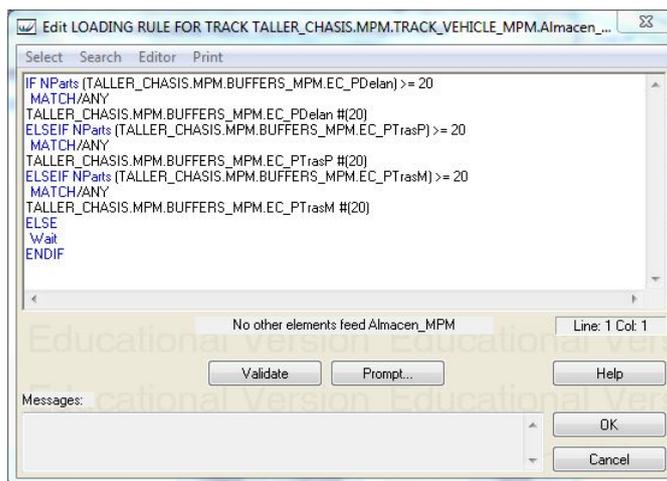


Figura 4.40. Regla de carga del track.

6. Modelado las Variables

Para realizar el correcto modelado del sistema real y conseguir que su funcionamiento sea idéntico es preciso definir una serie de variables; muchas de ellas ya se han ido mencionado en cada uno de los elementos en los que se han utilizado, aunque hay otras que no. Por ello, a continuación se presenta la Tabla 4.2 con todas las variables, tanto de la línea de MPM como de la Punzonado, y el uso que tienen dentro del modelo.

Tabla 4.2. Variables del Taller de Chasis.

VARIABLE	FUNCION	ELEMENTO DONDE SE APLICA
Can_PARA_DELAN_A_FAB	Indica la cantidad de paragolpes delanteros que son necesarios fabricar	M1
Can_PARA_MONO_A_FAB	Indica la cantidad de paragolpes traseros de Monovolumen que son necesarios fabricar.	M1
Can_PARA_PICK_A_FAB	Indica la cantidad de paragolpes traseros de Pick Up que son necesarios fabricar.	M1
Conteo_PD_M1	Se emplea para contar los paragolpes delanteros que se fabrican.	M1
Conteo_PTM_M1	Se emplea para contar los paragolpes traseros de Monovolumen que se fabrican.	M1

Capítulo IV: Modelado de la Escuela Lean

Conteo_PTP_M1	Se emplea para contar los paragolpes traseros de Pick Up que se fabrican.	M1
Piezas_Fabricadas_PD	Cuenta el número total de paragolpes delanteros que se fabrican.	Elimina lotes
Piezas_Fabricadas_PTM	Cuenta el número total de paragolpes traseros de Monovolumen que se fabrican	Elimina lotes
Piezas_Fabricadas_PTP	Cuenta el número total de paragolpes traseros de Pick Up que se fabrican.	Elimina lotes
Ajuste_Fabricacion_PD	Se emplea para conseguir la fabricación diaria de paragolpes delanteros necesaria en función de las piezas que se pierden en retoques y rechazos.	M1
Ajuste_Fabricacion_PTM	Se emplea para conseguir la fabricación diaria de paragolpes traseros de Monovolumen necesaria en función de las piezas que se pierden en retoques y rechazos.	M1
Ajuste_Fabricacion_PTP	Se emplea para conseguir la fabricación diaria de paragolpes traseros de Pick Up necesaria en función de las piezas que se pierden en retoques y rechazos.	M1
PARADA_MPM	Se emplea para configurar la parada de las máquinas de la línea de MPM	M1
Cantidad_TECHOS	Se emplea para indicar la cantidad de techos necesarios a fabricar.	Punzonado
Cantidad_SUELOSMONO	Se emplea para indicar la cantidad de suelos de Monovolumen necesarios a fabricar.	Punzonado
Cantidad_SUELOSPICK	Se emplea para indicar la cantidad de suelos de Pick Up necesarios a fabricar.	Punzonado
Piezas_TECHOS_FAB	Piezas fabricadas de techos.	Punzonado
Piezas_SUELOMONO_FAB	Piezas fabricadas de suelo Monovolumen.	Punzonado
Pieza_SUELOPICK_FAB	Piezas fabricadas de Suelos Pick Up.	Punzonado
Cambio_Rafaga1	Se emplea para indicar el primer cambio de ráfaga	Punzonado
Cambio_Rafaga2	Se emplea para indicar el segundo cambio de ráfaga	Punzonado

PARADA_PUNZONADO	Su variabilidad hace que la máquina de punzonado pare.	Punzonado
Total_piezas_fabricadas	Total de piezas fabricadas en la máquina de punzonado.	Punzonado
Caden_DIARIA_PUNZONADO	Cadencia diaria necesaria fabricar en punzonado.	Punzonado
cambio_utiles_punzonado	Número de cambio de útiles necesarios.	Punzonado
CASOESTUDIO_VAR1	Indica las necesidades de producción.	M1 y Punzonado

7. Modelado de los Turnos (Shift)

La forma en la que representamos los diferentes horarios de producción son los denominados Shifts o turnos. En ellos reflejamos el periodo de tiempo durante el cual estarán fabricando los diferentes elementos a los que se les asigna.

Para el caso del taller de MPM, que trabaja a tres turnos, definimos un turno correspondiente al día, que se muestra en la Figura 4.41. Como se puede observar, posee 1.440 minutos de trabajo.

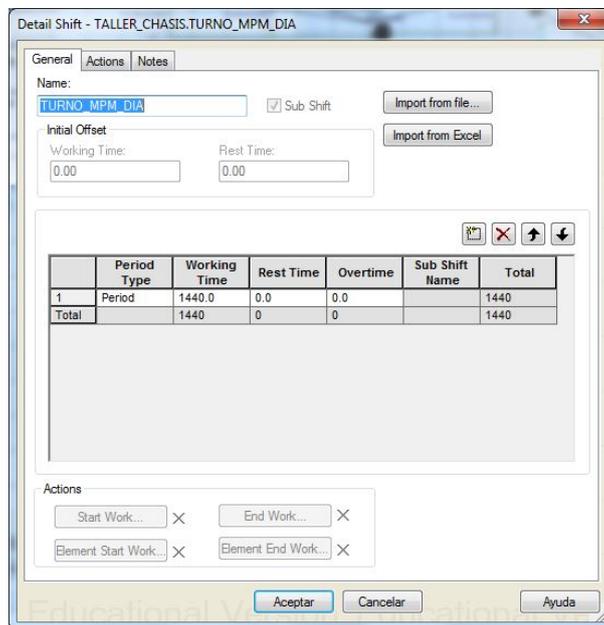


Figura 4.41. Detailing del turno MPM Día.

Y se define otro, que representará las diferentes horas de trabajo semanales, incluyendo dentro de éste los ya creados (Figura 4.42).

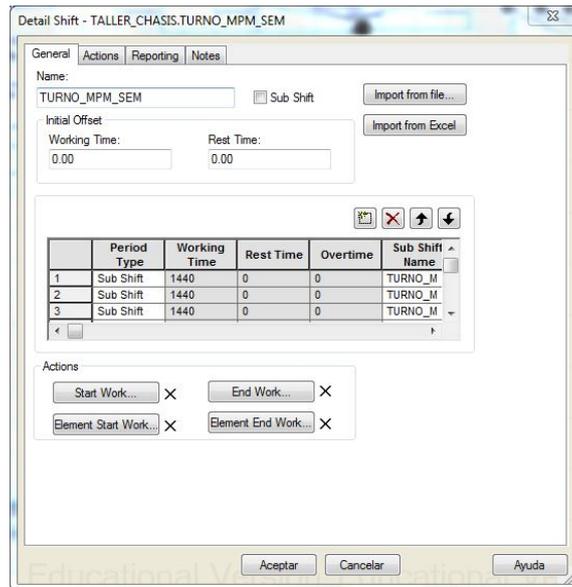


Figura 4.42. Detailing del turno MPM Semanal.

8. Modelado de los operarios (Labor)

Para poder atender a las diferentes máquinas de mecanizado cuando se averían, así como para realizar los diferentes cambios de útiles precisos en la máquina de punzonado o para realizar el transporte de los parts con el vehículo, es preciso definir un operario representado a través del elemento labor de witness. Dicho operario, al que denominamos Operario MPM Punzonado, debe ser asignado a cada elemento en el que su uso sea preciso a través de la regla Attach o Detach, según se requiera o no el mismo. En la Figura 4.43 se muestra su ventana de configuración.

