



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

Grado en Ingeniería mecánica

**Simulación en Witness de la nueva línea
de mecanizado de cigüeñales de Renault
Valladolid**

Autor:

Escudero González, Carlos

Tutores:

De Benito Martín, Juan José

Sanz Angulo, Pedro

**Dpto. de Organización de Empresas y
Comercialización e Investigación de Mercados**

Valladolid, marzo 2017

Resumen

La empresa, al igual que el ser humano, es un ente dinámico que se encuentra en constante evolución, de forma que su capacidad para adaptarse al medio es lo que hace que sobreviva en este ámbito tan cambiante como lo es el siglo XXI. Es en este siglo, precisamente, cuando los sistemas de información han experimentado un avance sin precedentes, provocando una evolución en los métodos de estudio tradicionales, incluidos los softwares de simulación.

El objetivo principal del trabajo fin de grado es analizar la línea de mecanizado que se va a instalar en Renault Valladolid a través del programa de simulación Witness. De esta forma, podremos aportar ideas de mejora y resolver muchos problemas sobre el diseño, además de contribuir a mejorar la operativa y eficiencia de la instalación.

La simulación del escenario permitirá evaluar la estimación de producción y rendimiento que vamos a obtener y, de esta manera, podremos anticipar si se alcanzarán los objetivos previstos propuestos y si la instalación será rentable.

Palabras Clave

Simulación, Witness, Renault, Línea de mecanizado, Modelo

Abstract

The companies, like the human being, are dynamic entities that are constantly evolving, so that their ability to adapt to the environment is what makes them survive in this changing field that the XXI century is. It is in this century, precisely, when information systems have experienced an unprecedented advance, causing evolution in traditional study methods, including simulation software.

The main objective of the bachelor thesis is to analyze the line of machining to be installed in Renault Valladolid through the simulation program Witness. In this way, we will be able to contribute ideas to improve and solve many problems on the design, besides contributing to the improvement of the operative and the efficiency of the installation.

The scenario simulation can evaluate the production estimate and the yield that we are going to obtain; in this way, we can anticipate if the expected objectives were reached and the installation will be profitable.

Key Words

Simulation, Witness, Renault, Machinig line, Model

Agradecimientos

A mis padres y hermanos por el esfuerzo que han realizado todos estos años.

A Miriam por todo el apoyo que me ha dado.

A Pedro por toda la ayuda prestada en la redacción de este documento.

A L. Ortiz e I. Raedo por la oportunidad de introducirme en el mundo laboral y realizar este proyecto.

A Renault por la información obtenida de la intranet. <http://www.renault.es/>

Índice

INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes.....	1
Motivación.....	2
Objetivos.....	3
Estructura de la memoria	3
1. RENAULT. PROCESO DE MECANIZADO DE CIGÜEÑALES EN LA FACTORÍA DE VALLADOLID.	5
1.1. Historia de RENAULT en España y la factoría de Valladolid.....	5
1.2. Líneas de cigüeñales en la factoría de Valladolid	9
1.3. Concepción del sistema industrial.....	11
1.4. Cigüeñal.....	14
1.5. Proveedores	16
1.6. Proceso de mecanizado de cigüeñales	18
1.7. Línea de mecanizado de cigüeñales VI07	20
1.8. Implantación	26
1.9. Flujo de piezas.....	28
1.10. Almacenes y transporte de piezas.....	34
2. SIMULACIÓN. WITNESS.....	37
2.1. Introducción a la simulación. ¿Qué es?.....	37
2.2. Ventajas e inconvenientes	38
2.3. Aplicaciones.....	39
2.4. Software para la elaboración de simulaciones.....	41
2.5. Witness.....	42
2.5.1. Características de Witness.....	43
2.5.2. Modelado en Witness.....	45
3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO EN WITNESS	55
3.1. Recopilación de datos de entrada. Fichas de proveedor.....	56
3.2. Elementos de modelización	62
3.3. Construcción del modelo.....	64
3.4. Desarrollo del modelo	80
3.4.1. Configuración inicial	80
3.4.2. Definición de elementos.....	81

4. VERIFICACIÓN DEL MODELO Y VALIDACIÓN.	99
4.1. Validación del modelo	99
4.2. Obtención de resultados.....	100
4.3. Análisis de resultados	107
5. ESTUDIO ECONÓMICO	109
5.1. Objetivo del estudio económico	109
5.2. Costes del proyecto	109
5.2.1. Directos.....	109
5.2.2. Indirectos	111
5.2.3. Totales	111
6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.....	115
6.1. Conclusiones	115
6.2. Líneas futuras	117
7. BIBLIOGRAFÍA.....	119

Introducción

Antecedentes

Las instalaciones industriales son entes dinámicos y se encuentran sometidas a numerosos cambios, ya sean planificados o no, que afectan al rendimiento y a la capacidad de producción. Como cambios programados destacamos los cambios en el volumen de producción, ampliaciones de fabricación y de volumen de producción, automatización de procesos, aumento de carga de trabajo de sistemas de transporte. Como cambios no programados se incluyen averías, ensayos, paradas programadas de mantenimiento, calibraciones, reglajes, cambios de dimensiones, etc.

Todos los cambios producen pérdidas en el rendimiento que se traducen en una reducción de las rentabilidades del sistema industrial; por ende, es de vital importancia detectar estos cambios, estudiar sus posibles efectos y tratar de solucionarlos en el menor tiempo posible y con la mejor solución para obtener el máximo beneficio.

La posibilidad de anticiparse a los cambios y de predecir sus consecuencias genera la capacidad de adaptación y, como resultado, la mejora de la empresa frente a sus competidores. El estudio de cómo pueden afectar los cambios a nuestra capacidad de fabricación contribuirá a la mejora continua de nuestro medio de producción.

Es importante conocer los límites de producción de las máquinas, así como el límite de volumen de transporte de nuestro sistema de transporte. La evolución en el sistema de producción tiene que ir de la mano con la evolución en el sistema de manutención porque si ambas cosas no evolucionan a la par los cambios no se podrían aprovechar en su totalidad.

En muchos de los procesos modernos, se comprueba que las herramientas tradicionales de estudio no son capaces para realizar un estudio completo que suponga una optimización sobre el proceso original. En el proyecto que realizamos utilizamos herramientas informáticas de simulación con el fin de obtener una serie de resultados más detallados que si lo realizáramos con métodos tradicionales.

Las herramientas informáticas de simulación proporcionan la posibilidad de dominar todas las variables que se consideran necesarias para modelizar el sistema. La utilización de tantos elementos como sean necesarios

proporcionaran una simulación más veraz. La simulación permite, además, introducir cambios de forma rápida y fácil.

Debido a los motivos que hemos expuesto, con la realización de este proyecto pretendemos dar una respuesta y ayudar en la concepción del sistema industrial con los sistemas de simulación debido a que los sistemas tradicionales no pueden ofrecer estos resultados.

Motivación

La realización del proyecto “Simulación en Witness de la nueva línea de mecanizado de cigüeñales de Renault Valladolid” conlleva el estudio de una línea de mecanizado de cigüeñales que se va a instalar en la factoría de Valladolid a lo largo de los años 2016 y 2017.

Para realizar el estudio del sistema industrial existen infinidad de sistemas tradicionales que, en la mayoría de los casos, son capaces de garantizar un resultado aceptable y un buen análisis. Por otra parte, encontramos algunos procesos más complejos que exigen un dominio de la materia para poder realizar una reducción de costes, una mejora del rendimiento o una evolución para la mejorar del sistema general.

La instalación que vamos a estudiar está formada por 44 máquinas que se nombran por OPXX donde XX es el número de operación. Además, la línea cuenta con una manutención que es la encargada de alimentar las máquinas procediendo a su carga y a su descarga. A mayores, la manutención se encarga de transportar las piezas por toda la línea. Esta manutención se nombra por PORXX, donde XX corresponde con la operación a la que alimentan.

Las máquinas se dividen a lo largo de la línea en cuatro ramales conformando una línea similar a la típica línea en U. El primer ramal contiene las máquinas encargadas de realizar los mecanizados de desbaste, mientras que el segundo ramal contiene las máquinas responsables de las operaciones especiales. En el tercer ramal se encuentran las máquinas encargadas de los semiacabados. Por último, en el cuarto ramal se sitúan las máquinas de superacabado, lavado, secado de la pieza y los puestos de control automático y control visual por parte del operario de control.

La implantación de la nueva línea de cigüeñales en Valladolid va en consonancia con la que se va a instalar en Cléon (se denominan líneas gemelas) y pertenecen al nuevo modelo de líneas ASL del Grupo RENAULT, de ahí la relevancia del estudio que radica en conseguir una línea con buen diseño y alto rendimiento. Principalmente, se buscará que cumpla con los objetivos propuestos de

producción anual y producción por turno, así como un tiempo contenido de fabricación de la pieza. También se optimizará el número de stocks en línea: lo ideal es que sea tan bajo como sea posible y suficiente para asegurar el funcionamiento idóneo.

Objetivos

La realización del proyecto “Simulación en Witness de la nueva línea de mecanizado de cigüeñales de Renault Valladolid” persigue estudiar una futura línea de mecanizado para lograr que su diseño sea conforme a los objetivos de rendimiento, producción y tiempo de mecanizado que se le exigen.

A través de la simulación se pretende **analizar la línea de mecanizado** para ver si funcionamiento previsto es correcto. Se va a proceder a **aportar ideas de mejora y resolver muchos problemas sobre el diseño** gracias a que, mediante la simulación, vamos a poder identificar todos los puntos críticos.

Se pretende **contribuir a mejorar la eficiencia de la instalación** mediante la detección de todos los posibles cuellos de botella, además de todas las disfuncionalidades de diseño que perjudiquen el rendimiento.

A través de la toma de resultados se viene a **evaluar la estimación de producción y rendimiento**. De esta forma, se busca **anticipar si se alcanzarán los objetivos previstos propuestos** para, en caso de no conseguirlos, poner las soluciones pertinentes en la fase de diseño porque los costes en esta fase son asumibles respecto a lo que supondría generar modificaciones una vez se instalase la línea de mecanizado.

Estructura de la memoria

El análisis de la línea de mecanizado se realiza a través de una simulación con el programa Witness. El proyecto contiene los siguientes capítulos.

El primer capítulo, con título “**RENAULT. Proceso de mecanizado de cigüeñales en la factoría de Valladolid**”, trata sobre la historia de la compañía desde su asentamiento en Valladolid hasta el día de hoy. El capítulo cuenta con una introducción de la pieza cigüeñal, del proceso de mecanizado de esta pieza y de las líneas de fabricación, así como el flujo que discurre a través de la línea.

El segundo capítulo, “**SIMULACIÓN Witness**”, contiene una pequeña introducción sobre lo que es una simulación. Presenta las ventajas e inconvenientes que supone realizar una simulación, así como las aplicaciones posibles. También cuenta con una lista de los simuladores más utilizados en la

actualidad. En el último apartado se desarrolla todo lo referente a Witness, las características del programa y como se hace un modelado.

El tercer capítulo, titulado **“Construcción del modelo en Witness”**, recoge todos los pasos que se realizan para elaborar el modelo en el programa Witness. Comienza con la recopilación de los datos, la elección de los elementos para el modelado y explica cómo se construye el modelo.

El cuarto capítulo, **“Verificación del modelo y validación”**, explica cómo se desarrolla la verificación del funcionamiento del modelo de simulación, así como la validación por parte de los implicados en el desarrollo del proyecto. Contiene los resultados obtenidos y un análisis para un entendimiento mejor de su significado.

El quinto capítulo se dedica al **“Estudio económico”**. Incluye un análisis de los costes que supone el desarrollo del presente trabajo fin de grado.

El sexto y último capítulo, con título **“Conclusiones y líneas futuras”**, expone los resultados obtenidos del estudio del proyecto, así como sugerencias de líneas de estudio para su futuro desarrollo.

1. RENAULT. Proceso de mecanizado de cigüeñales en la factoría de Valladolid.

En este capítulo vamos a presentar, a grandes rasgos, cómo ha discurrido la historia de Renault en España; desde que se asentó por primera vez en Madrid hasta lo que conocemos hoy en día, con sus centros en las ciudades de Sevilla, Madrid, Palencia y Valladolid. Cabe destacar que nos vamos a centrar en la factoría de la ciudad de Valladolid ya que, además de ser la más grande de España, es el centro en el que se encuentra la línea de nuestro estudio.

Por otra parte, vamos a exponer cuáles son los pasos que se siguen en el ámbito de Renault para la creación de una línea de mecanizado. En este caso, la línea se encarga de la fabricación de cigüeñales. Además, vamos a explicar cómo afecta al rendimiento de la línea el diseño del flujo y el dimensionamiento de los stocks.

1.1. Historia de RENAULT en España y la factoría de Valladolid

A finales del año 1907 y principios de 1908 Louis Renault creó en Madrid la Sociedad Anónima Española de Automóviles Renault (SAEAR), mediante la cual y bajo licencia Renault se construyeron y comercializaron en España automóviles (motor y chasis) de la marca francesa, ya que el cliente los tenía que carrozar posteriormente. La sociedad creó paulatinamente una red de concesionarios en las principales capitales de provincia convirtiéndose con el paso de los años en Renault España S.A. (RESA).

Manuel Jiménez-Alfaro y de Alaminos, que regentaba el puesto de Teniente Coronel de Armamento y Construcción del Ejército, firmó el 12 de febrero de 1951 con la Regie Nationale de Usines Renault un contrato para la fabricación en España del modelo 4CV. El 19 de octubre de 1951 la Dirección General de Industria le autorizó a instalar en Valladolid una industria para la fabricación de este modelo.

Así, el 29 de diciembre de 1951 se constituye la empresa Fabricación de Automóviles S.A. (FASA), siendo inscrita en el Registro Mercantil de Valladolid el día 31 de diciembre del mismo año. Había nacido la primera empresa privada de automóviles de España. Las obras de la “Nave de Montaje” empezaron en el verano de 1952 y se construyó en un tiempo record. Esta primera nave estaba situada en el paseo del arco de ladrillo y el nombre que se eligió para su denominación fue Montaje-1. A mayores de la nave de montaje se construyó una central térmica para abastecer de energía a las instalaciones.

La otra persona clave fue Santiago López González, socio fundador y Consejero Secretario del Consejo de Administración durante más de cuarenta años, quien siendo alcalde de la ciudad consiguió reunir junto con un puñado de empresarios los 60 millones necesarios para poner en marcha el proyecto e instalar en Valladolid, la fábrica FAMESA, Fabricaciones Mecánicas S.A. donde se fabrican los motores, y FACSA, Fabricación de Carrocerías S.A. Ambas empresas, aprovecharon el Polo de Desarrollo Industrial de Valladolid, integrándose luego en F.A.S.A. El 12 de agosto de 1953 salieron las primeras once primeras unidades del Renault 4CV; como anécdota, cabe destacar que recorrieron la ciudad sin matrícula hasta llegar a la plaza del Ayuntamiento.

A finales de año se habían fabricado 707 unidades del Renault 4/4. En 1959 dejó de fabricarse dando paso a su heredero denominado Renault Dauphine. El modelo estrella de FASA nació diez años después, el Renault 4L, del que el 90% del valor de las piezas tenía que ser fabricado en España por la ley de 1957. Este mismo año, FASA Renault compró ISA (Industrias Subsidiarias de Aviación) que desde 1958 comenzó a fabricar las cajas de velocidades en el centro de trabajo que ISA poseía en la ciudad andaluza de Sevilla.

La ley de integración sirvió para consolidar las bases de una industria automovilística potente en España. En 1972, coincidiendo con el estreno del nuevo logo que podemos ver en la Ilustración 1.1, se abrió el mercado a la competencia extranjera mediante el “decreto Ford”, el gigante americano inauguró las instalaciones de Valencia y de esta forma Renault tuvo que competir ya sólo con SEAT, aunque tampoco perdió pie en esta lucha. Este mismo año, el por entonces príncipe Juan Carlos I, inauguró la factoría de Montaje 2, y se lanzó también el proyecto para construir una tercera fábrica, esta vez en la localidad palentina de Villamuriel de Cerrato, cuya situación es muy próxima a la de la capital.

Las huelgas de 1974, cierres patronales, ocupaciones de fábricas y despidos paralizaron la situación de la apertura de la factoría de Palencia durante 4 años. A mayores de estos hechos, en la nave de Montaje 2 ocurrió un incendio el 30 de octubre de 1974 a las 5:40 de la mañana. El incendio comenzó sobre la cota 0 y se extendió rápidamente sobre los almacenes donde la mercancía en llamas generó un humo muy tóxico, provocando la muerte de 10 trabajadores y que 31 personas resultaran heridas. Las pérdidas económicas para la compañía se estimaron en más de 350 millones de pesetas de la época.



Ilustración 1.1 Evolución de la insignia de Renault desde su creación hasta el año 2007

La muerte de Francisco Franco en noviembre de 1975 creó un periodo de incertidumbre que volvió a paralizar el proyecto. Sin embargo, el por entonces presidente Bernard Vernier-Palliez visitó España y anunció a los directivos de FASA-Renault que confiaba en el futuro económico y político del país y que había decidido lanzar el proyecto de la Factoría de Palencia. El 2 de enero de 1978 salió el primer Renault 12 de la línea que sita en Villamuriel la cual se encontraba aun en obras y con ayuda de algunas piezas que venían montadas de Valladolid. Los Reyes de España inauguraron en octubre de ese año oficialmente la fábrica.

En la década de los ochenta la industria española se reconvirtió y se abrió a los mercados internacionales debido, sobre todo, a la entrada de España en la Unión Europea en el año 1986. Cinco años después, las exportaciones de los vehículos Renault fabricados en España superaron a las ventas nacionales. Como curiosidad, ese mismo año se dejó de fabricar el modelo R4 que había inaugurado las exportaciones y que también posee el record de modelo Renault con más años de fabricación y es que fueron nada más y nada menos que 29 años los que estuvo en producción.

La Factoría de Sevilla tuvo una gran revolución en el año 2005 con la producción de la caja de velocidades TL4, el primer órgano mecánico de la Alianza Renault-Nissan que se había constituido en el año 1999.

Actualmente fabrica cuatro modelos diferentes y exporta la producción a 4 continentes. La Factoría de Motores de Valladolid también exporta el 80% de la producción. Desde el mítico motor C que montó el Renault 8 pasando por la filosofía del motor E que buscaba el ahorro de combustible y el adelanto de las normas anti contaminación hasta los nuevos motores Energy. Superada la cifra de los 21 millones de motores fabricados es la fábrica más importante del grupo por Volumen de motores fabricados.

A día de hoy, la innovación sigue siendo una seña de identidad de la marca del rombo donde vemos su nuevo logo en la Ilustración 1.2 lo que supuso la instalación en Valladolid de la Nave “Twizy” donde se fabrica este carismático modelo que está equipado con propulsión 100% eléctrica.



Ilustración 1.2 Logo actual de Renault

Cabe destacar que en la Factoría de Motores se producen actualmente los motores diésel cuya nomenclatura es K9 y los motores de gasolina cuya nomenclatura es H4 y H5 para todas las marcas y mercados de la Alianza Renault Nissan (Ilustración 1.3) que cuenta con marcas como Dacia, Infiniti, Lada y Renault Samsung Motors. La alianza, además, tiene un partenariado con la casa Daimler en la que existen sinergias para la creación conjunta de nuevos modelos de vehículos.



Ilustración 1.3 Logo de la alianza

1.2.Líneas de cigüeñales en la factoría de Valladolid

Las líneas de mecanizado de cigüeñales en la factoría de Renault Valladolid, que vemos en la Ilustración 1.4, comienzan a instalarse en los años noventa con la construcción de la línea cigüeñal 1 “VI01”, donde VI es el diminutivo de vilebrequin, vilebrequin es la traducción de cigüeñal en francés. Esta línea se diseñó para fabricar los cigüeñales del motor K4 (motor 1600cc 16V de gasolina atmosférico).



Ilustración 1.4 Plano general de las instalaciones de Renault Valladolid

La línea VI01 se implantó en la nave Motores 1, que podemos observar en la Ilustración 1.5. Esta línea suministraba cigüeñales a la línea de montaje motor K4 que se encontraba en la nave Motores 3. La línea de montaje motor K4 se desmanteló en el verano de 2015 y actualmente los cigüeñales que produce la línea se exportan a otras factorías del grupo en las que aún se siguen montando motores K4.

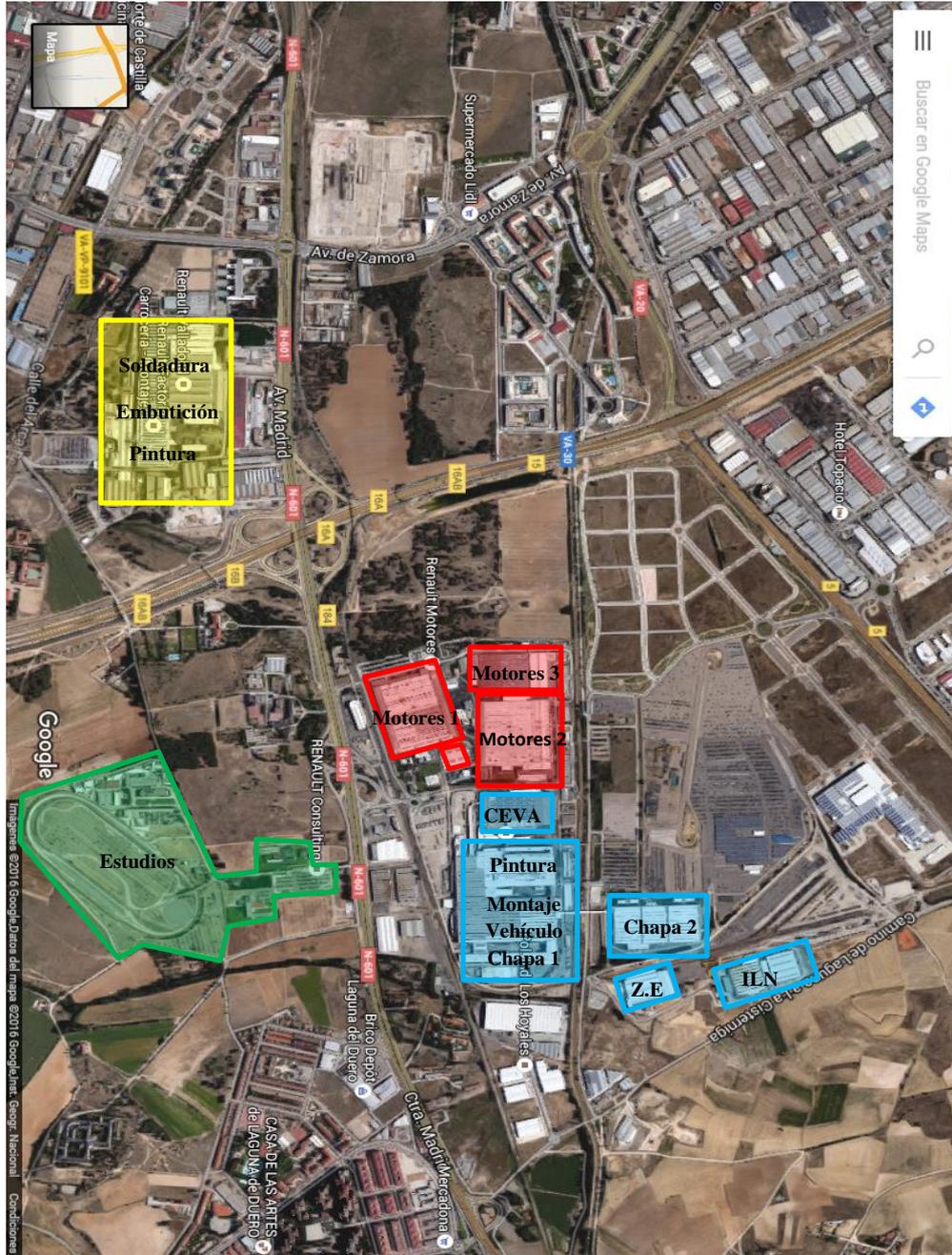


Ilustración 1.5 Plano general de la factoría de Renault Valladolid adaptado para señalar las zonas de trabajo. Fuente: <https://www.google.es/maps>

La nave Motores 1 alberga todas las líneas de mecanizado de cigüeñales que existen en la factoría de Valladolid. La línea sobre la que vamos a hacer el estudio se va a construir en la ampliación de la nave que se ha realizado a lo largo del primer semestre de 2016; de esta forma, las líneas van a ocupar un espacio cercano para aprovechar las instalaciones comunes que necesitan como, por ejemplo, los talleres de reglaje de herramientas o las salas de medición y control de piezas.

1.3. Concepción del sistema industrial

La concepción del sistema industrial es uno de los órganos componentes de un proyecto. Este órgano es el encargado de definir y construir una línea de fabricación. En el ámbito de RENAULT, la concepción del sistema industrial está subdividida en las tres áreas de trabajo que se muestran en la Ilustración 1.6.

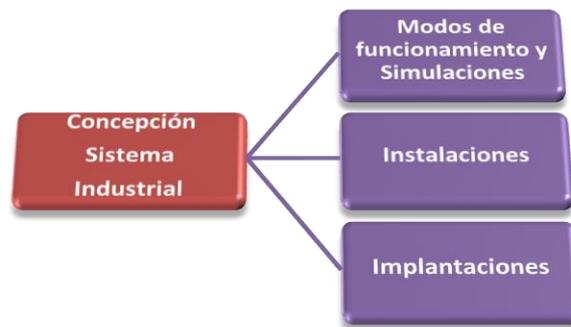


Ilustración 1.6 Sinóptico del órgano de trabajo CSI

Respecto a los **modos de funcionamiento y simulaciones**, los componentes del área de trabajo de MdF y simulaciones son los encargados de definir cómo trabaja la línea. Además, realizan las simulaciones en el Software Witness para adelantarse a los posibles problemas que se podrían encontrar en el diseño.

Por la parte de **implantaciones**, los componentes del área de trabajo de implantaciones son los “dueños” del plano. Éstos se encargan de generar los planos en formato de CAD, descargar las máquinas del transporte que llegan a la factoría e implantarlas en su correcta posición.

Desde el punto de **instalaciones**, los componentes del área de trabajo de instalaciones son los encargados de definir todas las redes (hidráulicas, neumáticas, eléctricas, etc.) necesarias para dar servicio de energías a las máquinas que componen la línea y que funcionen correctamente. El grupo de centrales de filtración se encuentra en este apartado y son los encargados de diseñar estas máquinas que tan importantes son en una fábrica de mecanizado.

La organización de los trabajos que lleva a cabo el órgano de trabajo concepción sistema industrial, comúnmente llamados CSI, los lleva a cabo el jefe de la unidad. Mediante una reunión periódica semanal hace que confluyan todos los puntos con respecto al proyecto.

El estudio que vamos a realizar en este trabajo lo haremos desde el punto de vista de los modos de funcionamiento y la simulación. Los puntos principales de esta área de trabajo son los que vamos a ir describiendo uno por uno.

Modos de funcionamiento

El modo de funcionamiento de una línea es la forma mediante la cual queremos que la línea funcione desde diferentes ámbitos. Es un tema en el que hay que ser muy minucioso, ya que se debe tener en cuenta varios puntos básicos para que la forma de funcionar de la línea sea coherente, sencilla, segura y para conseguir que su rendimiento sea el esperado.

El **contexto de la línea** corresponde con una primera aproximación de dónde se va a construir la línea, así como de qué máquinas va a estar compuesta y qué tipo de estructura va a seguir. Para definir este apartado se hace necesario el estudio de las superficies de la fábrica que hay disponibles para la implantación de la línea. También es necesario definir la gama de fabricación del producto aproximada con el fin de ver la necesidad de máquinas para lograr los objetivos de fabricación que se piden. Otro punto a tener en cuenta es saber qué clientes va a tener la línea para valorar si hay que tener una zona de exportación, por ejemplo, además de tener en cuenta los proveedores por motivos de realización de importaciones y el espacio ocupado por las piezas.

Los **flujos** son elementos importantes a la hora de concebir el sistema industrial, ya que una buena organización de flujos nos ayuda a ser más competitivos y seguros. En los flujos se pueden distinguir dos tipos, los flujos internos que son los que discurren por la línea y los flujos externos que recogen los flujos de llegada y de salida a la línea

Los **recursos** corresponden con otro de los temas importantes: la organización de los trabajadores. Como en el punto anterior, una buena organización de los recursos permite una línea con un mejor rendimiento.

Las **instalaciones** suelen ser una de las cosas menos vistosas dentro del diseño de una línea. Hay que tener en cuenta toda la energía que necesita una línea y dimensionarla bien para ser capaces de tener suministro en todo momento.

La **implantación de los medios** es uno de los puntos más delicados dentro de la concepción del sistema industrial. Resulta complicada debido, entre otras causas, a la delicadeza que presentan los medios, así como la precisión que se necesita en su colocación. El punto crítico generalmente suele ser la descarga desde el camión que ha realizado el transporte.

Simulaciones

La simulación aporta un valor fundamental en la concepción del sistema industrial porque suministra información que apoya la toma de decisiones en la concepción de la línea. Mediante la simulación podemos anticipar algunos de los errores futuros que podríamos cometer; de esta forma, podemos solucionarlos en la definición de la línea, lo que es muy ventajoso desde varios puntos de vista, sobre todo el económico.

La **recopilación de datos** es el primer punto que realizamos. Existen unas tablas Excel creadas por los simuladores que los gestores de medios tienen que rellenar con los datos de sus medios. Existen puntos para explicar el tipo de máquina y el tipo de mantenimiento, así como para explicar las tasas de fallo y las tasas de cambio de herramienta.

La **realización de los modos de funcionamiento** para concebir cómo va a funcionar la línea y cómo van a funcionar las máquinas. Si la realización de los modos de funcionamiento es muy detallada el funcionamiento del modelo de simulación será muy parecido a la realidad y será más representativo. Por el contrario, si no se detallan es probable que la simulación no sea representativa.

La **realización de la simulación** se lleva a cabo por la persona de CSI encargada de realizar los modos de funcionamiento y las simulaciones. Con los datos obtenidos en la recopilación de datos y el modo de funcionamiento es capaz de realizar un modelo representativo para obtener los resultados.

La **toma y análisis de resultados** tiene varios objetivos. El primero es dimensionar la línea conforme a las exigencias para la que se diseñan (obtención de las producciones, un buen rendimiento, un cambio en la producción poco penalizante, etc.). La simulación también nos permite ver cuáles son los puntos críticos en el funcionamiento de la línea puesto que mediante la programación realizada en el modelo podemos llegar a sacar conclusiones importantes de estos problemas. Otro punto importante es verificar los datos que nos dan los proveedores sobre sus máquinas y comprobar que son válidas para la línea que estamos diseñando, tanto en objetivos de tiempos de ciclo como en las tasas de fallo o en las tasas de cambio de herramienta; si se desconocen estos datos, o si son incorrectos, no se podrán dimensionar correctamente los stocks, tal y como se explicará en el apartado 1.10.

1.4.Cigüeñal

El cigüeñal que podemos ver en la Ilustración 1.7 es un elemento del motor consistente en un eje acodado, en el que la biela va conectada a las muñequillas que presenta el cigüeñal y éste va soportado en el bloque motor sobre los apoyos. El cigüeñal es el encargado de convertir el movimiento lineal del conjunto pistón biela en un movimiento circular aplicando el principio del mecanismo biela-manivela del que podemos aprovechar la potencia para transmitirla a las ruedas.

