



José Miguel Trigueros Rey



**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**  
**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

**Grado en ingeniería de organización industrial**

**Modelado y simulación para la propuesta de mejoras en el taller de verificación de cubiertas de Michelin Valladolid**

Autor:

Trigueros Rey, José Miguel

Tutores:

De Benito Martín, Juan José

Sanz Angulo, Pedro

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

Valladolid, octubre 2017





José Miguel Trigueros Rey



## **Agradecimientos**

He de dar las gracias a mi tutor empresarial, Alain García Castro, a todos los compañeros del departamento de organización de turismo de Michelin, así como a todos los técnicos, jefe de taller y MAM (Mánager de Área Multifuncional) que estuvieron muy atentos conmigo, solucionando todas mis dudas y explicándome a la perfección el objetivo del taller a simular, el funcionamiento de cada una de las máquinas, el rutado de las cubiertas y facilitándome los tiempos de ciclo de cada una de las máquinas. También quiero agradecer a la encargada de estudiantes en Michelin por haberme dado esta gran oportunidad de la que tanto me he nutrido y me ha servido para ver cómo es el funcionamiento de una gran empresa y cómo están interconectados todos los departamentos que la componen.

Ha sido un placer trabajar durante cuatro meses, que al final se hicieron bastante cortos pese a ser la primera experiencia laboral que he tenido, con todos ellos y me he sentido muy integrado en la empresa.

Me gustaría agradecer a Juan José de Benito Martín y a Pedro Sanz Angulo, por facilitarme las herramientas necesarias para poder completar el trabajo de simulación fuera de la fábrica y por sus aportaciones en la elaboración de esta memoria.

A su vez, también me gustaría agradecer el apoyo incondicional recibido por parte de mi familia y amigos, los cuales me han estado apoyando desde el principio y han confiado en mí desde el primer momento.





José Miguel Trigueros Rey



## Resumen

La finalidad y objetivo principal de este trabajo reside en realizar un estudio de los flujos de cubiertas que circulan por los convoys en el taller de verificación de turismo de Michelin. Con este estudio se pretende conocer cuál es la mejor disposición posible para lograr la optimización de los flujos y reducir tanto la ocupación media como la máxima con vistas al futuro, lo que se traduciría en un aumento de la producción, no solo del taller, sino de toda la fábrica.

De esta manera, no solo se conseguirá descubrir la mejor disposición de los convoys, sino que, además, podremos saber cuáles serán los cuellos de botella o los factores limitantes de la capacidad productiva y hasta qué nivel productivo se podrá llegar con un nivel de saturación aceptable de los ganchos con cada una de las disposiciones.

**Palabras clave:** Optimización, Convoys, Ganchos, Capacidad productiva, Disposición de los distintos operarios.

## **Abstract**

The aim and main objective of this work is to perform a study of the flows of covers that circulate through the convoys in the Michelin's tourism verification workshop. This work tries to find which is the best possible arrangement of these flows, in order to achieve their optimization and reduce both the average and maximum occupancy, being able to increase the production of the workshop and, of course, of the entire factory.

In this way, we will not only be able to discover the best arrangement of the convoys, but we will also know the bottlenecks or limiting factors of the productive capacity and which level of production can be reached with an acceptable saturation level of the hooks with each of the workshop layouts.

**Key words:** Optimization, Convoys, Hooks, Productive capacity, Disposition of the different operators.



# CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
I.    Antecedentes.....	1
II.   Motivación.....	2
III.  Objetivos.....	3
IV.  Alcance .....	4
V.   Estructura de la memoria .....	7
<b>1.  LOGÍSTICA: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>9</b>
1.1- Origen e historia de la logística .....	9
1.2- Concepto .....	10
1.3- Importancia de la logística .....	13
1.4- Tipos de logística .....	13
1.5- Logística de producción o logística interna .....	14
1.6- Fases de la logística interna .....	15
1.7- Beneficios de la aplicación de una buena logística interna .....	16
1.8- Herramientas o medios para la mejora de la logística interna.....	17
1.8.1- Lean manufacturing.....	18
1.8.2- Los siete+uno despilfarros .....	20
1.8.3- Mejora continua .....	21
1.9- Capacidad del proceso .....	22
1.10- Simulación como método para la toma de decisiones.....	23
<b>2.  LA SIMULACIÓN .....</b>	<b>25</b>
2.1- ¿Qué es?.....	25
2.2- Ventajas y desventajas.....	26
2.3- Aplicaciones .....	27
2.4- Proceso de simulación .....	28
2.5- Principales softwares .....	31
<b>3.  WITNESS .....</b>	<b>37</b>
3.1- Descripción del programa .....	37
3.2- Elementos utilizados .....	41
<b>4.  ESCENARIO DE APLICACIÓN .....</b>	<b>47</b>

4.1- Historia de Michelin .....	47
4.2- Descripción del sistema real .....	49
<b>5. ESTRUCTURA DEL MODELO (ESTRUCTURA Y ENTRADAS) .....</b>	<b>59</b>
5.1- Convoys .....	59
5.2- Entrada a circuito .....	62
<b>6. ESTRUCTURA DEL MODELO (PUESTO DE CONTROL 1) .....</b>	<b>71</b>
6.1- Almacenes .....	71
6.2- Puesto de control 1 .....	77
<b>7. ESTRUCTURA DEL MODELO (PROCESOS POSTERIORES) .....</b>	<b>85</b>
7.1- Puesto de control 2 .....	85
7.2- Máquinas intermedias .....	88
7.2.1- PUESTO DE CONTROL 3 .....	88
7.2.2- Puesto de control 4 .....	89
7.2.3- Puesto de control 5 .....	90
7.2.4- Puesto de control 6 .....	91
7.3- Paletizado .....	92
<b>8. ESCENARIOS ALTERNATIVOS: EVALUACIÓN Y ANÁLISIS .....</b>	<b>95</b>
8.1- Sin partir el convoy 4 ni invertir el 1, situación actual: .....	97
8.2- Sin invertir el convoy 1 con el convoy 4 partido, situación programada: .....	101
8.3- Convoy 1 invertido y convoy 4 sin partir, situación planteada: .....	105
8.4- Convoy 1 invertido y convoy 4 partido, situación alternativa combinación de las dos anteriores: .....	109
<b>CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS .....</b>	<b>115</b>
CONCLUSIONES .....	115
LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO .....	117
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>119</b>
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS: .....	119
REFERENCIAS WEB: .....	119



## INTRODUCCIÓN

### I. ANTECEDENTES

Todo comenzó con la concesión de prácticas que se me proporcionó desde Michelin. Según llegué allí, me explicaron en qué iba a consistir mi trabajo, se trataría de realizar una comparación de la ocupación de los convoys en el taller de verificación con distintas disposiciones de los mismos. Tenía que realizar un estudio para conocer aquella configuración que mejor comportamiento proporcionara y, de esta manera, llegar a la mejora de la capacidad productiva del taller.

Para poder llevar el estudio a cabo, mi tutor empresarial, Alain García Castro, se dispuso a enseñarme el funcionamiento de cada una de las máquinas del taller, realizando una visita guiada en la que me presentó al jefe de taller y a los subjefes y técnicos que por allí se encontraban para poder así preguntar cualquier duda que me surgiera.

Se trataba de un taller muy amplio en el que la cantidad de máquinas era muy elevada, cada una con su propio funcionamiento. Había una serie de líneas de ganchos que transportaban las cubiertas por todo el taller sin necesidad de la utilización de carretillas ni transporte manual. Era una estructura bastante compleja para reducir al mínimo posible el tiempo perdido por los operarios al transportar las cubiertas por el taller y que, de esta manera, abandonen el puesto de trabajo lo menos posible.

En un principio fue bastante complicado entender la finalidad de cada una de las máquinas y el porqué de la secuencia de operaciones que tenían que realizar las cubiertas. Estas llegaban de cocción a través de un circuito de enfriamiento y eran colgadas en los convoys.

Cada gancho de los convoys tenía un USB en el que quedaban almacenados los principales datos de la cubierta transportada para que en ningún momento se perdiese la referencia. Una vez el gancho pasaba por algún posible lugar de descarga, los USB eran leídos y el autómata decidía si ese era o no el destino de la cubierta, con el fin de hacer al descargador entrar en acción o no. En consecuencia, al cargar una cubierta a un convoy no solo se cargaba esta en décimas de minuto sino, además, una serie de datos que permitiría realizar el seguimiento de la misma por todo el taller.

Un MAM (*Mánager de Área Multifuncional*) del taller me mostró cómo se podía averiguar, en cualquier momento y accediendo al autómata, muchos datos interesantes como, por ejemplo: el número de cubiertas que se encontraba en un momento determinado en un convoy, la referencia de cada una de ellas y cuál era su destino. Esto resultaba muy útil, ya que, si en algún momento se podría observar algún convoy muy saturado, solamente tendría que acudir a él y comunicárselo para que me realizase un impreso con todas las cubiertas que en ese momento se encontraban en él para ver cuál era el destino de cada una y conocer así por qué se había producido ese problema puntual.

El taller se encontraba a unos siete minutos a pie del departamento de organización de turismo, por lo que resultaba conveniente dirigirse allí únicamente cuando el desplazamiento mereciese la pena y hubiese varias cuestiones que resolver; de este modo, se ahorraría tiempo que se podría dedicar al modelizado de la instalación.

## II. MOTIVACIÓN

Se me comunicó que estaba previsto llevar a cabo la partición de uno de los convoys y mi estudio podría serles de mucha utilidad para ver si la obra que se había planteado realmente solucionaba alguno de los problemas que tenía el taller. Mediante los modelos que iba a realizar debería demostrar si la ganancia económica estimada merecía el coste de realizarla y comprobar si otras ideas también ayudaban para mejorar su funcionamiento.

Los convoys que transportaban las cubiertas por el taller estaban teniendo problemas de saturación con la disposición actual, y la finalidad, como se ha comentado anteriormente, consistiría en realizar una serie de modelos para ver cuál era aquel que más reducía dichos problemas y, además, cuál era el que mayor capacidad productiva ofrecía ante una más que posible ampliación de la producción. El objetivo iba a ser reducir la ocupación media y, más importante todavía, intentar absorber los picos de producción en los que los convoys se saturaban, puesto que podría limitar la capacidad productiva de todo el taller, y, por consiguiente, el de toda la fábrica.

Dicha saturación, a su vez, provocaba que hubiese momentos en los que la rampa de salida de las máquinas del puesto de control 2 se saturase, puesto que al convoy cuatro no le daba tiempo a absorber todas las cubiertas que los operarios allí destinados verificaban. Esto derivaba en que algunos de ellos tuvieran que paletizar (o disponer las cubiertas en palés) a mano hasta que esta situación se viese corregida. El hecho de paletizar a mano es una situación crítica que la empresa no puede permitirse, puesto que ese tiempo lo podrían aprovechar verificando; en definitiva, esta situación se traduce en pérdidas para la empresa.

También se pudo observar que a veces se formaba una cola bastante extensa de las cubiertas que salían de cocción hacia el circuito de enfriamiento. Esto era debido a que el convoy 1 no era capaz de absorber la gran cantidad de cubiertas que llegaban desde la cocción, cuestión que también sería conveniente solucionar con la disposición de los convoys.

Es muy importante poder corregir esta situación porque, si toda la fábrica funciona según lo previsto, la cocción de los bandajes se convierte en el cuello de botella de todo el proceso productivo y, debido a esto, no es recomendable que la verificación también lo sea, ya que la cocción no puede verse condicionada por procesos posteriores.

Hay que tener en cuenta que las pérdidas de tiempo en verificación pueden ser recuperables con la acumulación de tiempo, pero si se crea un cuello aquí, producir una parada en cocción sería algo crítico porque ese tiempo sería perdido, disminuyendo la



cantidad de neumáticos fabricada y haciendo peligrar que los pedidos de neumáticos de tipo 1, siempre más urgentes, lleguen a tiempo, dando lugar a una pérdida de confianza hacia la empresa muy difícil de recuperar.

### III. OBJETIVOS

Tanto los organizadores, como los MAM, como los operarios hicieron algunas propuestas que se creía que podrían paliar estos problemas de saturación. Entre ellas, las más representativas fueron invertir el convoy uno y partir el cuatro en dos. Por ello se decidió construir los modelos de sus posibles combinaciones. En total se deberían crear cuatro modelos. El primero de ellos representaría el funcionamiento del sistema actual. Del primero al segundo variaría el sentido del convoy 1, y del primero al tercero se modificaría el convoy 4, llevando a cabo su partición. El cuarto modelo consistiría en una combinación de los dos anteriores, llevando a cabo tanto la inversión del convoy 1 como la partición del convoy 4.

A partir de la realización de estas simulaciones se podría realizar una comparación mediante la cual se observaría si con las nuevas disposiciones planteadas se corregirían los problemas anteriormente planteados.

Una de las ideas principales era que la partición del convoy 4 debería solucionar los problemas provocados a la salida del puesto de control 2, puesto que después de descansos o reuniones de trabajadores, las rampas de entrada a dicha sección se veían casi completamente ocupadas. Esto provocaba que, a ritmo de trabajo normal, los operarios destinados al puesto de control 2 lanzaran una cantidad considerable de cubiertas, cuyo objetivo es ser absorbidas por el convoy 4 con destino el paletizado.

Como consecuencia, se podía observar que dicho convoy se iba llenando progresivamente con las cubiertas que llegaban a este, primero las procedentes del puesto de control 2 del convoy 3 y después las de los convoys 1 y 2.

La programación de los cargadores a los convoys, con vistas a posibles problemas de saturación, provoca que estos, debido al tiempo de ciclo, no puedan cargar dos cubiertas en dos ganchos consecutivos. Esto es muy útil, ya que el resultado obtenido es que carguen en uno de cada dos ganchos, dejando, por tanto, uno de cada dos ganchos libres para el siguiente cargador.

Como resultado, el primero de los dos cargadores del puesto de control 2 de los convoys 1 y 2 no tiene problema alguno a la hora de cargar sus cubiertas. Sin embargo, esto no es así con el segundo cargador, y cuando coincide que todos los operarios del puesto de control 2 están verificando, aparece un impedimento para los trabajadores situados en tres de las máquinas del puesto de control 2, precisamente en aquellas que son las últimas en descargar al convoy 4, puesto que el mismo se va llenando con las cubiertas de las anteriores máquinas del puesto de control 2.

Con la partición del convoy 4 se pretende seccionar el taller en dos partes perfectamente diferenciadas (a pesar de que existen una serie de cruces por los *bypasses* que conectan los convoys 1 y 2 al 3 y los convoys 4 y 5), consiguiendo así que el convoy 4 no llegue saturado a la zona del puesto de control 2 de la parte izquierda del taller, como sucede sin esta partición, y pudiese así absorber todas las cubiertas verificadas. De esta forma, únicamente pasarían a descargar cubiertas en el convoy 4 dos cargadores, y mediante la programación de los mismos anteriormente comentada, se lograría la absorción de todas ellas, evitando los tiempos perdidos por los operarios ante la necesidad de paletizar a mano.

Por otro lado, el objetivo de la inversión del convoy 1 sería que las cubiertas, en vez de tener que dar una vuelta entera al circuito para acceder a los almacenes, fuesen hacia estos directamente; esto es debido a que alrededor de un 62% de las cubiertas, contando tanto las de tipo 1 como las de tipo 2, deben ir a los almacenes antes de pasar por el puesto de control 1. De este modo, se consigue que el tiempo durante el que permanecen en dicho convoy sea el mínimo posible, con la finalidad de que tanto la ocupación media como la máxima del convoy 1 se vea reducida.

También se pretendía observar que mediante la inversión del convoy 1 se solventaba la situación de saturación a la entrada al circuito y se conseguía disminuir los picos que se producían en el convoy 2.

Otro de los objetivos perseguidos era conocer a partir de qué nivel de capacidad productiva es necesaria la contratación de un operario más para el puesto de control 2 y determinar en qué medida se soluciona la saturación de los convoys, por lo que se llevarán a cabo las mismas 4 simulaciones tanto con 7 como con 8 operarios en dicha sección.

*Resumiendo, podemos afirmar que el objetivo principal de este trabajo será realizar una serie de simulaciones con las distintas disposiciones planteadas para el taller, cada una de ellas representada en un modelo, para así determinar cuál de ellas es la que ofrece un mejor comportamiento del sistema, reduciendo las ocupaciones media y máxima de los ganchos de los convoys.*

#### IV. ALCANCE

El requisito principal del trabajo es que se ajuste a la realidad, ya que de esto depende que el programa tenga validez o no. Para ello, fueron recolectados los tiempos de ciclo de cada una de las máquinas del taller y las velocidades y cantidad de ganchos de los convoys.

Sin embargo, había elementos en el taller de los cuales el tiempo de ciclo no estaba registrado, tales como las rampas de entrada y salida a máquinas y los *bypasses*, y se trata de elementos que influyen en los resultados de la simulación, por lo que se realizaron mediciones de dichos tiempos.



A su vez, debido a la complejidad del rutado de las cubiertas, ya que dentro de una dimensión cada cubierta puede tener asignada un destino diferente (por ejemplo, un par de cubiertas de un pack de una misma dimensión deberá ir al puesto de control 3 para verificar por muestreo que el conjunto de la dimensión se adapta a los estándares de calidad establecidos) se tuvieron que hacer mediciones y determinar los parámetros necesarios para el establecimiento de los diferentes destinos desde una máquina hasta la siguiente.

Después de pasar por cocción, todas las cubiertas de tipo 1 y alguna de las cubiertas de tipo 2, deberán pasar por los almacenes para enfriar lo suficiente antes de acceder a las máquinas del puesto de control 1. De esta forma, se conseguirá que las máquinas no presenten errores debidos a la elevada temperatura de las cubiertas al salir de cocción.