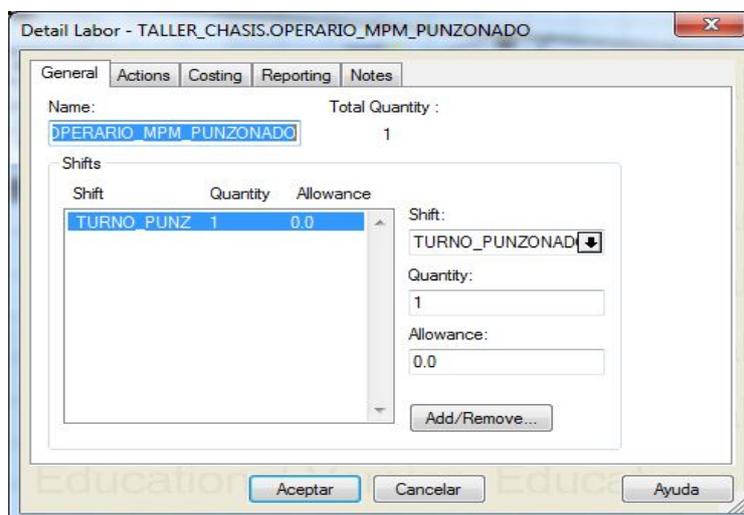


Figura 4.43. Detailing del labor del taller de chasis.

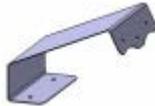
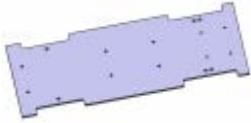
IV.4 Modelado de la Escuela Lean. Taller de Montaje

Para realizar la simulación de los diferentes escenarios que se deseen comprobar su evolución, se ha de modelar el sistema anteriormente explicado. El presente trabajo engloba todos los procesos que tienen lugar en la zona de montaje.

1. Modelado de las Piezas (parts)

En este sistema se crean vehículos de diferentes características, y para ello se ensamblan piezas (parts) en las diferentes máquinas hasta obtener el producto final. En la Tabla 4.3 se detallan las piezas necesarias para modelar este sistema y sus características dentro del software. Se diferencia entre piezas activas, que puede asimilarse a componentes enviados por proveedores (llegan al modelo con un cierto intervalo de tiempo o en un determinado instante) o pasivas, es decir, las que se fabrican en el proceso (se crean en las máquinas). Todas las piezas son almacenadas en un almacén de Materias Primas.

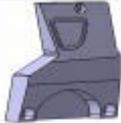
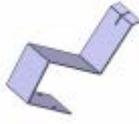
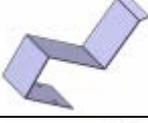
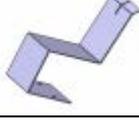
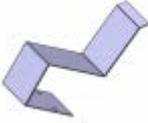
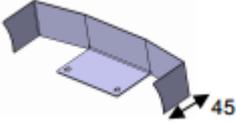
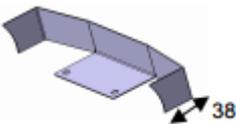
Tabla 4.3. Piezas de Montaje.

PIEZA	TIPO DE PIEZA	IMAGEN
Ruedas Normales Denominación en Witness: <i>RuedasN</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4	
Ruedas Todoterreno Denominación en Witness: <i>Ruedas4x4</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4	
Paragolpes Delantero Denominación en Witness: <i>Parago_DELANTERO</i>	Pasiva	
Salpicadero Denominación en Witness: <i>Salpicadero</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4	
Suelo Monovolumen Denominación en Witness: <i>Suelo_Mono</i>	Pasiva	
Suelo PickUp Denominación en Witness: <i>Suelo_Pick</i>	Pasiva	

Capítulo IV: Modelado de la Escuela Lean

Lateral Delantero Derecho Claro Denominación en Witness: <i>LateralID_Dcho_Claro</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4	
Lateral Medio Derecho Claro (Monovolumen) Denominación en Witness: <i>LateralIM_Dcho_Claro</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4	
Lateral Trasero Derecho Claro (Monovolumen) Denominación en Witness: <i>LateralIT_Dcho_Claro</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4	
Lateral Trasero Derecho Claro (Pick Up) Denominación en Witness: <i>LateralIT_Dcho_PicUp_C</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4	
Lateral Delantero Derecho Oscuro Denominación en Witness: <i>LateralID_Dcho_Oscuro</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4	
Lateral Medio Derecho Oscuro (Monovolumen) Denominación en Witness: <i>LateralIM_Dcho_Oscuro</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4	
Lateral Trasero Derecho Oscuro (Monovolumen) Denominación en Witness: <i>LateralIT_Dcho_Oscuro</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4	
Lateral Trasero Derecho Claro (Pick Up) Denominación en Witness: <i>LateralIT_Dcho_PicUp_O</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4	
Lateral Delantero Izquierdo Claro Denominación en Witness: <i>LateralID_Izqdo_Claro</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4	
Lateral Medio Izquierdo Claro (Monovolumen) Denominación en Witness: <i>LateralIM_Izqdo_Claro</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4	
Lateral Trasero Izquierdo Claro (Monovolumen) Denominación en Witness: <i>LateralIT_Izqdo_Claro</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4	
Lateral Trasero Izquierdo Claro (Pick Up) Denominación en Witness: <i>LateralIT_Izqdo_PicUp_C</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4	
Lateral Delantero Izquierdo Oscuro Denominación en Witness: <i>LateralID_Izqdo_Oscuro</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4	
Lateral Medio Izquierdo Oscuro (Monovolumen) Denominación en Witness: <i>LateralIM_Izqdo_Oscuro</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4	

Capítulo IV: Modelado de la Escuela Lean

Lateral Trasero Izquierdo Oscuro (Monovolumen) Denominación en Witness: <i>LateralT_Izqdo_Oscuro</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4	
Lateral Trasero Izquierdo Claro (Pick Up) Denominación en Witness: <i>LateralT_Izqdo_PicUp_O</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4.	
Tubos de Escape Denominación en Witness: <i>TuboEscape</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 20	
Asientos Delanteros Claros Denominación en Witness: <i>AsientosD_Claros</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 20	
Asientos Traseros Claros (Monovolumen) Denominación en Witness: <i>AsientosT_Claros</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 20	
Asientos Delanteros Oscuros Denominación en Witness: <i>AsientosD_Oscuros</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 20	
Asientos Traseros Oscuros (Monovolumen) <i>AsientosT_Oscuros</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 20	
Paragolpes Trasero Monovolumen Denominación en Witness: <i>Parago_TRASMONO</i>	Pasiva	
Paragolpes Trasero PickUp Denominación en Witness: <i>Parago_TRASPICK</i>	Pasiva	
Perfiles de Techo Monovolumen Denominación en Witness: <i>PerfilTecho_Mono</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4	
Perfiles de Techo PickUp Denominación en Witness: <i>PerfilTecho_PickUp</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4	
Maletero Claro Denominación en Witness: <i>Maletero_Claro</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4.	
Maletero Oscuro Denominación en Witness: <i>Maletero_Oscuro</i>	Activa Llega al modelo en lotes de 4	

Techo PickUp Denominación en Witness: <i>Techo_PickUp</i>	Activa. Llega al modelo en lotes de 4.	
Techo Monovolumen Denominación en Witness: <i>Techos</i>	Pasiva	
Capo Claro Denominación en Witness: <i>Capo_Claro</i>	Activa. Llega al modelo en lotes de 4.	
Capo Oscuro Denominación en Witness: <i>Capo_Oscuro</i>	Activa. Llega al modelo en lotes de 4.	
Perfiles de Suelo Denominación en Witness: <i>Perfil_Suelo</i>	Activa. Llega al modelo en lotes de 4.	

En la Figura 4.44 se observan los datos relevantes de una pieza tipo pasiva y otra activa.

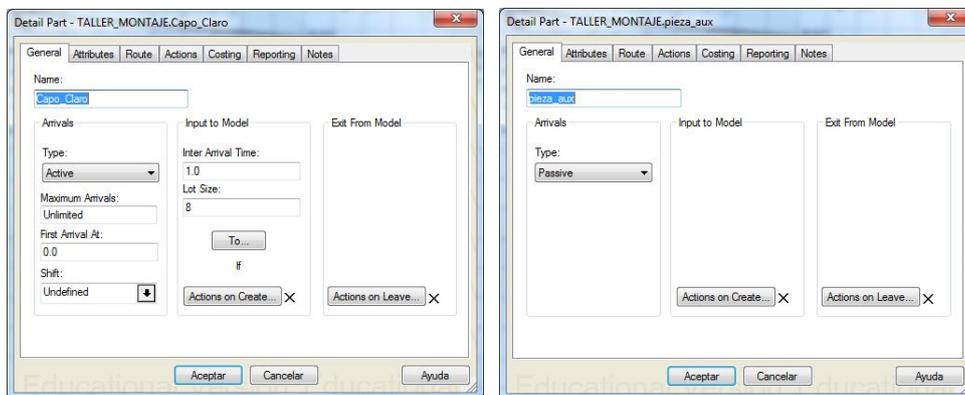


Figura 4.44. Detailing de una pieza activa y pasiva respectivamente.

Del ensamblaje de estas piezas en el proceso se obtienen nuevas piezas a la salida de cada máquina; éstas son las piezas semiterminadas, que se muestran en la Tabla 4.4:

Tabla 4.4. Piezas producto semiterminado.