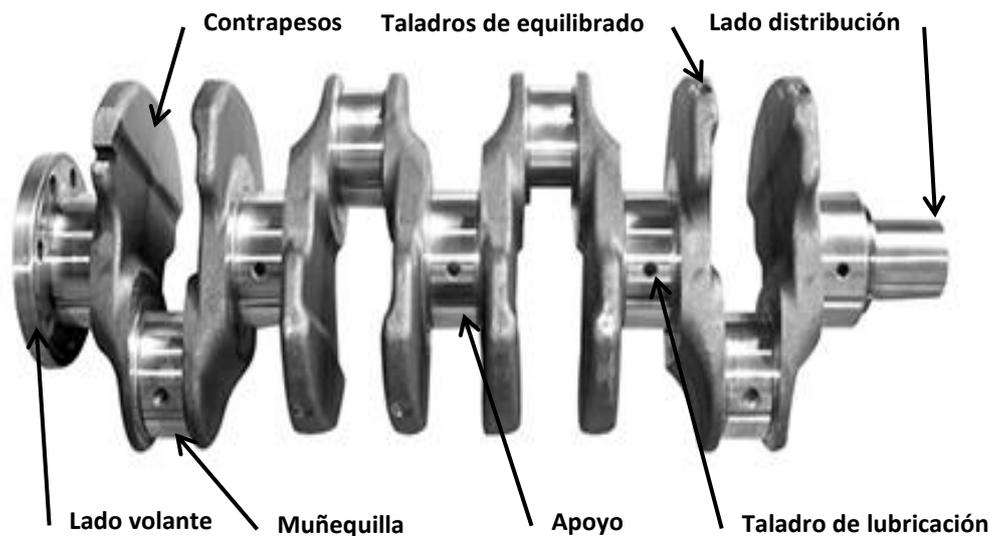


Ilustración 1.7 Fotografía de un cigüeñal con los elementos principales

El diseño del cigüeñal es complejo. Antiguamente solían ser de fundición conformados por forja, aunque hoy en día, generalmente, se fabrican con aleaciones capaces de soportar grandes esfuerzos que pueden hacer que se rompa debido, entre otros motivos, a la fatiga. Hay que tener en cuenta que la dureza del material tiene que estar controlada y no sobrepasar el rango de cifras de 35-45 Rockwell C, ya que la aleación pasaría a ser frágil, lo que se ve agravado porque puede tener perforaciones y conductos para el paso del fluido lubricante, además de secciones de unión muy estrechas.

La línea que vamos a estudiar es la encargada de fabricar los cigüeñales para la nueva generación de motores de gasolina de baja cilindrada del grupo RENAULT cuya nomenclatura corresponde con H4 y H5. La necesidad de evolucionar los cigüeñales corresponde con la adaptación de los motores a las nuevas normativas anticontaminación que propone la UE para la disminución de emisiones contaminantes. Por parte de RENAULT también es muy importante el desarrollo de nuevos motores más eficientes y más potentes para seguir siendo

competitivos y cumplir con la responsabilidad de cuidado del medio ambiente. A mayores de estos factores, también importa la reducción del gasto de energía en el mecanizado de las piezas; para este objetivo se instauró la política Eco2 mediante la que se llevan acciones de reducción de gasto de energía en todos los procesos de mecanizado y ensamblaje.

La ingeniería de proceso de mecanizado de cigüeñales de RENAULT se compone del piloto de proyecto, los conceptores de proceso y los gestores de medios de mecanizado y de medios de mantenimiento, tal y como podemos ver en la Ilustración 1.8.



Ilustración 1.8 Sinóptico del órgano de trabajo cigüeñales

El piloto del proyecto, perteneciente al órgano de cigüeñales, se encarga de organizar a los miembros de su equipo y planificar las acciones realizadas desde el órgano CSI para la correcta creación e instalación de la línea.

Los conceptores de proceso son los responsables de crear el proceso de mecanizado, así como de documentarlo y generar las fichas técnicas de proceso. También son los responsables de determinar el número de máquinas necesarias para elaborar todos los mecanizados del proceso en el cigüeñal.

Los gestores de medios del órgano de cigüeñales se encargan de enviar las características, medidas, cotas, etc., que tiene que cumplir el cigüeñal a los proveedores para que éstos oferten las máquinas que van a realizar el proceso. Mediante una acotación técnica se elegirán las que mejor realicen el proceso en el tiempo especificado.

1.5. Proveedores

Desde el punto de vista general para la creación de una línea podemos contar con cinco tipos de proveedores fundamentales: los proveedores de las máquinas, el proveedor de manutención, el proveedor de cigüeñales, el proveedor de obra civil y los proveedores de instalaciones. Si nos centramos en el estudio de la línea mediante simulación los proveedores fundamentales van a ser dos: el proveedor de máquinas y el proveedor de manutenciones.

Dentro del grupo de cigüeñales tenemos a los llamados CAMI; estas personas son las encargadas de gestionar los medios industriales. La gestión de medios industriales consiste en la compra de las máquinas y manutenciones como principal cometido, de lo que surgen como actividades secundarias el tener que contactar con los proveedores, hacer la acotación técnica de la máquina que les ofrecen, probar la factibilidad de la realización de la operación que se les solicita, etc.

Los CAMI cuando trabajan con los proveedores consiguen la información que necesitamos desde simulaciones a través de un documento que se llama ficha "FMD", las siglas FMD son un acrónimo de Fiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad. Las fichas FMD contienen los siguientes datos para realizar la simulación:

- Tiempo de ciclo: tiempo de mecanizado de una máquina o tiempo de transporte y manipulación de una manutención para cada diversidad (en minutos y centésimas de minuto).
- Piezas por ciclo: número de piezas sobre la que opera la máquina en el tiempo de ciclo.
- Tasas de fallos. Los datos de este elemento puedes ser de dos tipos: la media del tiempo entre paradas (en minutos) y la media del tiempo de parada (en minutos) o bien la frecuencia de parada por cada x piezas realizadas y la media del tiempo de parada (en minutos).
- Tasas de cambio de herramienta: la duración de vida de la herramienta (en número de piezas) y el tiempo de cambio de herramienta (en minutos).
- Tiempo de cambio de ráfaga: el tiempo en cambiar el utillaje de la máquina para fabricar otro modelo (en minutos).

Para el caso de la manutención el trabajo difiere un poco respecto del que estamos acostumbrados a ver en los proveedores de máquinas de mecanizado. Los proveedores de los pórticos o robots en vez de trabajar con las fichas FMD trabajan con Cronogramas o Ciclogramas.

En los cronogramas se describe el ciclo que haría el pórtico o el robot encargado de la carga y descarga en la operación con la duración del ciclo (en minutos); esta duración es la que describe el tiempo de ciclo de la manutención. Además, nos proporcionan una tasa de fallos similar a la que dan los proveedores de máquinas con la media del tiempo entre paradas (en minutos) y la media del tiempo de parada (en minutos).

Dentro de la manutención de transporte de piezas tenemos los conocidos por transportadores; en este caso, el proveedor suele adjuntar su velocidad (en metros/minuto) o el tiempo de ciclo de avance de paleta según el tipo de transporte que realicen. Respecto del tema de tasa de fallos para la manutención no suelen considerar fallos y, por tanto, en la simulación tampoco se incluirán.

Existen varios proveedores de la línea de mecanizado de cigüeñales (Ilustración 1.9). Los proveedores proceden de diversos puntos del mundo como puede ser Fives Cinetic desde Francia, Tecnofirma desde Italia o Toyoda desde Japón. Cabe mencionar que en la línea tenemos representación española de la mano de Danobat, cuyos tornos se fabrican en el País Vasco.



Ilustración 1.9 Lista de proveedores de la línea

1.6. Proceso de mecanizado de cigüeñales

El proceso de mecanizado de cigüeñales consta de 24 operaciones. El proceso es largo y complejo debido a la forma que presenta y a la calidad que se le exige a la pieza debido a que es uno de los elementos que más sufre del motor por su cometido.

El proceso de mecanizado consta de las operaciones que se muestran en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Descripción de las operaciones que se realizan sobre el cigüeñal.

Operación	Descripción
OP10A	La operación 10A que se hace en el cigüeñal consiste en realizar una medición de su equilibrio de forma dinámica, la máquina gira el cigüeñal alrededor de su eje y mediante unos palpadores mide el desequilibrio que este presenta conforme a unos valores. Esta información se transmite a la operación 10B, ya que estos datos son necesarios para que se pueda ejecutar sobre el cigüeñal la operación.
OP10B	La operación 10B utiliza los datos que ha recibido de la operación 10A y los interpreta de forma que ve si es factible realizar un primer equilibrado también llamado pre-equilibrado mediante la retirada de material de los contrapesos del cigüeñal.
OP20	La operación 20 ejecuta un torneado de desbaste de los apoyos, además de un torneado del lado distribución y del lado volante.
OP28	La operación 28 consiste en un control post-proceso para controlar si la operación 20 se ha realizado correctamente.
OP30	La operación 30 corresponde con un fresado de desbaste de las muñequillas.
OP50	La operación 50 realiza un torneado en semiacabado de los apoyos y las gargantas de unión.
OP55	La operación 55 consiste en un control post-proceso para controlar si la operación 50 se ha realizado correctamente.
OP60	La operación 60 realiza un taladrado sobre las muñequillas y apoyos para comunicarlos y crear de esta forma el circuito de lubricación.
OP70	La operación 70 es un lavado calibrado que asegura la retirada de los restos de líquido de corte y viruta que pueda contener la pieza de las operaciones anteriores y no contaminar el resto de máquinas.
OP80	La operación 80 es la responsable de realizar un temple sobre los apoyos y las muñequillas del cigüeñal para endurecer el material.
OP90	La operación 90 es una innovación del grupo RENAULT y se denomina galeteado , consiste en hacer un esfuerzo sobre la unión de los contrapesos al eje central y al eje descentrado para mejorar su resistencia. A mayores, se mide la desviación de la flecha para ver si se encuentra entre los valores correctos después de efectuar las operaciones anteriores.

OP100	La operación 100 ejecuta un torneado de los diámetros del lado volante, del lado piñón y del palier central.
OP130	La operación 130 consiste en el rectificado de todos los apoyos y muñequillas del cigüeñal.
OP145	La operación 145 consiste en un control post-proceso para controlar si la operación 130 se ha realizado correctamente.
OP150	La operación 150 realiza un fresado de las caras de los contrapesos y del lado volante.
OP170	La operación 170 es la responsable de realizar los mecanizados de acabado sobre las operaciones anteriores que se han realizado en el lado volante y en el lado piñón.
OP175	La operación 175 consiste en un control post-proceso para controlar si la operación 170 se ha realizado correctamente.
OP200	La operación 200 corresponde con un rectificado del diámetro del lado volante.
OP210	La operación 210 corresponde con un rectificado del diámetro del lado piñón.
OP260	La operación 260 realiza una medida del desequilibrio del cigüeñal y posteriormente realiza el equilibrado final mediante el taladrado de los contrapesos.
OP270	La operación 270 corresponde con el lijado de las muñequillas y de los apoyos para dar el acabado final. A partir de esta operación la manipulación del cigüeñal se vuelve delicada, debido a que cualquier roce en la zona lijada puede estropear los acabados y la pieza pasaría a ser chatarra de forma automática.
OP300	La operación 300 consta de dos estaciones. La primera estación realiza un control de los taladros de engrase. La segunda estación registra la trazabilidad de la pieza y la adjunta a ésta con un marcado mediante un código DataMatrix.
OP310	La operación 310 realiza un lavado y un secado final para que el cigüeñal quede limpio y seco para poder realizar los controles finales en la OP330.
OP330	La operación 330 es la operación de control final y en ella se realiza un multicontrol de las diferentes características de la pieza por parte de la máquina de control. Además, se hace un control visual por parte de un operario.

La trazabilidad, según el diccionario de la RAE, es el reflejo documental del historial de un producto. Permite la posibilidad de identificar el origen y las diferentes etapas de un proceso de producción. La trazabilidad de la línea de mecanizado de cigüeñales se puede leer en el DataMatrix que se inscribe en la pieza mediante un marcado láser. En la trazabilidad podemos encontrar las máquinas por las que ha pasado la pieza y que por ende son responsables de los diferentes mecanizados. También podemos ver la fecha en la que el cigüeñal se cargó y se descargó, así como otra infinidad de datos de proceso.

1.7.Línea de mecanizado de cigüeñales VI07

La línea de mecanizado que se va a implantar en la factoría de motores de Renault en Valladolid va a recibir el nombre de Vilebrequin 07, donde comúnmente va a ser conocida como VI07 ya que, como comentábamos antes, VI es el diminutivo de vilebrequin, que es cigüeñal en francés. Esta línea es gemela de una que se va a instalar en la fábrica de mecanizado de Renault que sita en Cléon cuyo nombre va a ser Vilebrequin 06 ó VI06.

La línea VI06 va a ser precursora de la VI07, ya que va a ser diseñada con unos meses de antelación y muchas de las soluciones, tanto en el ámbito de la concepción del sistema industrial como en el pilotaje o en la concepción proceso, se van a conocer de antemano, lo que va a suponer una ayuda extra. La parte negativa reside en que desde el departamento de Cléon no van a realizar simulación con Witness de la línea, por lo que no vamos a poder extraer ningún tipo de información sobre este aspecto.

Las características básicas que se han elegido para la concepción de esta línea corresponde con el nuevo tipo de líneas que se están instalando en RENAULT que se denominan ASL (Alliance Standard Line) y que cuenta con las mejores soluciones adoptadas por la marca NISSAN y por la marca RENAULT en el diseño de líneas de mecanizado.

La línea VI07 cuenta con una distribución en línea de los ramales de trabajo que están formados por una viga continua sobre la que se distribuyen los pórticos de alimentación. La construcción de los ramales está constituida en forma de cuatro ramales de ida y vuelta aprovechando al máximo el largo de la superficie. Sus características de concepción nos recuerdan mucho a la típica línea en U; de esta forma, la carga y la descarga están situadas en uno de los extremos de la línea. Los ramales de la línea serpentean entre el ramal de carga y descarga en contraposición a una línea en U, la cual solo consta de un ramal de ida y uno de vuelta.

A continuación, mostramos el plano de implantación de la línea de mecanizado, que podemos ver en la Ilustración 1.10, realizado mediante el programa de diseño de CAD Microstation. Microstation es el programa oficial utilizado en RENAULT para la generación de planos en 2D y 3D en los diferentes departamentos de diseño y de implantación de medios. En CSI es uno de los softwares que se utiliza junto con WITNESS. En la unidad de cigüeñales a mayores utilizan CATIA en la concepción proceso y el piloto utiliza Microsoft Project para el pilotaje de todo el proyecto.



Ilustración 1.10 Plano de implantación en formato CAD proporcionado por los compañeros de implantaciones

La línea va a estar compuesta por 40 máquinas de mecanizado que estarán repartidas, operación por operación, como se muestra en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Descripción y enumeración de las máquinas que conforman la línea

Operación	Número de máquinas	Número de posiciones en máquina
OP10A	1 centro de mecanizado	Monopuesto
OP10B	2 centros de mecanizado	Monopuesto
OP20	3 tornos	Monopuesto
OP28	1 máquina de control	Monopuesto
OP30	2 fresadoras	Monopuesto
OP50	2 tornos	Monopuesto
OP55	1 máquina de control	Monopuesto
OP60	5 centros de mecanizado	Monopuesto
OP70	2 lavadoras	Monopuesto
OP80	1 templadora	2 puestos en serie
OP90	1 galeteadora	Monopuesto
OP100	2 tornos	Monopuesto
OP130	4 rectificadoras	Monopuesto
OP145	1 máquina de control	Monopuesto
OP150	1 centro de mecanizado	Monopuesto
OP170	4 centros de mecanizado	Monopuesto
OP175	1 máquina de control	Monopuesto
OP200	2 rectificadoras	Monopuesto
OP210	2 rectificadoras	Monopuesto
OP260	1 equilibradora	Monopuesto
OP270	2 lijadoras	4 puestos en serie
OP300	1 máquina especial	Monopuesto
OP310	1 lavadora	8 puestos transfer
OP330	1 máquina de control	Monopuesto

El pórtico es un elemento formado por dos pilares y un dintel provisto con un carril dentado por el que se mueve un carro propulsado por un motor. El carro contiene unos brazos equipados con pinzas que son los encargados de sujetar el cigüeñal e introducirlo y sacarlo de las máquinas.

El transportador es un elemento por el que circulan paletas; cuando lo denominamos hipódromo es porque tiene esta forma para recircular paletas versus los transportadores normales en los que la recirculación de paletas se hace por debajo. Las paletas contienen unos apoyos en forma de V para transportar los cigüeñales.

Desde el punto de vista de la manutención, la línea va a estar formada por 24 pórticos como los que vemos en la Ilustración 1.11, pero con diferentes configuraciones, que quedarán distribuidos de la siguiente forma:



Ilustración 1.11 Foto obtenida de la página web del pórtico del proveedor Cinetic con un carro y doble brazo.
Fuente: <http://www.fivesgroup.com/>

Para recoger los tipos de pórticos que tenemos en la línea lo vamos a hacer mediante la Tabla 1.3. La tabla muestra los pórticos clasificados por el número de carros que está compuesto y por el número de brazos que está compuesto cada carro. La gran mayoría de pórticos están formados por un carro y por dos brazos, siendo ésta la configuración que recomienda la norma RENAULT para el diseño de pórticos. Los pórticos que están formados por dos carros y un brazo son menos habituales y se han utilizado en las operaciones en las que no quedaba más remedio, debido a temas de cumplimiento de tiempo de ciclo.

Tabla 1.3 Descripción y enumeración de los pórticos que conforman la línea

Operación	Número de carros		Número de brazos	
	1	2	1	2
POR10A	X		X	
POR10B	X			X
POR20		X	X	
POR28	X			X
POR30	X			X
POR50	X			X
POR55	X			X
POR60		X	X	
POR70	X			X
POR80	X			X

POR90	X			X
POR100		X	X	
POR130		X	X	
POR145	X			X
POR150	X			X
POR170	X			X
POR175	X			X
POR200	X			X
POR210	X			X
POR260	X			X
POR270		X		X
POR300	X		X	
POR310	X		X	
POR330	X			X

Conformando la manutención también nos encontramos con los transportadores y los posajes de intercambio. La Tabla 1.4 recoge los diferentes tipos disponibles.

Tabla 1.4 Descripción y enumeración de los transportadores que conforman la línea.

Operación	Posaje	Transportador Hipódromo	Transportador Simple	Transportador Doble
OP10A - OP10B	X			
OP10B - OP20		X		
OP20 - OP28		X		
OP28 - OP30	X			
OP30 - OP50		X		
OP50 - OP55	X			
OP55 - OP60			X	
OP60 - OP70		X		
OP70 - OP80	X			
OP80 - OP90		X		
OP90 - OP100		X		
OP100 - OP130				X
OP130 - OP145				X
OP145 - OP150	X			
OP150 - OP170				X
OP170 - OP175	X			
OP175 - OP200			X	
OP200 - OP210		X		
OP210 - OP260		X		
OP260 - OP270		X		
OP270 - OP300		X		
OP300 - OP310	X			
OP310 - OP330	X			

La mayoría de los transportadores que forman la línea son los transportadores de tipo hipódromo donde la recirculación de la paleta es por la parte superior al ser un recinto cerrado. La línea se completa con los transportadores de tipo doble y simple donde son necesarios y los puestos de posaje de intercambio donde no cabía un transportador y era necesario separar las operaciones.

La línea de mecanizado se conforma mediante la unión del flujo utilizando la manutención como nexo de unión de todas las máquinas para que sea posible la realización de las operaciones sobre el cigüeñal. La manutención principalmente se usa para cargar y descargar las máquinas además de para transportar las piezas a través de la línea. La función de la manutención es muy importante y, por ende, su diseño es muy complejo ya que al ser la encargada del transporte tiene que estar comunicada con todas las máquinas para interactuar correctamente y, de esta forma, que no ocurran problemas como posibles colisiones o equivocaciones en el destino de la pieza.

La manutención también es la encargada de la transmisión de las comunicaciones por la línea, lo que supone que es la que lleva la trazabilidad de la pieza que, como hemos visto anteriormente, se grabará sobre la pieza. La manutención, además, es la encargada de subir la información a los diferentes servidores, que son los encargados de almacenar la información para poderse consultar a posteriori en caso de que hiciera falta.

Los pórticos, por otra parte, llevan el apartado de medición de tiempos de la línea de mecanizado y lo hace mediante la recopilación de los tiempos de trabajo sobre la pieza y los envía al sistema SAM. El sistema para la mejora de los medios, o sistema SAM, es el encargado de representar en directo el gráfico SAM y en él podemos ver la tasa de trabajo, la tasa de averías, la tasa de desabastecimiento y la tasa de saturación de las máquinas de la línea, así como las piezas que lleva producidas cada máquina.

El sistema SAM es de vital importancia para la fabricación ya que, al ver cómo trabaja la línea en vivo y en directo, facilita detectar posibles fallos en el funcionamiento del conjunto de la línea tanto de máquinas como de manutención y, de esta forma, poder atajarlos lo más rápido posible para mantener el rendimiento de la línea en su estado óptimo.

1.8. Implantación

La implantación de una línea de mecanizado como es la línea VI07 comienza en las primeras fases del proyecto cuando el implantador tiene que buscar una superficie lo suficientemente grande para que quepan los medios de mecanizado, además de todo su acompañamiento como son las instalaciones adyacentes que necesita para el correcto funcionamiento, las salas de personal de línea, la sala de control y la sala de gestión de herramienta además de toda la logística.

La reunión del comité de superficies fija los pros y los contras de las superficies disponibles en la fábrica, el implantador notifica los pros y los contras de las posibles implantaciones en los diferentes lugares. Con todos los datos sobre la mesa se procede a elegir el lugar idóneo para empezar a trabajar.

La figura del implantador trabaja con MicroStation, cuyo logo podemos ver en la Ilustración 1.12. La herramienta MicroStation es un programa de CAD que proporciona las herramientas necesarias para la modelización, documentación, diseño y visualización de diseños en 2D y 3D de todo tipo para que el implantador pueda crear la implantación de la línea con precisión y rapidez.



Ilustración 1.12 Logo de MicroStation

El implantador, junto con el gestor de medios de mecanizado, de mantenimiento y de instalaciones, contacta con los proveedores de las respectivas áreas para obtener el plano de implantación de los medios. De esta forma, el implantador puede construir la línea y ver las necesidades y las dificultades, así como las posibles interferencias. Generalmente, se suele trabajar con planos en 2D, lo que hace más difícil la labor del implantador a la hora de gestionar todo el volumen de la nave porque la posibilidad de que alguna interferencia pase desapercibida es mayor. En el caso de la línea VI07 es un tema sobre el que se ha tenido bastante cuidado debido a que los pórticos, cuando hacen las cargas y descargas

de los medios, ocupan espacio en vertical con los brazos que hay que tener en cuenta en el diseño de las instalaciones.

El implantador consigue llegar a un compromiso con los responsables del grupo de trabajo de cigüeñales, además de con los componentes del grupo de trabajo de concepción del sistema industrial que alberga a instalaciones y a modos de funcionamiento y simulaciones, para llegar a una implantación final que sea válida para todos. Dentro del punto de la implantación es muy importante el trabajo de simulación porque nos ayuda a concebir la línea y ver los posibles fallos que podemos tener como, por ejemplo, la necesidad de más máquinas para obtener la producción objetivo o una mejor disposición de los medios para mejorar el tiempo de cambio de producción entre modelos. Estos factores suelen afectar en gran medida a la implantación ya que generalmente el espacio suele ser el necesario para implantar la línea de mecanizado.

La descarga de medios es otro de los trabajos que realiza el implantador. Una vez que los medios llegan a la factoría es el responsable de su transporte por dentro de la fábrica y de la bajada de estos del camión, el transporte hasta la posición fija de la línea y su posicionamiento como se indica en el plano de implantación. Para la descarga se suelen utilizar una o varias grúas de gran tonelaje y el operativo está rodeado de grandes medidas de seguridad debido a la peligrosidad que supone. Para el transporte las medidas de seguridad son menores porque su peligrosidad es inferior. El transporte se realiza mediante un carretón en el que va cargado la máquina o bien mediante unos patines eléctricos que reciben el nombre de tanquetas eléctricas; este último elemento se ha introducido este año en la factoría de Valladolid y ha sido una innovación muy importante ya que ha permitido realizar una mayor cantidad de desplazamientos en un tiempo infinitamente inferior al del transporte convencional mediante tanquetas manuales.

El implantador es el encargado de realizar un planning de descarga de medios. Es muy importante realizar un planning correcto debido a que los accesos a la nave están restringidos desde ciertos puntos de forma que los medios se vayan colocando de forma ordenada para poder acceder bien a la implantación de estos. Una vez que el medio está en su posición final, bien fijado e implantado conforme al plano de implantación, éste deja de ser responsabilidad del implantador y pasa a ser del gestor de medios, finalizando así el trabajo del implantador.

1.9. Flujo de piezas

El flujo de piezas de la línea VI07 es de tipo FIFO pero debido a ciertos disfuncionamientos en la línea puede que no lo cumplan el 100% de las piezas que se producen. Los principales motivos de que el FIFO no se cumpla son los que vemos a continuación.

- Salida de piezas a control: éste es uno de los motivos por los cuales las piezas pueden no salir en el orden en el que entraron. Básicamente, esto se produce porque al sacar una pieza de la línea para hacer un control éste tarda en realizarse un tiempo determinado, de forma que cuando devolvemos la pieza al flujo de la línea esta ocupará otro lugar.
- Problemas en máquinas: otro de los motivos por los que puede que no se cumpla el FIFO es que alguna máquina de las que se disponen en paralelo tenga algún problema que retrase la descarga de la pieza haciendo que la pieza que está mecanizando no entre en el flujo en la misma posición.
- Piezas malas: las piezas malas que se generan en el proceso hay que sacarlas del flujo. En consecuencia, el FIFO como tal no se desordena, pero sí que se elimina una pieza que nunca se va a volver a introducir.

Vamos a explicar el funcionamiento del flujo operación por operación para que, de esta forma, entendamos cómo circulan las piezas por la línea.

El equipo de logística se encarga de proveer a la línea con los cigüeñales brutos que vienen del proveedor. El operario de logística llega conduciendo el tren que contiene los vagones con los cigüeñales brutos, el operario intercambia los vagones vacíos por los llenos en las zonas de la primera operación indicadas para los vagones. En esta entrada de línea se encuentra la primera operación que está formada por un robot y un transportador de paletas. El robot va cogiendo los cigüeñales de los vagones que han sido depositados en la zona y los coloca sobre las paletas que hay en el transportador.

Primera operación (OP10A): el flujo comienza cuando el brazo del pórtico coge una pieza del transportador de entrada. Posteriormente, el brazo carga la máquina OP10A y, finalmente, vuelve a la posición de cogida de pieza.

Segunda operación (OP10B): el flujo comienza cuando el primer brazo del pórtico coge la pieza de la primera máquina OP10A. Éste, posteriormente, carga una de las dos máquinas que componen la operación 10B. Previamente, con el brazo libre descargaría la máquina OP10B si tuviera pieza dentro, dejando así la máquina libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el transportador hipódromo de salida.

Tercera operación (OP20): el flujo comienza cuando el primer brazo del pórtico coge la pieza del transportador hipódromo de entrada. A continuación, éste carga una de las tres máquinas que componen la OP20. Previamente, con el brazo libre descargaría la máquina OP20 si tuviera pieza dentro, dejando así la máquina libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el transportador hipódromo de salida.

Postproces (OP28): el flujo comienza cuando el primer brazo del pórtico coge la pieza del transportador hipódromo de entrada. A continuación, éste carga la máquina OP28. Previamente, con el brazo libre descargaría la máquina OP28 si tuviera pieza dentro, dejando así la máquina libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el posaje de salida.

Cuarta operación (OP30): el flujo comienza cuando el primer brazo del pórtico coge la pieza del posaje de entrada. A continuación, éste carga una de las dos máquinas que componen la OP30. Previamente, con el brazo libre descargaría la máquina OP30 si tuviera pieza dentro, dejando así la máquina libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el transportador hipódromo de salida.

Quinta operación (OP50): el flujo comienza cuando el primer brazo del pórtico coge la pieza del transportador hipódromo de entrada. A continuación, éste carga una de las dos máquinas que componen la OP50. Previamente, con el brazo libre descargaría la máquina OP50 si tuviera pieza dentro, dejando así la máquina libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el posaje de salida.

Postproces (OP55): el flujo comienza cuando el primer brazo del pórtico coge la pieza del posaje de entrada. A continuación, éste carga la máquina OP55. Previamente, con el brazo libre descargaría la máquina OP55 si tuviera pieza dentro, dejando así la máquina libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el transportador entre ramales que une el primer ramal con el segundo ramal.

Sexta operación (OP60): el flujo comienza cuando el primer brazo del pórtico coge la pieza del transportador entre ramales que une el primer ramal con el segundo ramal. A continuación, éste carga una de las cinco máquinas que componen la OP60. Previamente, con el brazo libre descargaría la máquina OP60 si tuviera pieza dentro, dejando así la máquina libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el transportador hipódromo de salida.

Séptima operación (OP70): el flujo comienza cuando el primer brazo del pórtico coge la pieza del transportador hipódromo de entrada. A continuación, éste carga una de las dos máquinas que componen la OP70. Previamente, con el brazo libre descargaría la máquina OP70 si tuviera pieza dentro, dejando así la máquina libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el posaje de salida.

Octava operación (OP80): el flujo comienza cuando el primer brazo del pórtico coge la pieza del posaje de entrada. A continuación, éste carga la primera estación de la máquina OP80. Previamente, con el brazo libre descargaría la primera estación de la máquina OP80 si tuviera pieza dentro, dejando así la estación libre. Una vez realizado el intercambio el pórtico carga la segunda estación de la máquina OP80. Previamente, con el brazo libre descargaría la segunda estación de la máquina OP80 si tuviera pieza dentro, dejando así la estación libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el transportador hipódromo de salida.

Novena operación (OP90): el flujo comienza cuando el primer brazo del pórtico coge la pieza del transportador hipódromo de entrada. A continuación, éste carga la máquina OP90. Previamente, con el brazo libre descargaría la máquina OP90 si tuviera pieza dentro, dejando así la máquina libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta la centrifugadora denominada OP90C. Un brazo accesorio se encarga de coger la pieza de la centrifugadora OP90C y llevarla hasta el transportador hipódromo de salida.

Décima operación (OP100): el flujo comienza cuando el primer brazo del pórtico coge la pieza del transportador hipódromo de entrada. A continuación, éste carga una de las dos máquinas que componen la OP100. Previamente, con el brazo libre descargaría la máquina OP100 si tuviera pieza dentro, dejando así la máquina libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el transportador entre ramales que une el segundo ramal con el tercer ramal.

Undécima operación (OP130): el flujo comienza cuando el primer brazo del pórtico coge la pieza del transportador entre ramales que une el segundo ramal con el tercer ramal. A continuación, éste carga una de las cuatro máquinas que componen la OP130. Previamente, con el brazo libre descargaría la máquina OP130 si tuviera pieza dentro, dejando así la máquina libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el transportador con manipulador de salida.

Postproces (OP145): el flujo comienza cuando el primer brazo del pórtico coge la pieza del transportador con manipulador. A continuación, éste carga la máquina OP145. Previamente, con el brazo libre descargaría la máquina OP145 si tuviera

pieza dentro, dejando así la máquina libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el posaje de salida.

Duodécima operación (OP150): el flujo comienza cuando el primer brazo del pórtico coge la pieza del posaje de entrada. A continuación, éste carga la máquina OP150. Previamente, con el brazo libre descargaría la máquina OP150 si tuviera pieza dentro, dejando así la máquina libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el transportador con manipulador de salida.

Decimotercera operación (OP170): el flujo comienza cuando el primer brazo del pórtico coge la pieza del transportador con manipulador de entrada. A continuación, éste carga una de las cuatro máquinas que componen la OP170. Previamente, con el brazo libre descargaría la máquina OP170 si tuviera pieza dentro, dejando así la máquina libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el posaje de salida.

Postproces (OP175): el flujo comienza cuando el primer brazo del pórtico coge la pieza del posaje de entrada. A continuación, éste carga la máquina OP175. Previamente, con el brazo libre descargaría la máquina OP175 si tuviera pieza dentro, dejando así la máquina libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el transportador entre ramales que une el tercer ramal con el cuarto ramal.

Decimocuarta operación (OP200): el flujo comienza cuando el primer brazo del pórtico coge la pieza del transportador entre ramales que une el tercer ramal con el cuarto ramal. A continuación, éste carga una de las dos máquinas que componen la OP200. Previamente, con el brazo libre descargaría la máquina OP200 si tuviera pieza dentro, dejando así la máquina libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el transportador hipódromo de salida.