Sin embargo, el paso de cubiertas por el almacén supuso complicaciones en la realización de la simulación. Esto era debido a que se asignaba un destino en el momento de su entrada en el almacén, y si coincidía que la máquina a la que estaba destinado estaba parada por mantenimiento o por un cambio de utillaje, dicha cubierta debería esperar en el almacén hasta el momento en que la máquina volviese a estar en funcionamiento.

De esta forma, el convoy no se llenaría de las cubiertas de la dimensión que la máquina parada está pidiendo. A la hora de representar esto, surgía el problema de que, si una cubierta no puede salir, limita la salida de todas las cubiertas que lleguen después con destino otras máquinas.

Ante esto, se tuvo la idea de crear una serie de rampas a la salida de los almacenes. Por cada una de estas rampas irían las cubiertas con destino a una única máquina, solucionando así el problema de atascamiento antes mencionado. Sin embargo, surgía otro problema, y es que no puede haber más cubiertas en el almacén que la propia capacidad del mismo. Ante esta limitación, se decidió crear una restricción, mediante la cual no entrarían más cubiertas al almacén si la suma de las cubiertas ubicadas entre el almacén y las rampas excediese la capacidad de éste.

Además, así se podría solucionar otro problema para la simulación denominado stock tampón, mediante el cual, cuando se produce un cambio de utillaje en alguna de las máquinas del puesto de control 1, una vez este hubiese acabado, se envía una cantidad de cubiertas a la máquina desde los almacenes que podría estar en torno a las 15 cubiertas. Es importante representar esto, ya que es un punto crítico en el que se producen picos en el porcentaje de ocupación.

También era muy importante tener en cuenta las paradas de los operarios, tanto para los bocardillos y fumaderos, como para las reuniones, las cuales se producían a diario y hacía que estos parasen de trabajar durante un determinado tiempo. Una vez estas paradas finalizaban, volvían a sus puestos de trabajo con las rampas de entrada a cada una de sus máquinas bastante saturadas, produciendo también un pico en la ocupación de los convoyes.

También era de vital importancia representar lo más fielmente posible el conjunto de cintas transportadoras situada a la salida del puesto de control 2 ya que, en ocasiones, presentaban ciertos problemas de saturación y es uno de los aspectos críticos sobre los que se quiere actuar con la partición del convoy 4.

Otro de los problemas que presentaba la simulación, el cual solo se pudo descubrir una vez realizada alguna de ellas, era que la actividad que traía las cubiertas desde cocción lo hacía con un tiempo de ciclo, cargando las cubiertas directamente al convoy. El problema surgió cuando se reparó en que, una vez acababa el ciclo, si no podía descargar debido a la saturación del convoy 1, empezaba el ciclo otra vez, sin llegar a acumular aquellas cubiertas que podrían haber llegado durante el tiempo en el que el cargador hubiera estado bloqueado. Para solucionar esto, se tuvo la idea de crear una cola a la entrada del circuito que representase algo parecido al circuito de enfriamiento para que ninguna cubierta se perdiese y poder llegar a los niveles de producción para los que el tiempo de ciclo del cargador desde las prensas había sido calculado.

En este estudio se pretenderá, no solamente indicar cuál es la disposición de los convoys que mejor comportamiento ofrece de entre todas las planteadas, sino que además descubrir cuál es el incentivo que mejor se adecúa al puesto de control 2 para el nivel productivo actual y para una más que posible ampliación de la capacidad productiva.

De esta forma, los datos que variarán de un modelo a otro serán, además de las posibles disposiciones de los convoys, el número de recursos destinados a dicha verificación y la cantidad de cubiertas que pasan por el circuito diariamente. Así se podrá averiguar cuáles son las disposiciones adecuadas para cada nivel productivo, tanto de los convoys de ganchos como de los operarios situados en el puesto de control 2, tratados en este caso como recursos.

Será de suma importancia, por lo tanto, tener en cuenta tanto la velocidad de cada uno de los convoys como el número de ganchos que contienen. Así podremos ajustarnos en el modelo a la capacidad de cada uno de los elementos del taller. También será necesario contar el número de cubiertas que caben en cada una de las cintas transportadoras, puesto que esa será su capacidad y no se podrá rebosar en ninguno de los casos.

Como se ha comentado anteriormente, el modelo debe ajustarse a la realidad lo máximo posible, por lo que serán estos pequeños detalles los que marquen la diferencia entre un modelo válido y uno que no lo sea. Tal vez si se pasa por alto alguno de estos detalles no haya consecuencias negativas, pero si estos detalles que no percibimos se acumulan pueden hacer que nuestro modelo varíe significativamente y las simulaciones realizadas no sean de ninguna utilidad.



## V. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

El presente documento se ha estructurado en siete capítulos que describen los fundamentos teóricos y las herramientas empleadas, así como el trabajo realizado para lograr la consecución del objetivo.

En el primer capítulo se tratará la “LOGÍSTICA INTERNA”, herramienta utilizada para optimizar la disposición en planta y, de este modo, lograr que las pérdidas de tiempo a la hora de llevar a cabo las operaciones en una empresa sean las mínimas posibles. También se describen brevemente los principios del Lean Manufacturing y la capacidad productiva.

El segundo capítulo, denominado “LA SIMULACIÓN”, tratará de explicar someramente la historia de la simulación, sus principales ventajas y desventajas, aplicaciones, ..., y se hablará de los principales softwares empleados para realizar toda clase de simulaciones.

En el tercer capítulo, llamado “WITNESS”, se hablará del programa empleado en nuestro caso para llevar a cabo la serie de modelos simulados. Se hará especial hincapié en todos los elementos que este programa nos ofrece para facilitar el modelizado del sistema objeto de estudio.

El cuarto capítulo, llamado “ESCENARIO DE APLICACIÓN”, tendrá como objetivo explicar el contexto en el que se ha desarrollado el trabajo de fin de grado. Se presentará Michelin como empresa, su historia, y se describirá el funcionamiento de todo el taller.

Los capítulos cinco, seis y siete abordan la “ESTRUCTURA DEL MODELO”. Su finalidad consistirá en explicar la programación de cada uno de los elementos que componen los modelos. Se abordará desde el momento en que las cubiertas entran desde cocción hasta que, una vez verificadas en los puestos de control 1 y 2, sean paletizadas y almacenadas.

En el séptimo capítulo, “COMPARACIÓN DE LOS DISTINTOS MODELOS PLANTEADOS”, tratará de afrontar el objetivo del trabajo, que consiste en conocer cuál es la mejor disposición del taller y cuál sería el incentivo del puesto de control 2 adecuado para la producción estimada.





# 1. LOGÍSTICA: MARCO TEÓRICO

## 1.1- ORIGEN E HISTORIA DE LA LOGÍSTICA

Esta información ha sido recuperada de <https://es.wikipedia.org/wiki/Log%C3%ADstica>. Desde el principio de los tiempos, los bienes utilizados no son producidos en el lugar en el que son consumidos. Antiguamente, la comida en abundancia solo se producía en determinadas épocas. Entonces surgió el problema, había dos opciones: o consumirlos en el lugar donde se adquirían o transportarlos y almacenarlos para un posterior consumo.

Como sabemos, antiguamente tampoco existían medios de transporte para poder realizar esta tarea, por lo que el transporte se reducía a la capacidad de carga de una persona. Teniendo en cuenta, además, que los productos perecederos no se mantienen frescos durante demasiado tiempo, la gente estaba obligada a vivir cerca de las zonas de producción.

Una vez que los sistemas logísticos fueron mejorando, se pudo separar el consumo de la producción. De esta forma, cada zona comenzó a especializarse en aquellos productos que les salían más rentables para así poder, posteriormente, comercializar entre ellas. Así surgió el comercio de exportación-importación.

Podemos contemplar cómo la logística ha estado muy presente a lo largo de la historia, ya que posterior a la aparición de la exportación y la importación, por ejemplo, los fenicios usaron la logística para desarrollar el comercio marino y los persas y los griegos la usaron para desarrollar carreteras, redes y flujos de información.

También ha destacado en el aspecto militar. Alejandro Magno fue un gran estratega, y se basó en la logística para comandar su ejército en expediciones militares y gestión de flujos físicos asociados.

A su vez, los galos crearon el barril, un contenedor logístico lleno de futuro. Los romanos, ante los impedimentos surgidos por conceptos de suministro, almacenamiento y distribución, llevaron a cabo auténticas obras de ingeniería, tales como los acueductos, en los que la propia inclinación estaba estudiada para que fuese un flujo continuo y así abastecer a toda la ciudad. Precisamente entre los galos y los romanos se estableció la primera red de carreteras europea, debido a sus enormes avances logísticos. En China también se creó una red de carreteras y cursos de agua a gran escala.

Gracias a la logística, se pudieron llevar a cabo multitud de desplazamientos, incluidos el transporte fluvial y el marítimo, y los vikingos consiguieron pasar del cabotaje a la navegación a mar abierto, hecho que les ayudó enormemente a expandirse.

También se produce un auge de las ciudades comerciales, tales como Venecia y Brujas. Surgen las ferias del Champagne, lo cual ayuda a la creación de grandes mercados.

Todas estas condiciones provocan un progreso hacia la expansión del comercio. Como consecuencia de esto, además, se produce la primera vuelta al mundo.

También se produce una mejora de las prácticas logísticas, puesto que la aparición de las carabelas y los galeones se hacen paso para dejar atrás a las galeras. A continuación, surgirían los primeros barcos en línea, motivo por el cual empiezan a aparecer las primeras flotas nacionales y compañías privadas. Luis XIV crea las primeras compañías de alquiler de vehículos en París. A su vez, se establece un nuevo sistema para la reparación de la red de carreteras y líneas regulares y se desarrollan los canales, como el de Briare y el de Midi y se crea en París la escuela nacional de puentes y caminos. Otro hecho muy relevante de la logística es la aparición de la tracción a vapor.

## 1.2- CONCEPTO

La gran mayoría de las empresas tiende a externalizar la disposición de su cadena, y solamente alrededor de un 5% lo subcontratan. Esto quiere decir que un 95% del total de empresas se dedica a desarrollar una disposición correcta que ayude a optimizar su cadena de suministro. Aquí entra en juego la logística interna llevada a cabo por la empresa.

Como indica Julián Pérez Porto en el artículo “Definición de logística”, publicado en 2009, se trata del “conjunto de medios que permiten llevar a cabo la organización de una empresa o servicio, los cuales implican un cierto orden en los procesos que involucran la producción y comercialización de mercancías”.

Por lo tanto, se afirma que es el puente de unión entre la producción y el mercado. La distancia física y el tiempo separan a la actividad productiva del punto de venta: la logística se encarga de unir producción y mercado a través de sus técnicas.

En las empresas, la logística implica tareas de planificación y gestión de recursos. Su función es implementar y controlar con eficiencia los materiales y los productos, desde el punto de origen hasta el consumo, con la intención de satisfacer las necesidades del consumidor al menor coste posible.

El origen de la logística se encuentra en el ámbito militar, donde la organización tendía a atender el movimiento y el mantenimiento de las tropas en campaña. En tiempos de guerra, la eficiencia para almacenar y transportar los elementos resulta vital. De lo contrario, los soldados pueden sufrir la escasez de medios para enfrentar la dureza de los combates.

A partir de estas experiencias, la logística empresarial se encargó de estudiar cómo colocar los bienes y servicios en el lugar apropiado, en el momento preciso y bajo las condiciones adecuadas. Esto permite que las empresas cumplan con los requerimientos de sus clientes y obtengan la mayor rentabilidad posible.

Como se puede ver en la cuarta edición del libro “Logistics engineering and management” de Benjamin S. Blanchard, la logística en el contexto del ciclo de vida del sistema implica



la planificación, el análisis y el diseño, las pruebas, la producción, la distribución y el mantenimiento de un sistema (o producto) durante todo el período de uso del consumidor.

La logística incluye tanto el apoyo económico de grandes sistemas que se desarrollan para el uso del consumidor en el campo durante un período de tiempo relativamente largo, como el apoyo de varios productos desde el punto de vista del flujo de materiales y las operaciones de producción. En otras palabras, en realidad se trata de dos áreas diferentes dentro del amplio espectro de la logística: el área de actividad de logística comercial y el área de consumo sostenible, que está relacionada con la logística militar. estas áreas son una parte inherente del ciclo de vida, puesto que deben abordarse en cada fase del mismo, deben tratarse de manera integrada, y deben estar dentro de la amplia definición de logística asumida aquí. Las principales facetas de la logística en relación con las diversas fases del programa se resaltan en la Tabla 1.1.1.

Fase del programa	Principales sistemas del programa
Identificación de una necesidad	Querer o deseo de sistemas o productos debido a deficiencias o problemas evidentes por los consumidores.
Planificación anticipada o diseño conceptual	Análisis de mercado, estudios de viabilidad, análisis de requisitos de misión, requisitos operacionales, análisis preliminar de soporte logístico, concepto de mantenimiento, factores de efectividad logística cuantitativa y cualitativa, criterios de diseño, especificación del sistema y planificación logística.
Diseño preliminar del sistema	Análisis funcional y asignación de requisitos logísticos. Análisis del sistema, optimización, síntesis, compensaciones y definición. Soporte de diseño, predicciones y análisis de soporte logístico.

Detalle del diseño y desarrollo	Detalle del sistema / diseño de producto. Diseño de análisis de soporte, predicciones y revisión de diseño. Análisis de soporte logístico. Aprovisionamiento y adquisición de elementos de soporte logístico para operaciones de producción y para soporte del ciclo de vida del consumidor. Prueba y evaluación del sistema. Recolección de datos, análisis y comentarios para acciones correctivas.
Producción y / o construcción	Producción y / o construcción del sistema. Flujo de material, requisitos de adquisición e inventario, empaque, almacenamiento, distribución física, transporte y gestión del tráfico, comunicaciones, procesamiento de datos, servicio al cliente y gestión logística. Aprovisionamiento y adquisición de elementos de soporte logístico para el consumidor y para el soporte del ciclo de vida del sistema. Evaluación de la capacidad de soporte logístico. Recopilación de datos, análisis y retroalimentación para la acción correctiva.
Uso del sistema y soporte del ciclo de vida	Operación del sistema en el campo. Mantenimiento sostenido y soporte logístico: soporte de suministros, equipos de prueba y soporte, personal y capacitación, instalaciones, transporte y manejo, procesamiento de datos, servicio al cliente y administración logística. Evaluación de la capacidad de soporte logístico. Recopilación de datos, análisis y comentarios para acciones correctivas.
Retirada del sistema	Retiro del sistema, eliminación de material y reciclaje y / o eliminación, y requisitos de soporte logístico.

**TABLA 1.1 FASES DEL PROGRAMA DE LOGÍSTICA**



### 1.3- IMPORTANCIA DE LA LOGÍSTICA

Como bien afirma la página [emprendepyme.net](http://emprendepyme.net), la logística empresarial tiene como principal objetivo colocar el producto o materiales de los que se dispone en el lugar y momento adecuados, tratando de hacer el proceso de almacenamiento, la distribución de productos y su entrega lo más eficaz y rentable posible.

Además, la empresa siempre se focalizará en la satisfacción de su cliente, realizando la entrega en los tiempos acordados y sin desperfecto alguno. Igualmente, este proceso debe ser rentable, optimizando tiempos y costes, empleando los mínimos recursos posibles (ya sean materiales o humanos).

La logística en cada empresa es totalmente diferente y debe estar al 100% adaptada tanto a las necesidades y actividad de la empresa como de su cliente.

La logística como conjunto de medios necesarios, especialmente en el ámbito de la distribución de materiales, es clave para cualquier negocio. Sin embargo, los esfuerzos requeridos para desarrollar y rentabilizar este proceso son muchos, optando gran cantidad de empresas por la externalización de la logística a través de un operador logístico. Existen varios tipos de logística que se detallarán a continuación.

### 1.4- TIPOS DE LOGÍSTICA

Existen distintos tipos de logística en función de la empresa a la que nos refiramos y sus necesidades específicas en cuanto a planificación, control y distribución de su mercancía. Entre ellas, cabe destacar la logística de aprovisionamiento, la de distribución, la de producción y la inversa.

La de *aprovisionamiento* influye de manera decisiva en el funcionamiento, y por lo tanto en el éxito o fracaso de la empresa. El objetivo de la misma es el control de los suministros para así cubrir las necesidades de los procesos operativos de la empresa.

Para poder llevar a cabo una correcta logística de aprovisionamiento será necesario tener en cuenta factores como las fechas de entrega, los tipos de embalaje y la carga de los proveedores, los modelos de inventario, la previsión de la demanda de nuestros clientes y la calidad del servicio.

La logística de *distribución* debe incluir la gestión de los flujos físicos. Será la empresa la encargada de fijar un sistema de distribución acorde a sus recursos y necesidades, así como a las necesidades del cliente final.

Para realizar una buena logística de distribución será vital hacer hincapié en determinados factores como el almacenamiento, la previsión de actividad de los centros de almacenaje y logística, el traslado de mercancías dentro del almacén, el coste, la caducidad y la calidad de las propias mercancías, la preparación de los pedidos y el transporte hasta el cliente.

La logística de *producción*, de la cual se hablará a continuación, es la encargada de la gestión y el control de la logística a nivel interno, fijándose en el abastecimiento dentro de la propia empresa. Está basada en las decisiones directivas, las cuales están dirigidas a mejorar la eficacia y la eficiencia del proceso productivo, para lograr obtener los mismos resultados con un menor coste. Es también llamada logística interna.

La logística *inversa* tiene como objetivo principal asegurar la vuelta de la mercancía. Un ejemplo de esto puede ser la recogida del producto en las instalaciones del cliente, así como la reparación, reintegración en stock, destrucción, reciclaje, embalaje y almacenaje.

### 1.5- LOGÍSTICA DE PRODUCCIÓN O LOGÍSTICA INTERNA

Cuando hablamos de logística interna (en la **Figura 1.1** se ejemplifica un modelo de una correcta logística interna) nos referimos a todos aquellos procesos que se producen dentro de la empresa, desde que recibe las materias primas hasta que el producto final es elaborado, pasando por todos los procesos productivos intermedios.