PIEZA	TIPO DE PIEZA	PUESTO DONDE SE OBTIENE
Semiterminado Puesto 1 MNO	Pasiva	Puesto 1
Semiterminado Puesto 1 MNC	Pasiva	
Semiterminado Puesto 1 MTO	Pasiva	
Semiterminado Puesto 1 MTC	Pasiva	
Semiterminado Puesto 1 PNO	Pasiva	
Semiterminado Puesto 1 PNC	Pasiva	
Semiterminado Puesto 1 PTO	Pasiva	
Semiterminado Puesto 1 PTC	Pasiva	

De este tipo de piezas existen cuatro más de cada una de ellas (hasta semiterminado 5), con las mismas características, pero que se obtienen en el puesto que indica su numeración.

A la salida de la última máquina (puesto 6) ya obtenemos el producto acabado, es decir, el vehículo finalizado. En la Tabla 4.5 se muestran los tipos de piezas creadas en el modelo.

Tabla 4.5. Piezas de producto terminado.

PIEZA	TIPO DE PIEZA	PUESTO DONDE SE OBTIENE
Vehículo MNO	Pasiva	Puesto 6
Vehículo MNC	Pasiva	
Vehículo MTO	Pasiva	
Vehículo MTC	Pasiva	
Vehículo PNO	Pasiva	
Vehículo PNC	Pasiva	
Vehículo PTO	Pasiva	
Vehículo PTC	Pasiva	

También ha sido preciso crear una pieza auxiliar (que no se encuentra en el sistema real) de tipo pasiva, denominada en el modelado como *pieza_aux*. Esta pieza se utiliza para evitar errores en el ensamblaje de la máquina del puesto 2, que no tendrá más relevancia en el modelo.

Para que existan piezas en los almacenes en el instante inicial y empezar así a producir desde el instante cero, se ha creado una regla de salida en cada una de las piezas activas para que deposite cada pieza en su estante determinado. En la Figura 4.45 se muestra un ejemplo de creación de este tipo de piezas.

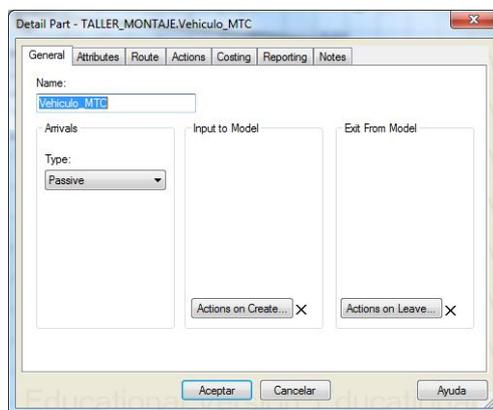


Figura 4.45. Detailing de la pieza Vehiculo_MTC.

2. Modelado de los Almacenes (Buffer)

Todas las piezas tienen que esperar un tiempo desde que se introducen en el modelo hasta que son ensambladas o convertidas en otro producto. Por esto se hace necesario crear almacenes para estocar estas piezas, tanto en zonas próximas a la línea de montaje como en los almacenes generales. En la Tabla 4.6 se detallan todos los tipos de almacenes creados para almacenar las piezas nada más llegar al modelo, mientras que en la Figura 4.46 se visualiza cómo se detalla un almacén de forma general.

Tabla 4.6. Almacenes Generales de la Fábrica.

ALMACÉN	PIEZA QUE ALMACENA	CAPACIDAD
ALM_RuedasN	RuedasN	1.000
ALM_Ruedas4x4	Ruedas4x4	1.000
A_LATD_Izqd_C	LateralD_Derecho_Claro	1.000
A_LATD_Izqd_O	LateralD_Derecho_Oscuro	1.000
A_LATM_Izqd_C	LateralM_Derecho_Claro	1.000
A_LATM_Izqd_O	LateralM_Derecho_Oscuro	1.000
A_LATT_Izqd_C	LateralT_Derecho_Claro	1.000
A_LATT_Izqd_O	LateralT_Derecho_Oscuro	1.000
A_LATT_Izq_PickUp_C	Lat_TPickUpDcho_C	1.000
A_LATT_Izq_PickUp_O	Lat_TPickUpDcho_O	1.000

<i>LatD_Dcho_C</i>	LateralD_Izqdo_Claro	1.000
<i>LatD_Dcho_O</i>	LateralD_Izqdo_Oscuro	1.000
<i>LatM_Dcho_C</i>	LateralM_Izqdo_Claro	1.000
<i>LatM_Dcho_O</i>	LateralM_Izqdo_Oscuro	1.000
<i>LatT_Dcho_C</i>	LateralT_Izqdo_Claro	1.000
<i>LatT_Dcho_O</i>	LateralT_Izqdo_Oscuro	1.000
<i>Lat_TPickUpDcho_C</i>	Lat_TPickUp_Iz_C	1.000
<i>Lat_TPickUpDcho_O</i>	Lat_TPickUp_Iz_O	1.000
<i>A_TuboEscape</i>	TuboEscape	1.000
<i>A_Asientos_DC</i>	AsientosD_Claros	1.000
<i>A_Asientos_DO</i>	AsientosD_Oscuros	1.000
<i>A_Asientos_TC</i>	AsientosT_Claros	1.000
<i>A_Asientos_TO</i>	AsientosT_Oscuros	1.000
<i>A_PerfilTecho_Pic</i>	PerfilTecho_PickUp	1.000
<i>A_PerfilTecho_Mono</i>	PerfilTecho_Mono	1.000
<i>A_CapoC</i>	Capo_Claro	1.000
<i>A_CapoO</i>	Capo_Oscuro	1.000
<i>A_MaleteroO</i>	Maletero_Oscuro	1.000
<i>A_MaleteroC</i>	Maletero_Claro	1.000
<i>A_Techo_Pick</i>	Techo_PickUp	1.000
<i>A_Salpicadero</i>	Sapicadero	1.000
<i>A_PerfilSuelo</i>	Perfil_Suelo	1.000

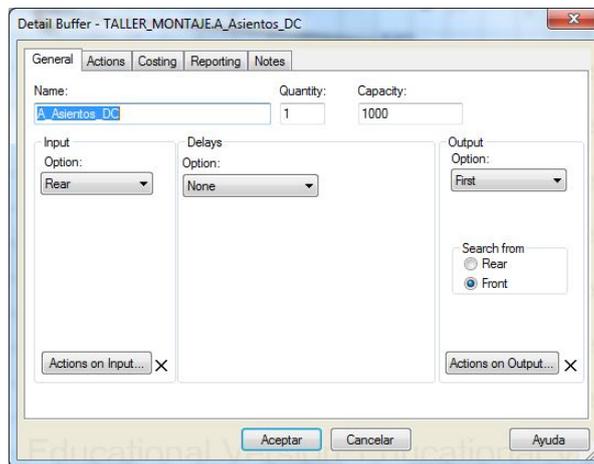


Figura 4.46. Detalle del modelado de un Almacén. Capacidad 1.000.

En la Tabla 4.7 se enumeran los Almacenes próximos a las líneas de montaje (los estantes que albergan los pequeños embalajes, con una capacidad de 4 unidades cada embalaje y de 3 embalajes cada estante) y los almacenes de grandes embalajes (capacidad de 20 unidades).

Tabla 4.7. Almacenes de Pequeño y Gran Embalaje.

ALMACÉN	PIEZA QUE ALMACENA	CAPACIDAD
GRANDES EMBALAJES		
GranEmbalaje_SuelosP	Suelo_Pick	20
GranEmbalaje_SuelosM	Suelo_Mono	20
GranEmbalaje_ParagolpesD	Paragol_DELANTERO	20
GranEmbalaje_Para_TP	Paragol_TRASPICK	20
GranEmbalaje_Para_TM	Paragol_TRASMONO	20
GranEmbalaje_Salpicadero	Salpicadero	20
GranEmbalaje_PerfilSuelo	Perfil_Suelo	20
GranEmbalaje_AsientosD_C	AsientosD_Claros	20
GranEmbalaje_AsientosD_O	AsientosD_Oscuros	20
GranEmbalaje_AsientosT_C	AsientosT_Claros	20
GranEmbalaje_AsientosT_O	AsientosT_Oscuros	20
GranEmbalaje_TuboEscape	TuboEscape	20
ESTANTES		
Estante_RuedasN	RuedasN	12
Estante_Ruedas4x4	Ruedas4x4	12
Estante_DDcho_C	LateralD_Derecho_Claro	12
Estante_DDcho_O	LateralD_Derecho_Oscuro	12
Estante_MDcho_C	LateralM_Derecho_Claro	12
Estante_MDcho_O	LateralM_Derecho_Oscuro	12
Estante_TDcho_C	LateralT_Derecho_Claro	12
Estante_TDcho_O	LateralT_Derecho_Oscuro	12
Estante_TD_PickUpC	Lat_TPickUpDcho_C	12
Estante_TD_PickUpO	Lat_TPickUpDcho_O	12
Estante_LatD_Iz_C	LateralD_Izqdo_Claro	12
Estante_LatD_Iz_O	LateralD_Izqdo_Oscuro	12
Estante_LatM_Iz_C	LateralM_Izqdo_Claro	12
Estante_LatM_Iz_O	LateralM_Izqdo_Oscuro	12
Estante_LatT_Iz_C	LateralT_Izqdo_Claro	12
Estante_LatT_Iz_O	LateralT_Izqdo_Oscuro	12
Estante_LatPickUp_Iz_C	Lat_TPickUp_Iz_C	12
Estante_LatPickUp_Iz_O	Lat_TPickUp_Iz_O	12
Estante_TechoMono	Techo_PickUp	12
Estante_TechoPickUp	Techo_Mono	12
Estante_Capo_C	Capo_Claro	12
Estante_Capo_O	Capo_Oscuro	12
Estante_Maletero_C	Maletero_Oscuro	12
Estante_Maletero_O	Maletero_Claro	12
Estante_PerfilTecho_Mono	PerfilTecho_PickUp	12
Estante_PerfilTecho_PickUp	PerfilTecho_Mono	12

Los estantes tienen la peculiaridad de tener que ser repuestos por el personal de logística cada vez que el stock de un estante determinado sea bajo (es decir, cuando tenga un embalaje completo y otro empezado, o sólo tenga un embalaje ya empezado). En el momento en que exista un estante que solo contenga un embalaje ya empezado (menos de cuatro piezas), se realizará la reposición de todos los estantes, reponiéndose todos los embalajes que se han consumido hasta ese momento en todos los puestos que lo requieran.