Decimoquinta operación (OP210): el flujo comienza cuando el primer brazo del pórtico coge la pieza del transportador hipódromo de entrada. A continuación, éste carga una de las dos máquinas que componen la OP210. Previamente, con el brazo libre descargaría la máquina OP210 si tuviera pieza dentro, dejando así la máquina libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el transportador hipódromo de salida.

Decimosexta operación (OP260): el flujo comienza cuando el primer brazo del pórtico coge la pieza del transportador hipódromo de entrada. A continuación, éste carga la máquina OP260. Previamente, con el brazo libre descargaría la máquina OP260 si tuviera pieza dentro, dejando así la máquina libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el posaje de salida.

Decimoséptima operación (OP270): el flujo comienza cuando el primer brazo del pórtico coge la pieza del transportador hipódromo de entrada. A continuación, éste carga la primera estación de la máquina OP270. Previamente, con el brazo libre descargaría la primera estación de la máquina OP270 si tuviera pieza dentro, dejando así la estación libre. Una vez realizado el intercambio el pórtico carga la segunda estación de la máquina OP270. Previamente, con el brazo libre descargaría la segunda estación de la máquina OP270 si tuviera pieza dentro, dejando así la estación libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el posaje intermedio. El flujo continúa cuando el tercer brazo del pórtico coge la pieza del posaje intermedio. A continuación, éste carga la tercera estación de la máquina OP270. Previamente, con el brazo libre descargaría la tercera estación de la máquina OP270 si tuviera pieza dentro, dejando así la estación libre. Una vez realizado el intercambio el pórtico carga la cuarta estación de la máquina OP270. Previamente, con el brazo libre descargaría la cuarta estación de la máquina OP270 si tuviera pieza dentro, dejando así la estación libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el transportador hipódromo de salida.

Decimoctava operación (OP300): el flujo comienza cuando el brazo del pórtico coge la pieza del transportador hipódromo de entrada. A continuación, éste carga el cargador de la máquina OP300. El cargador gira y saca la pieza controlada en caso de que la hubiera. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el puesto de carga de la lavadora OP310.

Decimonovena operación (OP310): el flujo discurre a través de la lavadora ya que es un transfer, esta máquina deja la pieza sobre el puesto de salida.

Vigésima operación (OP330): el flujo comienza cuando el brazo del pórtico coge la pieza del puesto de salida de la lavadora OP310. A continuación, éste carga la primera estación de la máquina que compone la operación. Previamente, con el brazo libre descargaría la estación de la máquina OP330 si tuviera pieza dentro, dejando así la estación libre. Una vez realizado el intercambio el pórtico carga la segunda estación de la máquina OP330. Previamente, con el brazo libre descargaría la segunda estación de la máquina OP330 si tuviera pieza dentro, dejando así la estación libre. Una vez realizado el intercambio llevaría la pieza hasta el transportador de salida. Sobre el transportador de salida el operario realiza un control visual. Un robot se encarga de descargar las piezas sobre los vagones que se encuentran en la zona de descarga.

El flujo descrito anteriormente lo podemos ver esquematizado en la Ilustración 1.13.

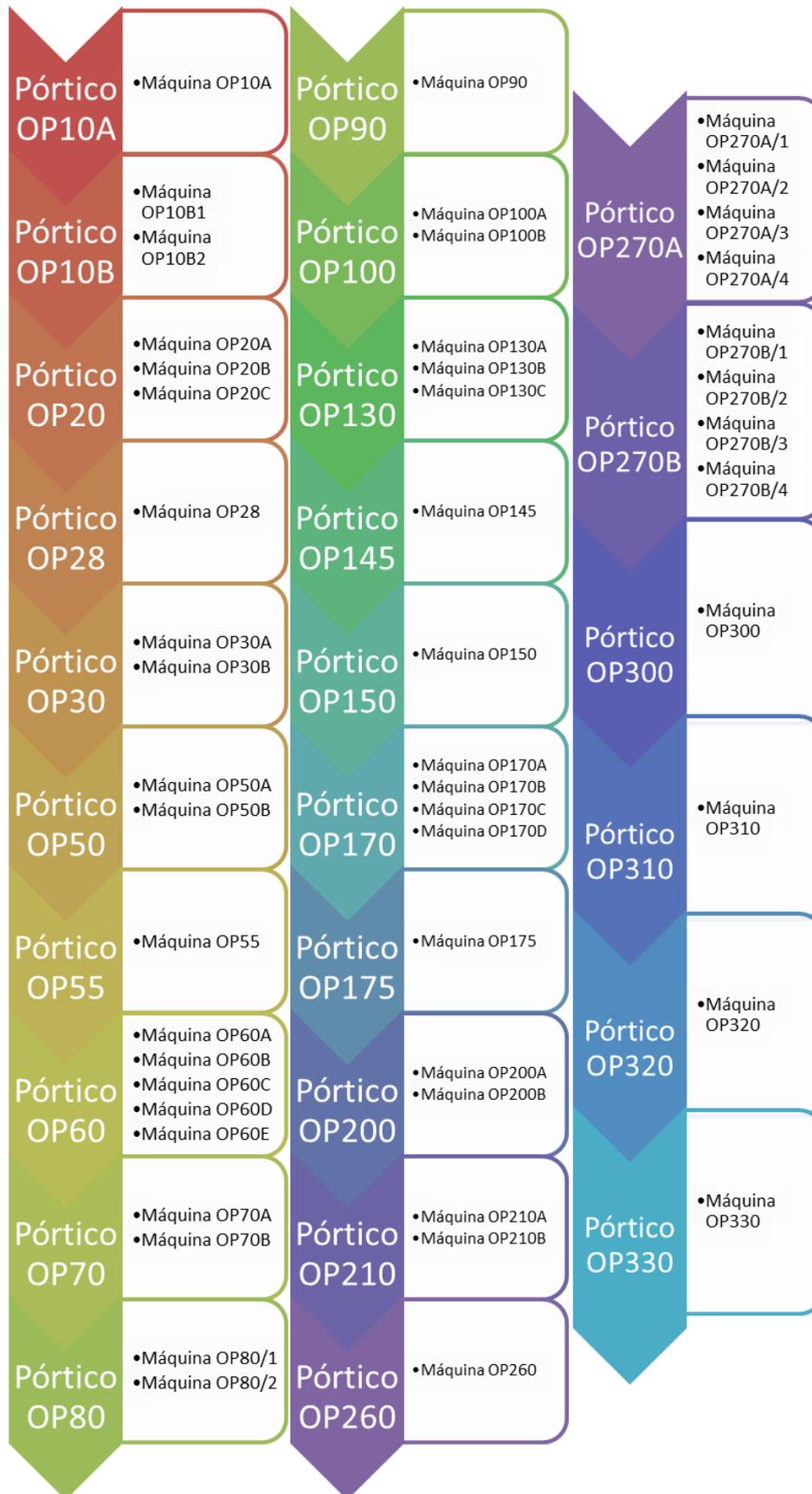


Ilustración 1.13 Flujo de la línea VI07

1.10. Almacenes y transporte de piezas.

El stock es la existencia de piezas que están almacenadas o en transcurso en la línea de mecanizado. En la línea VI07 tenemos almacenadas piezas a la entrada y a la salida de la línea. Además, tenemos las piezas que discurren por la línea. Para el estudio de la línea nos vamos a centrar en las piezas que discurren por la línea que denominaremos encursos y que son los que estudiaremos ya que son una parte importante del diseño de la línea y de su funcionamiento.

Respecto al stock, éste debe ser **tan pequeño como sea posible** y, a su vez, lo **suficientemente grande** como para asegurar que las fluctuaciones de la producción se mitiguen, ofreciendo un seguro contra incertidumbres, además de permitir tener un flujo continuo del proceso de mecanizado. El funcionamiento de los almacenes, así como del transporte de piezas, es mediante el método **FIFO**, del inglés "first in, first out" que significa "primero en entrar, primero en salir". El sistema FIFO es el sistema idóneo para el almacenaje de productos de mecanizado ya que permite asegurar la calidad; por ejemplo, si las piezas incurren en esperas, como podría ocurrir con el LIFO, las piezas podrían llegar a oxidarse y corroerse, lo que automáticamente convertiría la pieza en chatarra

Existen determinadas formas de transportar las piezas que determinan el funcionamiento de la línea. El dimensionamiento de la manutención es un tema complejo, su velocidad y tiempo de ciclo deben ser muy rápidos ya que tiene que alimentar a las máquinas de la línea. Si no conseguimos concebir una manutención lo suficientemente rápida y robusta el rendimiento operacional de la línea se verá afectado, ya que el transporte de piezas va a ser deficitario. La mejor regla para concebir la manutención es hacer que las máquinas nunca esperen las piezas; de esta forma vamos a conseguir que el rendimiento de la línea sea el máximo dado por las máquinas.

La manutención, llamada así porque es la encargada de alimentar las máquinas de la línea y de transportar las piezas, consta de dos partes principales: los **almacenes de piezas**, entre los que destacarían los transportadores con acumulación o las estanterías, y las **máquinas que cargan y descargan** a los centros de mecanizado, como pueden ser pórticos, robots, manipuladores, etc. El tipo de robot que se va a instalar en la línea es de la compañía ABB y lo vemos en la Ilustración 1.14.



Ilustración 1.14 Robot ABB. Fuente: <http://new.abb.com/es>

La línea dispone de tres tipos de mantenencias y/o stocks: el transportador hipódromo, el transportador simple y doble y el posaje.

El transportador, como el que vemos en la Ilustración 1.15, se compone de una cadena que arrastra las paletas en las que va posado el cigüeñal.



Ilustración 1.15 Transportador con recirculación de paletas. Fuente: <http://www.fivesgroup.com/>

El hipódromo es muy similar al transportador pero en vez de recircular las paletas por la parte inferior las recircula por la parte superior tomando el nombre de hipódromo por la forma que presenta.

El doble transportador con manipulador es igual que el transportador, solo que se trata de dos transportadores en paralelo y el manipulador es el encargado de transferir el cigüeñal de uno a otro para que éste llegue a la posición deseada.

La capacidad de los transportadores es diferente en función de su concepción y diseño. Para los transportadores de recirculación de paleta por la parte inferior, la capacidad viene determinada por la distancia entre ejes. Si optamos por un transportador con otro diseño, como puede ser el de recirculación por la parte superior (hipódromo), el número de paletas lo va a determinar la distancia y la capacidad de almacenar paletas en la curva. Así, el transportador de entrada es el más largo de todos y cuenta con capacidad para 30 paletas. Los transportadores dobles con manipulador almacenan un total de 28 paletas. Los transportadores entre ramales disponen de espacio para 24 paletas. Por último, el hipódromo es el transportador con menos capacidad, tan sólo puede almacenar 14 paletas.

Los posajes son la mínima expresión en el transporte de piezas debido a que no transportan las piezas, propiamente dicho, si no que sirven para aislar una operación de otra. Con la introducción de un posaje se logra aislar las operaciones mejorando el rendimiento, al no incurrir en esperas los elementos de carga y descarga, así como la seguridad y las averías, reduciendo la posibilidad de que los elementos de mantenimiento encargados de transferir piezas sufran colisiones entre sí que detendrían la producción e impedirían alcanzar los objetivos de fabricación diaria

2. SIMULACIÓN. Witness.

En este capítulo vamos a exponer lo que se entiende por hacer una simulación, también haremos unas tablas para mostrar las posibles ventajas e inconvenientes que tiene la realización de una simulación.

A continuación, expondremos las principales aplicaciones de las simulaciones que se realizan en la actualidad, cómo es el sistema de simulación y los inconvenientes, conociendo así sus límites.

Por último, hablaremos del software para realizar simulaciones que podemos encontrar en el mercado y nos centraremos en el elegido para la realización de este proyecto; el software pertenece a Lanner Group y su nombre comercial es Witness.

2.1. Introducción a la simulación. ¿Qué es?

El término simular se describe en el diccionario de la lengua de la R.A.E como “representar algo, fingiendo o imitando lo que no es”. Analizando esta definición nos imaginamos lo que es una simulación y lo que representa dentro de los métodos de análisis y toma de decisión que las empresas utilizan hoy en día.

La simulación es una técnica de experimentación con un modelo que representa ciertos aspectos de la realidad. De esta forma, podemos crear un entorno artificial en el que se trabaja con un entorno similar al real, pero con variables controladas y en el que podemos analizar el comportamiento de las variables a lo largo del tiempo para ver los fallos y obtener resultados que nos ayuden a la toma de decisiones.

En el área de la ingeniería existe la simulación de procesos. Se trata de una herramienta dotada de importante carácter en el sector, ya que facilita la realización de proyectos al poder llevar a cabo buenos diseños en fases tempranas del proyecto y conseguir productos que permiten obtener un mayor beneficio o un coste competitivo en lo que se refiere a su propia fabricación.

La simulación es muy útil para muchos de los problemas que nos surgen en la creación de los sistemas industriales. Principalmente, nos ayuda en los aspectos que vemos en la Ilustración 2.1.

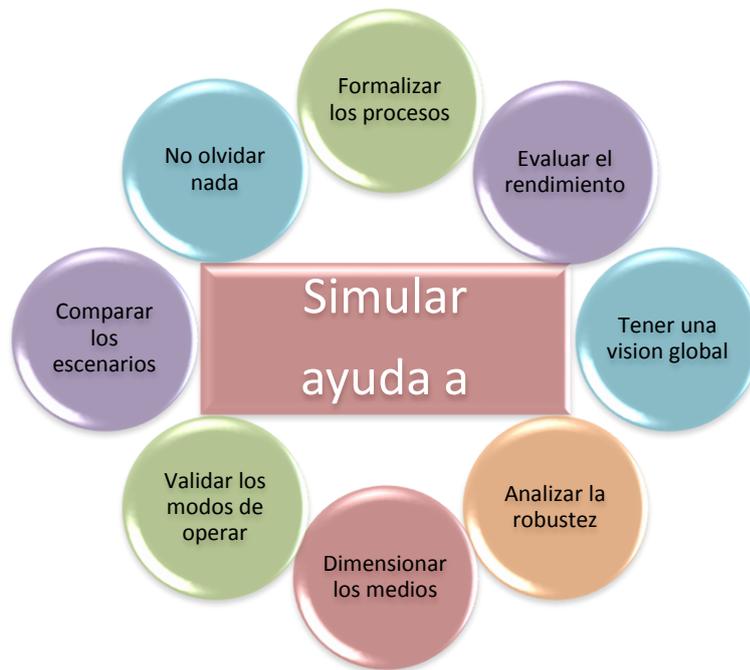


Ilustración 2.1 Sinóptico ilustrativo de la ayuda de la simulación

2.2.Ventajas e inconvenientes

En la Tabla 2.1 se presentan algunas de las ventajas más representativas de esta técnica de análisis (Gutiérrez, 2014).

Tabla 2.1 Ventajas que proporciona la simulación

Ventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Técnica relativamente sencilla y flexible. • Facilita la toma de decisiones. • Se puede utilizar repetidamente. • Utilización de diferentes escalas de tiempo (tiempo real, expandido o comprimido). En muy poco tiempo se pueden obtener los efectos de la dirección de operaciones durante varios meses o años. • Análisis del comportamiento del sistema en diferentes escenarios. • Se pueden estudiar los efectos de componentes individuales o variables, para ver cuáles son más importantes. • Permite hacer pruebas sobre sistemas sobre los que no se podría experimentar por razones técnicas, económicas, éticas o morales. • Facilidad para crear modelos incluyendo elementos estocásticos, difíciles de resolver analíticamente. • No necesita tantas restricciones como los modelos analíticos. • Comprensión del funcionamiento del sistema. • Identificación de problemas. • Herramienta muy gráfica y fácilmente comprensible.

Por otra parte, en la Tabla 2.2 se enumeran algunos de sus inconvenientes.

Tabla 2.2 Inconvenientes que presenta la simulación

Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> • Requiere un aprendizaje especializado y un conocimiento exhaustivo del sistema. • Desconocimiento del grado de exactitud. Desconfianza de los resultados hasta ser probados en el sistema real. • La calidad del análisis depende del modelo construido. Deben introducirse datos adecuados y realistas. • Dificultad para construir un modelo preciso. • Es un método de prueba y error, que produce diferentes soluciones cuando se realiza en repetidas ocasiones. Al contrario que la programación lineal, no encuentra soluciones óptimas a los problemas. • En ocasiones puede ser difícil de interpretar. • Un buen modelo de simulación puede ser caro y puede requerir bastante tiempo para su desarrollo. • Cada modelo de simulación es único, por lo que sus resultados no se suelen poder transferir a otros problemas. • Elevada carga computacional.

Vemos que las ventajas que presenta la realización de una simulación son más y de mejor calidad que las que presentan los inconvenientes, con lo que siempre que sea posible, la realización de una simulación nos va a ayudar a tomar decisiones y a mejorar la construcción de los sistemas industriales que hemos estudiado.

2.3. Aplicaciones

La globalización y la competitividad hacen que muchas empresas necesiten realizar innovaciones en sus procesos productivos para adaptarse a los numerosos cambios que se producen en los mercados. Para abordar dichos cambios de forma eficiente se necesitan efectuar modificaciones en los métodos de actuación de las técnicas actuales, en las tomas de decisiones, en los flujos de información y en la organización.

Las áreas de aplicación de la simulación son amplias y diversas. Basta con mencionar algunas de ellas como son: el análisis del impacto ambiental que puede ser causado por diferentes fuentes, el análisis y diseño de los procesos de fabricación y ensamblaje, y el diseño de sistemas de comunicación. Por otra parte, también podemos analizar los procesos de transporte de tipo aéreo, marítimo y terrestre o incluso realizar estudios financieros de sistemas económicos. Como vemos, existe un amplio abanico de sectores y actividades en los que se puede aplicar la simulación. Ésta nos permitirá examinar las diferentes alternativas, facilitando así la toma de decisiones basadas en la predicción de funcionamiento del modelo.

La falta de herramientas analíticas es uno de los mayores problemas a los que se enfrenta la empresa, puesto que aún no se han desarrollado las suficientes aplicaciones para la simulación de todos los eventos posibles. Las herramientas clásicas no se utilizan actualmente dada su complejidad dejando paso a los nuevos programas de simulación de eventos que permiten abordar los retos que exponen estos sistemas y resolverlos de manera sencilla.

En el campo de la fabricación, las empresas se ven forzadas a ser competitivas. El nivel de automatización es cada vez más elevado y están surgiendo nuevos métodos operativos, como es el caso de la filosofía “Lean”, que se focaliza en la reducción de la sobre-producción, de los tiempos de espera y de transporte, de los movimientos del inventario y de los defectos. Esto ha provocado un elevado nivel de madurez de los procesos, haciendo que las organizaciones se hayan visto obligadas a recurrir a las herramientas de simulación.

Gracias a la simulación, en estas áreas se puede estudiar el número óptimo de máquinas, reduciendo así los costes en su adquisición. También se puede obtener la cantidad de personal necesario para alcanzar un determinado objetivo. Además, podemos dimensionar y optimizar la implantación de los elementos internos de transporte ajustándonos a diferentes objetivos, y actuar sobre la organización de los almacenes y su funcionamiento. Uno de los puntos más importantes dentro de las aplicaciones en la industria de procesos de producción es el análisis de los rendimientos y la obtención de las operaciones que son cuellos de botella. El rendimiento es un indicador universal que marca el lugar en el que nos encontramos con respecto al ideal; va ligado a los cuellos de botella, ya que son los que generalmente originan la mayor pérdida de rendimiento.

La simulación también permite evaluar las estrategias operacionales como, por ejemplo: la planificación de la producción, las políticas de gestión de inventarios y la planificación de las estrategias de control y políticas de control de calidad. La evaluación de estos puntos permite que seamos capaces de fabricar la cantidad demandada, así como mejorar los costes y el aprovechamiento de la superficie. Permite además evaluar los puntos de pérdida de producción, tanto por la realización de piezas chatarra, como por la forma de realizar los controles de la producción. La forma de realizar los controles afecta a la producción porque los controles pueden bloquear el flujo, de esta forma, el rendimiento de la línea se ve afectado.

2.4. Software para la elaboración de simulaciones

La resolución de sistemas puede llegar a ser tan sencilla que mediante la resolución manual se pueden obtener resultados. Sin embargo, cuando la complejidad aumenta se hace necesario plantear una resolución informatizada.

El empleo de software para simular es adecuado en sistemas complejos. El software de simulación se empezó a utilizar después de la Segunda Guerra Mundial, aunque en esta época los modelos eran groseros. La fase principal del estudio de simulación es la construcción del modelo en el software informático de trabajo.

Actualmente, existen muchos softwares de simulación debido a la demanda que tiene este tipo de programas y por las soluciones que brindan en la toma de decisiones. Los principales tipos de sistemas de simulación los recogemos en la siguiente Ilustración 2.2.

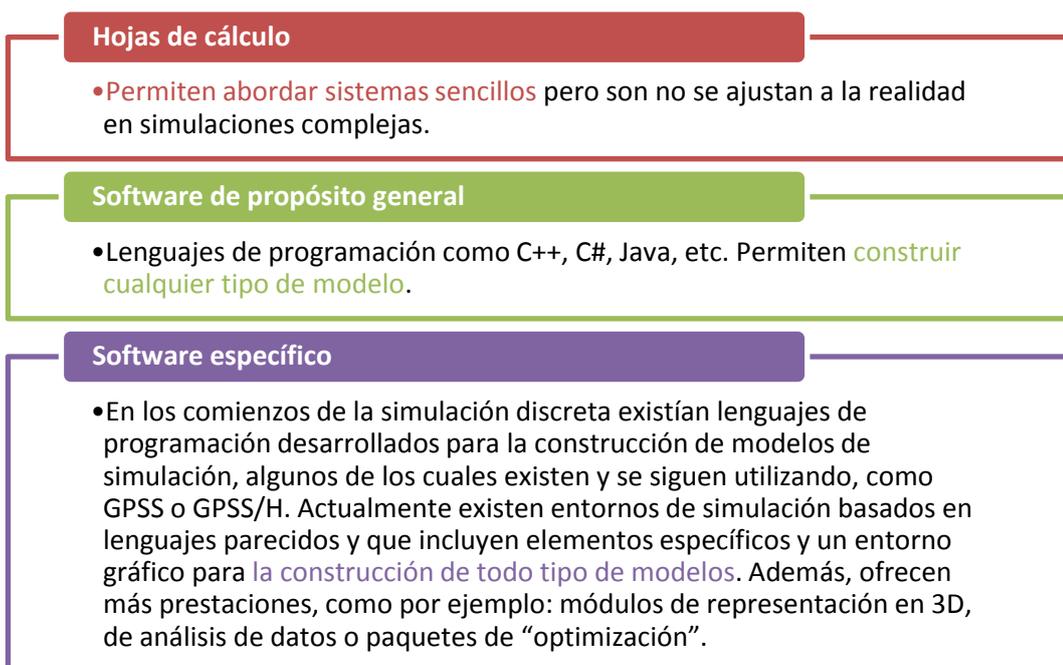


Ilustración 2.2 Tipos de sistemas de simulación

Algunos de los programas más conocidos son Witness, Arena, ExtendSim, Mentor, Instrata, Automod, Promodel o Simul8. Witness es el software que se empleará para la realización de este proyecto, con esta herramienta realizaremos la simulación del proceso de mecanizado de cigüeñales. Éste es el motivo por el que dedicaremos el siguiente apartado de este capítulo a desarrollar las principales características y funciones que presenta el software.

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

2.5. Witness

Witness, cuyo logo vemos en la Ilustración 2.3, es uno de los programas de simulación de procesos más conocido en el mercado y es usado por multitud de compañías con gran prestigio tanto en el ámbito nacional como en el internacional. Contiene un conjunto completo de herramientas para modelizar, analizar y optimizar los procesos y para, de esta forma, mejorar la toma de decisiones.



Ilustración 2.3 Logo de Witness

Este programa ofrece multitud de posibilidades para experimentar y tomar decisiones respecto a cualquier tipo de negocio de forma rápida y económica. La construcción de modelos es sencilla, lo que permite un estudio ágil del entorno sobre el que posteriormente efectuaremos la toma de decisiones. La modelización de los sistemas en Witness se basa en representar el proceso real mediante un modelo, pudiendo ver indicadores del proceso, en dos o tres dimensiones. Durante la simulación, podemos ver cómo evoluciona el proceso, pudiendo modificar parámetros durante la simulación. También se puede lanzar la simulación de forma rápida sin ver la evolución del proceso.

Los modelos pueden incorporar todo tipos de eventos que ocurren en la realidad como, por ejemplo: las tasas de fallo de las máquinas o las tasas de cambio de herramientas, la disponibilidad de los operarios o la distribución de los horarios

de trabajo, la adaptación de las máquinas para fabricar diferentes modelos,..., y nos permite generar una red de rutas para vehículos o incluso una red de railes para el guiado de balancelas. La posibilidad de estos eventos ofrece una ventaja con respecto a otro tipo de simulaciones, ya que estos eventos mejoran la modelización y, por tanto, los resultados que obtenemos.

Witness pertenece a Lanner Group. Este conglomerado lanzó al mercado la aplicación hace 30 años siendo el primero de los simuladores industriales 4GL, con esta herramienta. Lanner Group ha conseguido dar un enfoque visual e intuitivo a la simulación permitiendo que modelos de gran complejidad se puedan construir de forma liviana y con una programación sencilla.

Lanner Group es una empresa de software de simulación que proporciona una tecnología que mejora el entendimiento de los procesos, y que permite interactuar con el proceso de forma que ayuda a mejorar la toma de decisiones. Lanner ofrece a los profesionales un software avanzado de simulación bajo su marca WITNESS. La marca L-SIM de Lanner se ha colocado como el principal motor de simulación. La tecnología de Lanner está intrínseca en todo su rango de herramientas, aplicaciones y software de simulación.

Witness está diseñado especialmente para aplicaciones de empresas de procesos ya que va acompañada de una gran variedad de diseños de producción y almacenaje, así como de ejemplos de modelado en logística.

2.5.1. Características de Witness

Las principales características que hacen a Witness un programa muy valorado en el mundo industrial para la simulación son las que podemos ver en la siguiente Ilustración 2.4.



Ilustración 2.4 Lista de características de Witness

Contiene un árbol de elementos para hacer más sencillo la organización de los bloques con los que trabajamos y posee un sistema de ventanas muy similar al de Windows, lo que hace que su uso sea intuitivo. Además, posee una variedad de opciones para el control y la lógica. La representación de la información es muy sencilla y visual, de forma que entendemos el funcionamiento del modelo de forma rápida y la extracción de conclusiones es relativamente sencilla.

En la creación de los modelos se pueden hacer modificaciones de las distintas configuraciones con poco esfuerzo, lo que permite que la construcción del modelo sea simple. Sus ventanas de errores nos permiten detectar fallos en la programación y en los accesos a la memoria; de esta forma, se consigue un modelo fiable.

Otra de las ventajas que ofrece es la posibilidad de generar enlaces a bases de datos como pueden ser las de la empresa ORACLE, la del servidor SQL o la archiconocida Access del paquete de MS Office. También permite la toma de datos de enlaces de entrada y salida directo a hojas de cálculo como puede ser Excel, que pertenece al paquete MS Office, formatos XML, informes HTML, enlaces a BPM y aplicaciones CAD, etc.

Witness es válido para infinidad de sectores y entornos debido a su capacidad de adaptación a los diferentes escenarios que queremos simular. Debido a la multitud de elementos que contiene nos permite una modelización tan real como el propio sistema que queremos modelizar. Los principales sectores que utilizan Witness los mostramos en la siguiente Ilustración 2.5.



Ilustración 2.5 Lista de diferentes sectores en los que se puede simular con Witness

Como podemos comprobar en la imagen, está considerada la industria automovilística a la que pertenece Renault, que es, en este caso, la que se beneficia de este programa para el diseño de la línea de mecanizado de cigüeñales que se va a implantar próximamente en su factoría de Valladolid.

Witness es un programa muy potente que incluye las características que podemos ver en la Ilustración 2.6.

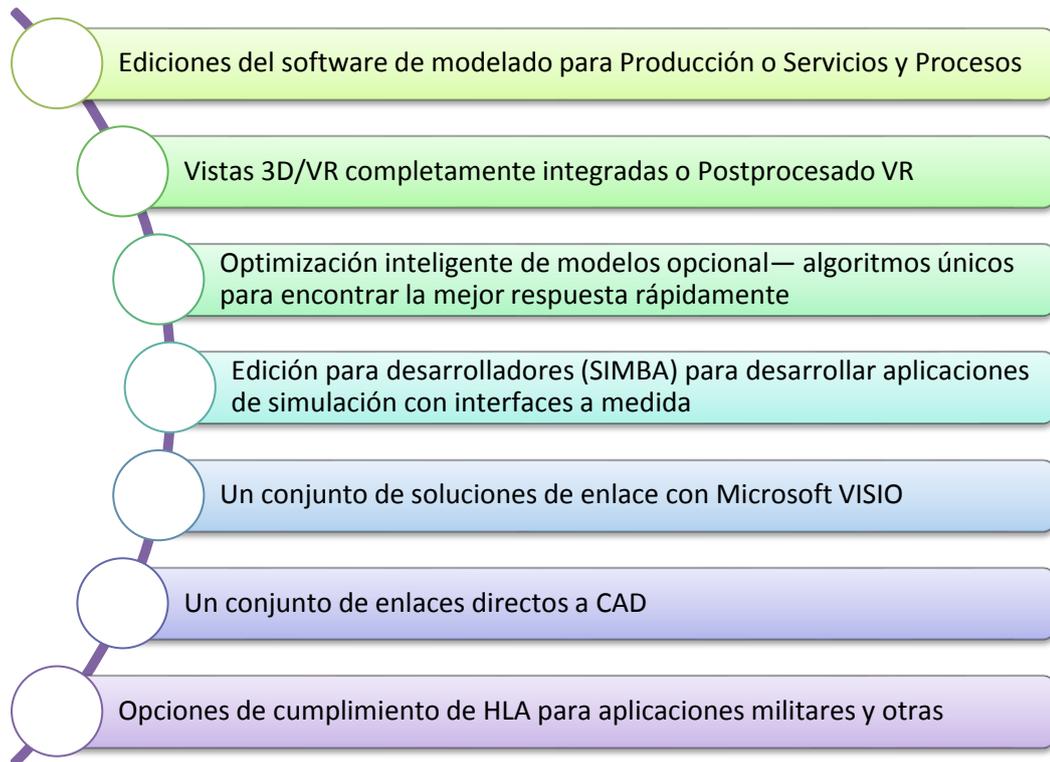


Ilustración 2.6 Opciones que incluye Witness

2.5.2. Modelado en Witness

Para realizar una simulación con el programa Witness tenemos que estudiar el sistema para poder hacer un modelo representativo del mismo. Una vez realizado el estudio del sistema pasamos a elegir los elementos de Witness para construir el modelo y que éste represente al sistema de una forma adecuada.

Mediante la lógica programaremos el funcionamiento del modelo para que sea representativo del funcionamiento del sistema, posteriormente se definirán las reglas de entrada y salida que gestionan los elementos. El aspecto del área de trabajo de Witness es similar al de cualquier programa ya que sus pantallas conservan esa esencia de Windows. Una vez abierto el programa, la pantalla principal que nos encontramos es la que podemos ver en la Ilustración 2.7.