La logística interna está conformada por distintas fases de las que se hablará a continuación.



FIGURA 1.1. LOGÍSTICA INTERNA (PLAZA, 2014).

## 1.6- FASES DE LA LOGÍSTICA INTERNA

La logística interna está compuesta por cuatro procesos principales, los cuales se ven resumidos en la **Figura 1.2**, que se definirán a continuación:

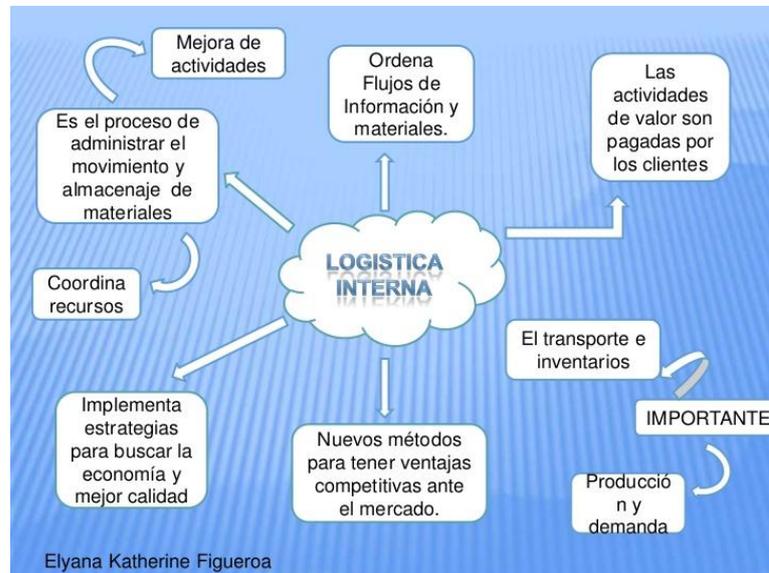


FIGURA 1.2 DESGLOSE DE LA LOGÍSTICA INTERNA (ELYANA, 2012).

La *primera fase* es la llamada recepción, según la cual la empresa se dispone a adquirir todas aquellas materias primas que sean necesarias para la confección del producto final. También pertenecerá a esta fase la inclusión de recursos tales como la maquinaria, las instalaciones y los operarios y resto de personal que será necesario.

Esta fase ha de incluir un sistema informático que registre en todo momento las entradas de todos estos recursos, para saber el momento y la forma en que se va a hacer y gestionar toda la mercancía.

La *segunda fase* será la ubicación, mediante la cual se estudiará el lugar estratégico en el que se ubicará cada uno de los recursos necesarios. De esta manera, se logrará optimizar el rutado de cada uno de ellos. Se ha de tener en cuenta que, a mayor rotación de un activo, más accesible debe ser.

La *tercera fase* consiste en aumentar el valor. En esta fase podemos encontrar todos aquellos procesos cuyo fin sea el anteriormente mencionado. Uno de los procesos más importantes de esta fase será la gestión del stock en tiempo real. También será necesaria la adquisición de equipamiento para aquellos materiales que lo requieran al ser manipulados.

La *última*, pero no menos importante de las fases, será la salida, mediante la cual se asegurará dar una correcta salida al siguiente eslabón en la cadena de suministro. Para ello, será vital incluir proveedores que puedan cumplir con las necesidades de la empresa y que, de esta forma, no se vea dañada su imagen por parte del cliente final.

Además, será importante llevar a cabo la trazabilidad de los envíos para no perder el control de los productos finales una vez producidos.

Ahora se procederá a comentar las ventajas que supone la aplicación de una buena logística interna.

## 1.7- BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN DE UNA BUENA LOGÍSTICA INTERNA

La mayor ventaja que aporta la logística interna es el control y conocimiento en todo momento de las necesidades de la empresa y de los clientes. Sin embargo, también hay una serie de desventajas que dificultan que esta se pueda llevar a cabo correctamente, pero a las que habrá que sobreponerse para lograr un correcto funcionamiento no solo de cada taller, sino de la empresa en conjunto.

Un ejemplo de las dificultades que ésta plantea es la disponibilidad de recursos. Cuanto más se quiera abarcar, mayor será la cantidad de recursos que la empresa deba destinar al aseguramiento de la correcta disposición de la logística interna y, además, cuanto mayor sea la complejidad de la misma, mayor será la formación de todos aquellos trabajadores que se dediquen a asegurar su funcionamiento.

A su vez, la empresa deberá diseñar todo el proceso productivo de acuerdo con la excelencia de la logística interna, y esto conlleva una serie de gastos que se deberán asumir. Llevar a cabo una correcta logística requiere de cierta experiencia previa ya que, cuando no la hay, es bastante probable que los procesos tiendan a complicarse, haciéndose poco eficientes y derivando en un coste para la empresa irreparable, ya que estaría perdiendo dinero.

Otro problema que las empresas se encuentran es la forma con la que lidiar con grandes volúmenes, especialmente a la hora de almacenar los picos de producción, así como posibles crecimientos o reducciones de producción, que pueden obligar a una ampliación de las instalaciones para poder absorberlo o a ajustar el incentivo en el caso de reducciones.

Hay otro factor muy importante a tener en cuenta, la economía de escala, que limita las empresas a la hora de competir costes entre ellas; sin embargo, también puede producir que se consiga un nivel de servicio elevado.

Aunque, como se ha podido observar, la logística interna tenga grandes dificultades, también tiene grandes beneficios, como favorecer la comunicación interdepartamental en busca de la excelencia de la empresa como conjunto, ya que será necesario un correcto intercambio de información y un amplio conocimiento del proceso productivo al completo por parte de los trabajadores. Además, entre las múltiples ventajas podemos encontrar el ahorro producido, la reducción de roturas de stock, la optimización y la disminución de sobrecostes. Existen una serie de herramientas o



medios que ayudan en la mejora de la logística interna, de los cuales se hablará a continuación.

## 1.8- HERRAMIENTAS O MEDIOS PARA LA MEJORA DE LA LOGÍSTICA INTERNA

Será de vital importancia buscar todos aquellos procesos productivos que no aporten valor adicional a la empresa, para aislarlos y posteriormente eliminarlos. Se debe valorar lo que se hace, el por qué y el cómo, y pensar si se debe seguir así. Para ello, será muy importante analizar las tasas de rendimiento. Estas tasas han de mostrar de forma cristalina el funcionamiento de la empresa, y deben obtenerse fácil y rápidamente. No se puede perder tiempo a la hora de obtener estos indicadores, ya que si no se iría con retraso a la hora de aplicar los cambios o mejoras en el proceso. Se debe tener en cuenta que estos indicadores deben facilitar las cosas, no complicarlas.

Es necesario también percibir cuáles son los cuellos de botella del proceso, puesto que si, por ejemplo, hay una única persona capaz de realizar una tarea o proceso y falta, el proceso en cadena se atasca. De esta forma, será necesaria una buena formación de toda la plantilla para capacitar la rotación del efectivo y evitar los posibles parones.

Llevar a cabo una buena logística interna es una tarea complicada, y si esta no se lleva a cabo, habrá grandes riesgos, tales como las roturas de stocks, la insatisfacción de los clientes o incluso su pérdida. En la **Figura 1.3** se podrá ver un ejemplo de una buena distribución en planta.



FIGURA 1.3 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA, RECUPERADA DE:

[HTTP://WWW.ALORMAYOR.WS/LOGISTICA/SERVICIOS/LOGISTICA-INTERNA.HTML](http://www.alpormayor.ws/logistica/servicios/logistica-interna.html)

Se habrá de conseguir, como fin último, que nuestra cadena de suministro sea eficaz y eficiente. Para ello, no habrá que sobreexcederse en la responsabilidad que caiga sobre un trabajador, y habrá que repartirla entre toda la plantilla de la empresa. Es de vital importancia, si se desea, saber delegar en otras empresas logísticas externas para que optimicen la logística interna de la empresa. La meta no es lograr externalizar o integrar en nuestras empresas la cadena de suministro, sino aportar valor a nuestros clientes.

Entre las herramientas principales para la mejora de la logística interna podemos encontrar la mejora continua, la filosofía Lean Manufacturing y deberemos atacar los 7 desperdicios que añaden coste a nuestro producto o servicio sin añadirle valor.

## 1.8.1- LEAN MANUFACTURING

### 1.8.1.1- INTRODUCCIÓN

Cuando hablamos de Lean Manufacturing, o fabricación esbelta o ajustada, nos referimos a un modelo de gestión de recursos dirigido hacia la creación de flujo que permita dar el máximo valor a los clientes utilizando la menor cantidad de recursos posibles, eliminando o reduciendo todas aquellas operaciones que no aportan un valor añadido al producto final.

Se basa en algunos sistemas de producción como: TPM o calidad total, JIT (*Just In Time*), Kaizen o mejora continua, TOC (Teoría de las restricciones) y la reingeniería de los procesos.

Lo más importante del Lean Manufacturing será determinar cuáles son aquellas operaciones que no aportan un valor añadido al producto, también denominados desperdicios del lean Manufacturing o desperdicios. En la **Figura 1.4** se puede observar cómo funciona el proceso cíclico basado en los principios del Lean Manufacturing.

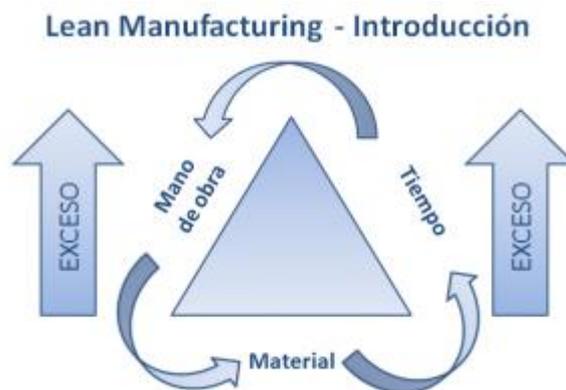


FIGURA 1.4 ESQUEMA DEL LEAN MANUFACTURING, RECUPERADA DE:  
[HTTPS://LEANMANUFACTURING10.COM/](https://leanmanufacturing10.com/)

La clave de un proceso desarrollado bajo los principios del lean Manufacturing está en que implica la colaboración e implicación entre todos los niveles de la empresa, implantando así una nueva metodología de mejora continua sobre nuestro proceso productivo y mejorando la calidad y reduciendo los tiempos y el coste.

### 1.8.1.2- PRINCIPIOS DEL LEAN MANUFACTURING

Los pilares sobre los que se sustenta el Lean Manufacturing son los siguientes:



- Cero defectos, o hacerlo de la manera correcta a la primera. Esto se puede conseguir detectando y solucionando los problemas a la hora de implantarlo.
- Como se ha comentado anteriormente, el pilar más esencial es el de eliminar todos aquellos despilfarros o actividades que no aportan un valor añadido al proceso productivo, de los cuales se hablará en el siguiente apartado.
- Implantar la mejora continua, para así poder garantizar una buena calidad del producto y disminuir los costes aumentando la productividad.
- Fabricar en función de la demanda existente en cada momento. Si podemos prever una disminución de la misma, deberemos ajustar la producción para así evitar tener grandes costes de posesión.
- Ser flexibles y tener la capacidad de producir con variedad.
- Mantener una buena relación con los proveedores, pudiendo tomar medidas tales como crear acuerdos para así compartir el riesgo o la información.
- Cambiar el enfoque de la empresa para, en vez de venderle un producto al cliente, aportarle una solución.

Podemos afirmar que el pensamiento Lean también se encuentra sometido a un proceso de mejora continua, puesto que, mediante el aprendizaje se va desarrollando una mejor implementación y adaptación de las diferentes técnicas que lo basan.

#### 1.8.1.3- BENEFICIOS DEL LEAN MANUFACTURING

Mediante la implementación de la metodología del Lean Manufacturing se debe conseguir una mayor competitividad con respecto al resto de empresas del sector, y esta se consigue en base a una serie de beneficios que el Lean nos aporta. En la Tabla 1.2 se pueden observar los diferentes beneficios que residen en la aplicación de los principios del Lean Manufacturing:

Incremento	Reducción
Productividad	Changeover
Calidad	Inventario
Ganancias	Plazos
Ventas	Costes
Valor de la empresa	

TABLA 1.2 BENEFICIOS DEL LEAN MANUFACTURING

Cuando hablamos de *changeover*, nos referimos al proceso de convertir una línea o máquina para que pueda trabajar con otros productos.

Será también de vital importancia que haya un liderazgo bien definido en la empresa, para así poder ayudar a todos los trabajadores a identificar los problemas y sus causas con el fin de paliarlos.

#### 1.8.1.4- MENTALIDAD CONTRARIA AL LEAN MANUFACTURING

Hay algunos elementos que hacen dudar de la metodología del Lean, los cuales son el escepticismo sobre su validez, la idea de que simplemente es una iniciativa como las demás y que no hay tiempo para ejecutarlo.

Es muy difícil tener éxito a la hora de implantarlo si los objetivos no están alineados o no hay fluidez de comunicación entre los distintos niveles de la empresa, así como si los empleados no están dispuestos a colaborar y cambiar su forma de trabajar.

Las empresas no poseen una cantidad de recursos infinita; por lo tanto, su labor consiste en trabajar para poder gestionarlos de la mejor forma posible, optimizando sus procesos internos para aumentar la calidad y reducir plazos y costes.

También se debe evitar, en la medida de lo posible, que un aumento de producción afecte a la calidad del producto, y se debe gestionar la innovación hasta la demanda del consumidor final.

#### 1.8.1.5- CONCLUSIONES DEL LEAN MANUFACTURING

El Lean Manufacturing persigue que se produzca un flujo de trabajo continuo con la mínima acumulación de inventario intermedio. La producción se debe realizar en pequeños lotes. Los niveles productivos deben estar ajustados a la demanda, no a la eficiencia de cada proceso por separado. Los operarios deben estar bien formados y han de ser multifuncionales. Se debe ser capaz de prever los defectos para así poder evitarlos.

De esta manera, se conseguirá el objetivo principal del Lean y se maximizará el beneficio, que trata de cumplir con los requisitos del cliente en cuanto a calidad, costes y plazos. Esta cultura garantiza los beneficios y resultados con una mejor gestión de los recursos internos, logrando cumplir los elementos críticos de calidad demandados por el cliente.

#### 1.8.2- LOS SIETE+UNO DESPILFARROS

Será de gran importancia que las organizaciones se focalicen en reducir costes, eliminando todos aquellos despilfarros evitables por las empresas. Los despilfarros serán todos aquellos elementos que no aporten un valor añadido y sin embargo encarecen el producto o servicio. El objetivo de la organización será por lo tanto eliminarlos o reducirlos lo máximo posible. Para ello será necesario llevar a cabo su identificación.

##### *Sobreproducción*

Se hacen cosas que no han sido encargadas, se hace más de lo pedido o se hace algo antes de la fecha en la que resulta necesario.



#### *Inventario*

Tenemos materiales almacenados sin ser necesarios para la realización del proceso.

#### *Sobreproceso*

Realizamos procesos no necesarios para la satisfacción de las necesidades de nuestros clientes.

#### *Retrabajo*

Se produce cuando tenemos que rectificar un elemento que no ha salido bien a la primera.

#### *Transporte*

Se realizan movimientos de materiales de un proceso a otro o movimientos hacia los almacenes.

#### *Movimiento*

El personal se mueve por su área de trabajo sin realizar ninguna actividad productiva o se desplaza para coger elementos que le son necesarios.

#### *Esperas*

El personal de un área determinado no está trabajando porque está esperando a que le llegue algún elemento o algo termine de suceder.

#### *Desaprovechar las capacidades de las personas*

Tenemos personal cualificado y muy apto que no es partícipe de la resolución de los problemas ni la aportación de soluciones.

### 1.8.3- MEJORA CONTINUA

Como bien se expresa en <http://www.guiadelacalidad.com/modelo-efqm/mejora-continua>, la mejora continua de la capacidad y los resultados es el objetivo permanente de cualquier organización. Para ello se utiliza el ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act), el cual se basa en el principio de mejora continua de la gestión de la calidad.

Se deberá basar en la autoevaluación, detectando puntos fuertes y áreas de mejora sobre las que se habrá de actuar. A continuación, se explicará el funcionamiento del ciclo PDCA.

Plan, o planificar, se basa en la organización lógica del trabajo, Do, o hacer, se basa en la correcta realización de las tareas planificadas, Check, o comprobar, se basa en la comprobación de los logros obtenidos y Act, o actuar, se refiere a la posibilidad de aprovechar y extender aprendizajes y experiencias adquiridas en otros casos. Cada una de las fases tiene sus puntos clave, los cuales se detallarán en la Tabla 1.3.

P		D	
Identificación del problema y planificación		Preparación exhaustiva y sistemática de lo previsto	
Observaciones y análisis		Aplicación controlada del plan	
Establecimiento de objetivos a alcanzar		Verificación de la aplicación	
Establecimiento de indicadores de control			
C		A	
Verificación de los resultados de las acciones realizadas		Analizar los datos obtenidos	
Comparación de los objetivos		Proponer alternativa de mejora	
		Estandarización y consolidación	
		Preparación de la siguiente etapa del plan	

**TABLA 1.3** CICLO PDCA

### 1.9- CAPACIDAD DEL PROCESO

Como se ha afirmado anteriormente, el exceso de capacidad es uno de los siete despilfarros sobre los que es necesario actuar para reducir los costes. El estudio de la capacidad productiva es imprescindible para la gestión de una organización, ya que evalúa el grado de utilización de los recursos de la empresa y, por tanto, permite poder llegar a optimizarlos.