Para lograr esto, en el modelo se ha establecido, en las acciones de los estantes, que se compruebe la cantidad de piezas que contiene cada vez que entre o salga una pieza de él. Si dicho almacén contiene menos de un embalaje se ordenará su reposición y, además, la del resto de estantes que hayan consumido algún embalaje. Si el número de piezas es superior a un embalaje completo, no se ordenará su reposición inmediata, pero sí en el caso de que se produzca una reposición de toda la línea por necesidad de pedido de otro de estos almacenes.

Entre cada uno de los puestos de trabajo puede existir producto en curso, es decir, que se puede llegar a estocar producto semiterminado entre las máquinas. Por ello, se han modelado varios almacenes de producto semiterminado y uno para el producto final (expediciones). La Tabla 4.8 describe estos almacenes, mientras que la Figura 4.47 muestra un ejemplo de la interfaz donde se detallan.

Tabla 4.8. Almacenes de producto semiterminado y expediciones.

ALMACÉN	PIEZA QUE ALMACENA	CAPACIDAD
Producto_EnCurso_1	Semiterminado1	4
Producto_EnCurso_2	Semiterminado1	4
Producto_EnCurso_3	Semiterminado3	4
Producto_EnCurso_4	Semiterminado3	4
Producto_EnCurso_5	Vehículo	4
Encurso_2	Semiterminado2	1
Encurso_4	Semiterminado4	1
Encurso_5	Semiterminado5	1
Almacen_Expediciones	Vehículo	1000

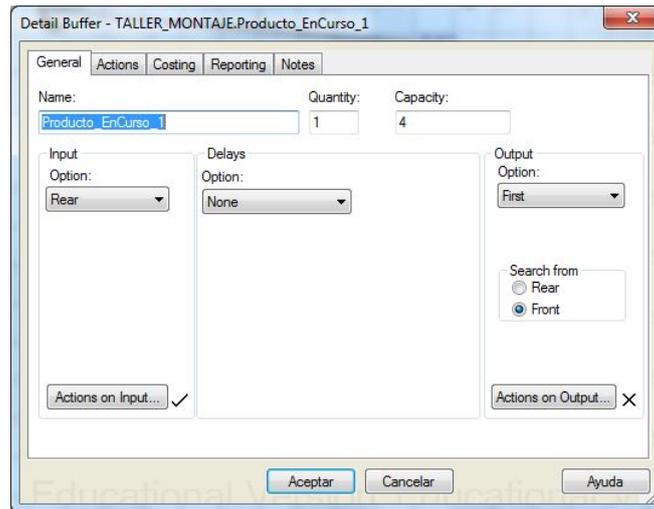


Figura 4.47. Detailing de un almacén. Capacidad 4.

3. Modelado de los Caminos y Vehículos (Tracks y Vehicle)

Para que las piezas que se encuentran en los almacenes generales (lejanos a la línea de producción) lleguen hasta los estantes y grandes embalajes que se encuentran a pie de máquina, se han modelado los vehículos que transportan los pedidos de cada uno de los almacenes. En concreto, tenemos: los carros (con una capacidad de 4 vehículos), la traspaleta (con capacidad para un gran embalaje) y los remolques que transportan los pequeños embalajes (con capacidad para toda la línea). Estos vehículos se han de mover por el layout siguiendo un recorrido; para ello se modelan los caminos (traks) por los que circularán cada vez que hagan su recorrido.

Las características de cada vehículo son las que se muestran en la Tabla 4.9, y las características de los caminos en la Tabla 4.10. En las Figuras 4.48 y 4.49 se detalla la forma de modelar ambos con el software.

Tabla 4.9. Vehículos.

VEHÍCULO	CAPACIDAD	VÍA POR LA QUE ENTRA	TRANSPORTE
Traspaleta	20		Grandes Embalajes
CarrosM1_M2	4		Semiterminados entre máquinas 1 y 2
CarrosM4_M3	4		Semiterminados entre máquinas 3 y 4
Carros_PeqEmbalaje	208		Pequeños Embalajes

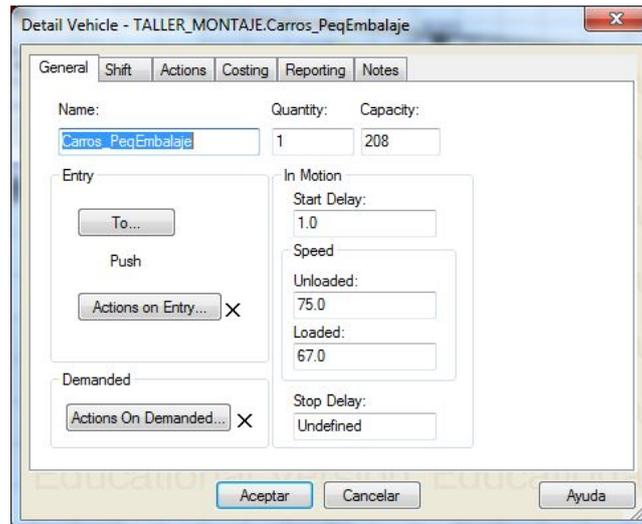


Figura 4.48. Detailing de un Vehículo

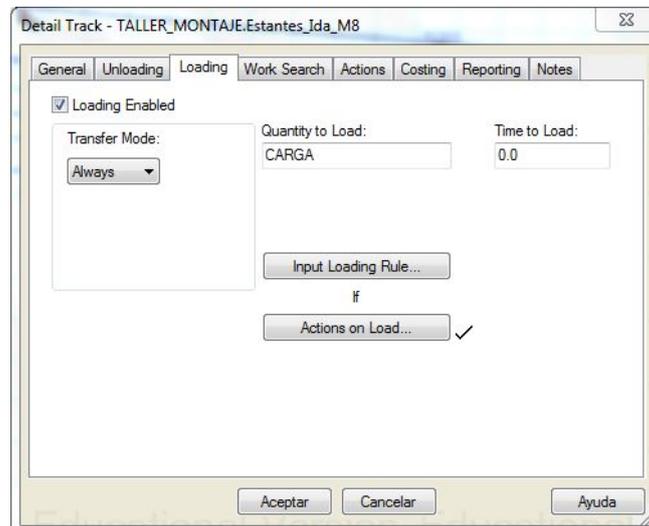


Figura 4.49. Detailing de un Track.

Cuando entran en el modelo los vehículos se suben a uno de los caminos, o vías, y circulan por diferentes vías según las órdenes de salida de cada una de éstas. La velocidad para todos los vehículos se ha estimado en 67m/min cargado y 75m/min descargado.

Para el caso del transporte entre el puesto 6, en el que ya se obtiene el producto final, y el almacén de expediciones, como los datos que se obtiene en la realidad son temporales y no de velocidades, se ha decidido modelar el transporte logístico mediante un *path* que deja la pieza en el almacén de expediciones después de que la máquina 6 lo ponga en él. Se asociará un trabajador logístico (*carretillero*) al transporte.

Tabla 4.10. Vías.