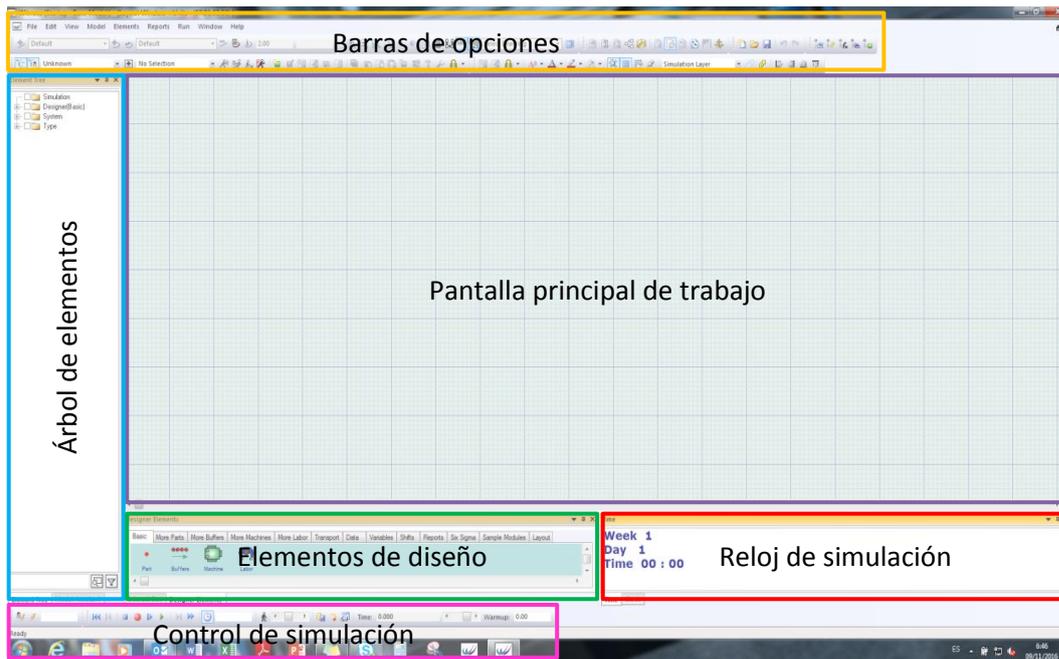


Ilustración 2.7 Pantalla inicial de Witness

En la zona central podemos observar el área de trabajo para el modelo. En la zona superior tenemos todas las barras de opciones. Sobre la zona inferior encontramos los mandos para manejar el reloj y la simulación. Por último, sobre la zona izquierda podemos ver la ventana que contiene el árbol de elementos, así como los elementos predefinidos de diseño.

En la construcción de un modelo en Witness utilizamos elementos físicos, que se unen entre sí a través de una serie de reglas. Modelizando correctamente el comportamiento del modelo y haciendo que éste sea representativo del sistema que queremos simular conseguiremos que los datos que obtenemos sean útiles para la toma de decisiones.

Las tres categorías principales de elementos con los que trabaja Witness son los elementos físicos, los elementos lógicos y los elementos gráficos. Todos ellos cuentan con varios subgrupos que intentaremos explicar de la forma más sencilla y ordenada posible para entenderlos.

Los **elementos físicos** representan los componentes del sistema y se pueden clasificar en discretos o continuos. Los *elementos discretos* se simbolizan como figuras dinámicas y representan el comportamiento de elementos tangibles del sistema estudiado.

- *Parts*: son elementos que discurren por el modelo. Pueden representar productos, lotes, componentes, etc. Los parts se mueven por el modelo,

pueden asociarse con otros parts o disgregarse en varios de estos. Cuando se define un part hay que elegir si es activo; en cuyo caso es necesario definir cuantos parts entran en el modelo. Si no es activo tiene que haber un elemento que tire del part desde el suministro infinito “mundo”.

- *Queues/Buffers*: son zonas donde se almacenan los parts que están a la espera. Con estos elementos se representan almacenes, transportadores, colas y estanterías. Los queues o buffers no son activos por lo que deben estar entre elementos activos para que empujen parts hacia ellos o tiren de parts desde estos lugares.
- *Machines*: uno de los elementos principales de la simulación y de los más usados. Simbolizan el trabajo que se realiza sobre los parts. Las machines modifican los parts en un tiempo determinado. Pueden procesar uno o varios parts, ensamblar varios o producir nuevos. A continuación, vamos a ver los diferentes tipos de machines que existen:
 - *Single machine*: procesa parts de uno en uno.
 - *Batch Machine*: procesa un lote o grupo de parts cada vez. Es necesario especificar el número mínimo y máximo de parts que constituyen el lote o grupo.
 - *Assembly Machine*: toma más de un part a la entrada mientras que a la salida solo proporciona uno. Es necesario especificar el número de Parts que serán ensambladas en un único Part.
 - *Production Machine*: produce varios parts a partir de uno. Es necesario especificar cuantos parts que se producirán de manera que el número de parts que salgan será la cantidad que se produce más una. También es necesario indicar el tipo de part que se emplea.
 - *General Machine*: saca diferentes cantidades de diferentes parts. Es necesario especificar el número de entradas y salidas.
 - *Multi Machine*: procesa uno o más parts a través de un número de estaciones. Es necesario especificar el número de estaciones y de Parts por estación. Si la cantidad de parts es mayor que 1, la Machine es una multistation.
- *Labour*: se trata de un elemento que sirve para modelizar los recursos humanos y materiales. Pueden ser utilizados por otros elementos en el proceso.
- *Conveyors*: transportan los parts por el modelo con una velocidad determinada.

- *Path*: caminos por los que pueden discurrir los parts y los labors para ir de un lugar a otro.
- *Tracks*: vías por los que circulan los vehículos del modelo. Pueden transportar parts o ir vacíos. Con este elemento también se pueden definir zonas de carga y descarga, además de parkings.
- *Vehicles*: representan los vehículos que transportan parts por el modelo.
- *Power & Free*: sirven para modelizar las características de los sistemas de transporte como son las Redes, Secciones, Estaciones y Transportadores.
- *Modules*: es un elemento compuesto por uno o varios elementos de Witness. Los módulos se definen como cualquier otro componente.

Por su parte, los *elementos continuos* se utilizan en modelos donde el flujo se presenta como un elemento continuo:

- *Fluids*: representan flujos como fluidos, calor o productos de flujo como el polvo. Se representan como flujos de colores que fluyen a través del modelo; generalmente, a través de tanks, processors o pipes.
- *Tanks*: funcionan como elementos en los que se puede almacenar los fluids y cuya capacidad se mide en volumen. Tienen reglas de entrada y salida y pueden visualizarse los fluids dentro de ellos.
- *Processors*: procesan los fluids. Son los homologos a las machines en los elementos discretos. Dentro del processor el fluid sufre alguna modificación.
- *Pipes*: sirven como nexo de unión entre los tanks y los processors. Por ellos fluye una cantidad de fluid en un determinado tiempo. Se pueden configurar tasas de fallo y de setup, y tienen reglas de entrada y salida.

Los **elementos lógicos** permiten gestionar la información y la lógica del modelo. Representan aspectos relativos a datos e informes.

- *Attributes*: describen las características de los parts y los labors. Se trata de adjetivo que acompaña al part por el modelo pudiéndose cambiar en los diferentes elementos del modelo. Se les puede dar diferentes valores según sea la definición el attribute.
- *Variables*: se corresponden con los valores a los que se puede acceder en el modelo. Además de las variables propias del sistema Witness, se pueden definir todo tipo de variables de usuario. Las variables no van asignadas a ningún elemento del modelo, si no que su valor es el mismo

para todo el modelo en cualquier momento de la simulación, pudiendo cambiar con las diferentes acciones del modelo.

- *Files*: es una herramienta que nos proporciona Witness para facilitar el uso de ficheros de datos en el modelo. Los Files permiten obtener valores que son utilizados en la simulación y cargarlos en un modelo. También puede guardar valores del modelo en un archivo para su posterior utilización en informes, presentaciones, etc.
- *Distributions*: permiten dar variabilidad al modelo introduciendo datos que siguen una distribución. Witness proporciona distintos tipos de distributions:
 - Distribuciones enteras: Uniforme, Binomial y Poisson.
 - Distribuciones reales: Beta, Gamma, Erlang, Logaritmica normal, Negativa exponencial, Normal, Normal truncada, Triangular, Uniforme, Weibull.

Además de las distributions que vienen por defecto en Witness, el usuario puede definir distribuciones en caso de que estas distributions no se ajusten a la que ha observado. Para que las distribuciones funcionen en Witness es 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 quiere simular a fin de que el evento no usurpe aleatoriedad a otros eventos.

- *Functions*: Witness cuenta con un gran número de funciones definidas que se pueden utilizar para mejorar la lógica en la simulación. Además, permite la creación de funciones al usuario. Se puede mostrar la evolución de las funciones mediante su representación gráfica y mediante la devolución de valores. Las funciones del sistema incluyen funciones de informes y estados, funciones para generar variables aleatorias y funciones aritméticas y para gestionar nombres.
- *Part files*: es un archivo de entidades que contiene una lista de parts. Se pueden especificar los tamaños de los lotes, los atributos y el momento de entrada al modelo de las entidades que contiene la lista de parts.
- *Shifts*: es un elemento que nos permite simular tiempos de trabajo. Este elemento permite simular turnos de trabajo, horarios, etc.

Los **elementos gráficos** representan los eventos que están ocurriendo en el modelo durante la simulación. La representación de la información y de los estados del proceso constituye una función vital del programa, ya que ayuda a entender qué ha ocurrido en la simulación. La representación es muy visual e intuitiva y ayuda en la extracción de conclusiones y en la toma de decisiones.

- *Pie charts*: diagramas de tarta, o también llamados diagrama de quesitos, muestran los datos por medio de sectores. Los diagramas de quesitos son muy útiles en la representación de porcentajes o de fracciones.
- *Timeseries*: gráfica en la que se representa la evolución de los valores a lo largo del tiempo. Se pueden representar hasta siete valores por gráfica. Las series temporales son útiles para ver la tendencia de un valor. Además, se puede graficar el valor máximo, mínimo, medio y la desviación lo que nos da una idea más descriptiva de la variable.
- *Histograms*: gráfico de barras que sirve para ver el número de valores observado en un rango determinado de valores. Existe una configuración con las barras en horizontal que permite producir los gráficos de tipo Gant. Witness permite la creación de todo tipo de gráficos y representar en ellos todos los resultados que necesitemos.
- *Reports*: es una herramienta muy potente de Witness que permite definir informes personalizados. Los informes pueden tener una representación por defecto o una representación personalizada. A través de la configuración de este elemento 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.

Una vez expuestos los diferentes elementos de los que dispone Witness para definir un modelo indicaremos cómo se relacionan entre ellos y la forma de gestionarlos. Las reglas de entrada y salida son las que nos permiten hacer la gestión y que deberán ser especificadas para cada elemento.

Las reglas de entrada y salida son las que usamos para describir el flujo de los elementos por el modelo; estas reglas se emplean para que los parts entren en el modelo, recorran los diferentes elementos y salgan de modelo. Las reglas básicas de entrada y salida son PULL (tirar de) y PUSH (empujar a). La síntesis se escribe de la siguiente forma (siendo X el elemento donde se escribe la lógica):

PUSH to X1. Las entidades se empujan desde el elemento X hasta el elemento X1.

PULL from X2. El elemento X tira de las entidades del elemento X2 hasta el elemento X.

Los elementos que creamos vienen por defecto con el estado “en espera”. Un elemento puede recibir entidades si activamos la casilla “tirar de” y programamos la lógica necesaria para que esto ocurra. También puede recibir entidades si se encuentra en espera y el elemento anterior cuenta con la casilla

de “empujar a” activada y con la programación lógica necesaria para que esto ocurra.

Un elemento puede pasar entidades si activamos la casilla “empujar a” y programamos la lógica necesaria para que esto ocurra y también puede ocurrir como en el caso anterior y que sea el elemento siguiente el que tenga activada la casilla “tirar de” con la lógica correspondiente y el elemento que va a pasar la pieza se encuentre “en espera”.

Es muy importante dentro de la programación lógica que tengamos cuidado a la hora de hacer la programación ya que ésta tiene una estructura definida y no podemos hacer lo que nosotros queramos. Witness tiene un compilador interno para ayudar a validar la programación lógica que hemos insertado dentro de las reglas básicas de entrada y salida. El compilador aparece en la parte inferior de la pantalla de programación en forma de botón en el que pone VALIDATE; cuando hemos programado el flujo, pulsamos este botón y si todo está conforme nos aparecerá un VALIDATED, en caso contrario, nos aparecerá un error en el que vendrá especificado un mensaje con el tipo de error que hemos cometido. Además, el cursor se desplazará a la zona donde hemos cometido el error para orientarnos y que sea más fácil su resolución.

Otro punto tras haber validado la programación es que esta represente al funcionamiento que queremos modelizar y que esté bien estructurada. Si hemos programado correctamente la forma lógica las reglas de entrada y salida tienen que tener coherencia. Debemos tener especialmente cuidado para que las reglas de entrada y salida se compenetren, ya que es frecuente cometer errores. El compilador puede validar la programación si ésta cumple la estructura correcta pero el programa puede que no funcione como queremos y lo detectaremos al iniciar la simulación. En caso de cometer un error en la programación lo observaremos pues la simulación se bloqueará y el tiempo de simulación se parará, o bien, comenzará a avanzar a gran velocidad debido a que la computadora no realizará ningún cálculo porque la programación no es coherente.

Una vez que hayamos terminado de realizar la programación lógica, es importante iniciar la simulación y fijarnos con mucho detalle si los parts recorren el modelo de forma coherente con nuestra modelización. Para realizar esta actividad nos podemos ayudar de un par de herramientas de Witness que permiten conocer las statistics y states de los elementos. De esta forma, vemos si las variables y los atributos muestran lo que tienen que mostrar y que las máquinas se comportan como se tienen que comportar.

A parte de las reglas básicas mencionadas, Witness cuenta con las siguientes reglas de entrada y salida que podemos observar en la Ilustración 2.8.

- WAIT (Regla de entrada y salida)**
 - La regla viene definida por defecto en las reglas de entrada y salida. El elemento se encuentra en espera.
- PULL (Regla de entrada)**
 - El elemento tira de una lista de estaciones por orden preferente.
- PUSH (Regla de salida)**
 - El elemento empuja a una lista de elementos por orden preferente.
- MOST (Regla de entrada y salida)**
 - El elemento tira o empuja del Part que este en el elemento con más entidades de una lista (hay que especificar la entidad).
- LEAST (Regla de entrada y salida)**
 - El elemento tira o empuja del Part que este en el elemento con menos entidades de una lista (hay que especificar la entidad).
- PERCENT (Regla de entrada y salida)**
 - El elemento tira o empuja un porcentaje de cada Part que aparezca en la lista previamente especificado.
- SEQUENCE (Regla de entrada y salida)**
 - El elemento tira o empuja de los Parts de una lista siguiendo una secuencia y unas reglas en caso de no haber disponibilidad para coger.
- IF (Regla de entrada y salida)**
 - Si esta expresión es cierta se realiza la serie de acciones programadas.
- SELECT (Regla de entrada y salida)**
 - Selección de donde se toman o hacia donde se empujan los Parts en función de una expresión.
- BUFFER (Regla de entrada y salida)**
 - La máquina crea un buffer de entrada o o de salida.
- MATCH (Regla de entrada)**
 - Permite a la máquina tener distintas entradas.
- RECORD (Regla de entrada y salida)**
 - Permite grabar valores de variables en histogramas

Ilustración 2.8 Reglas de entrada

Los parts pueden entrar al modelo de dos formas bien diferenciadas. Un part activo entra al modelo cada cierto tiempo por el contrario un part pasivo entra al modelo a demanda de un elemento activo. Dentro de los parts pasivos que son los que hemos utilizado en la simulación, la forma más habitual es crearlo desde el WORLD (mundo); para introducir al modelo el part de esta forma tenemos que utilizar una regla de entrada PULL (tirar de). La otra opción es mediante una máquina de producción, la máquina de producción es capaz de generar dos o más parts de un part inicial y, de esta forma, podemos introducir un part al modelo.

Los parts pueden abandonar el modelo de tres formas diferentes. Las tres formas tienen en común que se hace desde un elemento activo y dos de ellas usan reglas de salida como, por ejemplo, PUSH (empujar hacia). La forma habitual es su expedición como producto acabado a través de la programación "PUSH to SHIP" (embarque). Por el contrario. Si la pieza es mala y queremos desecharla, lo haremos a través de la programación "PUSH to SCRAP" (basura). La otra forma existente para eliminar un part del modelo es mediante una máquina de ensamblado: la máquina de ensamblado es capaz de unir dos o más parts en un part final; de esta forma, el part abandona el modelo sin haber sido expedido o desechado.

Witness cuenta con un lenguaje sencillo de programación basado en acciones. Las acciones permiten proporcionar al modelo la lógica necesaria para el correcto funcionamiento. Con la utilización de estas acciones podemos manipular las variables y atributos, podemos escribir o leer datos desde ficheros y controlar las entidades del modelo.

El lenguaje de programación de Witness es similar al lenguaje de programación VISUAL BASIC; la programación se hace en inglés y cuenta con una extensa ayuda. Con la utilización de acciones se pueden especificar instrucciones relativas a la lógica del modelo permitiendo modelar todo tipo de cálculos que soportan las decisiones reales que se han estudiado. Las acciones sirven para establecer las condiciones iniciales del modelo y para gestionar las interacciones de los elementos del modelo con el usuario. Existen varias etapas clave donde se pueden utilizar como son: las entradas y salidas de los elementos o el inicio o el fin del ciclo en las máquinas.

Una vez concluida la construcción y definición del modelo se procede a la experimentación y a la toma de resultados. En el instante en que la simulación arranca el tiempo comienza a pasar y Witness testea todos los elementos creados por orden cronológico, observando si ese elemento contiene un part o lo

va a contener, y realiza las acciones que correspondan. Con el modelo en marcha, Witness nos permite generar informes que ayudarán a valorar los cambios que se producen por las influencias de los distintos escenarios.

Una vez realizada la simulación, el programa se detiene automáticamente, mostrando la ventana de simulación con todos los elementos que hemos programado para mostrar los datos y con una foto de cómo se encuentra el modelo en el instante en el que se ha detenido el tiempo. Cuando la simulación ha acabado es muy útil que la guardemos como un archivo de simulación .sim; de esta forma, podremos acceder a la simulación realizada sin necesidad de volver a correr todo el tiempo de simulación que habíamos programado permitiéndonos y, de este modo, obtener toda la información necesaria de forma instantánea.

3. Construcción del modelo en Witness

Una vez descritos los fundamentos del proyecto, llega el momento de afrontar el trabajo realizado para construir la simulación en Witness de la nueva línea de mecanizado de cigüeñales de Renault Valladolid. Dicho trabajo se ha estructurado en una serie de etapas que iremos describiendo en los diferentes apartados que componen el presente capítulo.

El primer apartado es uno de los más importantes y necesarios en cualquier proyecto de simulación, ya que se corresponde con la recopilación de los datos de entrada y su posterior ordenación en forma de tablas para que se puedan ver claramente y, de esta forma, podamos introducirlos en el modelo sin cometer ningún fallo, lo que supondría un error grave ya que los resultados no serían los correctos.

Los apartados posteriores corresponden con la selección de los diferentes elementos que vamos a utilizar en la modelización, así como su representación en el tapiz de Witness para ir creando un modelo semejante a la realidad, con el mismo número de elementos máquina, piezas, etc. Además, vamos a explicar cómo construir el modelo y unir el flujo mediante la programación de las acciones PUSH y PULL y de otros tipos de programación, que nos ayudarán a hacer el modelo lo más semejante posible a la realidad.

Por otra parte, mostraremos cómo se ha desarrollado el modelo, partiendo de cómo se configura Witness particularmente para trabajar con él. Seguiremos con el modelizado de las piezas, las máquinas, las mantenencias y toda la serie de recursos para mostrar los resultados. El aspecto del modelo en el programa Witness se puede observar en la Ilustración 3.1. En la zona izquierda de la imagen se sitúa la línea de mecanizado con las múltiples máquinas y mantenencias, además de la zona de carga y descarga. En la zona de la derecha se encuentran las diferentes gráficas que muestran los resultados que necesitamos obtener del modelo y que nos ayudarán en la toma de decisiones a la hora de llevar a cabo la instalación de la línea.

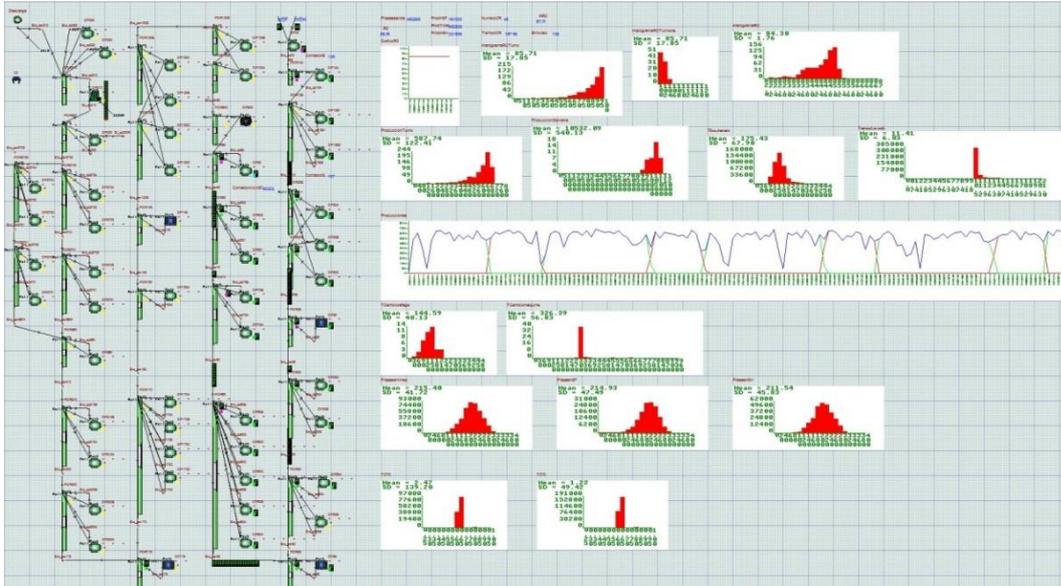


Ilustración 3.1 Vista general del modelo de simulación en la aplicación Witness

3.1. Recopilación de datos de entrada. Fichas de proveedor.

La recopilación de los datos de entrada se hace a través de reuniones con los responsables de las máquinas ya que estos son los que tienen contacto con los proveedores. Los proveedores son, en resumen, los que proporcionan los datos de las diferentes máquinas y mantenimientos a los responsables de Renault. Hay dos tipos de datos que recopilamos: los que caracterizan la línea, como por ejemplo el tiempo de ciclo, la producción anual o la forma de funcionamiento general de la línea y son definidos por el personal Renault desde la dirección de la empresa y las altas esferas; y los enviados por los proveedores a los responsables de las máquinas y mantenimientos a través de las fichas FMD, cuyo contenido hemos explicado en el primer capítulo de este proyecto dentro del punto 1.5.

En la Tabla 3.1 hemos recogido las capacidades de los elementos de almacenamiento de piezas entre operaciones. En la tabla existen cinco columnas que se corresponden con los siguientes elementos: la primera y la segunda columna enumeran las operaciones, la tercera es en la que se determina el número de piezas máximo que caben en los elementos de manutención, la cuarta muestra el tipo de almacenamiento que corresponde con cada clase de manutención y, por último, en la quinta columna se muestra el modo de funcionamiento de la manutención de cada operación, es decir, la forma que tiene de aprovisionar las piezas sobre las paletas que circulan en el transportador o las uves de apoyo que tienen los posajes.

Tabla 3.1 Tipo y capacidad de la manutención

Nº OPERACIÓN	STOCK ENTRE OPERACIONES	CAPACIDAD IMPLANTACIÓN (Nº de piezas)	TIPO DE STOCK	MODO DE FUNCIONAMIENTO
1	Carga-OP10A	25	Manutención	Aprovisiona 1 pieza
2	OP10A-OP10B	1	Pórtico	Aprovisiona 1 pieza
3	OP10B-OP20	14	Hipódromo	Aprovisiona 1 pieza
4	OP20-OP28	14	Hipódromo	Aprovisiona 1 pieza
5	OP28-OP30	1	Posaje	Aprovisiona 1 pieza
6	OP30-OP50	14	Hipódromo	Aprovisiona 1 pieza
7	OP50-OP55	1	Posaje	Aprovisiona 1 pieza
8	OP55-OP60	18	Manutención	Aprovisiona 1 pieza
9	OP60-OP70	14	Hipódromo	Aprovisiona 1 pieza
10	OP70-OP80	1	Posaje	Aprovisiona 1 pieza
11	OP80-OP90	14	Hipódromo	Aprovisiona 1 pieza
12	OP90-OP100	14	Hipódromo	Aprovisiona 1 pieza
13	OP100-OP130	18	Manutención	Aprovisiona 1 pieza
14	OP130-OP145	16	Transportadores	Aprovisiona 1 pieza
15	OP145-OP150	1	Posaje	Aprovisiona 1 pieza
16	OP150-OP170	16	Transportadores	Aprovisiona 1 pieza
17	OP170-OP175	1	Posaje	Aprovisiona 1 pieza
18	OP175-OP200	18	Manutención	Aprovisiona 1 pieza
19	OP200-OP210	14	Hipódromo	Aprovisiona 1 pieza
20	OP210-OP260	14	Hipódromo	Aprovisiona 1 pieza
21	OP260-OP270	14	Hipódromo	Aprovisiona 1 pieza
22	OP270-OP300	14	Hipódromo	Aprovisiona 1 pieza
23	OP300-OP310	1	Pórtico	Aprovisiona 1 pieza
24	OP310-OP320	1	Pórtico	Aprovisiona 1 pieza
25	OP320-OP330	1	Pórtico	Aprovisiona 1 pieza

En la Tabla 3.2 hemos recopilado las herramientas que contiene cada máquina por operación así como la cantidad de piezas que se fabrican con cada una y que corresponde con la primera columna llamada frecuencial de cambio de herramienta. En la segunda columna mostramos el tiempo de cambio de herramienta que corresponde con el tiempo desde que quitamos la herramienta gastada hasta que colocamos la herramienta nueva y arrancamos la máquina.

En la Tabla 3.3 hemos reunido los datos del número de máquinas por operación, así como el número de estaciones de mecanizado que tiene cada máquina en la primera y segunda columna. En la tercera mostramos el tiempo de ciclo que se tarda en realizar la operación, en el caso de la OP60 tenemos dos tiempos distintos, ya que el mecanizado de las dos diversidades es diferente y, por tanto, su tiempo de ciclo es diferente.

Tabla 3.2 Tasas de cambio de herramienta

OPERACIÓN	FRECUENCIAL DE CAMBIO DE HERRAMIENTA (Nº Piezas)	TIEMPO DE CAMBIO DE HERRAMIENTA (Minutos)
OP10A	10127	10
OP10B	250	5
	250	2
	500	1
	1000	1
OP20	200	2
	200	2
	600	2
OP28	500	1
OP30	963	5
OP50	250	2
	625	2
OP55	500	1
OP60	250	5
	300	1
	1000	1
	1250	1
	2500	1
	4000	1
OP70	250000	2
OP80	50000	0.8
OP90	2500	9
OP100	300	3.49
OP130	200	20
	52000	10
	104000	120
OP145	10000	1
OP150	1000	5
	1000	1.24
OP170	250	2
	500	2
	750	1
	1000	2
	2000	2
OP175	500	1
OP200	289	10
	4750	63.5
OP210	289	10
	4750	54.4
OP260	10000	10
	900	2.3
OP270	13000	20
	100000	7
OP300	180	0.6
OP310	225000	2
OP320	500	1
OP330	500	1

Tabla 3.3 Tiempos de ciclo, numero de máquinas y estaciones de mecanizado

OP	Nº MÁQUINAS	NÚMERO DE ESTACIONES	TIEMPO DE CICLO (Minutos)
OP10A	1	1	0.67
OP10B	2	1	1.3
OP20	3	1	1.59
OP28	1	1	0.35+0.117
OP30	2	1	1.32
OP50	2	1	1.19
OP55	1	1	0,35+0.11
OP60	5	1	H5F 3.16 H5H 2.9
OP70	2	1	1.34
OP80	1	2	0.7
OP90	1	1	0.7
OP90C	1	1	0.35+0.117
OP100	2	1	1.4
OP130	4	1	2.37
OP145	1	1	0.35+0.117
OP150	1	1	0.655
OP170	4	1	2.72
OP175	1	1	0.55+0.117
OP200	2	1	1
OP210	2	1	1.17
OP260	1	1	0.67
OP270	2	4	0.62
OP300	1	1	0.6
OP310	1	18	0.67
OP320	1	1	0.59
OP330	1	1	0.25+0.117

Como caso especial, vemos que tenemos tres máquinas con varias estaciones, la OP80 y las OP270 en las cuales las diferentes estaciones van alimentadas por los pórticos de carga y descarga. La OP310 corresponde con una máquina de tipo transfer en la cual el avance entre las propias estaciones lo realiza un mecanismo interior propio de la máquina llamado barra transfer o camino de transferización, ya que la pieza entra por un lado de la máquina y sale por otro lado distinto.

La cuarta tabla que adjuntamos es la Tabla 3.4 y en ella hemos recopilado las tasas de fallo que nos proporciona el proveedor. La columna MTBF corresponde con el tiempo medio entre fallos y lo dividimos entre paradas de tipo largo y tipo corto al igual que para la columna TMP que corresponde con el tiempo medio de parada y también cuenta con tipos de parada corta y larga. Mediante estos datos modelizamos el apartado de las máquinas de Breackdowns definiendo los tipos de fallos para utilizar los cuatro datos que nos proporcionan los proveedores.

Tabla 3.4 Tasas de fallo y Disponibilidad Propia

OP	DP Dato (%)	MTBF (Cortas) (Minutos)	TMP (Cortas) (Minutos)	MTBF (Largas) (Minutos)	TMP (Largas) (Minutos)
OP10A	94.7	583	2.3	824	20
OP10B	94.7	583	2.3	1400	30
OP20	87.3	175	1.5	4666	20
OP28	100	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene
OP30	96.3	4666	2	58333	1.27
OP50	95.1	175	1.5	4666	20
OP55	100	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene
OP60	98.2	583	2.3	1400	30
OP70	98	350	3	14000	90
OP80	98.2	1555	6	7000	6
OP90	97.3	No tiene	No tiene	11666	120
OP90C	97.3	No tiene	No tiene	11666	120
OP100	97.6	No tiene	No tiene	41176	112.5
OP130	97	700	10	3500	60
OP145	100	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene
OP150	97.2	583	2.3	1400	30
OP170	98	583	2.3	1400	30
OP175	100	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene
OP200	92.2	700	10	3500	60
OP210	93.1	700	10	3500	60
OP260	98	No tiene	No tiene	7000	45
OP270	98	875	5	7000	33
OP300	100	350	1	35000	15
OP310	98	700	2	14000	90
OP320	100	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene
OP330	100	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene

La DP es la disponibilidad propia de la máquina que es el % de tiempo de uso en el que la máquina es apta para fabricar, si lo ligamos con las paradas la DP la obtendríamos de restar el % que obtenemos de tasas de fallo al realizar la simulación del total que en este caso sería el 100%. En este caso la DP que nos proporciona el proveedor no es un dato de entrada como tal ya que no lo utilizamos en el modelo, pero sí nos sirve para comprobar si las tasas de fallo que nos ha proporcionado corresponden con la tasa de averías una vez realizada la simulación y con esto validar los datos de entrada como buenos o en su defecto contactar con el proveedor a ver qué ocurre y porque no se complementan unos datos con los otros.

La quinta tabla que adjuntamos es la Tabla 3.5 y en ella hemos recopilado el tiempo de ciclo de cada carro que compone los pórticos. Este dato de tiempo de ciclo nos lo ha proporcionado el proveedor mediante un ciclograma por cada uno de los carros en el que viene especificado un ciclo completo con la descripción de

dónde coge la pieza, cómo hace el intercambio de vaciado y llenado de la máquina y dónde deja la pieza. En la simulación incorporamos este tiempo de ciclo dividido por tantos ciclos de PULL y PUSH que hace nuestra máquina pórtico y de esta forma intentamos hacer la equivalencia. Éste es uno de los puntos en el que en el futuro sería interesante el estudio para ver si la modelización ha sido correcta o no.

Lo mismo que para el caso del tiempo de ciclo ocurre con la tasa de fallos. En este caso, el proveedor de mantenimientos no ha incorporado ninguna tasa de fallos en el ciclograma, por lo que hemos acudido a la experiencia y hemos hecho una modelización de los fallos incorporando una pequeña tasa de fallos para obtener aproximadamente un 1% de tasa de fallos y así poder ver, de esta forma, cómo afecta a la producción el fallo de uno de los nexos de unión de la línea como es el pórtico.