Cuando hablamos de capacidad productiva nos referimos a la cantidad de producto que se puede obtener en una determinada unidad productiva durante un período de tiempo. Podemos distinguir dos tipos, la capacidad diseñada o máxima producción teórica, la cual se refiere a la producción ideal para la que se diseñó el sistema, y la capacidad efectiva, que es aquella que una empresa espera alcanzar contando con sus limitaciones operativas. Esta última siempre será menor que la diseñada.

Existen a su vez distintas estrategias que se pueden llevar a cabo con respecto a la capacidad, entre las cuales destacan la expansionista o proactiva, la intermedia o neutral y la conservadora o reactiva. Se explicarán todas ellas en la Tabla 1.4.

Estrategia	Definición	Acciones
Expansionista	La capacidad instalada va por encima de la demanda	Anticipar el crecimiento futuro y diseñar la instalación para que esté lista cuando la demanda aparezca
Intermedia	La capacidad instalada va ajustándose a la demanda	Intentar tener una capacidad promedio, que a veces vaya por delante de la demanda y otras por detrás
Conservadora	La capacidad instalada va por debajo de la demanda	Esperar y ver, para actuar en función de los resultados

**TABLA 1.4** ESTRATEGIAS CON RESPECTO A LA CAPACIDAD PRODUCTIVA



Asimismo, se habrá de tener en cuenta que existen distintos factores a la hora de decidir la capacidad productiva. El *óptimo de explotación*, el cuál relaciona los costes unitarios con el volumen de producción. Las *economías de escala*, que servirán para comprobar que el coste medio disminuye al aumentar el volumen de producción. La *pérdida de enfoque*, que se refiere al sentimiento de las cúpulas directivas al aumentar la dimensión. Las *economías de alcance*, que pueden permitir percatarse de que es posible ofrecer una mayor variedad de productos en una planta flexible a menor coste que en el caso de hacerlo en varias plantas separadas. El *análisis de la competencia*, puesto que un aumento en la capacidad productiva podrá provocar que la competencia pierda el interés en realizar una posible expansión.

A la adecuación entre la capacidad disponible y la necesaria se le denomina planificación y control de la capacidad productiva, y está compuesto por una serie de fases que se detallarán en la Tabla 1.5.

Fases	Acciones	Indicaciones
Estimación de la capacidad actual	Determinar la capacidad disponible y establecer la actual	Varía en función del envejecimiento
Estimación de las necesidades en el horizonte temporal	Calcular la capacidad necesaria a largo plazo	La reserva es la capacidad para afrontar aumentos en la demanda, y es el 100% - % de utilización
Análisis de la divergencia y posibles soluciones	Adecuar las capacidades disponible y necesaria	La flexibilización no siempre es viable, y se deberá realizar una expansión o una contracción para solucionarlo

TABLA 1.5 FASES EN LA PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA CAPACIDAD PRODUCTIVA

### 1.10- SIMULACIÓN COMO MÉTODO PARA LA TOMA DE DECISIONES

Como indica Manuel Ayala en su presentación de “Simulador para la toma de decisiones”, estas simulaciones sirven para crear escenarios prediseñados en los que se desarrollan habilidades para la toma de decisiones mediante la observación de los resultados de sus decisiones.

Son capaces de analizar una situación y de responder a ella con decisiones que luego se alimentan a un ordenador. Así, logran calcular lo que hubiera sucedido en la realidad de haber tomado las decisiones programadas, y genera una matriz de resultados para un

determinado período de tiempo en pocos segundos, permitiendo tomar decisiones basándose en ellos.

Estas simulaciones es recomendable llevarlas a cabo cuando el modelo a crear representa un sistema muy complejo con una gran cantidad de variables y componentes que interactúan entre sí, cuando las relaciones entre las variables no son lineales, cuando el modelo contiene variables aleatorias o cuando se requiere una visión animada de los resultados que nos proporciona el modelo. En la **Figura 1.5** se puede observar cuál es el proceso necesario a llevar a cabo cuando se quiere realizar una simulación:

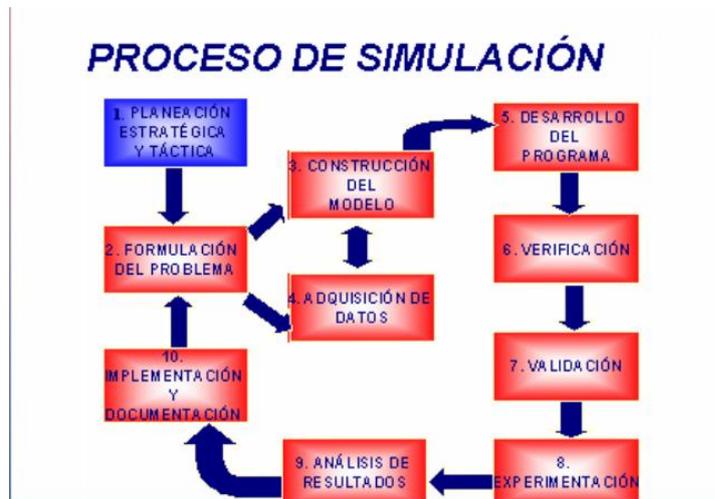


FIGURA 1.5 PROCESO DE SIMULACIÓN (AYALA, 2014)



## 2. LA SIMULACIÓN

### 2.1- ¿QUÉ ES?

La simulación surgió en 1777 cuando surgió la necesidad de calcular el valor del número  $\pi$  mediante “La aguja de Buffon”. Se trataba de un método matemático intuitivo que consistía en ir cercando el valor de dicho número a través de una serie de intentos sucesivos, a través de los cuales se iba aproximando cada vez más al valor real del mismo.

Una simulación consiste en imitar que se está llevando a cabo una acción cuando en realidad no es así. Se utiliza para cumplir con un objetivo. Si buscamos en su origen etimológico podremos averiguar que simulación viene del latín “Similis”, que significa “Parecido”. Se utiliza en los campos de investigación, para así realizar estudios comparativos de elementos naturales que requieren de experimentos para poder evaluar su comportamiento.

Una simulación se basa principalmente en la verificación de una serie de hipótesis mediante la creación de unos modelos que ayuden en su consecución. Más enfocado a nuestro estudio, otra definición más cercana podría ser esta: una simulación es la representación de cualquier elemento o realidad en un ordenador para poder prever cuál será su comportamiento en el tiempo sin tener que experimentarlo en la realidad, pudiendo así comprobar, por ejemplo, introduciendo variaciones, con cuál de ellas el objeto de estudio ofertará un mejor comportamiento generalizado sin tener que realizar la inversión de realizarlas para comprobar que son mejores que las actuales.

Para poder realizar una simulación, se deberán llevar a cabo una serie de procedimientos e indicaciones. En primer lugar, se deberá definir el sistema de la forma más detallada posible, y se deberán incluir todos aquellos elementos que lo componen. A continuación, se deberá formular el modelo, mediante el cual imitaremos el lugar en el que se produce el evento. Después se deberán recolectar todos aquellos datos que sean relevantes para llevar a cabo la simulación. Una vez realizado todo esto, será la hora de verificar, comparar y comprobar el modelo, contrastando todos los datos obtenidos para verificar que no nos hemos desviado de la realidad. Por último, se deberá llevar a cabo una documentación en la que se incluirá toda la información obtenida, sirviendo así de ayuda o apoyo para nuevos experimentos que tengan como fin continuar la labor.

Los programas de simulación son una herramienta muy potente, ya que son capaces de llevar a cabo la simulación de una gran cantidad de tiempo en apenas un instante. De esta manera se ahorra muchísimo tiempo y las posibles inversiones que en un principio no garantizan ninguna mejora lo suficientemente sustancial pueden resultar muy fructíferas.

Mediante los programas de simulación más modernos, como es el caso de Witness, podemos llegar a estimar el coste de cada una de las disposiciones o variaciones

planteadas, y se puede llevar a cabo un seguimiento detallado de todos los elementos que componen el sistema. Esto será muy útil para aquellos modelos que busquen optimizar una parte concreta de un conjunto o ente, ya que se llevará a cabo la simulación de todo el conjunto para después hacer hincapié en la parte o partes que nos conciernen o preocupan.

## 2.2- VENTAJAS Y DESVENTAJAS

La principal ventaja de realizar una simulación es poder prever cómo se comportará un elemento o conjunto de elementos sin tener la necesidad de realizar la inversión para llevarlo a cabo, simplemente mediante la utilización de un ordenador y el programa adecuado. Simulando acabaremos ahorrando.

También será una ventaja significativa el poder dilucidar cuál será el comportamiento del sistema sin necesidad de interrumpir las operaciones de la compañía. Llevar a cabo una simulación nos permitirá experimentar en condiciones que podrían ser peligrosas o de elevado coste para la empresa. De esta forma, reduce el riesgo inherente a la toma de decisiones. Además, la simulación es capaz de proporcionar una solución factible cuando los procedimientos matemáticos son complejos.

Una buena simulación nos proporcionará un control total sobre el tiempo, puesto que podremos acelerarlo y decelerarlo como nos venga en gana. Hay algunos casos en los que la simulación es el único medio disponible para alcanzar una solución. También será de gran ayuda para el proceso de innovación, puesto que permitirá jugar con el sistema.

A su vez, también analizando el modelo, se puede llegar a la sugerencia de posibles mejoras del sistema real y permite identificar las variables más influyentes y las áreas que más problemas tienen de un conjunto más complejo, para así llevar a cabo un estudio sistemático de diferentes acciones que se pueden ejecutar. No importa la dificultad de un sistema, ya que todo puede ser modelado para así atacar el problema principal.

Otra gran ventaja es que el modelado puede ser aplicado durante cualquier momento de la vida útil del elemento simulado, ya sea durante la fase de diseño o una vez ya está construido éste para plantear posibles mejoras. No podemos olvidar la ventaja de que, al llevar a cabo una simulación, se adquirirá un entendimiento profundo del sistema.

Se podrá analizar el efecto de pequeños cambios realizados en uno o varios de sus componentes sobre el comportamiento del sistema. Mediante la experimentación con el modelo se será capaz de analizar sobre el sistema real los cambios organizativos o de gestión de la información.

Cuando se desarrollan métodos analíticos, se suele realizar una gran cantidad de suposiciones o simplificaciones, mientras que a la hora de modelizar un sistema mediante la simulación se pueden hacer sistemas de mayor complejidad con menor



detalle. Una vez el modelo se haya construido, podrá modificarse rápidamente para analizar el comportamiento frente a diferentes políticas o escenarios.

Entre las principales desventajas está que no es aplicable cuando hay técnicas analíticas que permitan corregirlo u optimizarlo, y que hay veces en las que no es posible asegurar que un modelo es válido, puesto que son imprecisas, y no es posible medir el grado de imprecisión. También es posible que se quiera utilizar un modelo más allá del ámbito para el que ha sido construido, provocando una falsa apreciación.

Los resultados obtenidos de una simulación son numéricos, y surge una problemática a la hora de otorgar a estos un mayor grado de validez del que tienen. Llevar a cabo una simulación en un ordenador es un proceso muy costoso y su desarrollo y validación requiere una gran cantidad de tiempo. No hay criterios científicos sobre las distintas opciones a simular y lo normal es que no proporcionen la solución óptima. Las simulaciones tienen multitud de aplicaciones de las cuales se hablará seguidamente.

### 2.3- APLICACIONES

Tradicionalmente, las simulaciones se han utilizado para realizar experimentos en multitud de campos, entre los que distinguimos el entrenamiento o la educación, la comunicación y las ventas, el diseño o mejora de sistemas o procesos productivos y la gestión de sistemas. Esto ha resultado muy útil en campos como la ingeniería, la medicina y sus subcampos, y las ciencias sociales y la economía.

La simulación ha servido para abarcar problemas de materias básicas como física, química o matemáticas. Entre estos problemas podemos destacar alguno como la estimación del área encerrada por una curva, mediante la utilización de distintas integrales múltiples, la solución de ecuaciones diferenciales, el estudio del movimiento de partículas...

Pero también ha servido para solucionar problemas prácticos del mundo real, tales como la solución de procesos empresariales, de problemas económicos, de problemas conceptuales y sociales, la simulación de procesos biomédicos y la simulación de estrategias de guerra.

Como se puede observar, hay multitud de campos en los que la simulación es de gran utilidad. Entre las múltiples aplicaciones de las simulaciones, podemos destacar las siguientes, mostradas en la Tabla 2.1.

Aplicaciones
Análisis y diseño de sistemas de manufactura
Análisis y diseño de sistemas de comunicaciones
Análisis y diseño de sistemas de transporte terrestre, marítimo o por aire
Sistema de inventarios
Sistemas económicos
Problemas industriales
Problemas económicos
Problemas conductuales y sociales
Sistemas JIT(Just In Time)

TABLA 2.1 APLICACIONES DE LA SIMULACIÓN

En nuestro caso, nos centraremos en llevar a cabo una serie de simulaciones para intentar conseguir la mejora de un proceso productivo y así lograr la optimización del funcionamiento de un taller.

Para poder realizar una simulación, será necesario seguir una serie de pasos, los cuales componen el proceso de simulación y se detallarán a continuación.

#### 2.4- PROCESO DE SIMULACIÓN

Como se puede ver en la segunda edición del libro “Simulation, modeling & analysis” de Averill M. Law, una de las personas más representativas en la materia, una simulación es un proceso bastante complejo, y para su correcta realización será necesario dividirlo en varias etapas, representadas en la Figura 2.1:

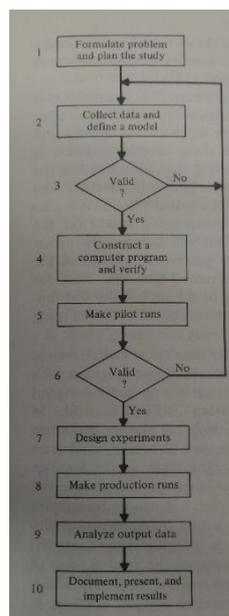


FIGURA 2.1 PROCESO DE SIMULACIÓN (AVERILL M. LAW, 1991)



### *Formular un problema y planificar el estudio*

Cada estudio debe comenzar con una declaración clara de los objetivos generales del estudio y los problemas específicos que se abordarán; sin tal declaración, hay muy poca esperanza de éxito. Se deben delimitar los diseños de sistemas alternativos a estudiar y dar los criterios para evaluar la eficacia de cada alternativa. El estudio general debe planificarse en términos del número de personas, el coste y el tiempo requerido para cada aspecto del estudio.

### *Recopilar datos y definir el modelo*

La información y los datos se deben recopilar en el sistema de interés y se utilizarán para especificar los procedimientos operativos y las distribuciones de probabilidad para las variables aleatorias utilizadas en el modelo. Por ejemplo, al modelar un banco, uno podría recopilar los tiempos entre reuniones y los tiempos de servicio y usar estos datos para especificar las distribuciones de tiempo de servicio y de tiempo entre sesiones para usar en el modelo. Si es posible, los datos sobre el rendimiento del sistema, por ejemplo, Retrasos en la cola de clientes en un banco, deben recopilarse con fines de validación en el paso 6. La construcción de un modelo matemático y lógico de un sistema real para un objetivo determinado sigue siendo tanto un arte como una ciencia.

Aunque hay pocas reglas firmes sobre cómo se debe avanzar en el proceso de modelado, un punto en el que la mayoría de los autores está de acuerdo es que siempre es una buena idea comenzar con un modelo moderadamente detallado, que luego puede hacerse más sofisticado si es necesario. Un modelo debe contener solo los detalles suficientes para capturar la esencia del sistema para los fines para los que está diseñado el modelo; no es necesario tener una correspondencia uno a uno entre los elementos del modelo y los elementos del sistema. Un modelo con detalles excesivos puede ser demasiado caro para programarlo y ejecutarlo.

### *¿Válido?*

Aunque creemos que la validación es algo que debería hacerse a lo largo de todo el estudio de simulación (más bien después de que se haya construido el modelo y solo si aún queda tiempo y dinero), hay varios puntos en el estudio donde la validación es particularmente adecuada. Uno de estos puntos es durante el paso 3. Al construir el modelo, es imperativo que los modeladores involucren a personas en el estudio que estén íntimamente familiarizadas con las operaciones del sistema actual.

También es aconsejable que los modeladores interactúen regularmente con el responsable de la toma de decisiones (o el usuario previsto del modelo). Esto aumentará la validez real del modelo y también aumentará la credibilidad (o la validez percibida) del modelo para el que toma las decisiones. Además, la idoneidad de las distribuciones de probabilidad especificadas para generar variables aleatorias de entrada debe probarse utilizando pruebas de aptitud de ajuste.

### *Construir un programa de computadora y verificar*

El modelador de simulación debe decidir si programa el modelo en un lenguaje de propósito general como FORTRAN, Pascal o C o en un lenguaje de simulación especialmente diseñado. Probablemente ya conozca un lenguaje de propósito general disponible en la computadora del modelador. También puede conducir a tiempos de ejecución más cortos. Por otro lado, al proporcionar muchas de las funciones necesarias para programar un modelo, un lenguaje de simulación puede reducir significativamente el tiempo de programación requerido. Esta capacidad puede ser necesaria para programar un modelo, según el idioma utilizado.

### *Hacer pruebas piloto*

Las pruebas piloto del modelo verificado se realizan con fines de validación en el paso 6.

#### *¿Válido?*

Las pruebas piloto se pueden usar para probar la sensibilidad de la salida del modelo a pequeños cambios en un parámetro de entrada. Si la salida cambia mucho, se debe obtener una mejor estimación del parámetro de entrada. Si actualmente existe un sistema difuso al de interés, los datos de salida de las ejecuciones piloto para un modelo del sistema existente se pueden comparar con los del sistema existente (recopilados en el paso 2). Si el acuerdo es "bueno", el modelo "validado" se modifica para que represente el sistema de interés; esperamos que esta modificación no sea demasiado costosa.