VIA	VIA A LA QUE SALE	VEHICULO	CARGA	DESCARGA
Estantes_Ida_M1	Si no está vacío: Estantes_Ida_M2	Carros_PeqEmbalaje		X
	Si está vacío: Estantes_Ida_M8			
Estantes_Ida_M2	Si no está vacío: Estantes_Ida_M3			X
	Si está vacío: Estantes_Ida_M7			
Estantes_Ida_M3	Si no está vacío: Estantes_Ida_M4			X
	Si está vacío: Estantes_Ida_M6			
Estantes_Ida_M4	Estantes_Ida_M5			X
Estantes_Ida_M5	Estantes_Ida_M6			X
Estantes_Ida_M6	Estantes_Ida_M7			X
Estantes_Ida_M7	Estantes_Ida_M8			X
Estantes_Ida_M8	Estantes_Ida_M1		X	
Camino_Pedido_P1	Camino_P1_Pedido	Traspaleta	X	
Camino_P1_Pedido	Camino_Pedido_P1			X
Camino_P1_P2	Camino_P2_P1	CarrosM1_M2		X
Camino_P2_P1	Camino_P1_P2		X	
Camino_M3_M4	Camino_M4_M3	CarrosM4_M3		X
Camino_M4_M3	Camino_M3_M4		X	

4. Modelado de las Máquinas (Machine)

Quando las piezas se encuentran en los estantes y en los grandes embalajes cercanos a la línea de producción los operarios pueden proceder con el montaje del vehículo. Para simular esta actividad se han creado máquinas que cogen las piezas de cada almacén y generan un producto semiterminado (Tabla 4.11). Cada máquina tiene un trabajador asociado y un tiempo de ciclo establecido en 2 minutos.

La máquina del puesto 1 (Maquina_P1), tiene un tiempo de preparación determinado cada vez que cambia el tipo de lote.

Tabla 4.11. Máquinas.

MÁQUINA	ORDEN DE ENTRADA	PIEZA QUE FABRICA	VARIABLE
Maquina_P1	SEQUENCE/WAIT	Semiterminado1	Auxiliar
Maquina_P2	SEQUENCE/WAIT	Semiterminado2	Auxiliar
Maquina_P3	SEQUENCE/WAIT	Semiterminado3	Auxiliar
Maquina_P4	SEQUENCE/WAIT	Semiterminado4	Auxiliar
Maquina_P5	SEQUENCE/WAIT	Semiterminado5	Auxiliar
Maquina_P6	SEQUENCE/WAIT	Vehículo	Auxiliar

Como en el instante inicial se necesita que existan piezas en los almacenes próximos a la línea de montaje y producto semiterminado entre los puestos de trabajo, se ha introducido una máquina denominada *MAQ_AUX* con un tiempo ciclo de cero minutos, que se encarga de coger las piezas del mundo y depositarlas, en el instante de tiempo inicial, en estos lugares. Las piezas que suministra esta máquina son todas las piezas semiterminadas y las piezas que se generan en la zona de mecanizado (y llegarían tarde en el instante inicial). En la Figura 4.50 se detalla cómo definir en el software una máquina.

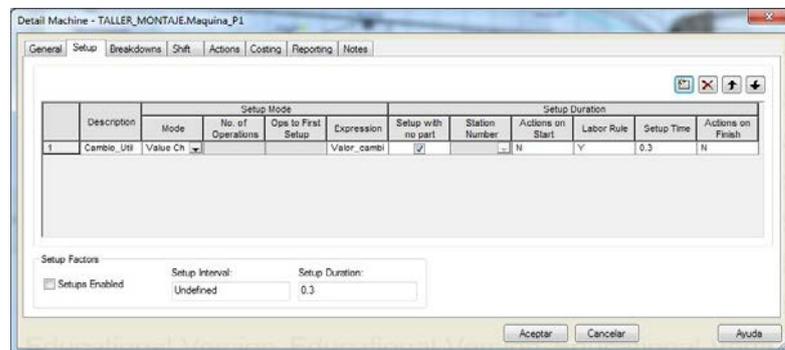
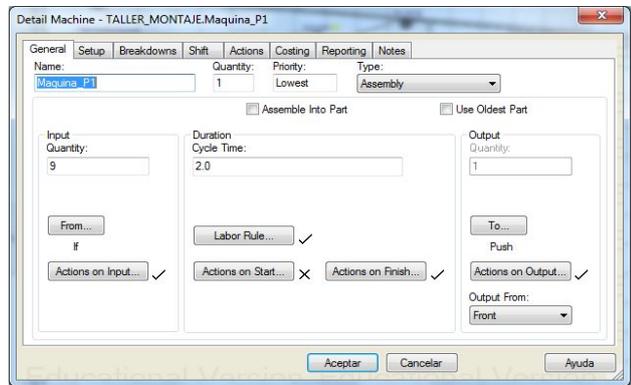


Figura 4.50. Detailing de una Máquina con Setup.

5. Modelado de Operarios (Labor)

Tanto las máquinas del modelo como los vehículos que atienden la demanda de piezas tienen asociados trabajadores que estarán ocupados todo el tiempo que lo esté el vehículo o la máquina. En la Tabla 4.12 aparecen los trabajadores con el elemento al que se encuentran asociados.

Tabla 4.12. Trabajadores.

TRABAJADOR	MÁQUINA ASOCIADA	VEHÍCULO ASOCIADO
Operario 1	Maquina _P1	
Operario 2	Maquina _P2	
Operario 3	Maquina _P3	
Operario 4	Maquina _P4	
Operario 5	Maquina _P5	
Operario 6	Maquina _P6	
Carretillero		Traspaleta
		CarrosM1_M2
		CarrosM4_M3
Carretillero 2		Carros_PeqEmbalaje

En la Figura 4.51 se muestra como se detallan los trabajadores en Witness.

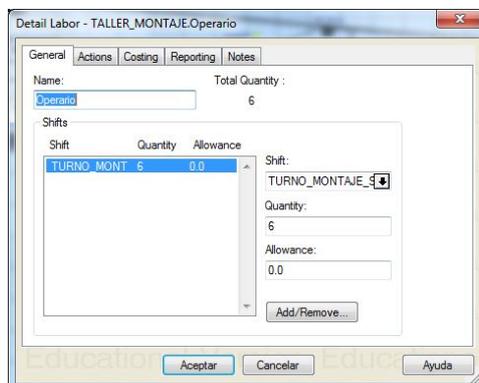


Figura 4.51. Detailing de un Trabajador

6. Modelado de los Turnos (Shift)

A todas las máquinas, trabajadores y vehículos se les puede asociar un turno de trabajo, durante el cual estará operativo, y fuera de él no trabajará. La zona de montaje trabaja dos turnos diarios; por ello, se ha modelado un subturno diario de 960 minutos de trabajo y de 480 minutos de descanso. Además, se ha creado otro subturno de 1.440 minutos de descanso continuo para los fines de semana.

Finalmente, se asocia a los elementos un turno que comprenda toda la semana, compuesto por cinco subturnos diarios de 960 minutos de trabajo, y dos subturnos de fin de semana, trabajando la cadena de montaje 4.800 minutos semanales (Figura 4.52).

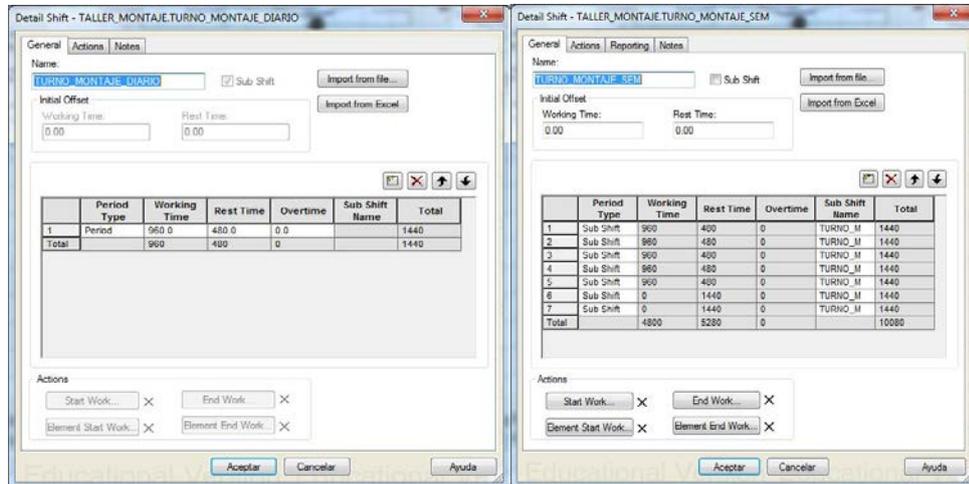


Figura 4.52. Detailing de un turno de trabajo.

7. Modelado las Variables

Para poder realizar algunas de las acciones que tienen lugar en el modelo, y poder implementar la realidad lo más fielmente posible, es necesario definir variables y funciones que permitan simular el proceso en diferentes escenarios cambiando algunos datos recogidos en las variables. También se usan algunas variables simplemente para, por ejemplo, ejecutar conteos u órdenes de carga en las vías. En la Tabla 4.13 se detallan las variables y su función.