Tabla 3.5 Tiempo de ciclo y tasas de fallo de los pórticos

OP	TIEMPO DE CICLO DATO (Minutos)	TIEMPO DE CICLO SIMULACIÓN (Minutos)	MTBF (Minutos)	TMP (Minutos)
POR10	0.575	0.575 / 3	71640	240
POR20E	0.479	0.479	71640	240
POR20S	0.475	0.475	71640	240
POR28	0.245	0.245 / 2	71640	240
POR30	0.538	0.538 / 2	71640	240
POR50	0.53	0.53 / 2	71640	240
POR55	0.204	0.204 / 2	71640	240
POR60	0.54	0.54 / 2	71640	240
POR70	0.382	0.382 / 2	71640	240
POR80	0.571	0.571 / 3	71640	240
POR90	0.422	0.422 / 2	71640	240
POR90	0.22	0.22 / 2	71640	240
POR100E	0.425	0.425	71640	240
POR100S	0.429	0.429	71640	240
POR130E	0.491	0.491	71640	240
POR130S	0.449	0.449	71640	240
POR145	0.369	0.369 / 2	71640	240
POR150	0.405	0.405 / 2	71640	240
POR170	0.473	0.473 / 2	71640	240
POR175	0.348	0.348	71640	240
POR200	0.349	0.349 / 2	71640	240
POR210	0.349	0.349 / 2	71640	240
POR260	0.456	0.456 / 2	71640	240
POR270	0.46	0.46 / 3	71640	240
POR270	0.46	0.46 / 3	71640	240
POR300	0.323	0.323 / 2	71640	240
POR310	0.561	0.561 / 3	71640	240
Manutención	8 m/min	0.04	NO	NO

3.2.Elementos de modelización

Los elementos con los que cuenta Witness para la modelización son los que podemos ver en la siguiente Ilustración 3.2.



Ilustración 3.2 Resumen de los elementos de Witness

Para crear nuestro modelo se han utilizado los siguientes:

Entidad o Part: hemos utilizado los parts para simular las piezas que circulan por la línea de mecanizado. En este caso, debemos crear 2 parts que simbolizan las dos diversidades de cigüeñales, que son las piezas que circulan por la línea. A estos dos parts los nombraremos con el nombre que recibe la diversidad; de esta forma sabremos en todo momento qué pieza estamos fabricando en el modelo.

Cola o Buffer: para crear el modelo hemos utilizado numerosos buffers, ya que se utilizan para representar todas las mantenuciones y elementos de almacenamiento de parts que hay en la línea. Además, hemos utilizado los buffers para ayudarnos a hacer el intercambio en las máquinas que se produce en los pórticos de carga y descarga, ya que es la mejor forma que hemos encontrado de modelizar este intercambio de forma que se asemeje a la realidad. Hemos utilizado los buffers en detrimento de las cintas transportadoras o coveyors debido a su facilidad de modelización y a la falta de datos que son necesarios para una modelización adecuada de los conveyors.

Actividad o Machine: hemos utilizado este elemento para la representación de las máquinas de mecanizado y de control, y de los pórticos de carga y descarga. Éste es el elemento principal de la simulación, ya que representa a las máquinas.

Su modelización es complicada y se necesitan muchos datos como, por ejemplo, el tipo de máquina que es, las estaciones que contiene, el tiempo de ciclo de operación, las tasas de cambio de herramienta y de cambio de producción de diversidad, así como las tasas de fallos, que es uno de los puntos clave de la simulación ya que los fallos determinan el funcionamiento de la línea en su mayor parte.

Módulos: utilizamos el elemento módulo para hacer agrupaciones de los elementos. El módulo es un elemento muy útil ya que nos permite formar grupos y ordenar el árbol de forma que los elementos estén bien organizados. Los principales módulos que formamos son los que componen la máquina con sus variables, atributos y buffers asociados. Hacemos lo mismo para los pódicos creando un módulo de las mismas características que el de la máquina. Además importamos desde la biblioteca que hemos creado los siguientes módulos: el módulo RO que contiene los elementos necesarios para obtener el rendimiento de la línea así como las gráficas para mostrarlo en pantalla, el módulo producción que contiene los elementos necesarios para contabilizar la producción así como las gráficas necesarias para mostrar en pantalla los resultados. Además de estos módulos principales hay otra serie de módulos que utilizamos y que contienen cosas variadas como puede ser el tiempo de producción de una pieza o la cantidad de piezas que circulan por la línea.

Atributos: los hemos empleado para modelizar los elementos que van asociados a las propiedades de la pieza. El principal uso de los atributos es para asignar el tiempo de ciclo a la pieza y a cada operación. A mayores, lo hemos utilizado para llevar a cabo todo el sistema de trazabilidad para saber por qué operaciones ha pasado el part, así como para asignar en qué instante de tiempo ha entrado en el modelo y en qué tiempo ha abandonado el sistema.

Variables: utilizamos las variables para insertar en el modelo cualquier tipo de valor como pueden ser las tasas de fallo, tasas de cambio de herramienta y tiempos de cambio de ráfaga. Además, se han utilizado para incluir el tiempo de ciclo de los transportadores.

Distribución: hemos utilizado un par de las distribuciones que presenta Witness para que el modelo consiguiera representar una serie de porcentajes de tasas de piezas malas y poder rechazarlas. También para hacer más ciclos en una máquina para que fuera conforme a su funcionamiento real.

Función: las hemos empleado para devolver los resultados de la variable rendimiento y producción, y así representarla en los diferentes gráficos utilizados en el modelo.

Serie temporal: es uno de los dos tipos de gráficos que hemos utilizado. Muestra la evolución de los valores a lo largo del tiempo en el que se guarda ese valor; lo hemos utilizado para representar la evolución temporal del rendimiento de la línea y de la producción que se ha generado por turno. En este último hemos utilizado la posibilidad que incorpora de representar varias variables; así vemos la evolución de producción de las dos diversidades que tenemos en el modelo.

Histograma: es el otro de los dos tipos de gráficos que hemos utilizado. Es un gráfico que muestra la cantidad de veces que ha ocurrido un hecho dentro de una franja de valores. En este caso, el histograma nos ha servido para representar el rendimiento, la producción, el tiempo de cambio de ráfaga, ..., ya que resulta muy útil para identificar las barras que guardan más eventos y ver qué tipo de distribución siguen estas variables.

3.3.Construcción del modelo

Para construir un modelo con Witness es esencial crear todos los elementos. Además, hay que insertar todas las acciones así como generar el código de programación lógica.

Los comandos para realizar la construcción del modelo los vemos en la Ilustración 3.3.

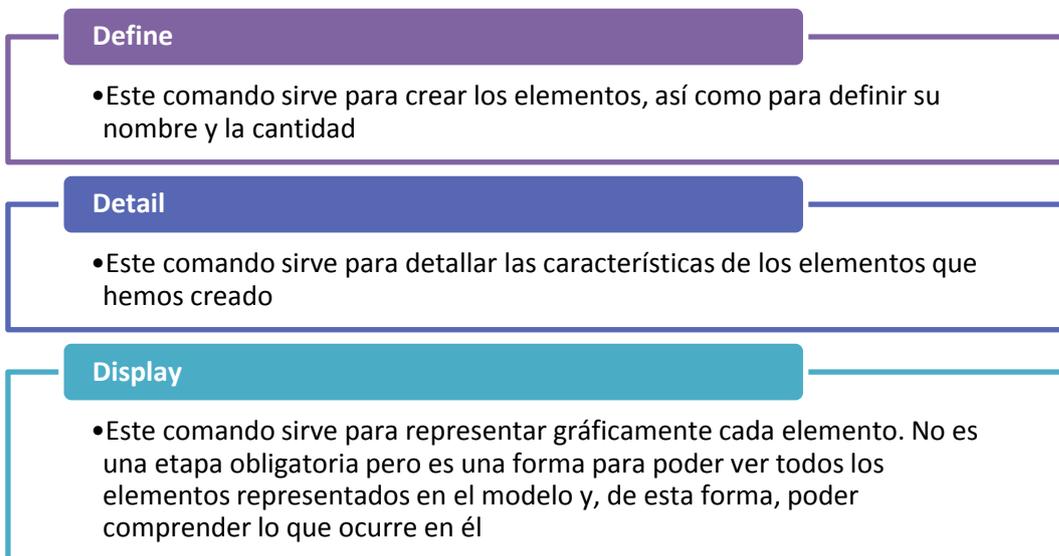


Ilustración 3.3 Comandos para construir el modelo

A continuación, vamos a explicar, operación por operación, cómo hemos modelizado los elementos que componen la línea. Para ello, vamos a explicar los módulos que hemos introducido para cada operación y cómo hemos compuesto

el flujo que sigue la pieza. Los módulos operación y los módulos pósito se componen de los elementos que vemos en la Ilustración 3.4.

Módulo operación

- Máquina OP
- Atributo Tcy
- Variables Tco y Fco
- Variables MTBF y TMP
- Buffer salida Sto

Módulo pósito

- Máquina POR
- Atributo Tcy
- Variables MTBF y TMP
- Buffer salida Sto

Ilustración 3.4 Composición de los módulos operación y pósito

Célula de carga y Operación 10.

Modelizamos la operación de carga y la operación 10 mediante la creación de un módulo operación para crear la OP00, 1 módulo operación y un módulo pósito para la creación de la OP10A y 2 módulos operación y 1 módulo pósito para la creación de la OP10B. Además, para modelizar el funcionamiento del modelo de la forma más real posible se han creado dos variables enteras ContadorE y ContadorS que sirven para el lanzamiento de la producción ya que contabilizan las piezas que pasan en la entrada de la OP10A y en la salida de la OP10B ya que necesitamos lanzar una cantidad de piezas determinada antes de lanzar toda la ráfaga.

El flujo en la operación comienza con una máquina OP00 que introduce los parts al modelo y los coloca sobre el transportador de entrada Stoop00. El pósito de carga POR10A coge los parts del transportador y los coloca sobre la máquina OP10A. El segundo pósito POR10B coge los parts de la máquina OP10A y hace un intercambio en alguna de las máquinas OP10B según disponibilidad y coloca el part que estaba en la máquina OP10B sobre el transportador de salida Stopor10. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración 3.5.

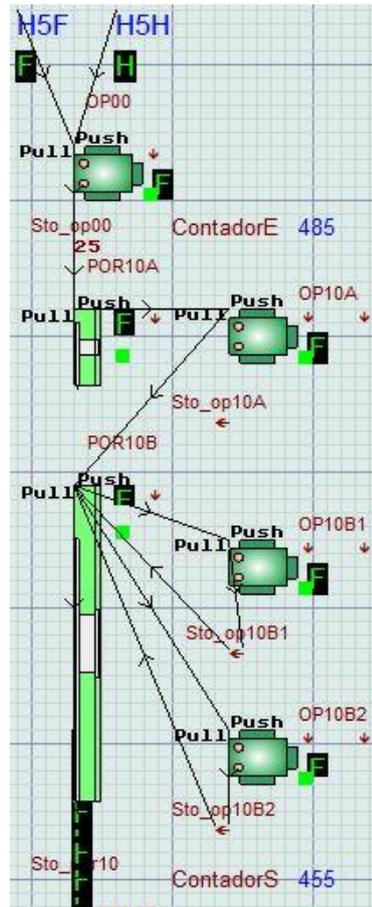


Ilustración 3.5 Célula de carga y operación 10

Operación 20

Modelizamos la operación 20 mediante la creación de 3 módulos operación para crear las máquinas y 2 módulos pórtico para crear los dos carros de los que se compone el pórtico.

El flujo de la operación 20 comienza con un pórtico POR20E que se encarga de coger los parts del trasportador y las coloca sobre la máquina OP20 que esté disponible. El pórtico POR20S se encarga de descargar las máquinas OP20 cuando hayan acabado el ciclo y coloca el part sobre el trasportador de salida Stopor20. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración .

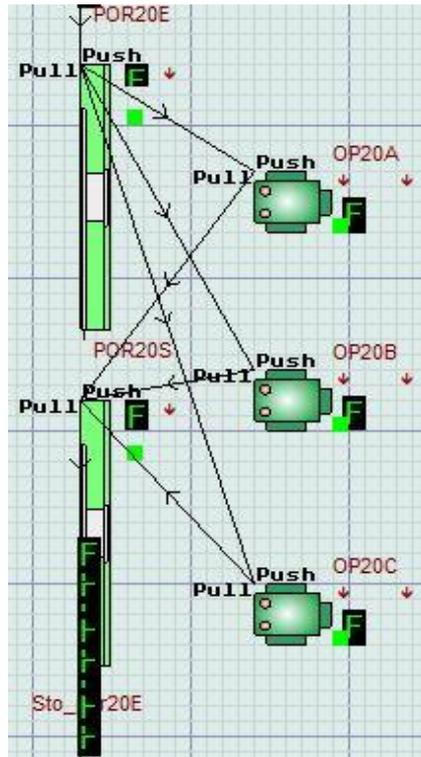


Ilustración 3.6 Operación 20

Operación 28

Modelizamos la operación 28 mediante la creación de 1 módulo operación para crear la máquina y 1 módulo pórtico para crear el carro del que se compone el pórtico.

El flujo de la operación 28 comienza con un pórtico que se encarga de coger las piezas del transportador, hace el intercambio en la máquina OP28 del part y, posteriormente, lo deja sobre el posaje de salida Stopor28. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración 3.7.

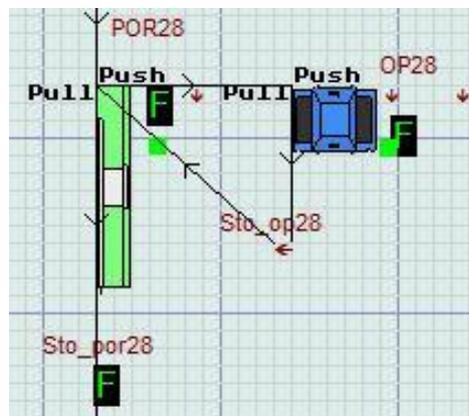


Ilustración 3.7 Operación 28

Operación 30

Modelizamos la operación 30 mediante la creación de 2 módulos operación para crear las máquinas y 1 módulo pórtico para crear el carro del que se compone el pórtico.

El flujo de la operación 30 comienza con un pórtico que se encarga de coger el part del posaje, hace el intercambio del part en una de las máquinas OP30 según disponibilidad y, finalmente, lo deja sobre el transportador de salida Stopor30. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración 3.8.

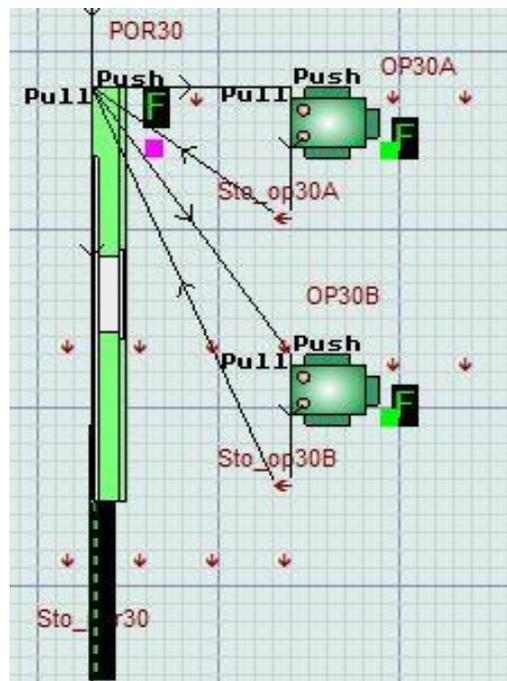


Ilustración 3.8 Operación 30

Operación 50

Modelizamos la operación 50 mediante la creación de 2 módulos operación para crear las máquinas y 1 módulo pórtico para crear el carro del que se compone el pórtico.

El flujo de la operación 50 comienza con un pórtico que se encarga de coger el part del posaje, hace el intercambio del part en una de las máquinas OP50 según disponibilidad y, a continuación, lo deja sobre el posaje de salida Stopor50. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración 3.9.

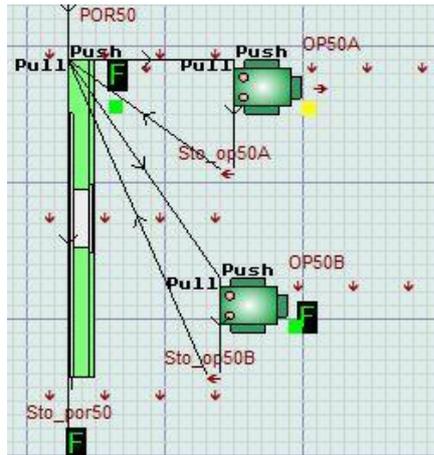


Ilustración 3.9 Operación 50

Operación 55

Modelizamos la operación 55 mediante la creación de 1 módulos operación para crear la máquina y 1 módulo pórtico para crear el carro del que se compone el pórtico.

El flujo de la operación 55 comienza con un pórtico que se encarga de coger las piezas del transportador, hace el intercambio en la máquina OP55 del part y, posteriormente, lo deja sobre el transportador de salida Stopor55. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración 3.10.

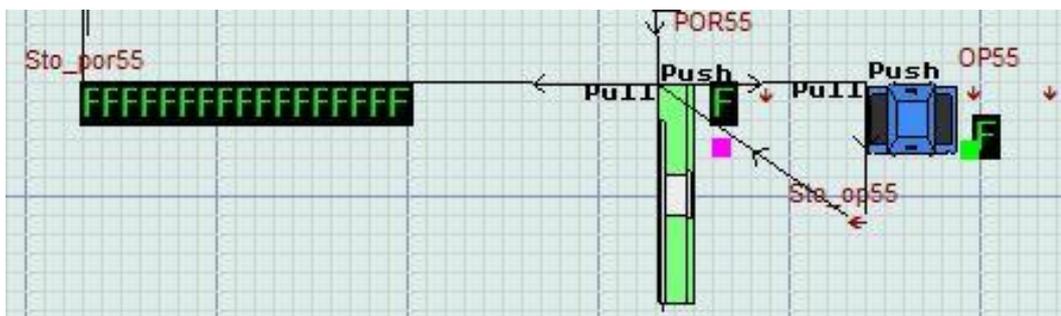


Ilustración 3.10 Operación 55

Operación 60

Modelizamos la operación 60 mediante la creación de 5 módulos operación para crear las máquinas y 1 módulo pórtico para crear el carro del que se compone el pórtico.

El flujo de la operación 60 comienza con un pórtico que se encarga de coger el part del transportador, hace el intercambio del part en una de las máquinas

OP60 según disponibilidad y lo deja sobre el transportador de salida Stopor60. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración 3.11.

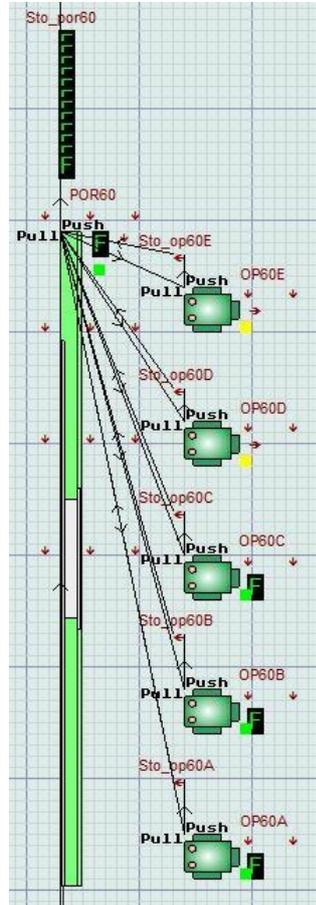


Ilustración 3.11 Operación 60

Operación 70

Modelizamos la operación 70 mediante la creación de 2 módulos operación para crear las máquinas y 1 módulo pórtico para crear el carro del que se compone el pórtico.

El flujo de la operación 70 comienza con un pórtico POR70 que se encarga de coger el part del transportador, hace el intercambio del part en una de las máquinas OP70 según disponibilidad y, finalmente, lo deja sobre el posaje de salida Stopor70. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración 3.12.

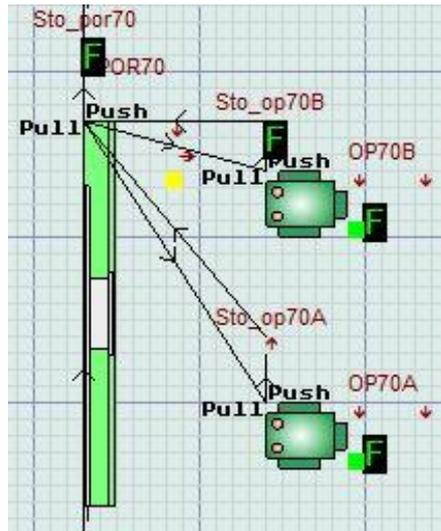


Ilustración 3.12 Operación 70

Operación 80

Modelizamos la operación 80 mediante la creación de 2 módulos operación para crear las máquinas y 1 módulo pórtico para crear el carro del que se compone el pórtico.

El flujo de la operación 80 comienza con un pórtico POR80 que se encarga de coger el part del transportador, realiza el intercambio del part en la primera estación OP80/1 de la máquina, posteriormente hace otro intercambio en la segunda estación OP80/2 de la máquina y, finalmente, lo deposita sobre el transportador de salida Stopor80. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración 3.13.

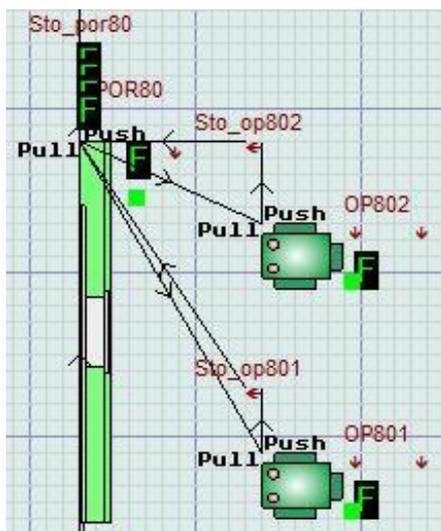


Ilustración 3.13 Operación 80

Operación 90

Modelizamos la operación 90 mediante la creación de 2 módulos operación para crear las máquinas y 2 módulos pórtico para crear el carro del que se compone el pórtico. Además, hemos definido una variable entera que hemos llamado Contadorciclo90 que sirve para modelizar el funcionamiento de la máquina. Dicho funcionamiento consiste en realizar un ciclo normal un porcentaje de veces, aunque hay un pequeño porcentaje de veces que el ciclo se desvía; mediante una distribución uniforme conseguimos obtener ese porcentaje y mediante esta variable lo contabilizamos para ver si se cumple la modelización.

El flujo de la operación 90 comienza con un pórtico POR90 que se encarga de coger el part del transportador, hace el intercambio del part en la primera máquina OP90 y deposita el part sobre el centrifugador OP90C. Un segundo pórtico PO90C es el encargado de descargar el centrifugador OP90C y dejar el part sobre el transportador de salida Stopor90. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración 3.14.

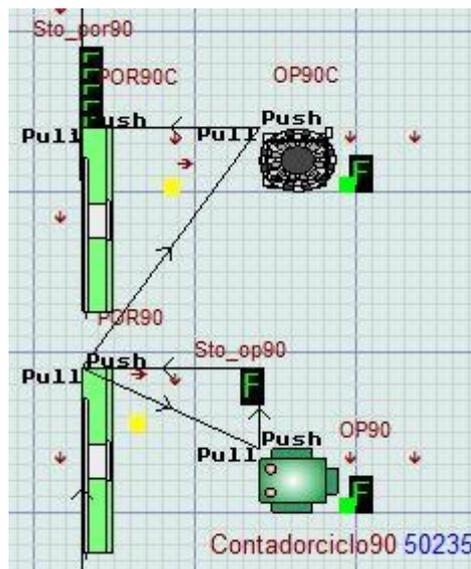


Ilustración 3.14 Operación 90

Operación 100

Modelizamos la operación 100 mediante la creación de 2 módulos operación para crear las máquinas y 2 módulos pórtico para crear los carros de los que se compone el pórtico.

El flujo de la operación 100 comienza con un pórtico POR100E que se encarga de coger los parts del transportador y los coloca sobre la máquina OP100 que esté disponible. El pórtico POR100S se encarga de descargar las máquinas OP100

cuando hayan acabado el ciclo y coloca el part sobre el transportador de salida Stopor100. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración 3.15.

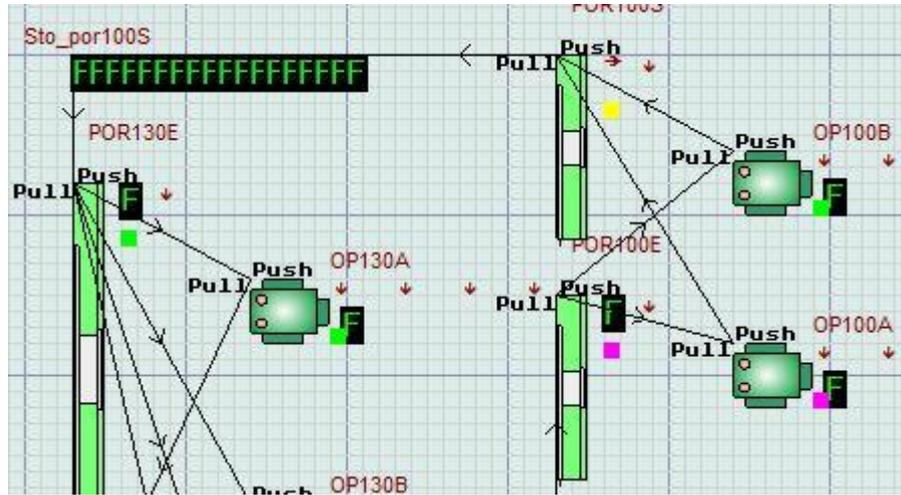


Ilustración 3.15 Operación 100

Operación 130

Modelizamos la operación 130 mediante la creación de 4 módulos operación para crear las máquinas y 2 módulos pórtico para crear los carros de los que se compone el pórtico.

El flujo de la operación 130 comienza con un pórtico POR130E que se encarga de coger los parts del trasportador y las coloca sobre la máquina OP130 que éste disponible. El pórtico POR130S se encarga de descargar las máquinas OP130 cuando hayan acabado el ciclo y coloca el part sobre el transportador de salida Stopor130. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración 3.16.

Operación 145

Modelizamos la operación 145 mediante la creación de 1 módulo operación para crear la máquina y 1 módulo pórtico para crear el carro del que se compone el pórtico.

El flujo de la operación 145 comienza con un pórtico POR145 que se encarga de coger las piezas del posaje y hace el intercambio en la máquina OP145 del part y posteriormente lo deja sobre el posaje de salida Stopor145. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración 3.17.

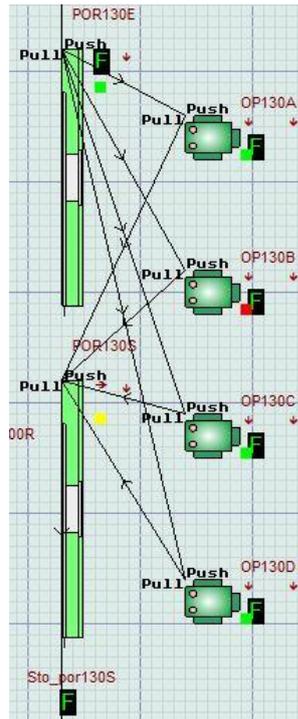


Ilustración 3.16 Operación 130

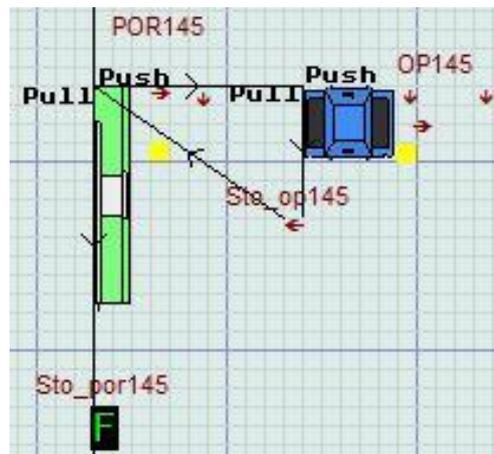


Ilustración 3.17 Operación 145

Operación 150

Modelizamos la operación 150 mediante la creación de 1 módulo operación para crear la máquina y 1 módulo pórtico para crear el carro del que se compone el pórtico.

El flujo de la operación 150 con un pórtico POR150 que se encarga de coger el part del posaje, hace el intercambio del part la máquina OP150 y lo deja sobre el transportador de salida Stopor150. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración 3.18.

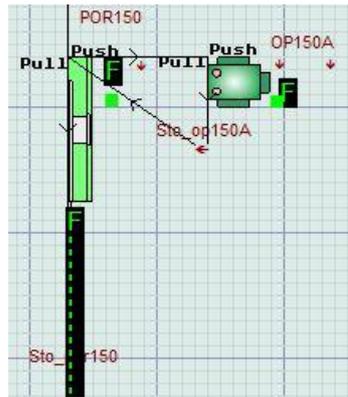


Ilustración 3.18 Operación 150

Operación 170

Modelizamos la operación 170 mediante la creación de 4 módulos operación para crear las máquinas y 1 módulo pórtico para crear el carro del que se compone el pórtico.

El flujo de la operación 170 comienza con un pórtico POR170 que se encarga de coger el part del transportador, hace el intercambio del part en una de las máquinas OP170 según disponibilidad y, finalmente, lo deposita sobre el transportador de salida Stopor170. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración 3.19.

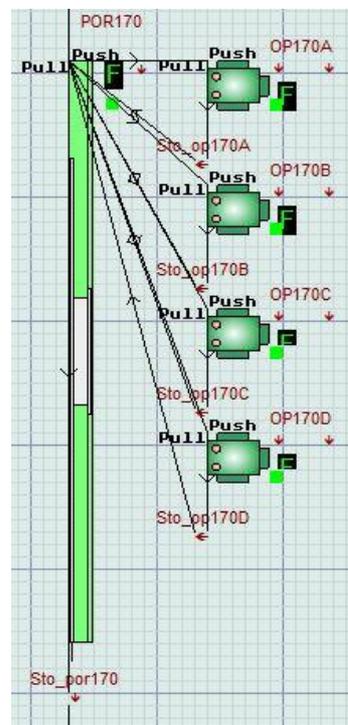


Ilustración 3.19 Operación 170

Operación 175

Modelizamos la operación 175 mediante la creación de 1 módulo operación para crear la máquina y 1 módulo pórtico para crear el carro del que se compone el pórtico.

El flujo de la operación 175 comienza con un pórtico POR175 que se encarga de coger las piezas del transportador, hace el intercambio en la máquina OP175 del part y lo deja sobre el transportador de salida Stopor175. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración 3.20.

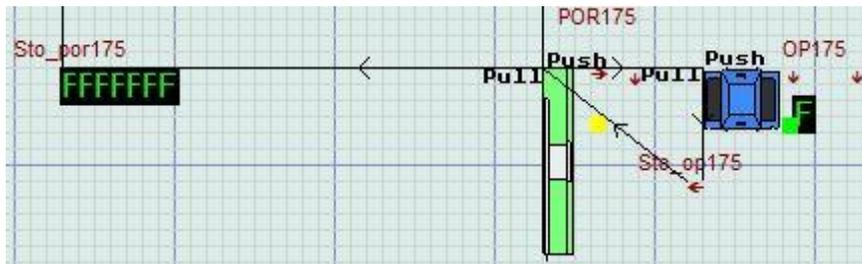


Ilustración 3.20 Operación 175

Operación 200

Modelizamos la operación 200 mediante la creación de 2 módulos operación para crear las máquinas y 1 módulo pórtico para crear el carro del que se compone el pórtico.

El flujo de la operación 200 comienza con un pórtico POR200 que se encarga de coger el part del transportador, hace el intercambio del part en una de las máquinas OP200 según disponibilidad y lo deja sobre el transportador de salida Stopor200. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración 3.21.