### *Experimentos de diseño*

Se debe decidir qué diseños del sistema simular si, como a veces es el caso en la práctica, hay más alternativas de las que uno puede simular razonablemente. A menudo, la decisión completa no puede tomarse en este momento. En cambio, al usar datos de salida de las ejecuciones de producción (del paso 8) de ciertos diseños de sistemas seleccionados y también técnicas, el analista puede decidir qué sistemas adicionales simular.

Para cada diseño de sistema que se debe simular, se deben tomar decisiones sobre cuestiones tales como las condiciones iniciales para las ejecuciones de simulación, la duración del período de calentamiento (si corresponde), la duración de la simulación y el número de ejecuciones de simulación independientes (réplicas) para cada alternativa. Cuando se diseña una producción que hace funcionar la producción, a veces es posible utilizar ciertas técnicas de reducción de varianza para obtener resultados con una mayor precisión estática (las varianzas de los estimadores se reducen) a un costo adicional pequeño o nulo.

### *Hacer pruebas de producción*

Las pruebas de producción se realizan para proporcionar datos de rendimiento en los diseños del sistema de interés.



### Analizar los datos de salida

Las técnicas estadísticas se utilizan para analizar los datos de salida de las pruebas de producción. Los objetivos típicos son construir un intervalo de confianza para una medida del rendimiento para un diseño de sistema particular o para decidir qué sistema simulado es el mejor en relación con alguna medida de rendimiento especificada.

### Documentar, presentar e implementar resultados

Debido a que los modelos de simulación a menudo se usan para más de una aplicación, es importante documentar las suposiciones que se incluyeron en el modelo y el programa de ordenador mismo. Finalmente, un estudio de simulación cuyos resultados nunca se implementan es más probable que sea un fracaso. Además, es más probable que se usen los resultados de modelos altamente creíbles.

## 2.5- PRINCIPALES SOFTWARES

Hay una gran cantidad de softwares destinados a la modelización y simulación. A continuación, se hablará de alguno de los más usados.

### Hysys

Este programa se encuentra ilustrado en la Figura 2.2 Hysys (Ramírez, 2014). Se trata de un programa interactivo utilizado para la simulación de la ingeniería de procesos. Es principalmente utilizado para llevar a cabo la simulación de procesos químicos. Permite el empleo de operadores lógicos y herramientas que facilitan la simulación de muy variados procesos. Se trata de un simulador bidireccional, lo cual es muy útil, puesto que se pueden calcular las condiciones de entrada de una corriente a partir de las de salida sin la necesidad de utilizar cálculos iterativos. Es posible utilizarlo tanto para un régimen estacionario como para uno dinámico. Se suele emplear para simular plantas petroquímicas y similares.

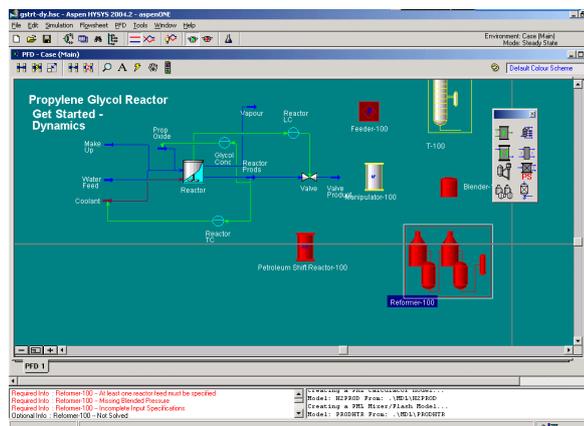


FIGURA 2.2 HYSYS (RAMÍREZ, 2014)

## AspenPlus

Se trata de un mercado líder en herramientas de modelado de proceso, destinado a la optimización y al monitoreo de la industria química. Estamos probablemente ante uno de los programas de simulación más amplios existentes. Es capaz de simular cualquier tipo de proceso en el que exista un flujo continuo de materiales y energía. Además, cuenta con herramientas de cálculo de costes y optimización y genera los resultados de forma rápida en tablas o gráficamente. Podemos ver un ejemplo de utilización en la Figura 2.3 **AspenPlus (Ramírez, 2014)**.

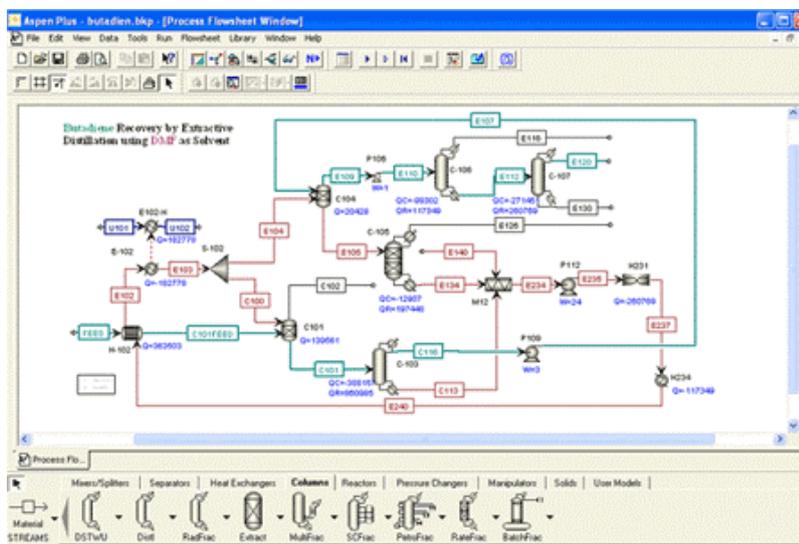


FIGURA 2.3 ASPENPLUS (RAMÍREZ, 2014)

## CHEMCAD

Este programa está principalmente destinado al modelado y simulación de intercambiadores de calor, destilaciones químicas, reactores y redes de tuberías. Se trata de uno de los programas más utilizados para el modelado de sistemas químicos. Su empleo tiene muchas ventajas, entre las que destacan el incremento de la productividad por la utilización de la información empleada a partir de la simulación para la optimización de los cálculos de las condiciones de operación, la maximización de la rentabilidad de las operaciones mediante un diseño más eficiente y la reducción de costes e inversiones de capital mediante la solución de los cuellos de botella. Se puede observar un esquema del funcionamiento de dicho programa en la Figura 2.4.

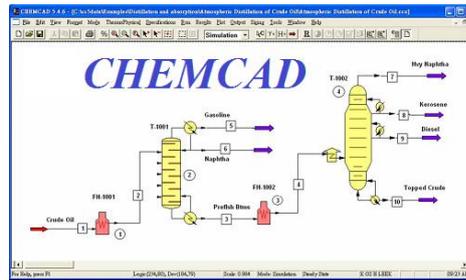


FIGURA 2.4. CHEMCAD (RAMÍREZ, 2014)

### ProModel

Este programa nos da la opción de simular cualquier proceso de manufactura o logístico, y tiene simulaciones muy detalladas de talleres, grúas viajeras, cintas transportadoras y demás elementos. A su vez, permite simular con gran nivel de detalle sistemas de JIT (Just In Time), de la teoría de restricciones, de sistemas de push & pull, de logística y muchos más.

### Arena

Se trata de un software de simulación capaz de ofertar un mejor entendimiento de las cualidades del sistema, puesto que realiza distintos análisis de comportamiento. La mejor característica de este programa es su flexibilidad, la cual nos permite analizar todo. Este programa está ejemplificado en la Figura 2.5.

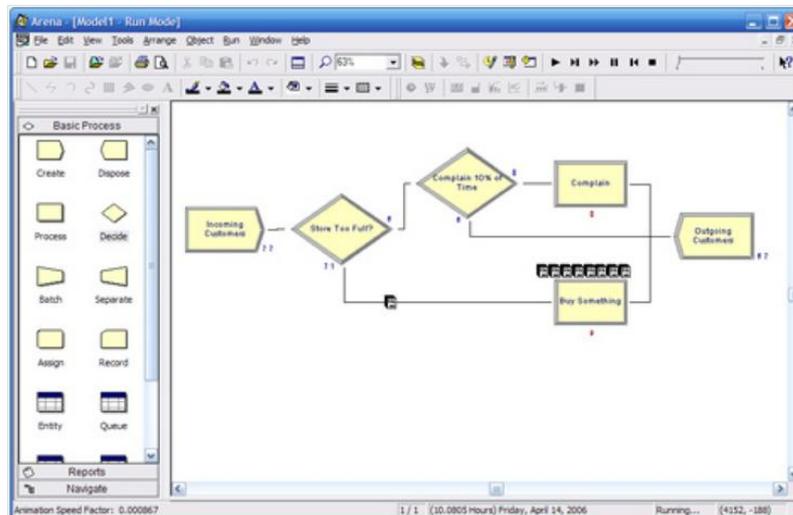


FIGURA 2.5 ARENA (RAMÍREZ, 2014)

### Dynamo

Se trata de uno de los programas de simulación más clásicos a la hora de realizar simulaciones dinámicas de sistemas. Sin embargo, al no funcionar con un entorno gráfico Windows, ha ido decayendo con el paso del tiempo.

### *Powersim*

El principal objetivo de este programa es la simulación de cuadros de mando para ayudar en la gestión de las empresas. Se suele utilizar principalmente para la planificación estratégica, la gestión de recursos y la reingeniería de los procesos. Se puede ver este programa en la Figura 2.6.

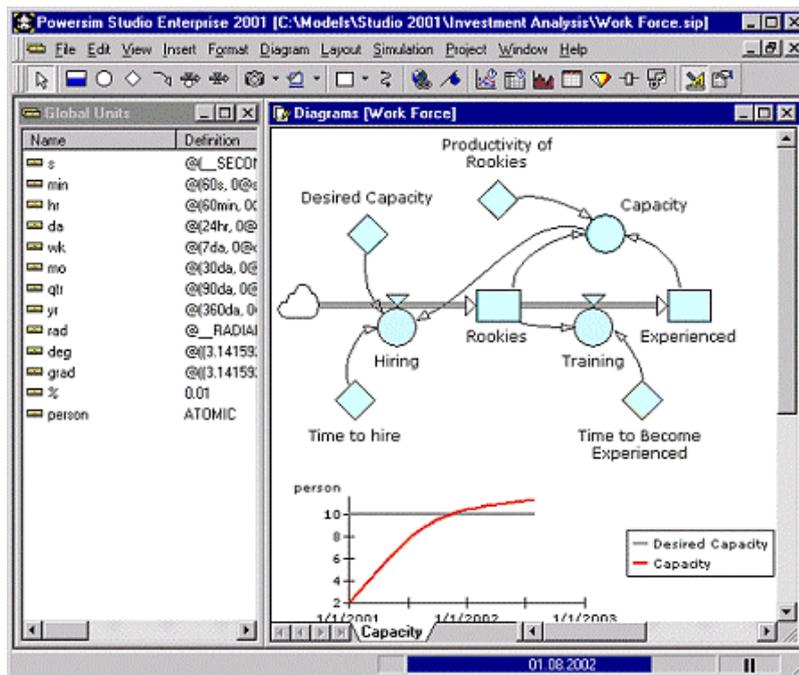


FIGURA 2.6 POWERSIM (RAMÍREZ, 2014)

### *Flexsim*

Se trata de un software de simulación de eventos discretos, utilizado para modelizar y simular hasta su optimización cualquier proceso industrial. Este programa cuenta con un módulo que permite llevar a cabo la simulación en un entorno 3D, como se puede comprobar en la Figura 2.7.

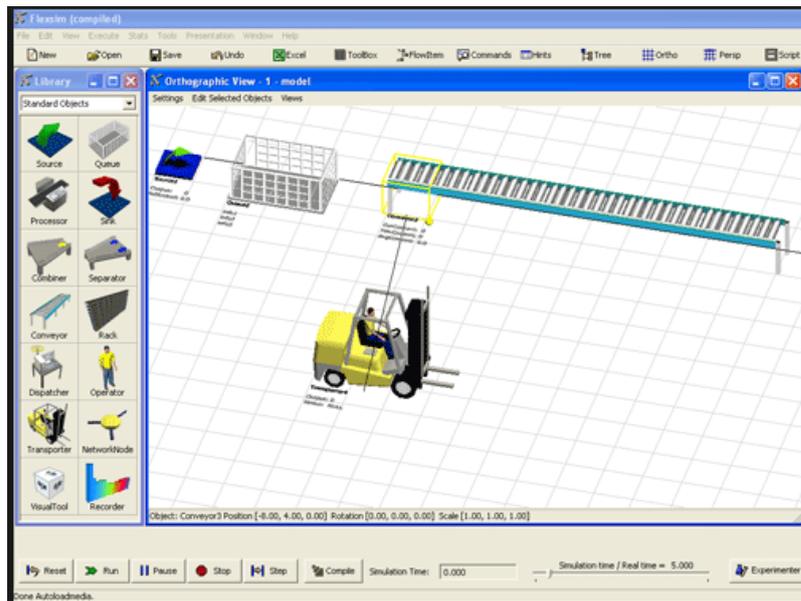


FIGURA 2.7 FLEXSIM (RAMÍREZ, 2014)

### *Plant simulation*

Plant simulation es un software desarrollado por Siemens utilizado para modelar y simular cualquier sistema productivo o de procesos, así como el flujo de materiales y la utilización de los recursos y su logística a cualquier nivel de planeación. Mediante él se pueden comparar alternativas de producción muy complejas y su intención es planear la estrategia del layout.

### *STELLA Y I'THINK*

Se trata de dos paquetes de simulación capaces de complementarse entre sí, de forma que STELLA está diseñado para las aplicaciones científicas y las ciencias sociales mientras que, a su vez, I'THINK, lo está para servir de soporte a aplicaciones del ámbito de la empresa.

### *WITNESS*

Se trata de un programa cuyo fin es la simulación dinámica de procesos industriales de producción, el cual dispone de una gran cantidad de herramientas para simular todo tipo de actividades que incluyan hasta fluidos. Además, dispone de una visualización gráfica de los modelos con animación integrada que hace capaces a los que lo emplean de entender de una forma mucho más intuitiva el funcionamiento del sistema simulado. Es muy útil para representar tanto el layout o disposición de una planta como los movimientos del personal y las mercancías. En la Figura 2.8 podemos ver un ejemplo de utilización del mismo.

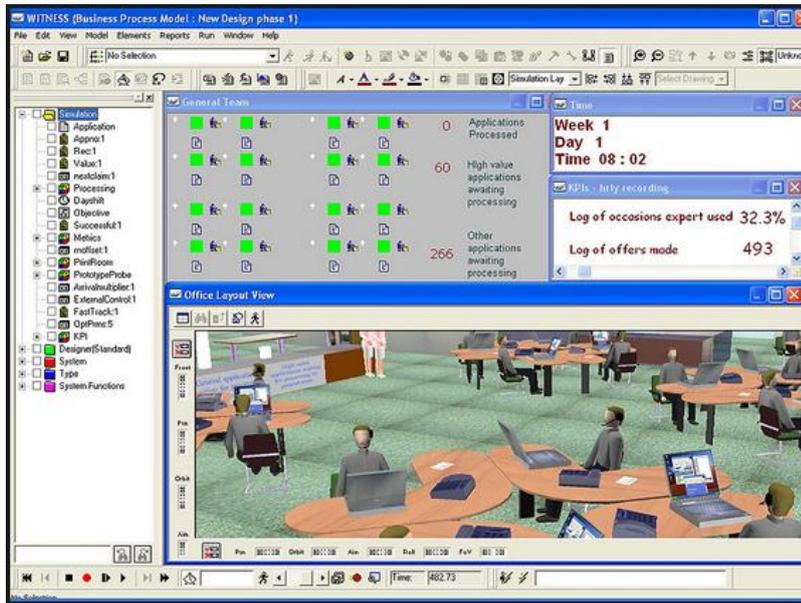


FIGURA 2.8 WITNESS (RAMÍREZ, 2014)



### 3. WITNESS

#### 3.1- DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA



FIGURA 3.1 LOGO DE WITNESS

Como se ha comentado anteriormente, Witness es una herramienta muy potente de modelado y simulación, gráfica e intuitiva, que permite llevar a cabo las simulaciones mientras se observa el comportamiento de cada elemento del modelo. En la **Figura 3.2** se podrá apreciar la estructura que tiene el programa y los distintos comandos posibles:

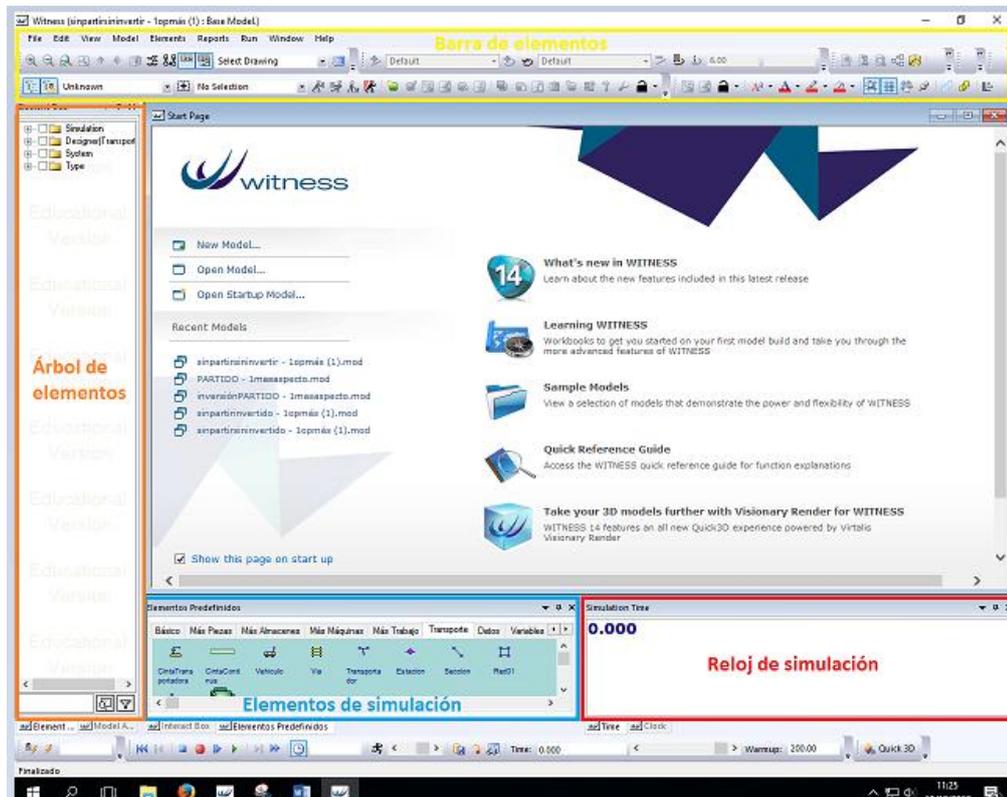


FIGURA 3.2 ELEMENTOS DE WITNESS

La barra de elementos, remarcada en amarillo, servirá para definir, configurar y representar todos los elementos de nuestro modelo. También se pueden representar de una forma más rápida simplemente haciendo clic en alguno de los elementos de simulación remarcados en azul y arrastrando hasta el lugar de la pantalla donde queremos establecerlo.