Tabla 4.13. Variables

VARIABLE	FUNCIÓN	ELEMENTO DONDE SE APLICA
CAMBIO_UTIL	Variable que permite realizar el setup cada vez que se cambia de lote de fabricación	Maquina_P1
Pos_cambioUtil	Variable que recorre el vector de producción para que la variable anterior adquiera su valor	Maquina_P1
AUXILIAR	Variables utilizadas en cada una de las máquinas, para determinar que piezas usar en el ensamblaje dependiendo del tipo de vehículo a fabricar	Maquina_P1
AUXILIAR 1		Maquina_P2
AUXILIAR 2		Maquina_P3
AUXILIAR_M3		Maquina_P4
AUXILIAR 4		Maquina_P5
AUXILIAR 5		Maquina_P6
AUXILIAR 6		Maquina_P7

Posicion	Variable utilizada en cada una de las máquinas para recorrer el vector de producción y que la variable AUXILIAR cambie de valor	Maquina_P1
Posicion_M1		Maquina_P2
Posicion_M2		Maquina_P3
Posicion_M3		Maquina_P4
Posicion_M4		Maquina_P5
Posicion_M5		Maquina_P6
Posicion_M6		Maquina_P7
ESTADO_STOCK	Vector generado en las salidas de los estantes (pequeño embalaje) para dar la orden de carga al vehículo <i>Carros_PeqEmbalaje</i>	En todos los Estantes
CARGA	Suma de todos los datos del vector ESTADO_STOCK para determinar la carga del vehículo <i>Carros_PeqEmbalaje</i>	Via: Estantes_Ida_M8
Descarga_P1	Suma de los datos del vector ESTADO_STOCK para las posiciones 1 y 2 para determinar la carga del vehículo <i>Carros_PeqEmbalaje</i>	Via: Estantes_Ida_M1
Descarga_P2	Suma de los datos del vector ESTADO_STOCK para las posiciones 2 al 10 para determinar la carga del vehículo <i>Carros_PeqEmbalaje</i>	Via: Estantes_Ida_M2
Descarga_P3	Suma de los datos del vector ESTADO_STOCK para las posiciones 11-18 para determinar la carga del vehículo <i>Carros_PeqEmbalaje</i>	Via: Estantes_Ida_M3
Descarga_P4	Suma de los datos del vector ESTADO_STOCK para las posiciones 19-29 para determinar la carga del vehículo <i>Carros_PeqEmbalaje</i>	Via: Estantes_Ida_M4
J	Variable que toma los valores 1 ó 0 dependiendo de si se genera un pedido urgente en los estantes	En todos los estantes

En las Figuras 4.53 y 4.54 pueden apreciarse algunos ejemplos de definición de estas variables.

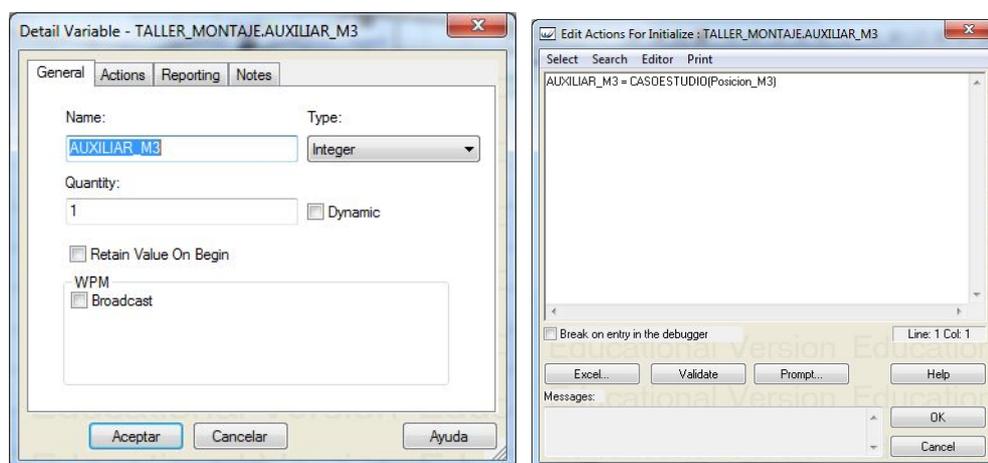


Figura 4.53. Detailing de una variable con función de inicialización.

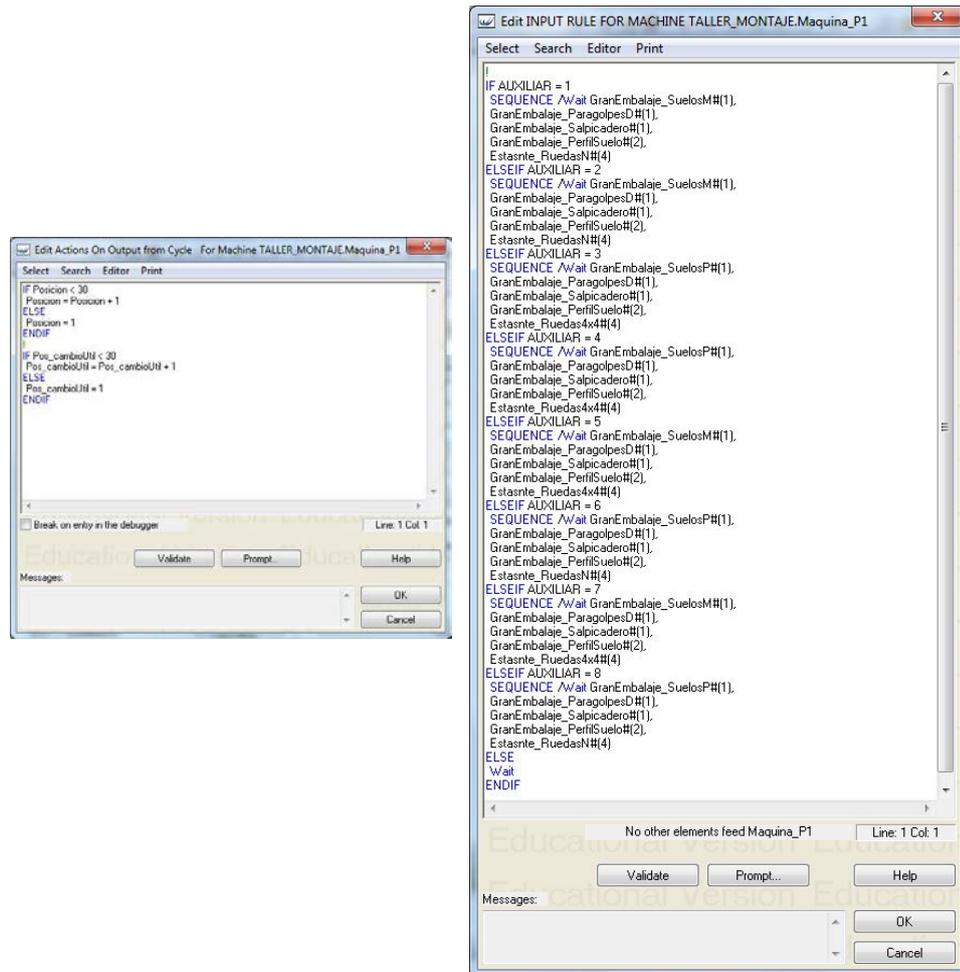


Figura 4.54. Aplicación de la variable Auxiliar en la Maquina 1, con el contador variable Posición.

IV.4 Simulación del sistema

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 las siguientes:

- Cambio de Lote de Fabricación: de lotes de 4 a lotes de 2
- Cambio de Lote de Transferencia entre los puestos (productos Semiterminado) de 2 a 1.
- Tiempo de preparación (Setup) de la máquina 1 (Maquina_P1):
 - t=0,50 minutos
 - t=0,30 minutos
 - Sin tiempo de Setup

Los datos obtenidos en las simulaciones serán tratados en el apartado de conclusiones, ya que este paso lleva automáticamente a tomar decisiones en función de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO V: ESTUDIO ECONÓMICO

V ESTUDIO ECONOMICO

V.1	Concepto del Estudio Económico	181
V.2	Planificación Temporal: Diagrama de Gantt.....	181
V.3	Costes Directos	183
V.3.1	Costes de Personal	183
V.3.2	Costes Directos de Material.....	185
V.4	Costes Indirectos	186
V.5	Costes Totales	187

V ESTUDIO ECONÓMICO

V.1 Concepto del Estudio Económico

En este capítulo se desarrolla el estudio económico del proyecto a fin de determinar los costes derivados de su realización. Es este objetivo la razón de su relevancia, irguiéndose como un factor esencial en la decisión del visto bueno para la ejecución del proyecto.

Se supone que el proyecto se realiza por encargo, sin considerar ningún tipo de beneficio adicional; es decir, se tendrá en cuenta sólo el coste del trabajo realizado y el de los medios empleados en su realización. Una vez concluido el estudio, el resultado del cálculo del importe económico que supone la realización del presente proyecto debe considerarse meramente orientativo. Para ello, el coste se va a dividir en dos conceptos:

- *Costes directos*: constituidos tanto por los costes de personal como los de materiales directos y el material amortizable. En estos costes se contabiliza el número de horas dedicadas a la ejecución del proyecto, por la persona o personas que han trabajado en él. Dicho número de horas será multiplicado por el coste de la hora de trabajo de cada trabajador.
- *Costes indirectos*: son aquellos que no se pueden asignar directamente a un producto o servicio, sino que se distribuyen entre las diversas unidades productivas mediante algún criterio de reparto. En la mayoría de los casos los costes indirectos son costos fijos. Se engloban en este apartado costes como el consumo eléctrico, los derivados de servicios administrativos, etc.