Operación 210

Modelizamos la operación 210 mediante la creación de 2 módulos operación para crear las máquinas y 1 módulo pórtico para crear el carro del que se compone el pórtico.

El flujo de la operación 210 comienza con un pórtico POR210 que se encarga de coger el part del transportador, hace el intercambio del part en una de las máquinas OP210 según disponibilidad y posteriormente lo deja sobre el transportador de salida Stopor210. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración 3.22.

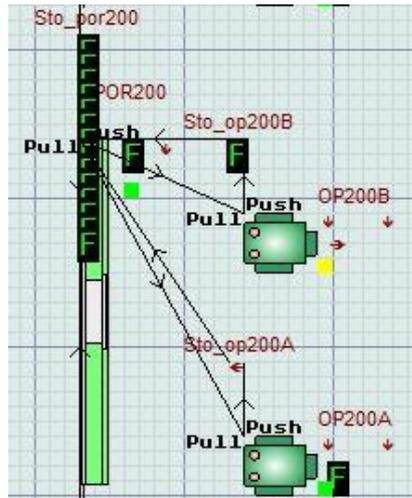


Ilustración 3.21 Operación 200

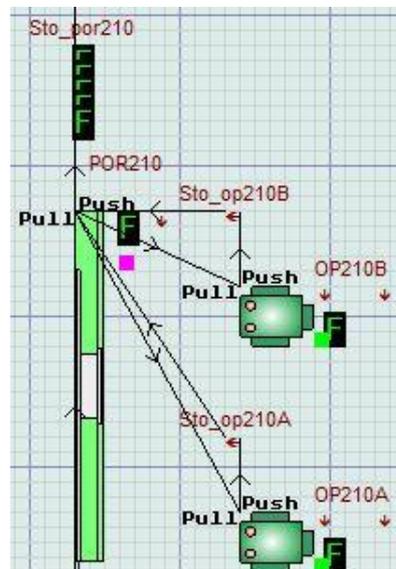


Ilustración 3.22 Operación 210

Operación 260

Modelizamos la operación 260 mediante la creación de 1 módulo operación para crear la máquina y 1 módulo pósito para crear el carro del que se compone el pósito.

El flujo de la operación 260 comienza con un pósito POR260 que se encarga de coger las piezas del transportador, hace el intercambio en la máquina OP260 del part y, finalmente, lo deja sobre el transportador de salida Stopor260 según el tipo de part que sea ya que cada diversidad pasa por una operación 270. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración 3.23.



Ilustración 3.23 Operación 260

Operación 270

Modelizamos la operación 270 mediante la creación de 8 módulos operación para crear las máquinas y 4 módulos pórtico para crear los carros de los que se componen los pórticos.

El flujo de la operación 270 cuenta con dos ramales por los que discurrir. Cada ramal está dedicado a la fabricación de una diversidad y está equipado con dos pórticos POR270/1 y POR270/2. El pórtico POR270/1 se encarga de coger las piezas del transportador, hace el intercambio en la primera estación OP270/1 del part, hace otro intercambio en la segunda estación OP270/2 y, finalmente, lo deja sobre el posaje de salida Stopor270/1. El PO270/2, por su parte, coge el part del posaje, hace el intercambio en la tercera estación OP270/3 del part, hace otro intercambio en la cuarta estación OP270/4 y, finalmente, lo deja sobre el transportador de salida Stopor270/2. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración 3.24.

Operación 300

Modelizamos la operación 300 mediante la creación de 1 módulo operación para crear la máquina y 1 módulo pórtico para crear el carro del que se compone el pórtico.

El flujo de la operación 300 comienza con un pórtico POR300 que se encarga de coger las piezas del transportador, hace el intercambio en la máquina OP300 del part y posteriormente lo deja sobre el primer puesto de la máquina transfer OP310. La máquina OP300 cuenta, además, con ciclo extra: cuando un ciclo es malo el part se saca al stock Stop300R y se vuelve a introducir a la máquina, mientras el pórtico POR300 espera; una vez que el ciclo es bueno se retoma la pieza con el pórtico POR300 y se deposita en el primer puesto de la máquina transfer OP310. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración 3.25.

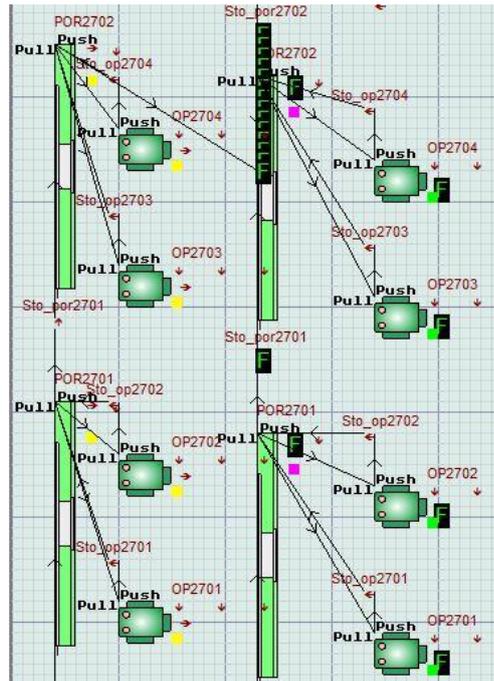


Ilustración 3.24 Operación 270

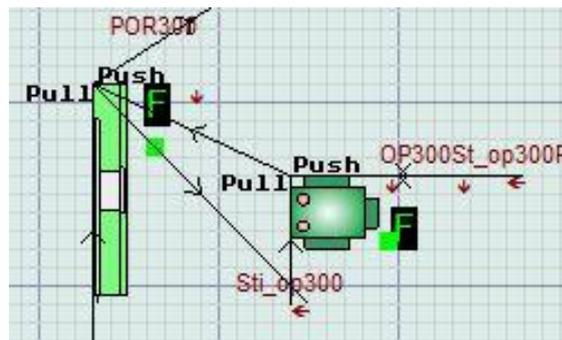


Ilustración 3.25 Operación 300

Operación 310 y célula de descarga

Modelizamos la operación 310 mediante la creación de 4 módulos operación para crear las máquinas y 1 módulo pódico para crear el carro del que se compone el pódico.

La máquina transfer OP310 coge el part de la primera estación Stio310 y una vez que pasa por los puestos interiores lo deposita en la última estación Stoop310. El pódico POR310 coge el part de la última estación, hace intercambio en la máquina OP320, hace otro intercambio en la máquina OP330 y, finalmente, deposita el part sobre el transportador de descarga. La representación en Witness de la operación la podemos observar en la Ilustración 3.26.

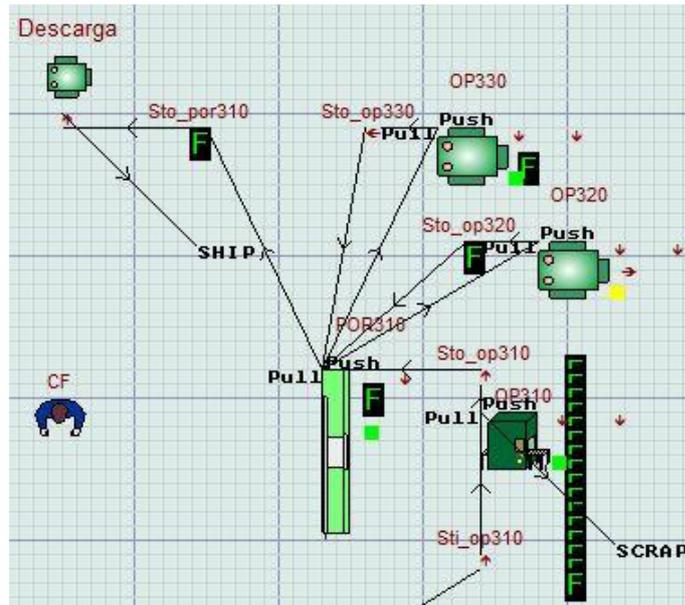


Ilustración 3.26 Operación 310 y célula de descarga

3.4.Desarrollo del modelo

3.4.1. Configuración inicial

Para iniciar la modelización, primero debemos configurar el programa Witness con arreglo a las especificaciones que necesitemos. La configuración del reloj se lleva a cabo desde la pestaña Model→Clock, donde seleccionamos los minutos como unidad de tiempo base. Para organizar los elementos que vamos a crear una serie de módulos, algunos de los cuales podemos ver en la Ilustración 3.27.

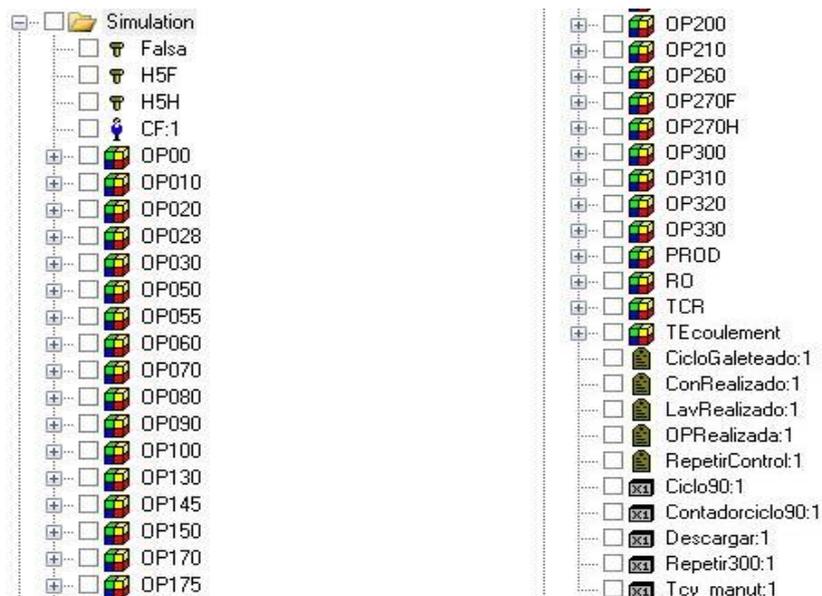


Ilustración 3.27 Visión parcial del Árbol de elementos del modelo

3.4.2. Definición de elementos

Piezas

La línea de mecanizado se ha diseñado para que sea capaz de mecanizar dos diversidades: H5H y H5F. Para definir las piezas se crean las entidades como podemos ver en la Ilustración 3.28 y en la Ilustración 3.29, y se definen sus características en Actions on Create.

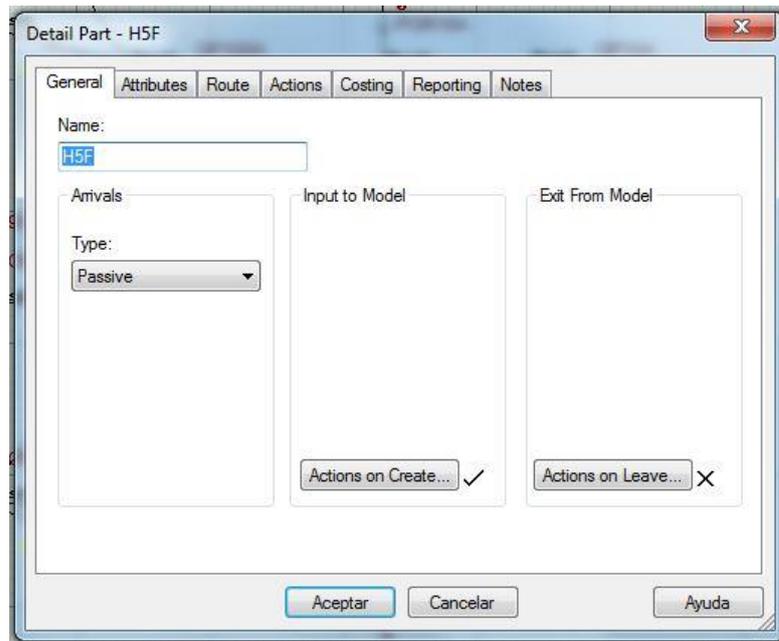


Ilustración 3.28 Configuración del Part H5F

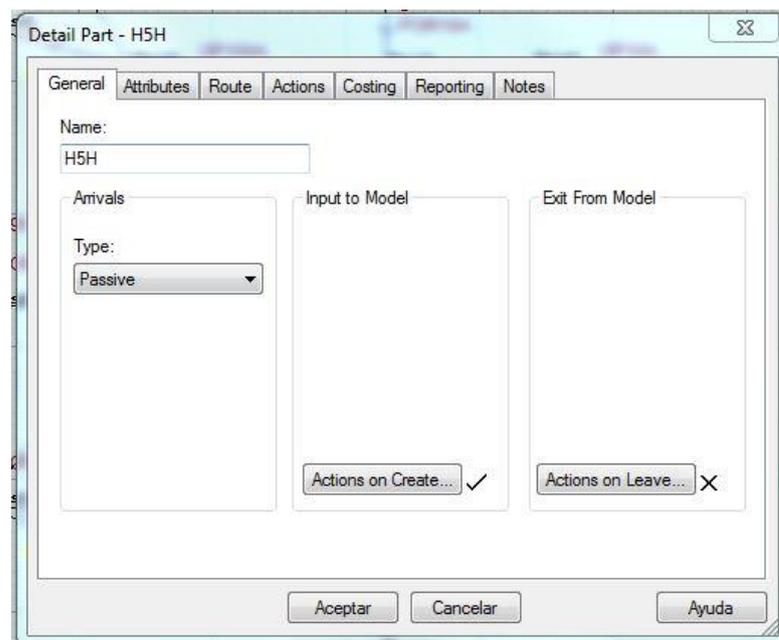


Ilustración 3.29 Configuración del Part H5H

Además, creamos una pieza falsa como podemos ver en la Ilustración 3.30. La pieza falsa se utiliza en máquinas tipo transfer cuando se necesita hacer un avance porque no llegan piezas a la carga. En este modelo tenemos una lavadora tipo transfer que corresponde con la OP310.

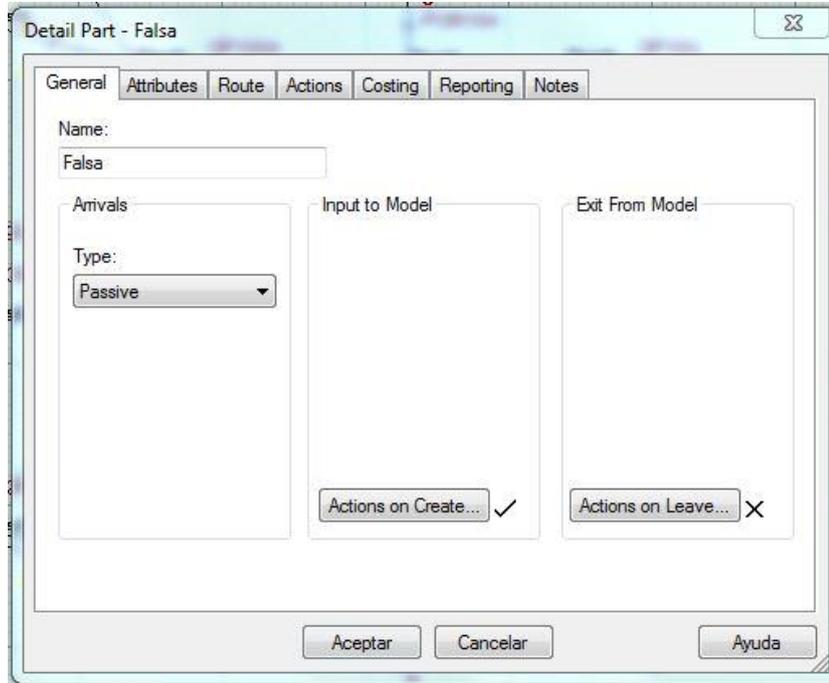


Ilustración 3.30 Configuración del Part Falsa

La definición de los parts es la columna vertebral de la simulación, ya que en la definición de las Actions on Create tenemos que configurar todos los atributos de todos los módulos que hemos creado.

Los atributos de los módulos representan el tiempo de ciclo. El tiempo de ciclo es el tiempo que tarda la operación en manipular la pieza lo que en la realidad se correspondería con el mecanizado en el caso de las máquinas o la manipulación y transporte de las piezas en el caso de la manutención.

Como podemos ver en la Ilustración 3.31, hemos definido todos los atributos de todos los módulos con el tiempo de ciclo correspondiente. Los tiempos de ciclo se leerán en cada máquina debido a que en las máquinas hemos configurado como tiempo de ciclo la lectura del Tcy definido en la pieza. El tiempo de ciclo que definimos en el part va en unidades de centésimas de minuto. La centésima de minuto es una forma más precisa de contar un minuto ya que, en vez de dividir un minuto en 60 partes, lo dividimos en 100. La precisión de tiempo en las operaciones de mecanizado es fundamental y por eso en el modelo trabajamos con minutos y con centésimas de minuto.

En la imagen vemos que, en ciertas operaciones, como son la OP28, OP55, OP90, OP145 OP175 y OP330, se ha sumado una cantidad de tiempo extra. Esto se debe a que en una primera hipótesis de simulación no se conocían las particularidades del intercambio de la pieza entre la manutención máquina y la modelización no había sido buena. Con la adición de este tiempo se ha conseguido aproximar la modelización a la realidad.

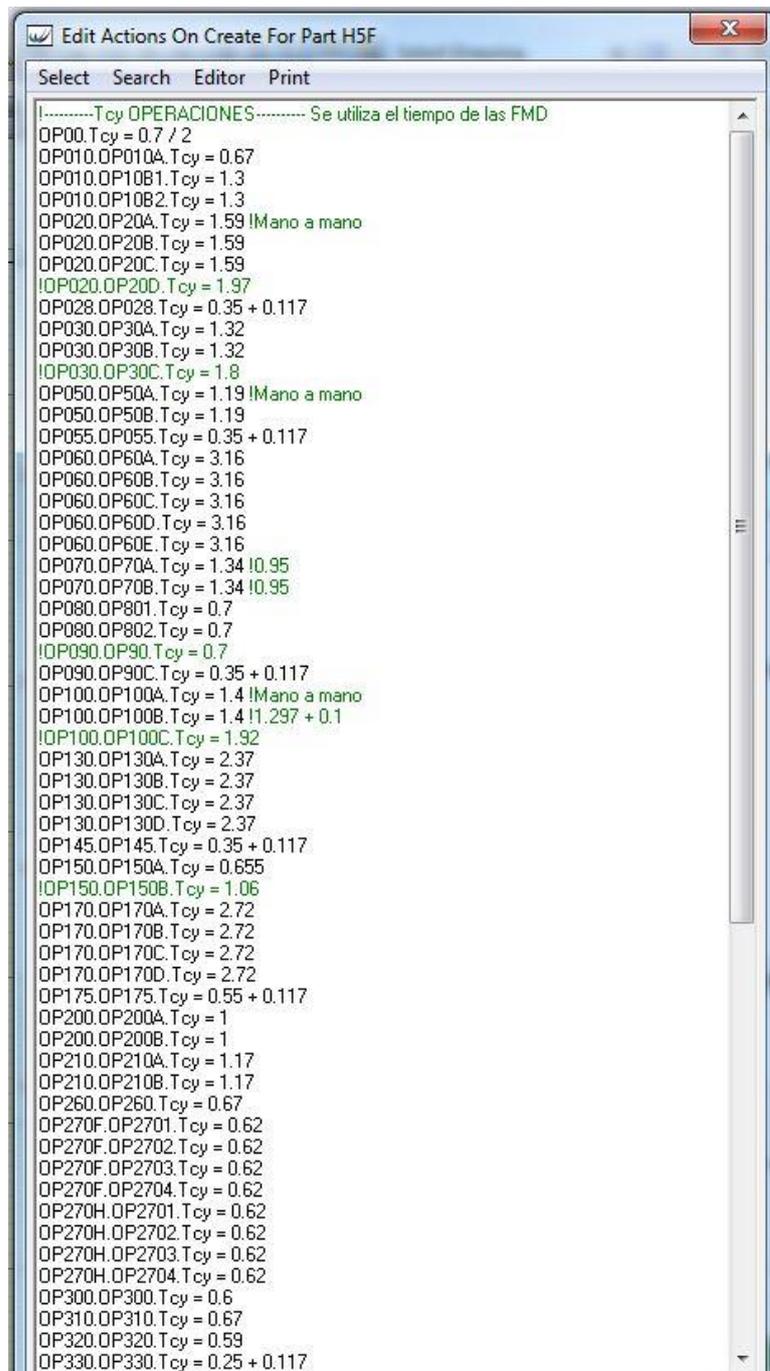


Ilustración 3.31 Definición de tiempos de ciclo en los parts

Máquinas

Como podemos ver en la Ilustración 3.32, para modelar una máquina hemos creado un módulo operación que contiene los elementos necesarios.

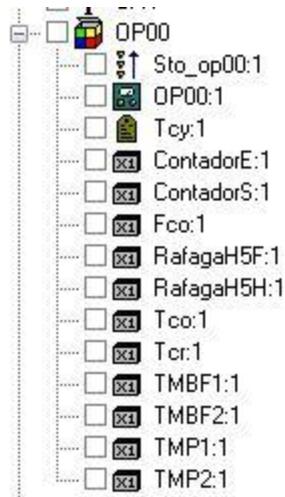


Ilustración 3.32 Composición típica del módulo de una máquina

El elemento machine simboliza la máquina y para que pueda representar el funcionamiento de las máquinas que tenemos en la línea necesitamos definir 2 tipos de máquinas: la máquina monopuesto, como la que podemos ver en la Ilustración 3.33 y que modelizamos mediante una máquina tipo single, y la máquina tipo transfer, que es una máquina con varias posiciones en su interior y que, mediante una barra transfer avanza de una a otra como podemos ver en la Ilustración 3.34 y que modelizamos mediante una máquina tipo multiple station.

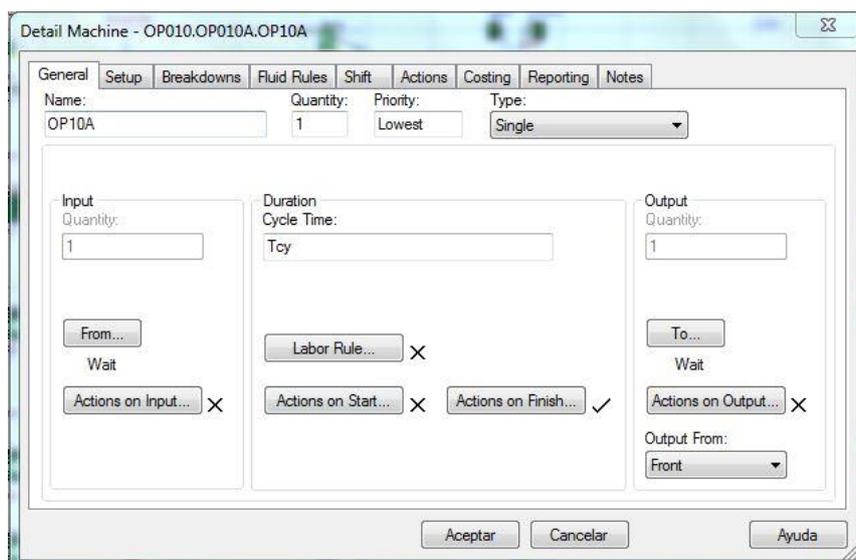


Ilustración 3.33 Definición de una máquina monopuesto

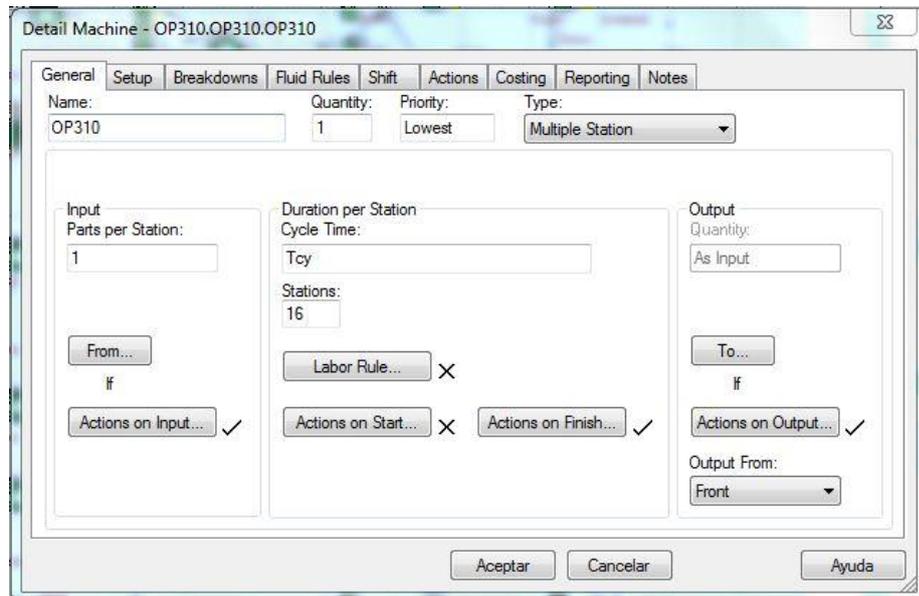


Ilustración 3.34 Definición de una máquina multipuesto de tipo transfer. Tcy: representa el tiempo de ciclo, este atributo se define en la pieza y se lee en la máquina, de esta forma conseguimos que el valor de tiempo de ciclo de mecanizado sea particular para cada tipo de pieza.

Como podemos ver en ambas imágenes, las reglas de entrada y salida de todas las máquinas del modelo permanecen en espera; esto se debe a que es la manutención la que se encarga del transporte de piezas a lo largo del modelo. De esta forma, las máquinas reciben las piezas o, por el contrario, las piezas abandonan la máquina. Como hemos comentado anteriormente, la máquina tipo transfer sí tiene un transporte de piezas en su interior; sin embargo, para este caso no hace falta modelizar ningún tipo de regla de entrada o salida, ya que es la configuración de la máquina la que hace que se comporte así.

Ya hemos comentado la pestaña de definición general de las máquinas, pero con ésta no basta para que la modelización de la máquina sea la correcta. Tenemos otras pestañas que nos pueden ayudar a hacer la máquina lo más parecida posible a su homónima real y son las pestañas Setup y Breackdowns.

La pestaña Setup sirve para modelizar la configuración de la máquina; en nuestro caso, utilizamos esta pestaña para modelizar los cambios de herramienta y los cambios de ráfaga como podemos ver en la Ilustración 3.35.

La pestaña Breackdowns sirve para modelizar las averías de la máquina. En el modelo se han definido dos tipos de averías: microparadas y paradas largas, como podemos ver en la Ilustración 3.36.

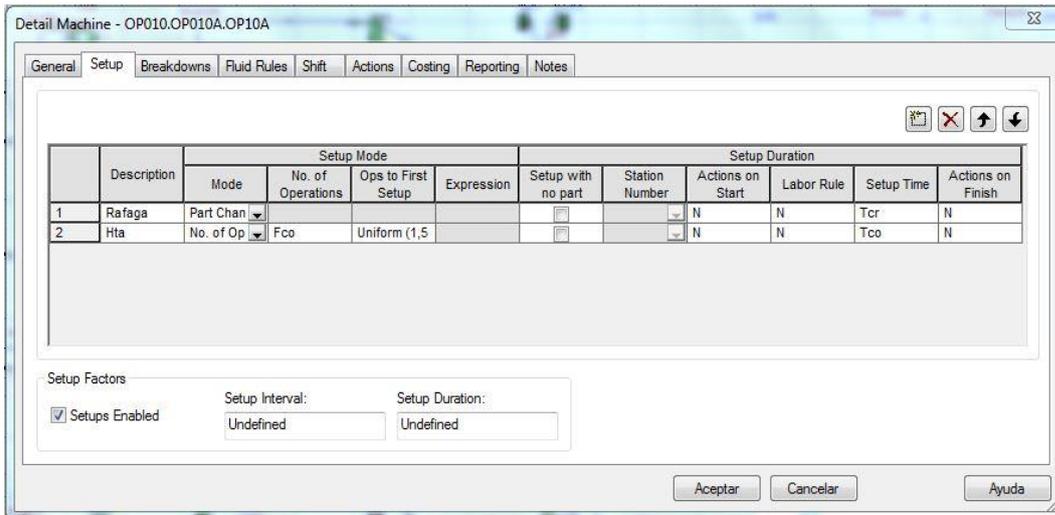


Ilustración 3.35 Definición de las tasas de cambio de herramienta y los cambios de ráfaga

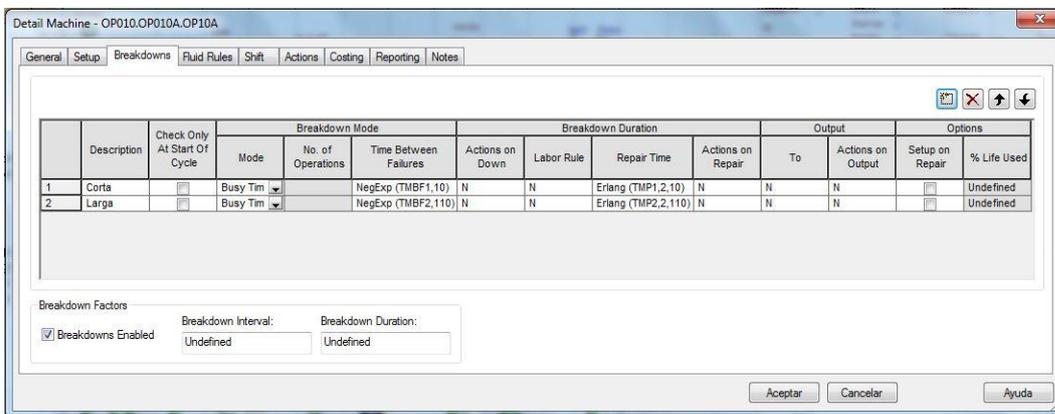


Ilustración 3.36 Definición de las tasas de fallo

- MTBF1¹: corresponde con el tiempo medio entre fallos de la máquina para paradas de tipo largo.
- TMP1: corresponde con el tiempo medio de parada por avería para paradas de tipo largo.
- MTBF2: corresponde con el tiempo medio entre fallos de la máquina para micro paradas.
- TMP2: corresponde con el tiempo medio de parada por avería para micro paradas.
- Fco: la variable Fco es el frecuencial de cambio de herramienta. Se define como vector para abarcar tantas herramientas como tiene la máquina, cada componente del vector se numera con el nombre Fco(n).

¹ Las variables MTBF y TMP se definen en initialize actions y se leen en la pestaña breakdowns de la máquina. Fco y Tco también se configuran en initialize actions, aunque se editan en la pestaña setup.

- Tco: es el tiempo de cambio de herramienta. Se define como vector para abarcar tantas herramientas como tiene la máquina.

Manutenciones

La modelización de las mantenencias se lleva a cabo creando un módulo manutención que se componen de una máquina y un buffer de salida. Las principales variables y atributos para definir la manutención son las siguientes:

- Tcy: representa el tiempo de ciclo. Este atributo se define en la pieza y se lee en la máquina; de esta forma, conseguimos que el valor de tiempo de ciclo de mecanizado sea particular para cada tipo de pieza.
- MTBF1: corresponde con el tiempo medio entre fallos de la máquina para paradas de tipo largo.
- TMP1: corresponde con el tiempo medio de parada por avería para paradas de tipo largo.

Tenemos tres tipos diferentes de pórticos que se modelizan de diferente forma, tal y como podemos ver en la Ilustración 3.37. De izquierda a derecha, el primero es un pórtico con un carro y doble brazo, el segundo es un pórtico con doble carro y simple brazo, y el tercero son dos pórticos. Cada pórtico se compone de doble carro y doble brazo por carro. El último pórtico es de transferización, para transportar las piezas entre los diferentes puestos de la máquina.