En el árbol de elementos podremos ver en cualquier momento todos los elementos que estamos modelando, así como las distintas distribuciones y funciones en las que podemos apoyarnos para representar tiempos de ciclo o averías.

El reloj de simulación representará en todo momento el instante temporal de la simulación en el que nos encontremos.

Los comandos utilizados de la barra de simulación, situada debajo de los elementos y el reloj de simulación, serán los descritos en la **Figura 3.3**:



FIGURA 3.3 BARRA DE SIMULACIÓN

El comando situado más a la izquierda en el que se puede leer resetear el sistema servirá para poner todas las estadísticas a 0 y así llevar a cabo una nueva simulación. El comando play pone en marcha la simulación y el comando stop lo para.

El comando Simulación rápida sin representación será muy útil en nuestro caso, ya que nuestros modelos poseen una gran cantidad de datos y se tarda una gran cantidad de tiempo en llevar a cabo una de ellas. Con este comando se conseguirá reducir el tiempo de simulación considerablemente, llegando a poder simular dos días en aproximadamente una hora y tres cuartos.

El comando Simular hasta servirá para que el programa se pare cuando llegue al tiempo de simulación establecido, útil asimismo para dejar la simulación corriendo sin representación y pare a los dos días de tiempo simulado. Mediante la velocidad de simulación se puede regular ésta cuando la simulación se está produciendo con representación gráfica.

El comando tiempo de calentamiento o Warmup nos será muy útil, puesto que al iniciar el programa se va sucediendo la creación de ganchos, y no se crearán todos hasta que cada uno de los convoys consiga dar una vuelta entera. A su vez, en un primer momento a las máquinas del puesto de control 2 solamente llegarán cubiertas de tipo 2 y las máquinas del puesto de control 1 estarán un tiempo sin funcionar ya que todas las cubiertas que pasen por ellas deberán hacerlo antes por los almacenes, donde tienen un tiempo de espera. De esta forma se puede prefijar un período de tiempo significativo

que pueda abarcar el tiempo en el que se estabiliza el sistema para, una vez llegado aquí, todas las estadísticas se reseteen y restablezcan a 0 para conseguir así que estos primeros momentos no afecten a los resultados de la simulación, tales como la ocupación promedio de los ganchos.

Para la toma de datos, simplemente será necesario seleccionar todos los elementos de simulación una vez se haya ejecutado el tiempo necesario, el cual ha de ser lo suficientemente significativo como para que se haya podido producir todo tipo de averías. Una vez seleccionados, sólo hará falta hacer clic con el botón derecho en cualquiera de ellos y escoger las estadísticas, como se puede comprobar en la **Figura 3.4**, con lo que se obtendrá el seguimiento continuado de todos los elementos del modelo, para así después poder centrarnos en aquéllos que más nos interesen.

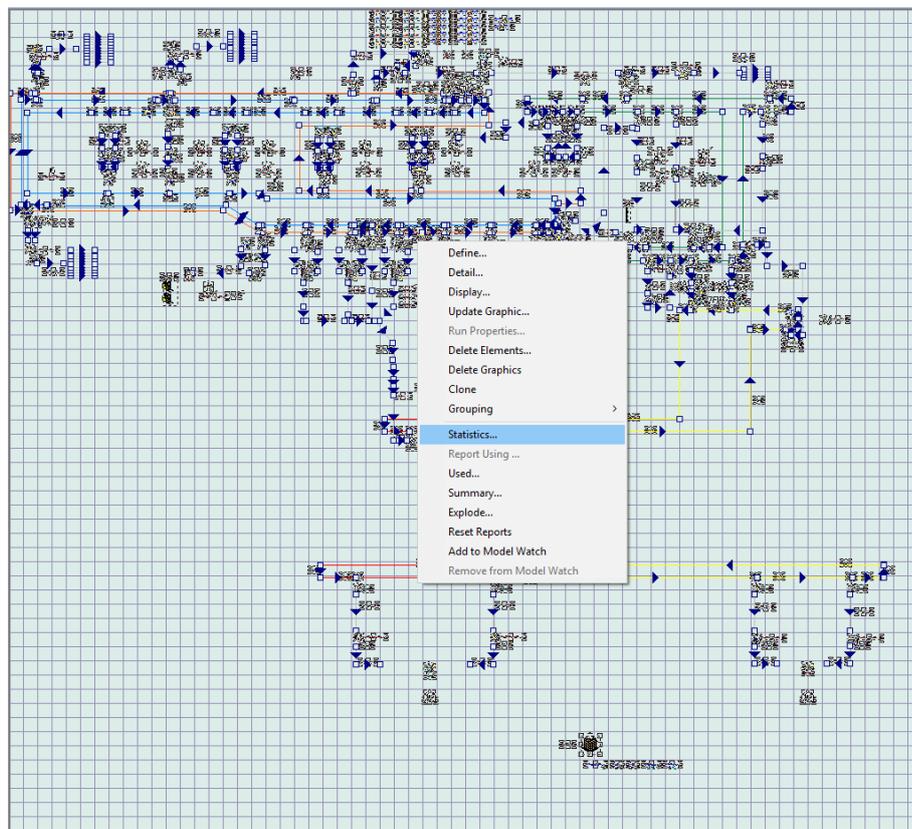


FIGURA 3.4 TOMA DE DATOS

A partir de las estadísticas se procederá a obtener todos aquellos datos que se consideren relevantes para copiarlos a un Excel y así poder trabajar con todos ellos posteriormente. Por ejemplo, el porcentaje máximo de ocupación lo genera el mismo programa, pero la ocupación media deberemos calcularla dividiendo el tiempo transportando entre el tiempo total impulsado, como se puede ver en la **Figura 3.5**.





55	Name	Cargas,Entra	Cargas,Entra	Descargas,A!	Descargas,Di	Descargas,A!									
56	% Idle	0	0	88,66	99,97	85,12	96,23	74,23	99,99	100	100	100	98,8	99,98	99,58
57	% Busy	100	100	0,92	0,03	1,28	0,48	1,81	0,01	0	0	0	0,46	0,02	0,23
58	% Filling	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59	% Emptying	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	% Blocked	0	0	10,42	0	13,6	3,29	23,96	0	0	0	0	0,74	0	0,19
61	% Cycle Wait	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	% Setup	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	% Setup Wai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64	% Broken Do	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65	% Repair Wa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
66	No, Of Operi	1439	18067	2638	94	3682	1386	5196	36	0	4	6	1330	47	657

FIGURA 3.7 SEGUIMIENTO DETALLADO DE CADA UNA DE LAS MÁQUINAS

A continuación, se procederá a hablar de cada uno de los elementos que componen el sistema, que se podrán observar en cualquier momento en el árbol de elementos situado a la izquierda de la pantalla de iteración del programa:

### 3.2- ELEMENTOS UTILIZADOS

En la **Figura 3.8** se puede observar una tabla con la totalidad de elementos a los que podemos acceder utilizando Witness.



FIGURA 3.8 POSIBLES ELEMENTOS A UTILIZAR

Lo primero que se va a explicar es lo que es una *Parte*. Son elementos discretos que se mueven independientemente por el modelo; en este caso, se tratará de las cubiertas que circulan por los ganchos, cintas transportadoras y máquinas del taller.

Por su parte, las *Colas o Buffers* son los lugares en los que permanecen las partes hasta que se cumple la acción lógica establecida en ellos, tales como los almacenes. En la **Figura 3.9** se muestra uno de ellos.

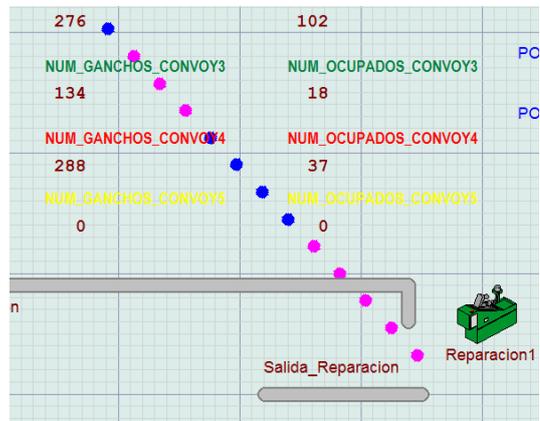


FIGURA 3.9 COLA DE PUESTO DE CONTROL 5

Las *máquinas* son aquellos lugares de los cuales las partes reciben algún tratamiento. En esta serie de simulaciones hay varios tipos de máquinas, las máquinas como tal, que son los lugares en los que las cubiertas reciben algún tipo de verificación u obtienen alguna mejora, y están aquellos aparatos que sirven para cargar y descargar las cubiertas de los convoys. En la **Figura 3.10** se puede observar una máquina compuesta por dos puestos.

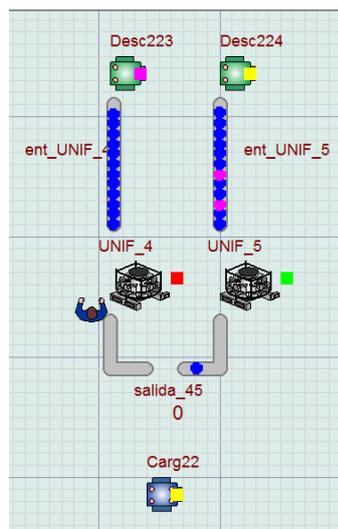


FIGURA 3.10 MÁQUINA

A su vez, los *transportadores* son aquellos elementos que transportan las partes de un punto fijo a otro. En este caso se trata de las cintas transportadoras, que sirven tanto para alimentar las máquinas como para evacuar de ellas las partes que ya han sido procesadas, y los bypasses que comunican diferentes convoys. En la **Figura 3.10** se puede ver, además de las dos máquinas, las dos cintas transportadoras de entrada a las mismas, así como las dos de evacuación.

Los *recursos* son los elementos que necesitan las máquinas para poder llevar a cabo una serie de operaciones. Por ejemplo, las máquinas del puesto de control 1 pueden trabajar sin operarios, pero en el momento en que estas necesiten un cambio de utillaje, o

caigan en un mantenimiento, tanto correctivo como predictivo, necesitaran que el operario, también llamado recurso, se encargue de ello. Hay otro tipo de máquinas como las de verificación del puesto de control 2 que requerirán la actuación de un operario para comprobar cada cubierta. En la **Figura 3.11** podemos ver como hay dos máquinas que requieren del acompañamiento de un recurso para poder funcionar.

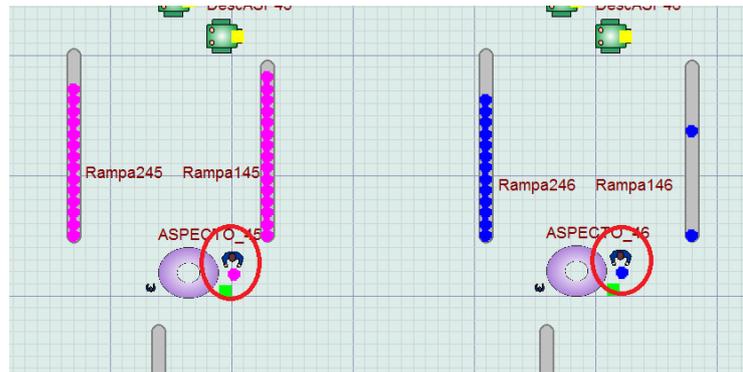


FIGURA 3.11 RECURSO DEL PUESTO DE CONTROL 2

Los *turnos* son los elementos que hacen referencia al tiempo durante el cual los recursos están disponibles. En nuestro caso, se establecerán varios turnos para así alternar el momento en el que los operarios dejan de trabajar para ir al fumadero o incluso para tomar un bocadillo.

Como se puede ver en la Figura 3.12, el total de tiempo durante el cual está trabajando un recurso hace un total de 48000 centésimas de minuto, lo cual se corresponde con las ocho horas de un turno.

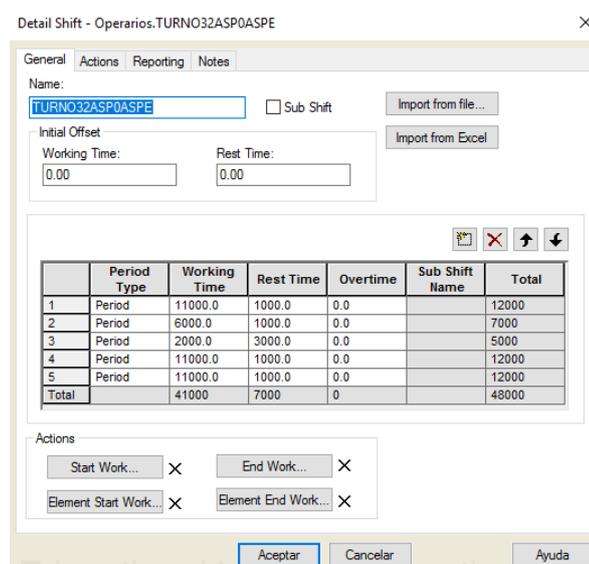


FIGURA 3.12 TURNO

Cuando se habla de las *variables*, nos referimos a un elemento lógico al cual se podrá acceder desde cualquier otro elemento del modelo. Esto será útil para poder obtener la

ocupación máxima de los convoys o para poder comprobar el porcentaje de cubiertas de tipo 1 o de tipo 2 que ha generado el taller.

Las *redes o convoys* comprenderán el conjunto de elementos formados por las estaciones, secciones y ganchos que los conforman. En la **Figura 3.13** se puede ver un convoy.

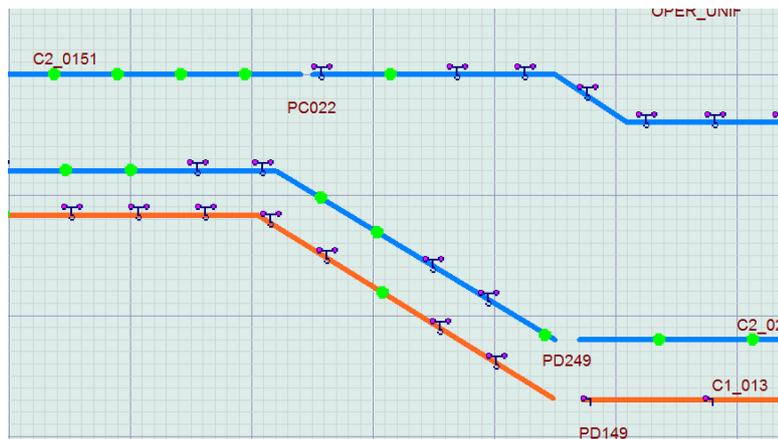


FIGURA 3.13 REDES O CONVOYS

Las *secciones* son cada uno de los tramos situados entre dos estaciones de un mismo convoy. En cada una de ellas habrá que definir la velocidad, la longitud y el número de ganchos que lo componen.

Las *estaciones* son aquellos puntos situados entre las secciones en los que habrá algún parámetro que decida qué camino siguen las partes que se desplazan por estos. La **Figura 3.14** nos muestra la programación de una de ellas.

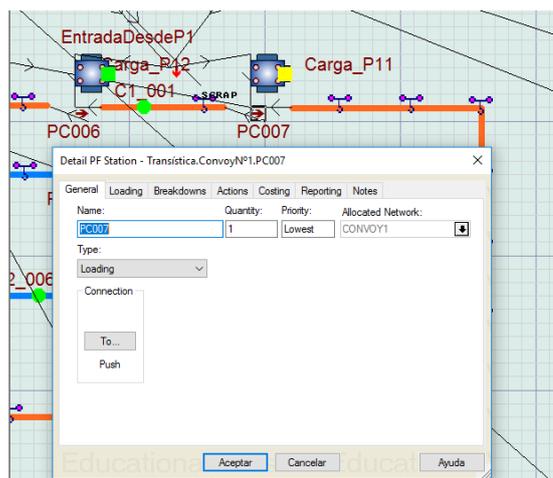


FIGURA 3.14 ESTACIÓN

Por su parte, los *ganchos* son los elementos que transportan las partes por las redes en cada uno de los convoys.



Los *módulos* son elementos que sirven para agrupar conjuntos de elementos que estén relacionados entre sí para así conseguir encontrarlos de manera mucho más rápida e intuitiva cuando así se desee. En la **Figura 3.15** se podrá observar el conjunto de módulos de nuestro modelo.