V.2 Planificación Temporal: Diagrama de Gantt

Como paso inicial del estudio económico, se calculan las horas efectivas de trabajo por año. La Tabla 5.1 recoge una estimación.

Tabla 5.1.- Horas efectivas de trabajo anualmente.

CONCEPTO	DÍAS / AÑO
Año medio	365
Sábados y domingos	104
Vacaciones	20
Días festivos	13
Asuntos propios	6
Total de días efectivos por año	222
Horas de trabajo diarias	8
Horas efectivas por año	1.776

Una vez calculadas las horas efectivas de trabajo anuales, se contabiliza el número de horas empleadas en la realización del proyecto, así como su distribución entre las personas necesarias para su ejecución en función de las distintas actividades realizadas. El proyecto ha sido realizado por dos *Ingenieros*, bajo la supervisión y asesoramiento de un *Director de Proyecto*, que ha supervisado las diferentes actividades realizadas interviniendo, sobre todo, en el planteamiento y en el análisis de resultados.

Las etapas en las que se ha dividido la elaboración del proyecto son las siguientes:

- Planteamiento general del proyecto y objetivos del mismo.
- Búsqueda de bibliografía y documentación sobre los equipos.
- Modelado del local y tratamiento de los resultados.
- Tratamiento de las bases de datos experimentales.
- Análisis de los datos recopilados y resultados.
- Redacción de la memoria.

El desarrollo temporal del proyecto se observa en el diagrama de Gantt representado en la Figura 5.1. El diagrama de Gantt constituye una popular herramienta gráfica cuyo objetivo es mostrar el tiempo de dedicación previsto para diferentes tareas o actividades a lo largo de un tiempo total determinado. Resulta útil para conocer la relación entre tiempo y carga de trabajo.

En gestión de proyectos, el diagrama de Gantt muestra el origen y el final de las diferentes unidades mínimas de trabajo y los grupos de tareas o las dependencias entre unidades mínimas de trabajo.

Básicamente, el diagrama está compuesto por un eje vertical donde se establecen las actividades que constituyen el trabajo que se va a ejecutar, y un eje horizontal que muestra en un calendario la duración de cada una de ellas.

MES	ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO			
SEMANA	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
PLANTEAMIENTO	■	■																		
DOCUMENTACIÓN		■	■	■	■															
MODELADO					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
TRATAMIENTO DE DATOS													■	■	■	■				
ANALISIS														■	■	■	■	■		
REDACCIÓN																	■	■	■	■

Figura 5.1- Diagrama de Gantt de desarrollo del proyecto

V.3 Costes Directos

V.3.1 Costes de Personal

El coste de personal se calcula a partir de número de horas dedicadas por cada una de las personas que han intervenido en el proyecto, así como del coste particular en la empresa de cada hora de trabajo para cada una de dichas personas. De esta forma, el número de horas será multiplicado por el coste de la hora de trabajo de cada trabajador en función de su grado de cualificación.

Las horas efectivas de trabajo dedicadas por cada miembro del personal son:

- Ingenieros:
 - Horas empleadas en la búsqueda y recopilación de información a partir de libros, revistas, internet, etc., para la realización del proyecto: 70 horas.
 - Horas dedicadas a la obtención y tratamiento de datos: 190 horas.
 - Horas empleadas en la realización de la memoria obteniendo la estructura final del proyecto: 80 horas.
- Director de proyecto:
 - Horas empleadas en supervisar el trabajo realizado por los ingenieros, en el asesoramiento y en su aportación de conocimientos sobre el tema del proyecto: 60 horas.

La Tabla 5.2 presenta la distribución de las horas entre las actividades realizadas.

Tabla 5.2: Distribución de las horas de trabajo efectivas por tareas.

Personal	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6	TOTAL
Ingenieros	10	60	120	30	40	80	340
Director	10	5	30	10	5	0	60

Para el cálculo del coste por hora de trabajo de los miembros que colaboran en la realización del proyecto, debe conocerse:

- Número de horas efectivas de trabajo anuales.
- Sueldo bruto.
- Incentivos.
- Cotizaciones de la seguridad social.

La información anterior queda recopilada en las Tablas 5.3 y 5.4; mientras que en la Tabla 5.5 se calculan los costes de personal estimados.

Tabla 5.3.- Coste por hora de trabajo del director del proyecto.

DIRECTOR DEL PROYECTO	
Sueldo bruto + incentivos	36.000 €
Cotizaciones a la Seguridad Social (35% del sueldo bruto)	12.600 €
Coste total anual.....	48.600 €
<i>Coste por hora de trabajo.....</i>	<i>28,14 €</i>

Tabla 5.4.- Costes por hora de trabajo del ingeniero.

INGENIERO	
Sueldo bruto + incentivos	28.000 €
Cotizaciones a la Seguridad Social (35% del sueldo bruto)	9.800 €
Coste total anual.....	37.800 €
<i>Coste por hora de trabajo.....</i>	<i>21,28 €</i>

Los costes totales de personal estimados en cinco meses son los dados en la Tabla 5.5:

Tabla 5.5: Costes de personal.

PERSONAL	Horas empleadas	Coste por hora	
Director de proyecto	60	28,14 €	1.688,40 €
Ingeniero	340	21,28 €	7.235,20 €
	Total costes de personal		8.923,60 €

V.3.2 Costes Directos de Material

En el proyecto, al tratarse de un trabajo de carácter teórico, los costes de materiales directos están constituidos únicamente por los de amortización de los medios informáticos empleados. Para realizar estos cálculos se considera la inversión inicial realizada y se determina la amortización lineal de dicha inversión, aplicando los criterios de inversión estipulados por la Hacienda Pública.

Para realizar el cálculo seguiremos los siguientes pasos:

- Determinación del importe bruto del inmovilizado.
- Aplicación del porcentaje correspondiente al tipo de inmovilizado.
- Determinación del coste horario.
- Cálculo de coste de amortización de cada equipo y de los programas usados.
- Suma de los costes individuales para el cálculo del coste total.

Se supone que los equipos informáticos trabajan las mismas horas que las personas. También se supondrá una vida útil de los equipos informáticos de 3 años (tasa de amortización del 33,33% anual) y de 5 años para el software de simulación (20% de amortización anual). Pasado este tiempo el equipo se suele quedar anticuado y no puede utilizar las aplicaciones informáticas que continuamente salen al mercado. Los costes de amortización de los equipos informáticos quedan reflejados en la Tabla 5.6

Los equipos informáticos usados en la elaboración del proyecto fueron:

- Un ordenador: PC AMD Athlon™ XP2600 + 2.09 GHz, 512 MB de memoria RAM.
- Impresora HP LaserJet 1100 (MS)
- Software informático: los paquetes de software utilizados en la ejecución son el programa Witness, de precio de una licencia de 30.000 €; además del sistema operativo Windows 7 y paquetes de programas de Microsoft Office 2010.

Tabla 5.6: Coste de amortización del inmovilizado.

	Precio	Amortización anual	Coste mensual	Meses de trabajo	COSTE
PC	1.200 €	400,00 €	33,34 €	5	166,70 €
Impresora	250 €	83,33 €	6,95 €	0,5	3,48 €
Software Microsoft	450 €	150,00 €	12,5 €	2	25 €
Software Witness	30.000 €	6.000,00 €	500 €	4,5	2.250 €
TOTAL	31.900 €	6.633,33 €			2.445,18 €

Hay que añadir los costes fungibles de oficina, los que no son susceptibles de ser amortizados: folios, fotocopias, cartuchos de tinta, CD ROM, USB3.0 de 1 GB, costes de elaboración y presentación, etc., que se pueden estimar en 150 €

Por lo tanto, el total de los costes directos es:

- Coste de personal.....8.923,60 €
- Costes de materiales directos.....2.595,18 €
- Costes directos.....11.528,78 €

V.4 Costes Indirectos

Los costes indirectos engloban todos aquellos que no están directamente relacionados con el proyecto. Estos costes se representan en la Tabla 5.7:

Tabla 5.7: Costes indirectos del proyecto.

Costes de mantenimiento de la oficina	
Potencia eléctrica	20,00 €
Teléfono	5,00 €
Otros costes indirectos	
Limpieza	100,00 €
Iluminación	20,00 €
Calefacción y climatización	150,00 €
Dirección y servicios administrativos	100,00 €
TOTAL	395 €

En particular, los costes indirectos derivados de la realización de este proyecto incluyen los gastos de explotación como, por ejemplo, los de electricidad, teléfono, servicios comunitarios, etc., además de los gastos de dirección y servicios administrativos.

V.5 Costes Totales

Para finalizar el estudio económico del proyecto, se calcula el coste total del mismo, sumando los costes directos e indirectos, tal y como se muestra en la Tabla 5.8, y en la Figura 5.1:

Tabla 5.8.- Costes totales.