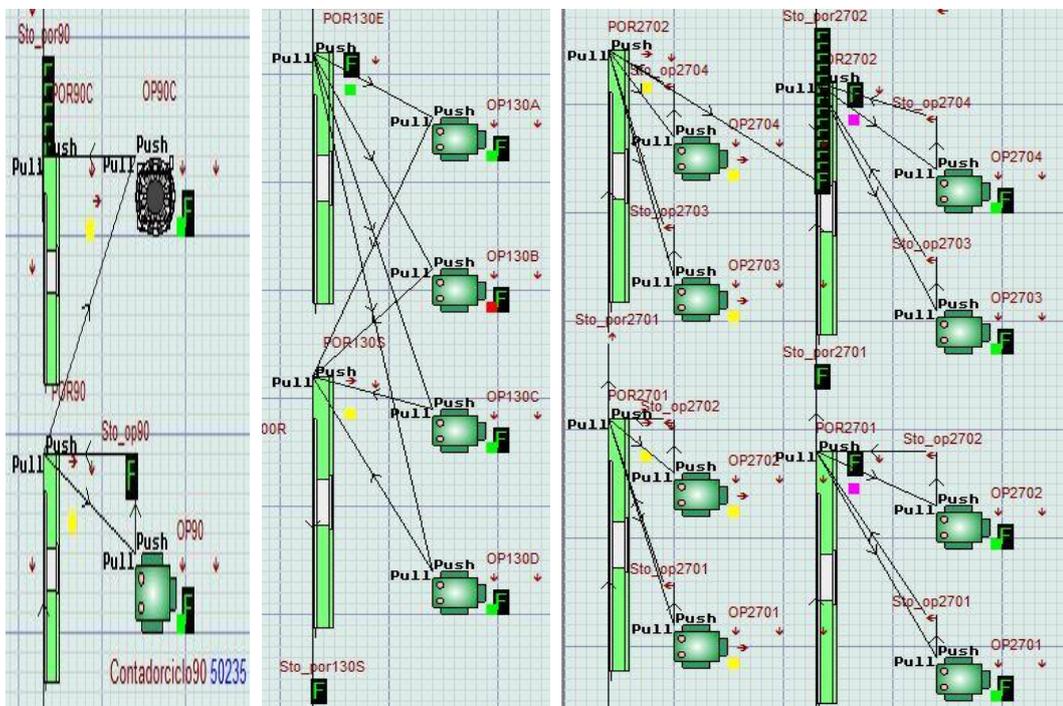


Ilustración 3.37 Diferencia entre las 3 versiones de pórtico

A continuación, vamos a ver un ejemplo de programación de un pórtico con un carro y doble brazo. En la Ilustración 3.38 vamos a ver parte de la programación FROM, y en la Ilustración 3.39 la programación TO.

Ilustración 3.38 Programación From de un pórtico de un carro y doble brazo

Ilustración 3.39 Programación To de un pórtico de un carro y doble brazo

A continuación, vamos a ver un ejemplo de programación de un pórtico con dos carros y un brazo por carro. Así, en la Ilustración 3.40 se aprecia la programación FROM carro de carga.

Ilustración 3.40 Programación From de un pórtico de un carro de carga

En la Ilustración 3.41 vamos a ver la programación TO carro de carga.

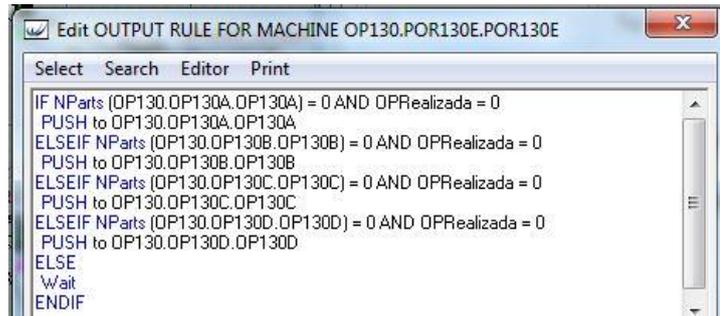


Ilustración 3.41 Programación To de un pórtico de un carro de carga

En la Ilustración 3.42 vamos a ver la programación FROM carro de descarga.

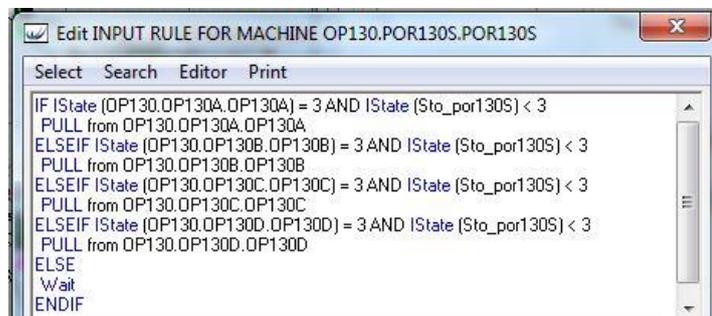


Ilustración 3.42 Programación From de un pórtico de un carro de descarga

En la Ilustración 3.43 vamos a ver la programación TO carro de descarga.

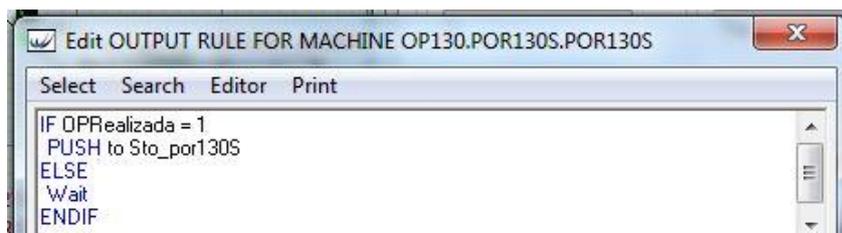


Ilustración 3.43 Programación To de un pórtico de un carro de descarga

En la Ilustración 3.44 vamos a ver la programación FROM pórtico transfer.

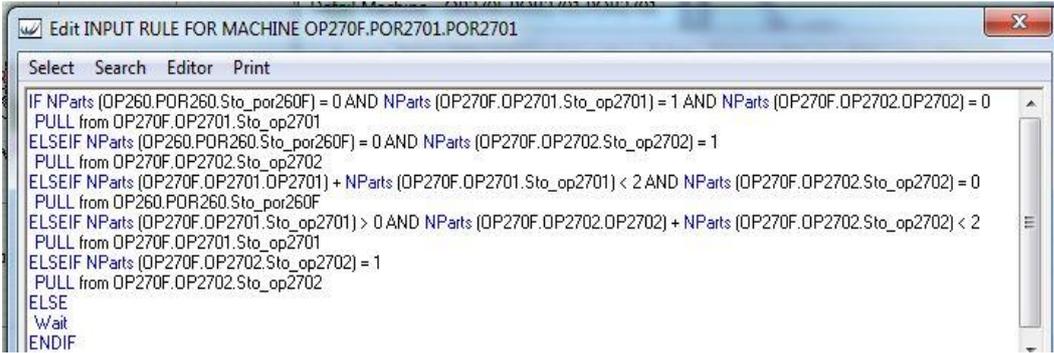


Ilustración 3.44 Programación From de un p^ortico transfer

En la Ilustración 3.45 vamos a ver la programación TO p^ortico transfer.

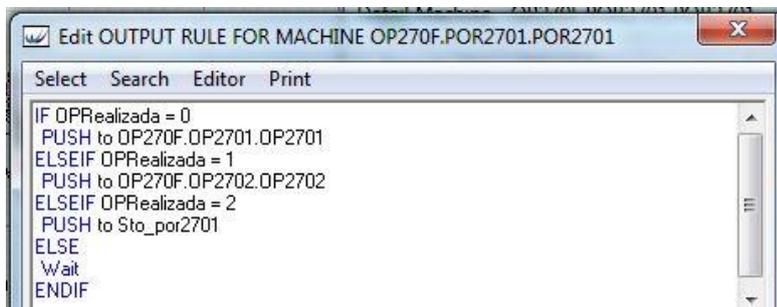


Ilustración 3.45 Programación To de un p^ortico transfer

Tenemos cuatro tipos diferentes de transportadores que se modelizan de diferente forma. En la Ilustración 3.46 vemos la modelización de un transportador hip^odromo.

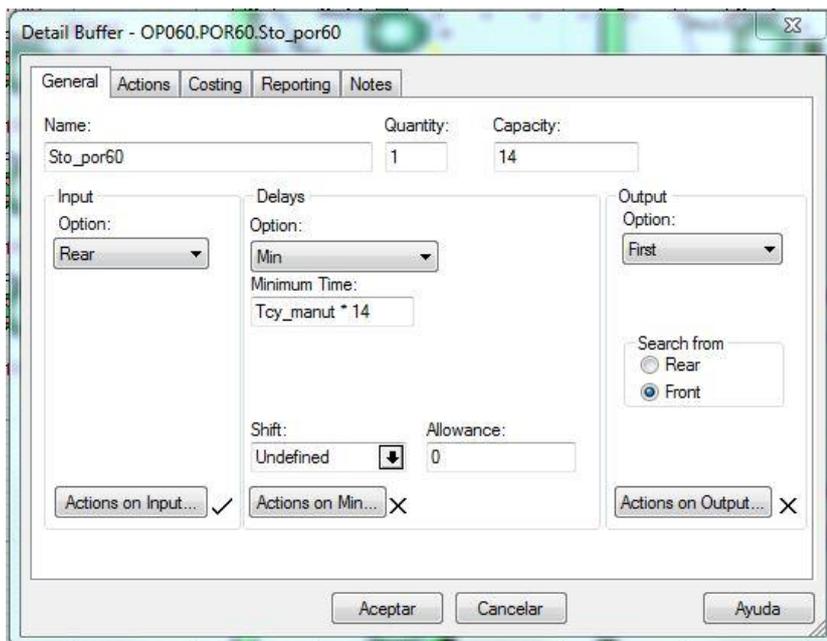


Ilustración 3.46 Definición de un transportador hip^odromo

En la Ilustración 3.47 vemos la modelización de un transportador entre ramales.

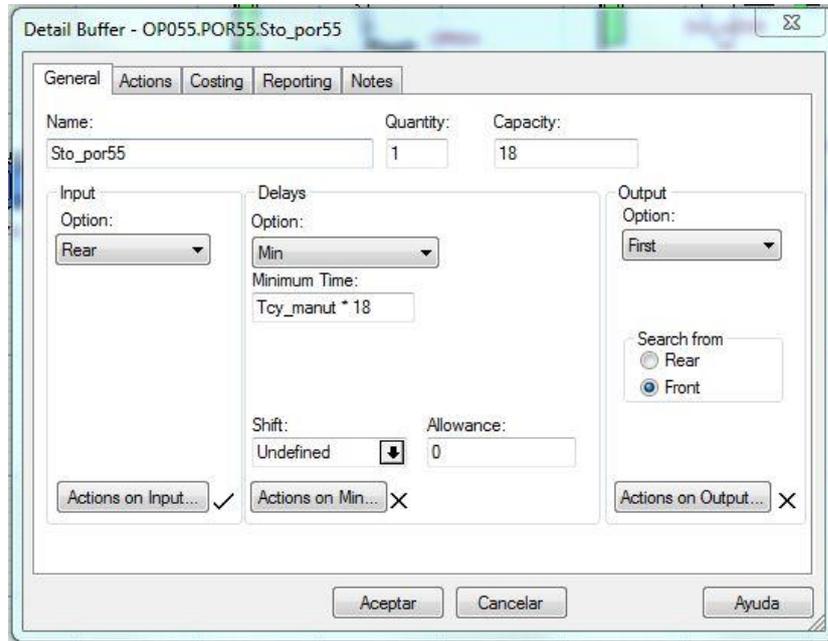


Ilustración 3.47 Definición de un transportador entre ramales

En la Ilustración 3.48 vemos la modelización de un doble transportador con manipulador.

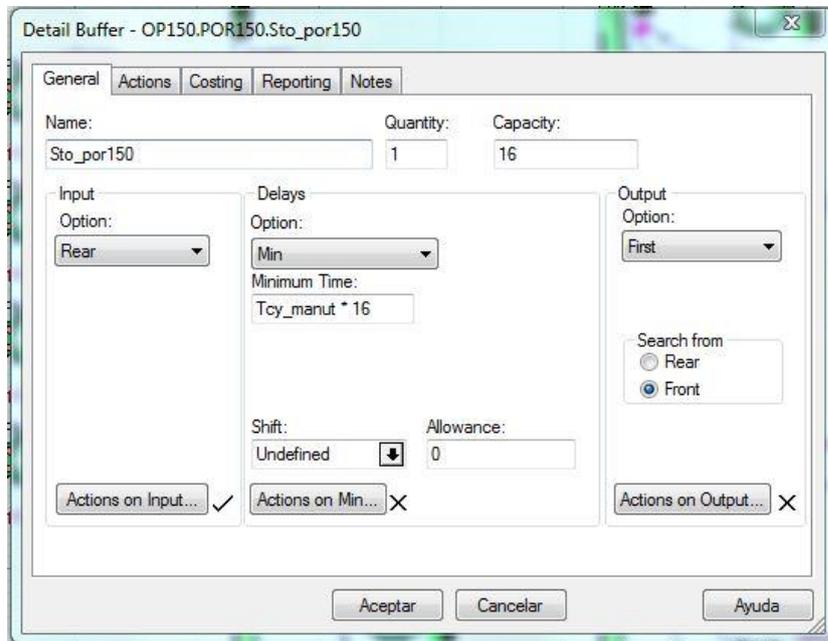


Ilustración 3.48 Definición de un transportador con manipulador

En la Ilustración 3.49 vemos la modelización de un posaje de intercambio.

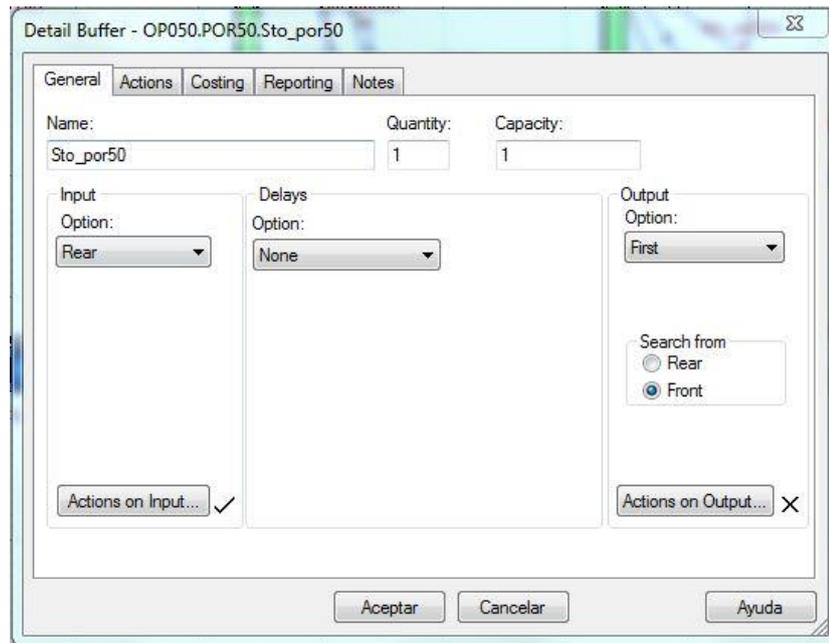


Ilustración 3.49 Definición de un posaje

Variables

Para construir el modelo se han definido las siguientes variables:

- MTBF1: definimos MTBF1 como una variable de tipo real para que pueda tomar cualquier valor real. Creamos una variable MTBF1 para cada módulo que contiene una máquina; resumiendo, cualquier módulo que represente a una operación o a un pórtico.
- TMP1: definimos TMP1 como una variable de tipo real para que pueda tomar cualquier valor real. Creamos una variable TMP1 para cada módulo que contiene una máquina, es decir, para módulo que represente a una operación o a un pórtico.
- MTBF2: definimos MTBF2 como una variable de tipo real para que pueda tomar cualquier valor real. Creamos una variable MTBF2 para cada módulo que contiene una máquina y representa una operación, ya que las paradas de tipo 2 no las incluimos en los pórticos.
- TMP2: definimos TMP2 como una variable de tipo real para que pueda tomar cualquier valor real. Creamos una variable TMP2 para cada módulo que contiene una máquina y representa una operación, ya que las paradas de tipo 2 no las incluimos en los pórticos.
- Tco: definimos Tco como una variable de tipo real para que pueda tomar cualquier valor real. Creamos una variable Tco para cada módulo que contiene una máquina y representa una operación.

- Fco: definimos Fco como una variable de tipo real para que pueda tomar cualquier valor real. Creamos una variable Fco para cada módulo que contiene una máquina y representa una operación.
- Tcr: definimos Tcr como una variable de tipo real para que pueda tomar cualquier valor real. Creamos una variable Tcr para cada módulo que contiene una máquina y representa una operación.
- TcyManut: definimos TcyManut como una variable de tipo real para que pueda tomar cualquier valor real.
- TEcoulement: definimos TEcoulement como una variable de tipo real para que pueda tomar cualquier valor real.

Atributos

Para construir el modelo se han definido los siguientes atributos:

- Tcy: definimos el tiempo de ciclo como un atributo de tipo real. Necesitamos definir tantos atributos como módulos con máquina o pósito tengamos. El tiempo de ciclo se define en el part.
- TEntrada: definimos un atributo real que llamamos tiempo de entrada. El tiempo de entrada se iguala al TIME de simulación en la operación de carga, y guarda el valor del tiempo de simulación en el cual el part entra en el modelo.
- TSalida: definimos un atributo real que llamamos tiempo de salida. El tiempo de salida se iguala al TIME de simulación en la operación de descarga y guarda el valor del tiempo de simulación en el cual el part sale del modelo.

Funciones

RO: Definimos la función RO para que devuelva el cálculo de RO cuya fórmula es.

$$RO = \frac{\text{Numero de piezas producidas}}{\frac{\text{Tiempo de ciclo}}{\text{Tiempo de simulación}}}$$

Distribuciones

IUniform: definimos la distribución IUniform en algunas máquinas en las que necesitamos hacer un rechazo de piezas, ya que con esta distribución podemos obtener un porcentaje.

Gráficos

Los **histogramas** son representaciones graficas de una variable que toman formas de barras donde la superficie de estas barras es proporcional a la

frecuencia de los valores representados. El histograma que hemos utilizado en la simulación es un diagrama de barras simples.

Una **serie temporal** es una secuencia de observaciones, valores o datos medidos en un instante determinado y ordenados cronológicamente.

Los principales gráficos que definimos para la simulación son los timeseries y los histogramas. En la Ilustración 3.50 podemos ver las opciones que tenemos para dibujar el gráfico: podemos elegir los máximos y mínimos de los ejes de ordenadas y de abscisas, además de poder elegir el tamaño del gráfico, los colores que tienen las diferentes líneas de evolución o el fondo.

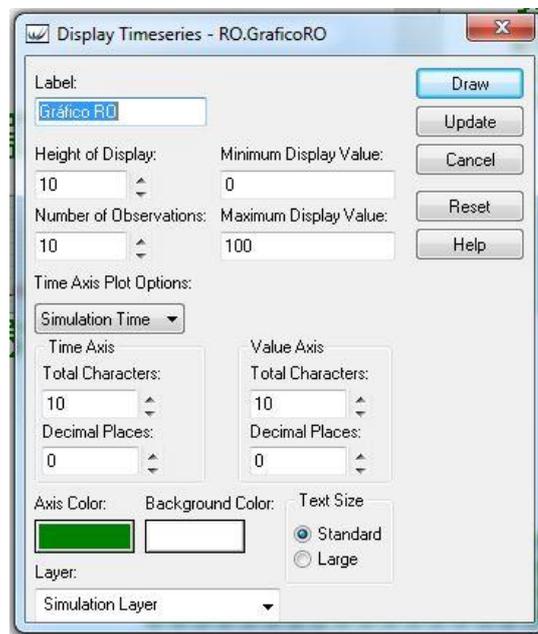


Ilustración 3.50 Ventana de dibujo de un timeseries

Los timeseries que hemos definido para la simulación son el Timeseries Producciones y el Timeseries RO. El gráfico de producciones tiene un intervalo de grabado de un turno y lo que se graba en las diferentes líneas es la producción de ese turno para cada diversidad y la total, como podemos ver en la Ilustración 3.51 y en la Ilustración 3.52. El gráfico de RO tiene el mismo intervalo de grabado y la línea que dibujamos es la evolución del RO acumulado al turno.

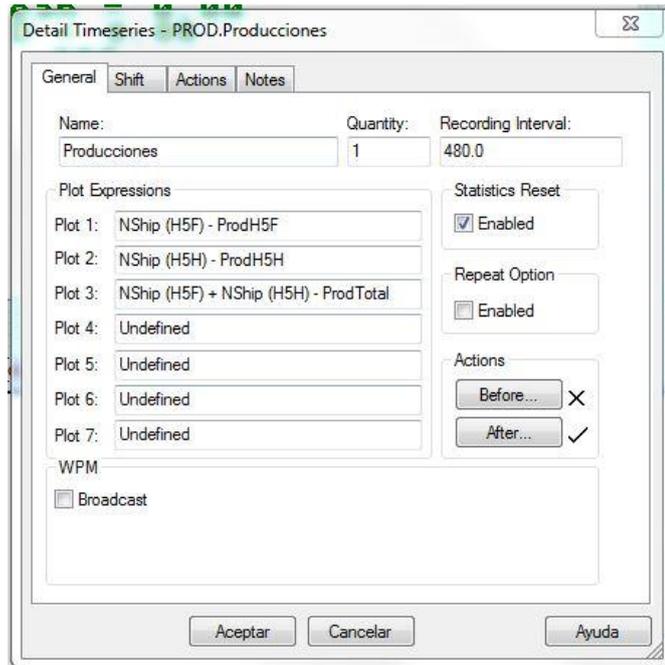


Ilustración 3.51 Ventana de detalle de un timeseries producciones

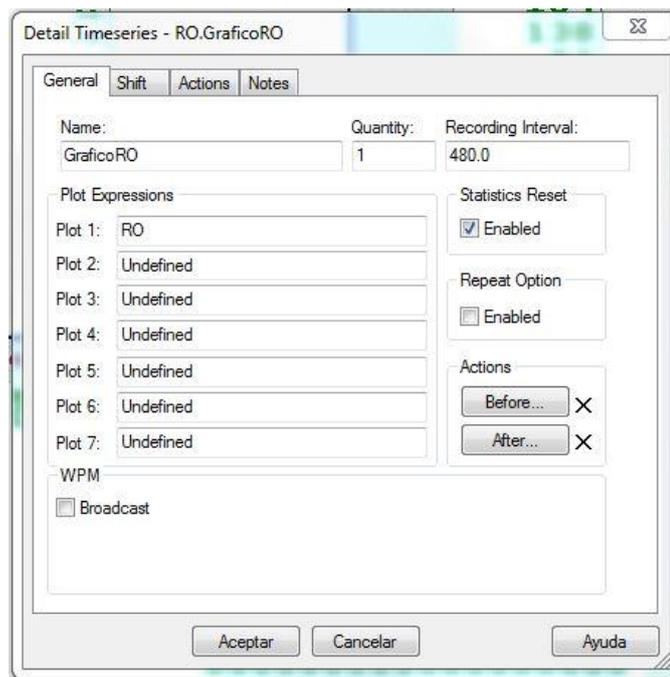


Ilustración 3.52 Ventana de detalle de un timeseries RO

Los histogramas que hemos definido para la simulación son el Histograma RO, Histograma RO turno, Histograma Piezas en línea, Histograma Producción semana, Histograma Producción turno, Histograma Tiempo ecoulement, Histograma Tiempo cambio de ráfaga, Histograma Tiempo cambio de máquina y el Histograma Tiempo de lavado.

En la Ilustración 3.53 podemos ver las opciones que tenemos para dibujar el gráfico: podemos elegir los máximos y mínimos de los ejes de ordenadas y de abscisas, además del tamaño del gráfico, los colores que tienen las diferentes líneas de evolución o el fondo. Para el caso del histograma, la forma de guardar una observación en él es mediante la regla de programación RECORD in; de esta forma podemos guardar cualquier valor de una variable en el gráfico y éste automáticamente se va encargando de generar las barras con los diferentes números de observaciones.

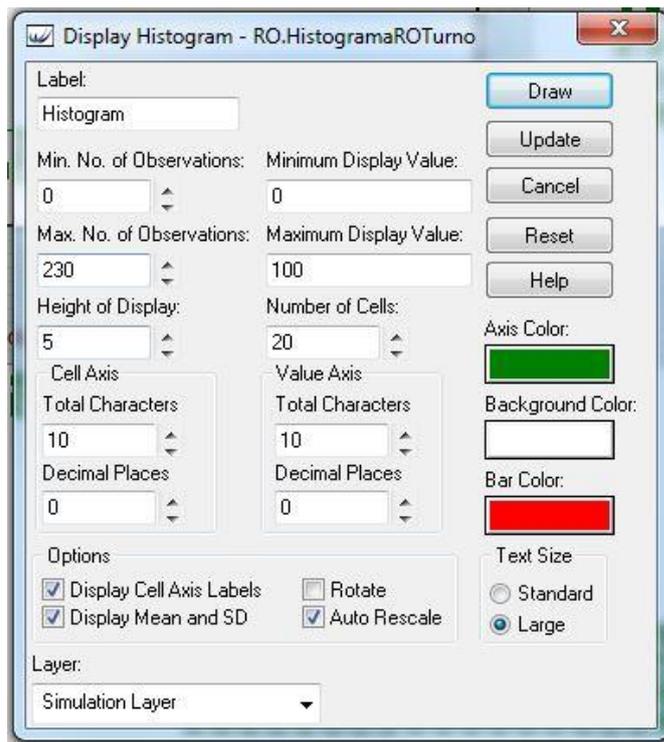


Ilustración 3.53 Ventana de dibujo de un histograma

Acciones de inicio

Las acciones de inicio se definen dentro del modelo. Estas acciones se ejecutan en el instante que se inicia la simulación. En las acciones de inicio hemos definido todas las variables que se han definido en la línea y corresponden con las siguientes:

Acciones de creación

Las acciones de creación se definen dentro de las entidades o parts que se definen para modelizar la línea de mecanizado. Para esta modelización se han utilizado los atributos que corresponden con los tiempos de ciclo de cada pieza en cada máquina y se han definido uno por uno para cada operación.

Programación del flujo

La programación de flujo la realizamos a través de la manutención; ésta es la encargada de transportar las piezas de operación en operación por la línea de mecanizado. Dentro de la manutención, la programación se realiza en los pórticos.

Tiempo de simulación

Para realizar la simulación calculamos el tiempo de trabajo de la línea para un año obviando los turnos, ya que no aporta un valor significativo debido a que la línea trabaja a 3 turnos al día 6 días a la semana durante 48 semanas al año. Así, el cálculo de tiempo de simulación vendría dado por: $48\text{semanas} * 6\text{días/semana} * 3\text{turnos/día} * 480\text{minutos/turno} = 414.720 \text{ minutos}$

Introducimos este dato en la casilla Time expression y pulsamos el reloj que hay adyacente; de esta forma, la simulación del modelo se parará cuando alcance esa cifra de tiempo de simulación. Para arrancar la simulación del modelo basta con pulsar el botón de play o el botón de doble play.

Las diferencias entre un tipo de simulación o el otro radican en que con el botón play la simulación se ejecuta y nosotros podemos contemplar lo que sucede en el modelo. Además, tiene dos variadores de velocidad: un regulador es el encargado de modificar los saltos del modelo y el otro se encarga de ajustar la velocidad de estos saltos.

Por otra parte, si utilizamos la opción de doble play la pantalla pasará a ser de tono gris y no podremos ver qué ocurre en el modelo. La velocidad, en este caso, no se puede variar, ya que la simulación ocurre tan rápido como permiten las características del pc que estamos utilizando para correr el modelo.

La barra de manejo de simulación la podemos ver en la Ilustración 3.54.



Ilustración 3.54 Comandos de inicio y parada de simulación.

4. Verificación del modelo y validación.

En este capítulo vamos a continuar con los pasos lógicos que seguirían al capítulo 3 y vamos a realizar la validación del modelo para ver si se ha llevado a cabo correctamente su modelización y parametrización. Para ello, vamos a proceder a correr la simulación el tiempo determinado para obtener los diferentes resultados que necesitamos y que hemos programado para su representación en forma de gráficas y de valores. A mayores, vamos a realizar un análisis de resultados para ver si son correctos y válidos conforme a los objetivos fijados.

4.1. Validación del modelo

La validación del modelo se hace en una reunión en la que se juntan las siguientes personas y que pertenecen tanto al grupo de trabajo CSI como al grupo de trabajo cigüeñales.

- Piloto de proyecto: persona del grupo de trabajo de cigüeñales promotor de la línea que se encarga de verificar que el funcionamiento que se explica es el correcto de la línea.
- Responsables de máquinas y mantenencias: se encargan de comprar los medios industriales y, según sus estudios y sus compras a proveedores, verifican que la explicación del funcionamiento de las máquinas en la simulación es el correcto.
- Organizador de explotación: persona del grupo de trabajo de cigüeñales proveniente del taller que conoce las líneas actuales de fabricación de cigüeñales y verifica que los resultados son acordes con la experiencia que posee.
- Piloto de simulaciones: persona del grupo de trabajo de CSI que se encarga de verificar el modelo desde el punto de vista de inserción de los elementos de Witness, programación de flujo, modelización de tasas de fallo y de tasas de cambio de herramienta, etc.

En la reunión se hace una presentación con los datos de entrada que se han utilizado en la simulación, la descripción de cómo se ha modelizado el modelo, las suposiciones que se han llevado a cabo debido a pequeñas indefiniciones o los extras que tiene el programa y que no han tenido en cuenta a la hora de dar datos.

Llegados a este punto, si no ha habido ningún parte de error estaría validado el modelo y pasaríamos a dar los resultados de la simulación mediante una serie de

gráficos y datos de los principales indicadores que se utilizan. En caso de que algún indicador fuera objeto de reporte de error la simulación no quedaría validada al completo y habría que revisar el porqué de ese dato malo del indicador.

Para finalizar, se presentan una serie de mejoras que se han ido obteniendo en la realización de la simulación para ser consideradas en el diseño de la línea. Generalmente, con estas mejoras se intenta contabilizar la mejora que resulta de aplicarlas para comparar la ganancia que suponen con el dinero que habría que invertir en su realización y que, por tanto, el piloto de proyecto tenga una base sólida para la toma de las decisiones que se han propuesto.

4.2. Obtención de resultados

Gráfico RO

La serie temporal RO, Ilustración 4.1, muestra la variación de la función RO a lo largo del tiempo de simulación. Como podemos observar en la ilustración, en los instantes finales de la simulación la variable se mantiene constante.

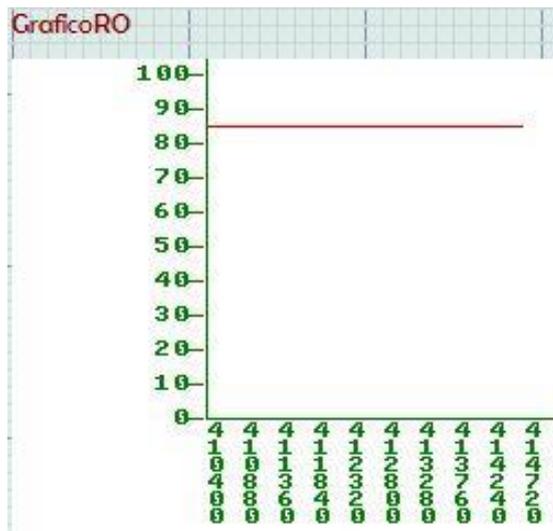


Ilustración 4.1 Serie temporal de RO

Histograma RO turno

El histograma RO que vemos en la Ilustración 4.2 muestra el RO que se obtiene en cada turno de trabajo a lo largo de un año.



Ilustración 4.2 Histograma RO turno rango 0-100

El histograma RO que vemos en la Ilustración 4.3 muestra los turnos en los que se ha obtenido un RO superior al 100%. Aunque parezca una cosa que es imposible, tiene una explicación lógica y es que tenemos una línea diseñada para trabajar a un $T_{cy}=0.7$ min y las máquinas están diseñadas para trabajar a un tiempo de ciclo inferior; en consecuencia, hay turnos en los que se produce más del teórico admisible.