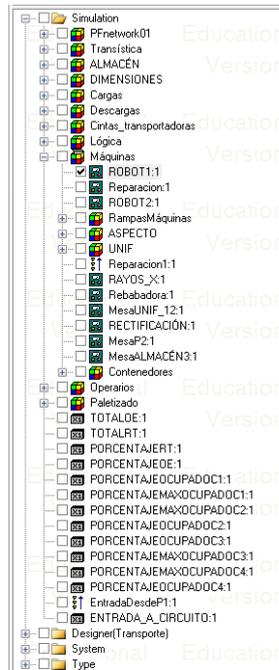


FIGURA 3.15 CONJUNTO DE MÓDULOS QUE INCLUYEN TODOS LOS ELEMENTOS DE SIMULACIÓN



## 4. ESCENARIO DE APLICACIÓN

### 4.1- HISTORIA DE MICHELIN

Michelin es una empresa francesa fundada en 1889 por Francisco Michelin, cuyo principal objetivo es la fabricación de neumáticos. En sus orígenes estaba destinada a la fabricación de neumáticos de bicicleta, y actualmente es el fabricante de neumáticos más importante del mundo, junto a Bridgestone. A su vez, también participa en los campeonatos de automovilismo, tanto de motociclismo como de Rally. En la **Figura 4.1** se puede ver una imagen de la propia marca.



FIGURA 4.1 MICHELIN, RECUPERADA DE: [HTTP://WWW.MICHELIN.ES/CONOCE-MICHELIN/HISTORIA](http://www.michelin.es/conoce-michelin/historia)

La empresa surgió en 1889, cuando los dos hermanos Michelin, llamados André y Edouard, tuvieron la idea de llevar a cabo un gran proyecto, tanto personal como industrial, para encontrar soluciones y conseguir desarrollar un factor tan importante como el transporte, fundamental para el desarrollo económico y la libertad, mediante un proceso de innovación continua. En la **Figura 4.2** se puede observar una de las campañas publicitarias de la marca, la cual alude a la facilidad de montaje de los propios neumáticos.



FIGURA 4.2 CAMPAÑA PUBLICITARIA DE MICHELIN, RECUPERADA DE:

[HTTP://WWW.MICHELIN.ES/CONOCE-MICHELIN/HISTORIA](http://www.michelin.es/conoce-michelin/historia)

En 1909 se crea en Madrid la “Sociedad Anónima del Neumático Michelin”, y en 1910 aparece la primera guía roja, que es la guía Michelin de restaurantes y hoteles de España y Portugal, que hoy en día es amarilla.

Posteriormente, en 1934, Michelin fabrica su primer neumático en Lasarte, llamado Doleance. Durante la segunda guerra mundial, los submarinos se dedicaban a torpedear y hundir todos aquellos barcos de mercancías que se dedicaban a transportar, entre otras cosas, el caucho natural que Michelin usaba en la fabricación de sus neumáticos. Al ser poco denso, éste flotaba, y los barcos pesqueros se dedicaban a recuperar los fardos de caucho que por allí encontraban. Con este material se fabricó un neumático denominado “de flotación”.

A partir de la guerra se produce una escasez de gasolina ante la que Michelin decide crear un compuesto de gasógeno en Lasarte, que podría ser utilizado para que los coches se desplazasen mediante derivados del carbón natural, llegando a alcanzar incluso velocidades de 100 km/h. Se creó un gasógeno para camiones y autobuses, denominado Gasauto, y otro para turismos, denominado Gasturist.

En 1966 se fabrica el primer neumático en la sede de Vitoria, utilizado en obras públicas, y en 1970 se produce el primero en Aranda de Duero, que estaba destinado para la utilización en camiones. En 1973, se crea el Centro de Experiencias Michelin de Almería, el cual está muy comprometido con el medio ambiente, y con su gran labor ha logrado plantar en sus 500 hectáreas 16000 árboles para mantener los suelos y a su vez conservar tanto la flora como la fauna de la zona. Este centro también conserva en su interior un árbol de 500 años llamado drago, el cual está considerado el más antiguo de su especie de Europa.

En 1973 es creado el primer neumático en la fábrica de Valladolid, el cual estaba destinado a turismos, y sobre todo al mercado norteamericano, y tan solo dos años más tarde, se crean en la misma los primeros neumáticos de turismo destinados al mercado europeo y se inicia el recauchutado de los neumáticos de camión.

En el año 1981 se inaugura el Centro de Formación y Asesoramiento de Michelin, en el cual se imparten casi 400 cursos y se forma a 3500 profesionales con período anual.

En 1995 se fabrica en Vitoria el neumático más grande jamás creado, el cual ostenta el récord Guinness, con un peso cercano a las 6 toneladas y casi 4 metros de diámetro, destinado a equipar un volquete gigante de Caterpillar empleado para la excavación.

Desde 1934, momento de fabricación del primer neumático Michelin en España, hasta 2009, Michelin ha fabricado aquí alrededor de 500 millones de neumáticos, tanto para bicicletas, como para coches, motos, camiones, autobuses, maquinaria agrícola y vehículos de obras públicas.

En 2009 se alcanza el 75 aniversario de la marca en España, y durante todo este tiempo, han trabajado o trabajan en Michelin cerca de 21000 personas. Además, es fácil percibir que la empresa ha evolucionado tanto en la actividad industrial como en la organización de la actividad comercial y logística consiguiendo así adaptarse a la evolución de los mercados.

La mascota de la empresa se llama Bibendum, representada en la **Figura 4.3**, la cual está conformada por una gran cantidad de neumáticos. Esta mascota surgió en 1895, apenas



José Miguel Trigueros Rey

3 años después de que surgieran los primeros automóviles. Debido a la forma de Bibendum, se pasó a llamar michelines a los excesos de grasa situados alrededor de la cintura.



3-D IMAGE

FIGURA 4.3 BIBENDUM (LANE, 2017)

#### 4.2- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA REAL

La fábrica de Michelin situada en Valladolid, representada en la **Figura 4.4**, es una de las cuatro grandes fábricas que la empresa tiene repartidas por España; las otras tres están situadas en Lasarte, Vitoria y Aranda de Duero.



FIGURA 4.4 FÁBRICA DE MICHELIN VALLADOLID, RECUPERADA DE:  
[HTTP://WWW.MICHELIN.ES/CONOCE-MICHELIN/MICHELIN-EN-ESPANA](http://www.michelin.es/conoce-michelin/michelin-en-espana)

La fábrica está destinada a la confección de neumáticos de la propia marca, tanto de turismo como de maquinaria agrícola. Esta será la mayor distinción y en las dos secciones en que se divide la fábrica, ya que los neumáticos de maquinaria agrícola tienen unas dimensiones muy diferentes y por lo tanto el proceso de confección y presión ha de ser diferente.

El diagrama de flujo genérico del proceso de fabricación de un neumático está representado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y se comentará a continuación.

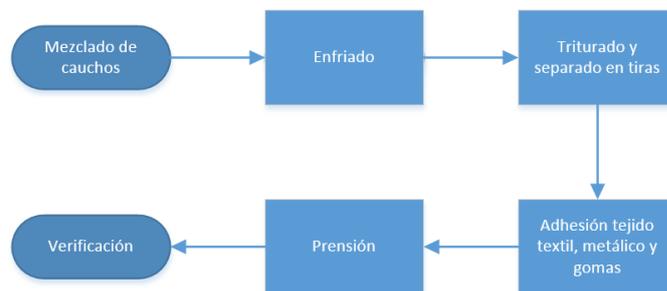


FIGURA 4.5 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FABRICACIÓN DE UN NEUMÁTICO

Este proceso está compuesto por una serie de operaciones que se comentarán a continuación. Lo primero será el mezclado, ya que una rueda tiene hasta 30 tipos de caucho diferente, que son combinados en máquinas de mezcla gigantes para así crear un compuesto de goma que posteriormente habrá de ser triturado.

La siguiente operación será el triturado, puesto que el caucho generado, después de ser enfriado, habrá de ser cortado en tiras que se irán superponiendo para conferir al neumático una resistencia superficial capaz de resistir grandes tensiones.

En la siguiente fase se habrá de construir el neumático, siempre desde dentro hacia fuera. Se ha de tener en cuenta que un neumático contiene tanto tejido textil como metálico para proporcionar una mayor resistencia, y que tendrá también una serie de gomas que sean aislantes para así evitar que el aire se escape del interior y que no pueda acceder el agua.

El siguiente proceso a realizar será la presión, mediante la cual se comprimirán todas sus partes y hará que queden perfectamente adheridas entre sí debido a las altas temperaturas a las que se ve sometido. El proceso final será la verificación, la cual es el objeto de estudio de este trabajo, y se representa en la Figura 4.6 mediante el modelo planteado para llevar a cabo la simulación.

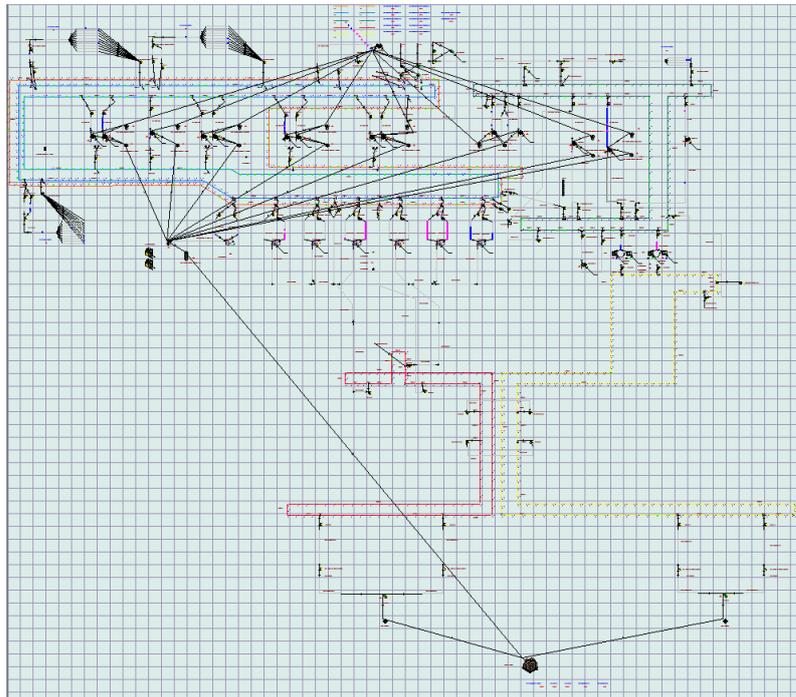


FIGURA 4.6 PLANTA DEL TALLER

La parte final del proceso productivo, tras haber pasado por un circuito de enfriamiento durante la cual las cubiertas regulan su temperatura para así evitar posibles irregularidades en medición, serán las verificaciones de todos aquellos neumáticos creados, representada en la figura 4.5. Este proceso es obligatorio para todos los neumáticos, y es igual de importante que todos los anteriores, ya que la entrega de un neumático defectuoso al cliente podría provocar una pérdida de confianza en la empresa, además de ver reducida la seguridad de aquellos que lo vayan a utilizar. La seguridad y las buenas prestaciones de los neumáticos es el fin último de la empresa, lo cual se ve reflejado en la satisfacción de los clientes y es un factor crítico sobre el que actuar para la excelencia del funcionamiento de la misma.

En este estudio nos centraremos en la parte final del proceso de fabricación de los neumáticos de turismo, ya que el taller objeto de estudio será todo lo referente a comprobar que todas y cada una de las ruedas fabricadas se ajustan a los estándares de calidad necesarios establecidos por la propia compañía.

El taller está formado por una serie de máquinas y unos convoys como los representados en la Figura 4.7, compuestos por ganchos que desplazan las cubiertas hasta su próximo destino. Antes de nada, se debe añadir que las “ruedas” que todavía no han accedido a la presión serán denominados bandajes, una vez hayan pasado por las prensas serán cubiertas, y así serán denominadas durante todo el trabajo, ya que no pasan a denominarse neumáticos hasta que no hayan superado todo el proceso de verificación del taller simulado.



FIGURA 4.7 CONVOYS DE GANCHOS (CALZADA, 2015)

Las cubiertas llegan al taller a partir de un circuito de enfriamiento posterior a las prensas que ayuda a que éstas adquieran una temperatura más regular para que así las máquinas del control 1 no presenten errores de medición debidos a las altas temperaturas con las que las cubiertas salen de las prensas.

El taller está principalmente dividido en dos secciones. A una de ellas, la situada más a la izquierda, la alimenta la línea de prensas de mayor capacidad, entrando a través del convoy 1, mientras que la situada más a la derecha es alimentada por la línea de prensas de menor capacidad. Esta segunda entrará a través del convoy 3.

Ambos convoys disponen de dos entradas. Una de ellas es un simple cargador, mientras que la otra es un puesto de control 0, en el que deberá haber un operario para decidir, en una primera instancia, si las cubiertas que pasan por allí son de buena calidad. Se trata de un puesto de control 2 previo a la entrada a circuito. Teniendo en cuenta que todas las cubiertas deben pasar esta verificación, normalmente en los puestos de control 2 que conectan ambos convoys con el paletizado, hemos de matizar que las que hayan superado este proceso de verificación previo no deberán hacerlo a continuación. Esto es lo que se consigue con los puestos de control 0.

Una vez las cubiertas acceden a los convoys 1 y 3 desde las dos líneas de prensas, se deberá fijar su próximo destino. Cada cubierta tiene un destino prefijado y no todas las cubiertas de la misma dimensión tienen por qué seguir el mismo trayecto. De esta forma, los ganchos en los que se cuelgan las cubiertas contienen la información del rutado de cada una de ellas en un USB, y según vayan pasando por los puntos de descarga el autómata decidirá, leyendo el código de los USB, si ese es el destino establecido o por el contrario deberán permanecer en el convoy hasta llegar al siguiente punto de descarga.



Se puede realizar una distinción entre dos tipos de cubiertas principalmente, nos referiremos a ellas como cubiertas de tipo 1 y de tipo 2. En función de esta denominación deberán seguir un trayecto u otro, puesto que las de tipo 1 deberán pasar absolutamente todas por el puesto de control 1, mientras que de las de tipo 2 sólo irá un determinado porcentaje.

Todas aquellas cubiertas que deban superar el puesto de control 1, tanto las de tipo 1 como las de tipo 2, deberán acceder con anterioridad a los almacenes en los que regularán aún más su temperatura para, como se ha explicado anteriormente, que las máquinas del puesto de control 1 no presenten errores de lectura.

Una vez las cubiertas acceden a estas máquinas, se pueden producir varias condiciones. Puede darse que la máquina lea la cubierta como defectuosa, por errores en la presión o anteriores a ésta. En este caso la cubierta será desechada.

También puede suceder que la cubierta sea buena pero no de la calidad suficiente para tener denominación de tipo 1, por lo que se reclasificaría a cubierta de tipo 2. Si son leídas como buenas, se le asignará el siguiente destino, el cual puede ser el puesto de control 2, lugar por el que han de pasar el 100% de las cubiertas a no ser que ya hayan sufrido una verificación similar en los puestos de control 0, como se ha explicado anteriormente.

A su vez, también puede presentar pequeños defectos reparables, por los cuáles deberá ir o a los puestos de control 5 o a los puestos de control 6. El puesto de control 6 se encuentra situado justo a la izquierda de los puestos de control 2, como se puede observar en la **Figura 4.6**. Si debe ir a esta máquina, en función del tipo de defecto que presente, lo hará por convoy o por carretilla, por medio de un operario de transporte. Hay dos tipos de defectos principales, denominados Retoque 7 y Retoque 8. Si la cubierta presenta un defecto de carácter Retoque 7, deberá acceder a la máquina a través del convoy, previo paso por la máquina del puesto de control 2 situada más a la izquierda y destinada únicamente a tratar las cubiertas que se dirigen al puesto de control 6. Sin embargo, si presenta un defecto de clase Retoque 8, o la combinación entre ambos, Retoque 7 + Retoque 8, la cubierta se almacenará en un palé para que un operario de transporte se disponga a transportarla desde el puesto de control 1 hasta el puesto 6.

Las cubiertas que salen del puesto de control 1, deberán tener los mismos destinos, tanto las de tipo 1 como las de tipo 2. Entre estos destinos posibles estarán el puesto de control 3; el puesto de control 6, si presenta alguna clase de defecto reparable; el puesto de control 4, si se le quiere dar un mejor acabado superficial o, principalmente, el puesto de control 2.

Las máquinas del puesto de control 1 trabajan sin la necesidad de la participación de ningún operario, están automatizadas, siendo estos únicamente necesarios para hacer la petición de cubiertas desde el puesto a los almacenes, para que empiecen a enviar cubiertas por los convoys. Esta petición se realiza mediante la utilización del llamado stock tampón, según el cual el almacén envía las cubiertas necesarias para llenar la

rampa de entrada al puesto de la máquina desde el que se realiza la petición de cambio de utillaje por parte del operario. Esto hace que, al enviar una gran cantidad de cubiertas al mismo tiempo, se produzcan picos en la ocupación de los convoys 2 y 3, que son a los que acceden las cubiertas desde los almacenes.

Una vez las cubiertas han pasado por el puesto de control 1, si han sido “buenas”, deberán dirigirse en su mayoría al puesto de control 2, como se puede ver en la Figura 4., compuesta por 10 puestos de verificación en total entre las dos líneas (6 en los convoys 1 y 2 y 4 en el convoy 3). Esta operación es de suma importancia y por ello en cada uno de ellos deberá haber un operario verificando manualmente las cubiertas que por allí pasan.



FIGURA 4.8 PUESTO DE CONTROL 2, RECUPERADA DE:

[HTTP://WWW.ENCAMION.COM/ARTICULO/MICHELIN/FABRICA/ARANDA/DUERO/CAMIONES/DESARROLLO/FABRICACION/FORMACION/PROCESO/INNOVACION/CAMION/ENCAMION](http://www.encamion.com/articulo/michelin/fabrica/aranda/duero/camiones/desarrollo/fabricacion/formacion/proceso/innovacion/camion/encamion)

Desde estos puestos puede suceder que la cubierta sea desechada por ser defectuosa; que deba pasar por el puesto de control 5 antes de ir a los almacenes previos al paletizado, los cuales se pueden ver en la Figura 4. situados entre los convoys 4 y 5 y los robots destinados al paletizado; que deba ir al puesto de control 3 para verificar por muestreo que las cubiertas de su dimensión están bien; o que deba dirigirse a los almacenes anteriormente mencionados para su posterior almacenamiento y venta al cliente.