Concepto	Costes totales
Costes totales directos	11.528,78 €
Costes totales indirectos	395 €
COSTES TOTALES DEL PROYECTO	11.923,78 €

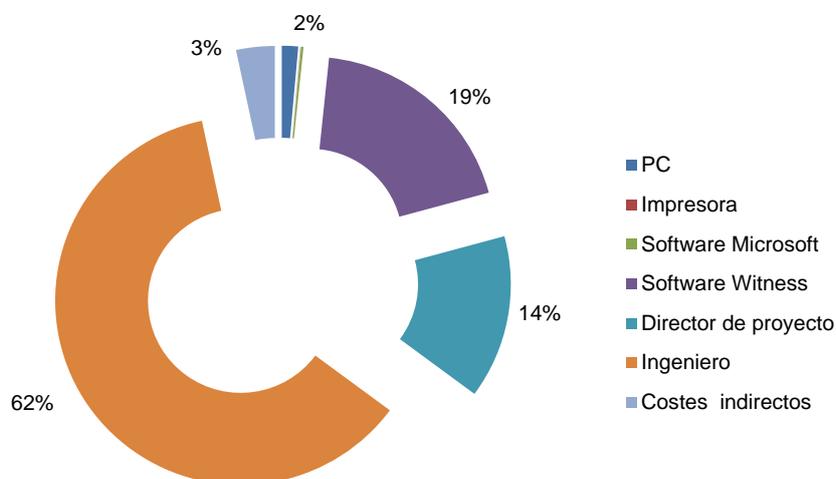


Figura 5.1.- Distribución de Costes.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Debido a la necesidad de ser competitivas, las empresas deben reducir sus costes para poder ofrecer productos de gran calidad y económicamente atractivos para los clientes.

En este camino hacia la reducción de costes, sin perder calidad de producto, eliminando o reduciendo al máximo los valores no añadidos a los productos, las organizaciones deben tomar decisiones encaminadas a tal fin.

Actualmente, y para obtener buenos resultados, las empresas confían en la simulación para ayudar a la toma de decisiones, y así poder intuir qué variables modificar para reducir gastos.

Estos sistemas de ayuda a la toma de decisiones no deben tomarse como válidos sin ser verificados y analizados cuidadosamente alimentando a los programas informáticos de simulación con datos tomados en los sistemas productivos reales (siempre y cuando sea posible) y estimando cuando sean datos no conocidos o imposibles de tomar en los sistemas reales.

En el presente trabajo se ha simulado el sistema productivo empleado en una de las configuraciones impartidas en el Aula Lean de la Escuela de Ingenierías Industriales perteneciente a la Universidad de Valladolid (pionera en España): la configuración de producción por lotes. Tras el trabajo realizado, se ha llegado a las siguientes conclusiones tras simular diferentes escenarios:

- Si el trabajo se desarrolla cuando el primer puesto tiene tiempo de preparación, es más idóneo trabajar en lotes de cuatro productos que en lotes de dos. Debido al cambio de útil que es necesario realizar dependiendo de si el vehículo es normal o todoterreno la producción diaria baja levemente.
- Cuanto menor es el tiempo de preparación del primer puesto de montaje mayor producción diaria se obtiene, ya que actúa de cuello de botella, retrasando la producción en tanto tiempo como requiera el cambio de útil, por lo que es interesante implementar una herramienta que disminuya este tiempo al máximo. Además, esto permitirá producir con una configuración *“once piece flow”*, al no perderse tiempo en función del vehículo a fabricar.

- Por otro lado, si los lotes de transferencia entre puestos es menor (uno en vez de dos), el trabajador encargado del transporte de los productos semiterminados y del vehículo final a expediciones se encuentra saturado, lo que lleva en algunos casos a parar la línea de montaje si no da prioridad a determinados movimientos para, de ese modo, no saturar los almacenes de producto en curso.
- Sin embargo, al trabajar con lotes de transferencia entre puestos de un producto semiterminado, hay momentos en los que la primera máquina, al ser cuello de botella, produce la parada de los puestos que le suceden, ya que a diferencia en los momentos de cambio entre esta máquina y las sucesivas es de medio minuto más.
- La sincronización entre la zona de montaje y MPM produce paradas en algunos puestos de la línea de montaje ya que al fabricarse en el taller de chasis toda la producción diaria de cada pieza de forma continua y no empezar otro tipo de pieza hasta que se acabe de producir la demanda diaria, provoca que haya ruptura de stock. Sin embargo, esto sucede al comienzo de la simulación, puesto que al acabar un día de trabajo se produce exceso de stock (que ocasiona costes) en los almacenes de las piezas que provienen del taller de chasis.
- Es necesario que la parte MPM fabrique la producción diaria con un día de antelación
- Con dos operarios para atender la logística interna no es suficiente para realizar el suministro de piezas en tiempo a todas las partes del taller de montaje, ya que se encuentran saturados ambos al 99%. Se solucionaría integrando al operario de la zona de chasis en la logística del taller de montaje, bien sea preparando pedidos o llevando grandes embalajes.
- La máquina de punzonado requiere de un cambio de útil cada vez que se cambie la fabricación de un tipo de pieza a otro. Por este motivo es interesante disminuir el tiempo de cambio de útil (actualmente 15 minutos) para alcanzar la producción en menor tiempo (eliminando la ruptura de stock anteriormente mencionada) e integrar este puesto en la línea de montaje.

Se puede concluir que la simulación es una forma idónea para tomar decisiones ya que en lo que no se obtengan unos resultados satisfactorios, no se aplicarán cambios al sistema real, evitando realizar cambios infructuosos y económicamente desastrosos.

A pesar de su gran ayuda para realizar cambios en los sistemas productivos, también se debe tener en cuenta la preparación de los ingenieros y su conocimiento del sistema real para no caer en errores y poder realizar más ágil la simulación, y a su vez no caer en errores por desconocimiento.

TRABAJO FUTURO

Una vez desarrollado el presente proyecto, se hace necesario realizar algunas mejoras. Por ejemplo, para permitir interactuar más fácilmente con el software sin necesidad de entrar en la rutina de éste, permitiendo simular diferentes escenarios a través de variables externalizadas, resultaría conveniente hacer un uso más intensivo de las hojas Excel. En este sentido, convendría externalizar las variables encargadas de:

- Variar los tiempos de cambios de Setup en las máquinas del modelo.
- Variar la cantidad de lote de transferencia entre puestos.
- Introducir aleatoriedad en la fabricación.
- Variar los tiempos de ciclo de las máquinas.
- Variar la capacidad de los pequeños y grandes embalajes

Además de incluir estas mejoras del programa, que permitirán realizar diferentes casos de simulación de forma fácil e intuitiva a través de una simple hoja de cálculo, el modelo también ha de mejorarse para representar más fielmente a la realidad, ya que actualmente hay algunos matices que se encuentran aún por definir:

- Cálculo de los tiempos de demora de entrega del Producto Terminado al cliente, teniendo en cuenta la frecuencia de pedido y el vehículo pedido

en cada instante, dejando un registro de al menos los tiempos de 100 vehículos.

- Realizar las transferencias de producto en curso entre los almacenes precedentes a los puestos de trabajo de la línea de montaje, mediante los elementos *Path* del software *Witness*.
- Señales luminosas que indiquen visualmente la situación de cada uno de los estantes que abastecen a las máquinas, mediante los colores verde (no ha realizado pedido), amarillo (ha realizado un pedido) y rojo (realiza un pedido urgente), para indicar cuándo debe realizarse la reposición de estos almacenes.
- Ajustar con mayor precisión y fidelidad las averías de las máquinas de punzonado y MPM.

Por esto es interesante que en años venideros se realicen estos cambios para complementar el presente trabajo, y pueda ser de gran fiabilidad para el desarrollo de las simulaciones reales en la Escuela Lean.

También es interesante estudiar otro tipo de configuraciones que se desarrollan en las clases impartidas en la Escuela Lean, para poder realizar comparaciones rápidas y fiables entre diferentes sistemas. Por ello, se debería continuar en esta línea con la simulación del sistema de producción “once piece flow”

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS

Galgano, A. (2003). *Las tres revoluciones: Caza del desperdicio: Doblar la productividad con la Lean Production*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.

Piera, M.A., Guash, T., Casanovas, J., Ramos, J. (2006). *Cómo mejorar la logística de su empresa mediante la simulación*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.

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

Hernández, J.C. (2013). *Lean manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación*. Madrid: Ediciones: Fundación EOI.

Rajadel, M. (2010). *Lean manufacturing. La evidencia de una necesidad*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.

Shanon, R. (1976). *Systems simulation: the art and science*. Ediciones Prentice Hall

Soret, I. (2006). *Logística y Marketing para la Distribución*. ESIC Editorial.

CONSULTAS EN INTERNET

Periódico de economía. Disponible en <http://www.expansion.com/>

Fecha de la última consulta: 21/08/2014

Página oficial de Lanner. Disponible en <http://www.lanner.com/en/witness.cfm>

Fecha de la última consulta: 20/08/2014

Revista de logística. Disponible en <http://www.revistadelogistica.com>

Fecha de la última consulta: 20/08/2014

MANUALES

1. Primeros pasos con Witness [Ortega, García]. 2010
2. Manual básico de Witness. [Universidad de Valladolid]