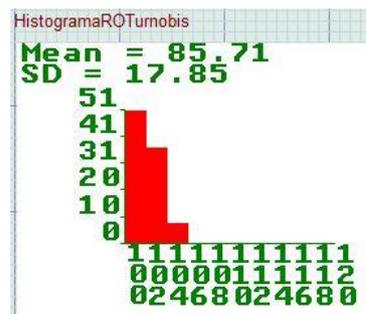


Ilustración 4.3 Histograma RO turno rango 100-120

Histograma RO acumulado

El histograma RO que vemos en la Ilustración 4.4 muestra en forma de histograma la variación del RO acumulado de la función RO. Como podemos comprobar es otra forma de ver el indicador RO de forma acumulada a cada turno ya que la serie temporal no muestra toda la información necesaria y de esta forma podemos obtener un extra de información que siempre resulta positivo para mejorar la toma de decisiones.

Histograma piezas en curso

El histograma que vemos en la Ilustración 4.5 representa el número de piezas que se encuentran en la línea de mecanizado cada vez que se descarga una pieza de la línea.

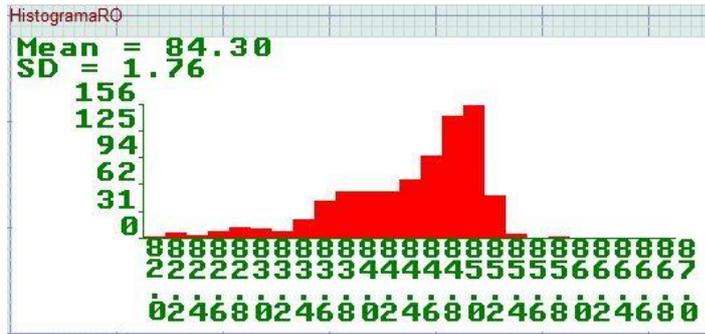


Ilustración 4.4 Histograma RO acumulado

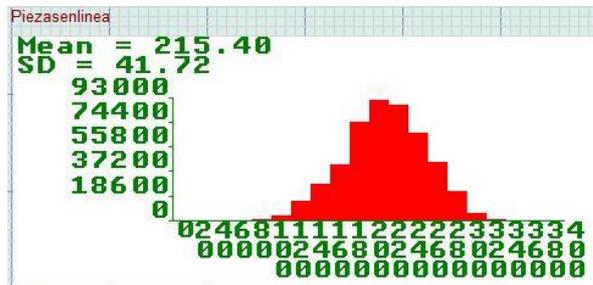


Ilustración 4.5 Histograma piezas en curso

Histograma piezas en curso de diversidad H5F

El histograma que vemos en la Ilustración 4.6 representa el número de piezas que se encuentran en la línea de mecanizado de la diversidad H5F cada vez que se descarga una pieza de la línea. Como podemos observar en el gráfico, hay observaciones en el valor 0 de número de piezas y esto es debido a que hay momentos que la línea no fabrica este modelo.

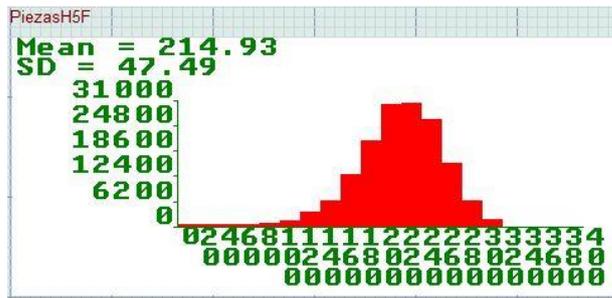


Ilustración 4.6 Piezas en curso de la diversidad H5F

Histograma piezas en curso de diversidad H5H

El histograma que vemos en la Ilustración 4.7 representa el número de piezas que se encuentran en la línea de mecanizado de la diversidad H5H cada vez que se descarga una pieza de la línea.

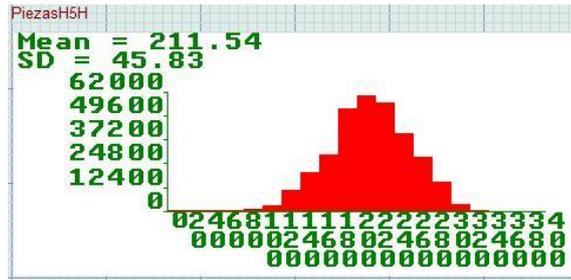


Ilustración 4.7 Piezas en curso de la diversidad H5H

Histograma Producción semanal

El histograma que vemos en la Ilustración 4.8 representa el número de piezas que la línea ha producido en cada una de las 48 semanas que ha estado trabajando. Las semanas que la línea está parada no se simulan, ya que no aportan ningún valor para la toma de decisiones.

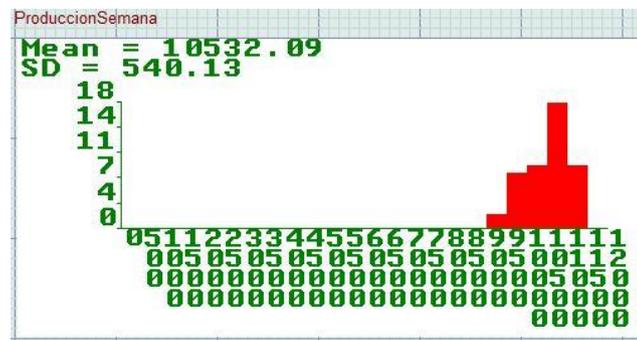


Ilustración 4.8 Producción semanal de la línea

Histograma Producción por turno

El histograma que vemos en la Ilustración 4.9 representa el número de piezas que cada equipo de producción ha realizado en su turno. El número de observaciones es de 864 turnos, que resulta de multiplicar los 18 turnos de trabajo de la semana por las 48 semanas que la línea trabaja al año.

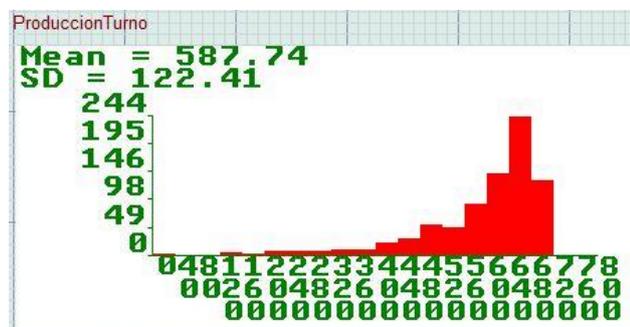


Ilustración 4.9 Producción por turno de la línea

Histograma Tiempo cambio de máquina

El tiempo de cambio de máquina es el tiempo que tardamos en abrir el camino cuando realizamos un cambio de ráfaga y corresponde con el tiempo de producción de la primera pieza de la ráfaga entrante.

El histograma que vemos en la Ilustración 4.12 representa el tiempo que hemos tardado en realizar la apertura del flujo en cada uno de los 48 cambios de ráfaga que se realizan en la línea.

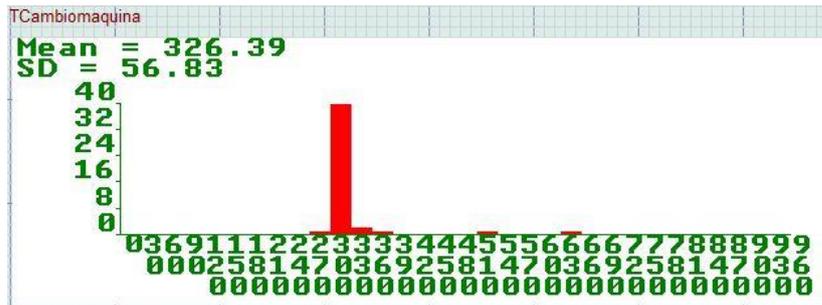


Ilustración 4.12 Histograma de tiempo de cambio de máquina

Histograma Tiempo de Ecoulement

El tiempo de Ecoulement es el tiempo que se tarda en producir una pieza. Corresponde con la diferencia de tiempo de simulación desde su carga a su descarga.

El histograma que vemos en la Ilustración 4.13 representa el tiempo que hemos tardado en realizar cada una de las casi 500 mil piezas que ha producido la línea en el tiempo de simulación.

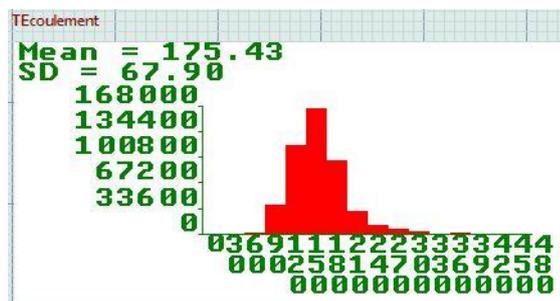


Ilustración 4.13 Histograma de tiempo de Ecoulement

Histograma Tiempo de lavado

La lavadora OP310 es una lavadora tipo transfer con 18 puestos; por este motivo, es necesario controlar el tiempo de estancia de las piezas dentro de esta máquina, ya que podrían llegar a degradarse debido al ambiente húmedo que hay en su interior, provocando problemas de calidad.

El histograma que vemos en la Ilustración 4.14 representa el tiempo que de estancia en la lavadora de cada una de las casi 500 mil piezas que ha producido la línea en el tiempo de simulación.

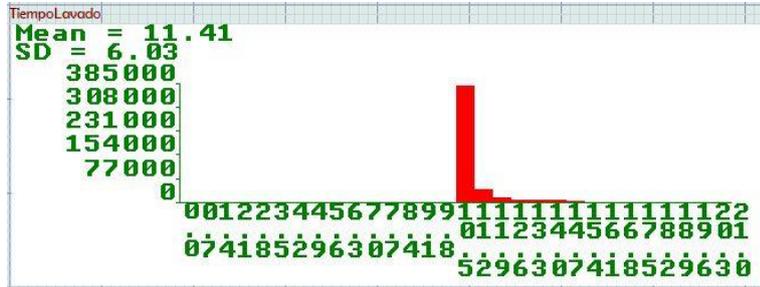


Ilustración 4.14 Histograma de tiempo de lavado

Variables

En la Ilustración 4.15 se muestra una instantánea, una vez finalizada la simulación, de algunas de las variables que utilizamos en la simulación.

Piezas salida	492555	ProdH5F	161000	NumeroCR	48	HRO	97.71
RO	85.19	ProdTotal	492555	TiempoCR	197.98	Encurso	138
		ProdH5H	331555				

Ilustración 4.15 Variables de simulación

Histograma Tiempo de ciclo OP270

Los histogramas que vemos en la Ilustración 4.16 y en la Ilustración 4.17 muestran el tiempo de ciclo de la OP270 para cada una de las diversidades. Hemos introducido este histograma en la simulación para comprobar que el tiempo de ciclo en esta operación se mantenía en los valores establecidos según la ficha FMD, ya que el intercambio entre las 4 estaciones es perjudicial debido a las posibles esperas inducidas.

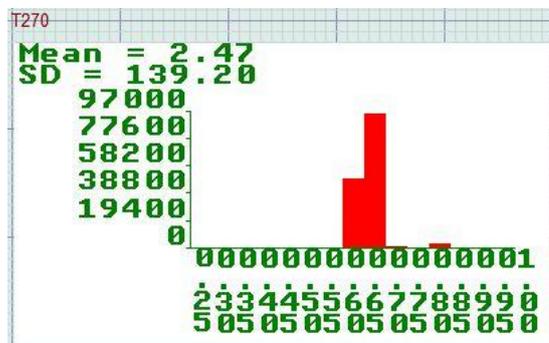


Ilustración 4.16 Histograma de tiempo de ciclo de la OP270 rama H5F

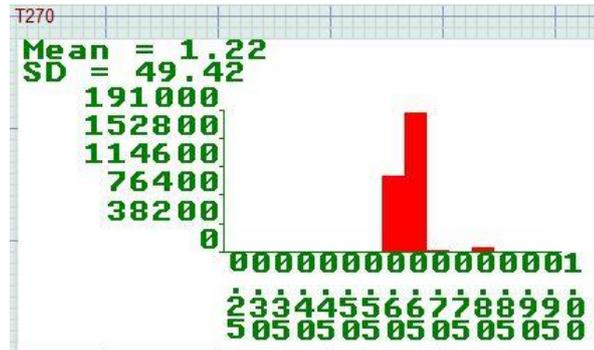


Ilustración 4.17 Histograma de tiempo de ciclo de la OP270 rama H5H

4.3. Análisis de resultados

Los resultados de la simulación que hemos obtenido nos sirven para ayudar a diseñar la línea a la hora de conseguir los objetivos de producción y rendimiento. Además, nos confirman si los objetivos que nos habíamos previsto alcanzar son posibles o, por el contrario, hay que modificar ciertos parámetros en los medios de producción.

Objetivo Producción.

La producción objetivo de la línea es de 450 mil cigüeñales al año, lo que supone una producción semanal de 9.375 piezas y una producción por turno de 520 piezas.

Nuestro modelo de simulación augura unos resultados de producción de 492.555 piezas al año, lo que supone una producción mayor al objetivo. Las producciones semanales y por turno son, aproximadamente, de 10.500 piezas y 587 piezas, lo que supone estar por encima del objetivo. Además, vemos que la distribución de la producción de piezas está bastante centrada (salvo dos o tres observaciones que son muy malas y que pueden ser debidas a averías o cambios de ráfaga que son cosas excepcionales, la producción en general es bastante estable durante el año de trabajo).

Objetivo Rendimiento Operacional.

El rendimiento operacional objetivo de la línea es del 80%. Según nuestro modelo, el rendimiento acumulado de la línea es del 84.3%, lo que supone estar trabajando con un rendimiento superior al objetivo. El rendimiento medio de los turnos es algo superior; esto puede ser debido a las derivas de la contabilización del rendimiento y de cómo afecta el cambio de ráfaga.

Objetivo Tiempo de cambio de ráfaga.

El objetivo de tiempo de cambio de ráfaga es de 120 minutos. La simulación ha devuelto la cifra de 144 minutos de cambio de ráfaga, lo que supondría estar por

encima del objetivo. Existen multitud de estrategias para mejorar el cambio de ráfaga, pero dado que la producción y el rendimiento son mejores que el objetivo y al ser el cambio de ráfaga un objetivo secundario, no causa mucha problemática.

Objetivo Tiempo de Ecoulement.

El objetivo de tiempo de ecoulement es de 180 minutos. El tiempo de producción de una pieza según la simulación es, de media, de 175 minutos con una distribución bastante centrada, lo que supone que la gran mayoría de las piezas se van a fabricar con un tiempo inferior al objetivo. Superar el objetivo de tiempo de ecoulement, como ocurre para el tiempo de cambio de ráfaga, no es problemático debido a que es un objetivo secundario. La única problemática que existiría en este tiempo de fabricación es en el que vimos cómo tiempo de lavado y que supondría la degradación de las piezas en caso de que la pieza se encontrara dentro de la lavadora un tiempo superior al recomendado.

5. Estudio económico

En el presente capítulo se va a realizar una valoración del coste económico que resulta de la realización del proyecto. El estudio económico incluye los costes del estudio que derivan de las horas dedicadas por el alumno, el material necesario para la realización del trabajo, la asistencia del personal, etc.

5.1. Objetivo del estudio económico

El objetivo del estudio económico es determinar el coste total de la realización del estudio para valorar de esta forma la viabilidad de la realización del estudio y el coste que esto supone para el proyecto.

5.2. Costes del proyecto

5.2.1. Directos

Los costes directos del proyecto están formados por los costes de personal y los costes del material empleado.

Costes de personal.

Contempla el número de horas dedicadas por las personas asociadas al proyecto además de la categoría salarial de cada uno. Realizamos un resumen de las horas empleadas por cada uno de los 3 integrantes en la realización del proyecto y lo recogemos en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Tabla resumen de las horas dedicadas

Actividad	Horas dedicadas		
	Ingeniero junior	Ingeniero senior	Jefe proyecto
Planteamiento	16	0	8
Organización tareas	16	0	0
Temas teóricos	0	160	8
Construcción modelo	352	0	24
Validación	8	16	24
Experimentación	8	0	0
Tratamiento resultados	8	0	8
Análisis resultados	24	0	16
Memoria	160	0	0
TOTAL	592h	176h	88h

Realizamos un resumen de los costes horarios que suponen cada una de los desarrolladores del proyecto según convenio laboral como podemos ver en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Tabla resumen de los salarios por convenio

Costes	Ingeniero junior (€)	Ingeniero senior (€)	Jefe proyecto (€)
Salario bruto	20.000	28.000	38.000
Cotización SS	7.000	9.800	13.300
Coste anual	27.000	37.800	51.300
Coste por hora	15,16	21,23	28,82
TOTAL	8.974,72€	3.736,48€	2.536,82€

Costes de material.

El estudio ha sido de tipo teórico. Los costes de los materiales están formados por los costes de amortización de los medios informáticos empleados. Para hacer el cálculo consideramos la inversión de adquisición de los medios y determinamos la amortización de la inversión aplicando las normas establecidas por la hacienda pública.

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

- 1). Ordenador HProBook , Procesador Intel® Core™ i5-4200U (1.6GHz), AMD Radeon 8670M 2GB
- 2). Pantalla HP
- 3). Teclado y ratón Logitech
- 4). Sistema operativo Windows 7
- 5). Paquete de programas de Microsoft Office 2007: Para el empleo de Word, Excel y Power Point
- 6). Software Witness

Realizamos un resumen de los costes de material y las amortizaciones y lo recogemos en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 Tabla resumen del coste de material

Material	Inversión (€)	Amortización (%)	Amortización anual (€)	Coste mensual (€)	Coste 6 meses (€)
[1]	1.000	25	250	20,83	124,98
[2]	150	25	37,5	3,12	18,72
[3]	30	25	7,5	0,62	3,72
[4]	100	25	25	2,08	4,16
[5]	400	25	100	8,33	16,66
[6]	30.000	20	6.000	500	3.000
TOTAL	31.680€				3.168,24€

5.2.2. Indirectos

Los costes indirectos engloban los que no están relaciones directamente con el proyecto y que hemos recogido en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Tabla resumen de costes indirectos

Descripción	Tiempo	Precio (€)	Total (€)
ADSL + teléfono	6 meses	60	360
Electricidad	6 meses	10	60
Climatización	6 meses	50	300
Limpieza	6 meses	50	300
Impuestos			300
TOTAL			1.320€

5.2.3. Totales

Obtenemos los costes totales del proyecto a través de la realización de la suma de todos los costes directos e indirectos y los recogemos en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5 Tabla resumen de los costes totales

Coste	Cantidad (€)
Directos de personal	15.786,56
Directos de material	34.848,24
Indirectos	1.320
TOTAL	51.924,8€

Representamos los costes en un gráfico de sectores como el que se muestra en la Ilustración 5.1 para que podamos observar el peso de cada uno de los costes en el presupuesto.

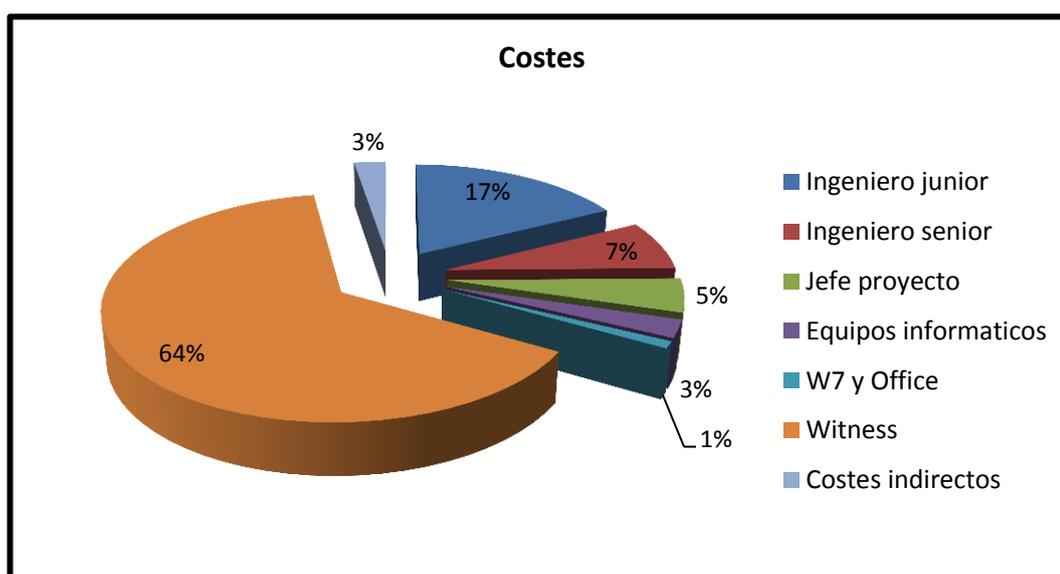


Ilustración 5.1 Gráfico con los costes desglosados

La elaboración del presupuesto es una función básica a la hora de poder vender nuestro trabajo ya que, generalmente, vamos a tener que competir con otras personas por la consecución del trabajo. Por eso, el presupuesto tiene que ser visualmente atractivo, coherente y fácil de comprender.

En este caso, como es un estudio realizado para una empresa para la que trabajamos, el presupuesto que realizamos es meramente orientativo para saber los costes que tendría un proyecto de este tipo basándonos en los recursos que hemos utilizado dentro de la empresa y que serían necesarios de adquirir o de contratar en el caso de personal en una consultoría externa o para un ingeniero colegiado que necesitara vender su trabajo hacia el exterior.

Realizamos el presupuesto del desarrollo del proyecto tal y como se muestra en la Tabla 5.6. En esta tabla se detallan los costes que se generan en el desarrollo del proyecto por el trabajo del personal de ingeniería del proyecto, por los materiales adquiridos y utilizados para realizar la simulación y por los otros costes directos, así como por los costes indirectos que se generan del alquiler del local y de su acondicionamiento para que sea un lugar de trabajo con buenas condiciones según normas de higiene y ergonomía en el trabajo.

Tabla 5.6 Presupuesto

Presupuesto del proyecto		Simulación línea de mecanizado	
Concepto	Descripción	Importe	
Ingeniero junior	592h 15,16€/h	8.974,72€	
Ingeniero senior	176h 21,23€/h	3.736,48€	
Jefe proyecto	88h 28,82€/h	2.536,82€	
Coste Directo personal		15.786,56	
PC	Adquisición 1.000€ Amortización 25% anual 124,98€	1.124,98€	
Pantalla	Adquisición 150€ Amortización 25% anual 18,72€	168,72€	
Teclado y ratón	Adquisición 30€ Amortización 25% anual 3,72€	33,72€	
Windows 7	Adquisición 100€ Amortización 25% anual 4,16€	104,16€	
Microsoft Office	Adquisición 400€ Amortización 25% anual 16,66€	416,66€	
Witness	Adquisición 30.000€ Amortización 20% anual 3.000€	33.000€	
Coste Directo material		34.848,24€	

Costes Directos		50.634,8€
ADSL Teléfono	6 meses 60€/mes	360€
Electricidad	6 meses 10€/mes	60€
Climatización	6 meses 50€/mes	300€
Limpieza	6 meses 50€/mes	300€
Impuestos	60€/mes	300€
Costes Indirectos		1.320€
COSTE TOTAL PROYECTO		51.924,8€

6. Conclusiones y líneas futuras

6.1. Conclusiones

Hoy en día, las herramientas de simulación son cada vez más importantes en las empresas, ya que proporcionan una serie de recursos que permiten conocer con antelación lo que puede ocurrir en la realidad; de esta forma, se pueden tomar decisiones que ayuden a mejorar la producción, a reducir costes, evitar el despilfarro,..., ofreciendo productos con buena relación calidad precio.

No obstante, un abuso de estas herramientas puede resultar perjudicial debido a que tenemos que asegurarnos de tener un modelo válido con el que trabajar y experimentar y que nos proporcione resultados válidos.

En la actualidad, existen infinidad de programas informáticos de manejo muy sencillo que nos permite realizar simulaciones; pero no por ser de manejo sencillo tiene porque ser fácil conseguir un modelo válido. Por culpa de estos programas existe el riesgo de tomar por bueno un modelo sin ser válido y los datos de trabajo para la toma de decisiones podrían ser erróneos, lo que provocaría la toma de malas decisiones.

En el presente proyecto hemos simulado y hemos analizado los resultados que han permitido llegar a las siguientes conclusiones.

Analizar la línea de mecanizado

Nos habíamos planteado conseguir un modelo fiable para analizar el comportamiento de la línea de mecanizado. De esta forma, podríamos estudiar todos los puntos clave para ver si el funcionamiento es el correcto. A través de las reuniones de validación se llegó a la conclusión que el modelo era válido y, por tanto, servía para el estudio.

El objetivo que nos habíamos propuesto era poder analizar la línea para ver si el diseño era correcto para el funcionamiento que habíamos previsto, además de poder dar soluciones a los posibles fallos y errores en los muchos de los puntos que disponemos en la concepción de una línea de mecanizado.

Mediante el análisis que nos proporciona Witness a través de sus estadísticas podemos obtener el comportamiento de las máquinas, cuál es su tasa de trabajo, cuál es su tasa de rotura y cuál es su tasa de cambio de herramienta. A mayores, podemos ver cómo ha funcionado la línea en su conjunto a través de la tasa de

desabastecimiento y la tasa de saturación que nos proporcionan las estadísticas. Desde el punto de vista de los stocks, la lectura de las estadísticas también es importante ya que nos proporcionan las tasas de llenado medio y la tasa de tiempo medio de estancia. A través de la interpretación de estos datos podemos saber cómo han funcionado los almacenes de piezas.

A través del análisis de las estadísticas de Witness y de su interpretación se ha ido alertando a los diferentes grupos de personas que componen toda la concepción de la línea para ir solucionando pequeños fallos y, de esta forma, ir subsanando los errores en el diseño que podrían afectar tanto al rendimiento como a la producción

A través de este estudio se ha trabajado principalmente con el responsable de la manutención para obtener un diseño fiable y con buen rendimiento. Probando las soluciones que nos ofrecía el proveedor de mantenimientos, así como nuestras propias ideas y proponérselas al proveedor, se ha llegado a conseguir el objetivo que nos habíamos propuesto.

Aportar ideas de mejora, contribuir para mejorar la eficiencia de la instalación y resolver muchos problemas sobre el diseño

A través de todo lo que supone la creación del modelo como es la definición de las máquinas, la definición de la manutención o la definición del flujo, nos hemos ido dando cuenta de una serie de ideas de mejora que hemos ido probando para ver si eran positivas; estas ideas de mejora se han comunicado a los diferentes grupos de trabajos a los que les afectaban para conocer si eran factibles.

Las principales ideas que han surgido de este estudio son la utilización de pórticos con doble carro en las operaciones más críticas y los pórticos independientes para todas las operaciones a fin de poder asegurar el cumplimiento del tiempo de ciclo. A través de esta mejora se consiguió que todas las operaciones cumplieran el tiempo de ciclo objetivo de la línea. La instalación de este nuevo tipo de pórtico con doble carro es una novedad en Renault Valladolid ya que hasta la fecha no se había instalado ninguno. Esta solución se exportó a otra línea que adolecía de un problema similar ya que contenía un pórtico que no cumplía el tiempo de ciclo de la operación y de esta forma se logró que lo cumpliera.

Evaluar la estimación de producción y rendimiento

Uno de los objetivos de la simulación consiste en obtener una estimación de la producción que se podría obtener en la línea de mecanizado, así como el rendimiento operativo con el que se trabajaría.

A través de la creación de las funciones y variables necesarias, además de los gráficos para guardar las observaciones, hemos obtenido todos los registros que nos habíamos propuesto.

A través de la función RO hemos observado que el rendimiento que obtenemos es de un 84.3%. Gracias a la función de producción hemos obtenido una producción de 492mil piezas al año.

Anticipar si se alcanzarán los objetivos previstos propuestos

El objetivo de anticipar los objetivos previstos tiene mucho significado en una simulación ya que, debido a que somos capaces de obtener una estimación de los resultados, podemos ver si cumplimos los objetivos previstos de la línea.

En nuestra simulación hemos conseguido superar los objetivos previstos, lo que supone que el diseño de la línea es bueno. La simulación cuenta con una incertidumbre que no conocemos y que sólo se puede determinar una vez se ponga en marcha la línea. Éste es un punto interesante, ya que obtendremos la diferencia del modelo versus la realidad y nos servirá para futuras simulaciones.

6.2.Líneas futuras

En primer lugar, cabe destacar que se trata de un estudio sobre una línea que se va a instalar. Por tanto, será muy interesante, una vez se haya instalado la línea, comprobar que la modelización ha sido correcta para, de esta forma, aprovechar toda la experiencia que se ha utilizado para realizar este modelo y que nos sirva para la realización de futuros modelos más fiables y con menos incertidumbre.

En segundo lugar, y a fin de mejorar el modelo y optimizar el funcionamiento del sistema podría, trabajarse en diferentes aspectos: inclusión de operarios, utilización del módulo optimización, inclusión de turnos, trabajar sobre la lógica del flujo del modelo, realizar variantes sobre la gestión de los almacenes y sobre el funcionamiento de las máquinas y, finalmente, trabajar en la instalación para aumentar los límites de producción.

En primer lugar, se considera la **inclusión de operarios** de conducción de máquina en el modelo para ver cómo afecta la organización de la explotación en ámbitos como son el cambio de herramienta y el cambio de ráfaga, así como la inclusión de operarios de mantenimiento para ver cómo afecta la organización del mantenimiento y la relación de averías con el fin de contabilizar la producción final y ver cómo varía con respecto al modelo actual.

También se considera la utilización del **módulo de optimización** para el diseño de los encursos que tenemos en línea y, de esta forma, poder mejorar el rendimiento de la línea con el que obtendremos también una mejor producción anual, semanal y por turno. También serviría para dimensionar el aprovisionamiento de la operación de carga y el de la célula de descarga.

La inclusión de turnos permitiría mejorar la modelización, debido a que actualmente el modelo se ejecuta de manera continua. Con la adición de los turnos podríamos valorar cómo funcionan las arrancadas de la línea después de los días festivos o de los turnos sin trabajar.

También se podría simular el sistema de reparto de brutos y de expedición de acabados mediante **AGV**, lo que aportaría más valor a la simulación; deberemos tener en cuenta los posibles desabastecimientos en el aporte de brutos a la línea o los bloqueos que supondría una falta de elementos para descargar las piezas.

Por último, se podría considerar la modelización de las **piezas rechazadas por calidad** a través de funciones aleatorias que cumplan los patrones de rechazo que se conocen por la experiencia. De esta forma, se retiraría de la producción el porcentaje de piezas malas para conocer cómo afecta al rendimiento y a la producción.

7. Bibliografía

La bibliografía que se ha utilizado para desarrollar este proyecto se compone básicamente de la ayuda interna que proporciona el programa Witness y que es en la que nos hemos basado a la hora de consultar todas las dudas que nos ha generado la modelización y la descripción del modelo. Además, para la redacción de la memoria nos hemos ayudado de las siguientes referencias bibliográficas.

Cuatrecasas Arbós, L. (2009) *Diseño avanzado de procesos y plantas de producción flexible: técnicas de diseño y herramientas gráficas con soporte informático*. Barcelona: Bresca.

Cuatrecasas Arbós, L. (2011) *Organización de la producción y dirección de operaciones: sistemas actuales de gestión eficiente y competitiva*. Madrid: Díaz de Santos, D. L.

Goldratt, E. M.; Cox, J. (2005) *La meta: un proceso de mejora continua*. Madrid: Díaz de Santos, D. L.

Rajadell Carreras, M. Sánchez García, J. L. (2010) *Lean manufacturing: la evidencia de una necesidad*. Madrid: Díaz de Santos.

Gutiérrez Pascual, L. (2014) *Determinación de la Planificación Agregada y Plan Maestro de Producción: Aplicación de técnicas basadas en la Simulación y la Optimización*. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Valladolid. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/13158/1/TFG-I-184.pdf>

Martín del Rio, A. Fernández Luis, L. (2015) *Construcción de un modelo parametrizable de la Escuela Lean mediante Witness: One Piece Flow*. Trabajo Fin de Master. Universidad de Valladolid. Disponible en:

<https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/13830/1/TFM-P-297%3B298.pdf>

Toda la información referente al programa se ha obtenido de la ayuda que contiene Witness y de la guía rápida de uso.

<http://www.lanner.com/technology/witness-simulation-software.html>