FIGURA 4.9 PALETIZADO, RECUPERADA DE: [HTTP://DEBATES.COCHES.NET/FORUM/GENERAL/159622-ASI-SE-FABRICA-UN-NEUMATICO-MICHELIN?164874-ASI-SE-FABRICA-UN-NEUMATICO-MICHELIN=](http://debates.coches.net/forum/general/159622-asi-se-fabrica-un-neumatico-michelin?164874-asi-se-fabrica-un-neumatico-michelin)



El paletizado (Figura 4.) está compuesto por cuatro almacenes que van suministrando cubiertas a dos robots KUKA (Figura 4.), compuestos por un brazo articulado, cuya única misión será la de agrupar las cubiertas en palés para garantizar así un correcto almacenamiento en el que ninguno de los neumáticos se vea dañado antes de la entrega al cliente.



FIGURA 4.10 ROBOT KUKA, RECUPERADA DE:

[HTTP://WWW.INTEREMPRESAS.NET/LOGISTICA/ARTICULOS/194013-SWISSLOG-PRESENTA-ACPAQ-SOLUCION-TOTALMENTE-AUTOMATIZADA-PARA-CREACION-DE-PALES-MIXTOS.HTML](http://www.interempresas.net/LOGISTICA/ARTICULOS/194013-SWISSLOG-PRESENTA-ACPAQ-SOLUCION-TOTALMENTE-AUTOMATIZADA-PARA-CREACION-DE-PALES-MIXTOS.HTML)

En nuestro caso, habrá un robot con un tiempo de ciclo mucho menor que el otro, ya que es capaz de paletizar 7 cubiertas a la vez, mientras que el otro deberá hacerlo de una en una.

A continuación, se representará un diagrama de flujo del proceso productivo que se lleva a cabo en el taller:



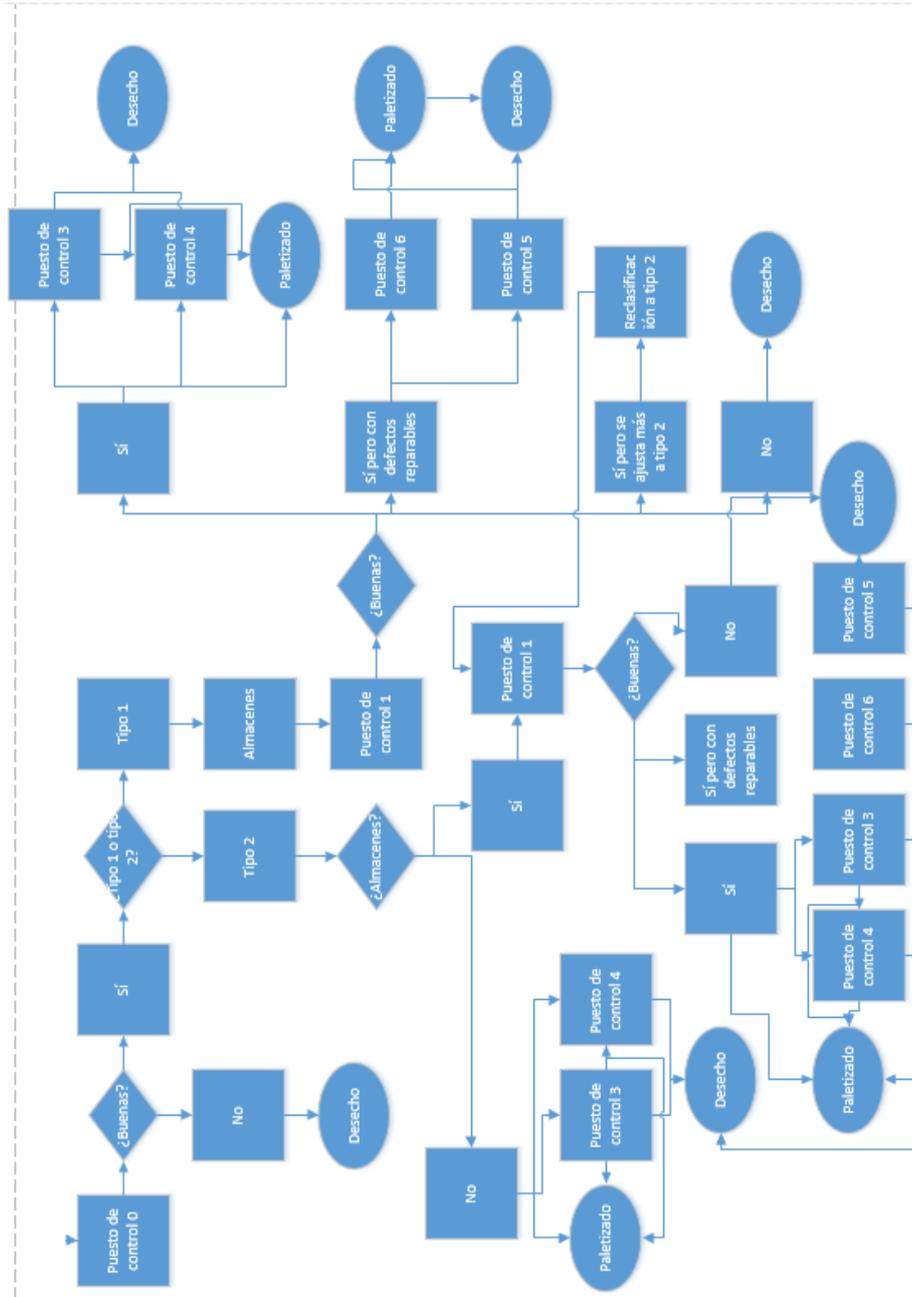


FIGURA 4.10 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO PRODUCTIVO (PARTE 2)



## 5. ESTRUCTURA DEL MODELO (ESTRUCTURA Y ENTRADAS)

A continuación, se procederá a explicar la programación de cada uno de los elementos del modelo.

### 5.1- CONVOYS

Comenzaré a explicar cómo se crean los convoys (podemos ver uno de ellos en la **Figura 5.1**) con sus ganchos, estaciones y secciones:

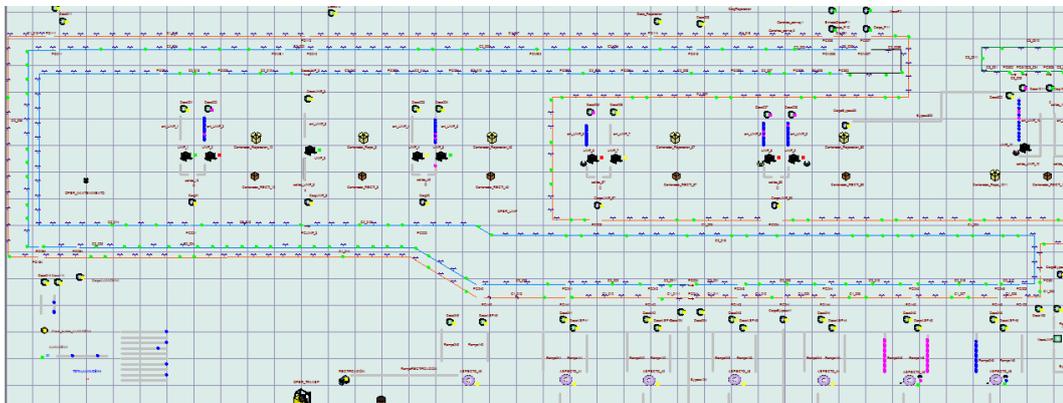


FIGURA 5.1 REPRESENTACIÓN DE LOS CONVOYS 1 Y 2

Lo primero que se habrá de hacer es crear el camino, con sus secciones y estaciones, de tal forma que estén todos comunicados entre sí y no haya tramos sin conexión.

Se define el camino y se añade el número de ganchos que contiene y los metros que mide el mismo en el menú de la **Figura 5.2**:

FIGURA 5.2 PROGRAMACIÓN DE UNA SECCIÓN

De esta forma este tramo en concreto medirá 16 metros, tendrá 16 ganchos, puesto que éstos están espaciados un metro, y se desplazará a 0.2 metros por centésima de minuto. El método de acceso empleado será esperar gancho.

Una vez creado el tramo debemos crear una estación con la que comuniquemos, en la que es posible que haya un cargador o descargador y en la que se decidirá el camino que tomará la cubierta. De esta forma, en la conexión, escribiremos el siguiente código: **PUSH** to PD112. Para que acceda desde este tramo al siguiente punto de descarga.

En la sección también habremos de definir el convoy al que pertenece, que obviamente también es el convoy 1, y el elemento siguiente al que habrá de acceder, así como el tipo de estación, ya que puede ser de carga o de descarga al convoy, como se puede observar en la **Figura 5.3** y **Figura 5.4**:

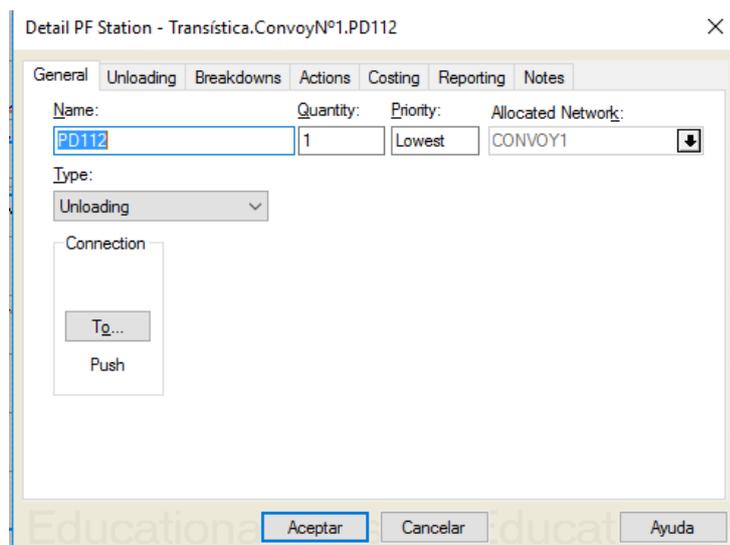


FIGURA 5.3 PROGRAMACIÓN DE UNA ESTACIÓN (1)

En la conexión haremos que comuniquemos con la siguiente sección del camino o tramo de la siguiente manera:

**PUSH** to C1\_017

Y en la pestaña en la que pone descarga, programaremos las condiciones que decidirán si la cubierta debe seguir circulando por el convoy hasta la siguiente estación o si por el contrario ha llegado a su destino y debe descargar aquí:

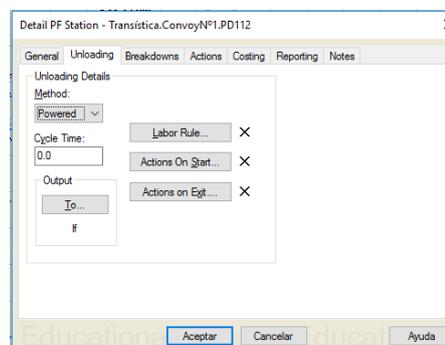


FIGURA 5.4 PROGRAMACIÓN DE UNA ESTACIÓN (2)



Vemos como el método de descarga es propulsado, y la condición que decide sobre el destino será la siguiente:

```
IF TYPE = DIMENSIONES.DIM_OE_ALMACÉN2 OR TYPE = DIMENSIONES.DIM_RT_ALMACÉN2 OR  
TYPE = DIMENSIONES.DIM_ALMACÉN2_BPC_OE OR TYPE =  
DIMENSIONES.DIM_ALMACÉN2_BPC_RT  
    PUSH to Descargas.ALMACÉN.Desc112  
ELSE  
    Wait  
ENDIF
```

Esta condición nos quiere decir que, si la dimensión de la cubierta propulsada por los ganchos es alguna de las destinadas al almacén 2, será descargada en este, sin embargo, si se trata de cualquier otra dimensión seguirá su camino hasta encontrar su destino.

Una vez creado todo el camino de un convoy de ganchos, deberemos crear el elemento “Carrier”, representado en la **Figura 5.5**, y asignarle la red o convoy que va a representar, el cual resumirá las características del mismo y guardará características importantes como el número de ganchos que éste contiene, que deberá coincidir con la suma de los ganchos de todos los caminos del convoy.

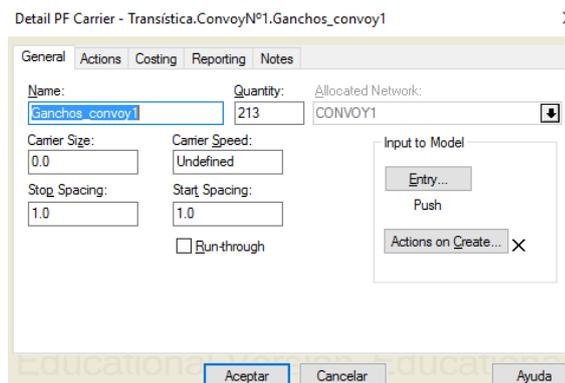


FIGURA 5.5 PROGRAMACIÓN DE LOS GANCHOS

Para que funcione deberemos modificar las acciones a la entrada y empujarlo hacia una sección. Debemos elegir bien dicha sección y procurar que sea el punto de entrada al circuito, puesto que será el punto a partir del cual se van a crear todos los ganchos, y si no elegimos bien este punto, puede ser que se nos acumulen las cubiertas a la entrada hasta que se creen la totalidad de los ganchos del convoy. Se programará de la siguiente forma:

```
PUSH to PC006
```

De esta manera conseguimos que los ganchos comiencen a crearse en la sección de entrada al circuito desde las prensas y empiece a cargar cubiertas desde el primer instante de la simulación.

En esta captura de pantalla denominada **Figura 5.6** se puede ver el entramado general:

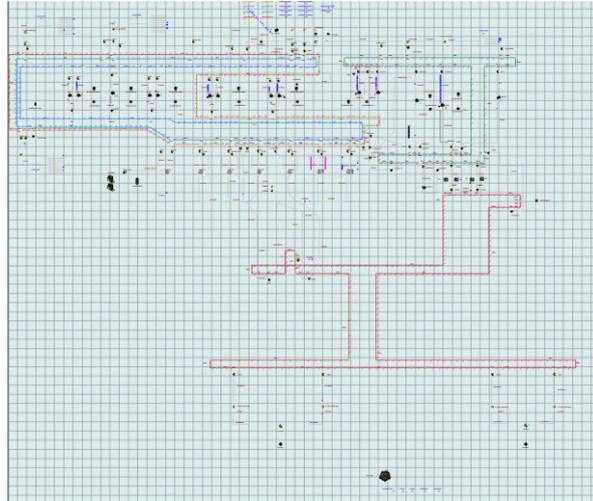


FIGURA 5.6 REPRESENTACIÓN DEL CONJUNTO DE TODOS LOS CONVOYS

La programación de las entradas al circuito será lo que se explicará a continuación.

**Resumen:**

Los modelos creados serán cuatro, que se diferenciarán entre sí en el número de convoys, puesto que la opción de partir un convoy implica dividirlo en dos, o en la inversión del convoy 1. Dichas alternativas servirán para dilucidar cuál es la disposición de los convoys que produce un mejor comportamiento en el funcionamiento del taller, reduciendo la ocupación media y máxima de los ganchos.

**5.2- ENTRADA A CIRCUITO**

En este circuito hay dos entradas ya que el convoy 1 (**Figura 5.7**) está alimentado por una línea de prensas, mientras que el tres (**Figura 5.8**) lo está por otra. Éste último tiene una entrada un poco más rara, ya que comparte rampa con las cubiertas que salen del puesto de control 5 y con el bypass que va de 2 a 3.

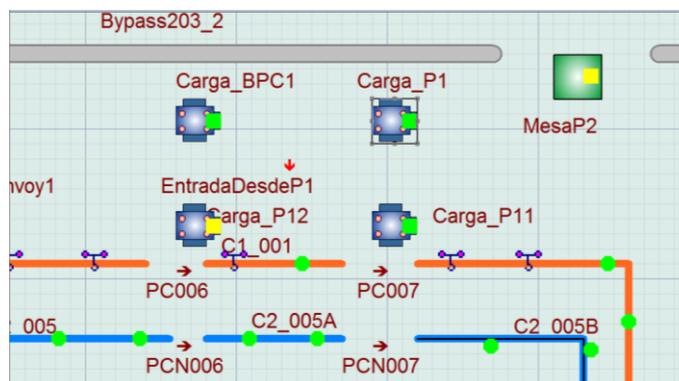


FIGURA 5.7 ENTRADA AL CONVOY 1

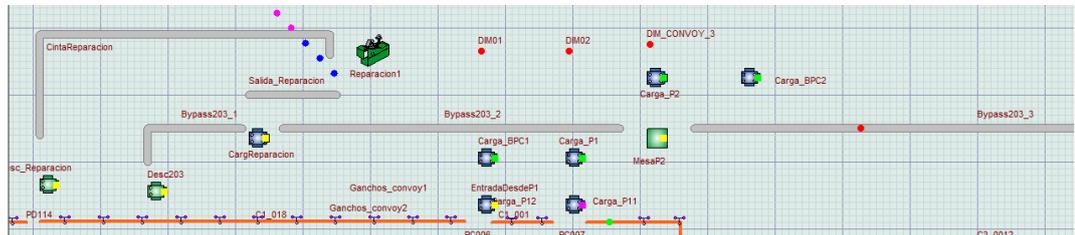


FIGURA 5.8 ENTRADA A LOS CONVOYS 1 Y 3

En la **Figura 5.9** se puede ver dicho cargador, del cual habrá de programarse el tiempo de ciclo, las acciones a la entrada, las acciones a la salida y las acciones al finalizar la operación.

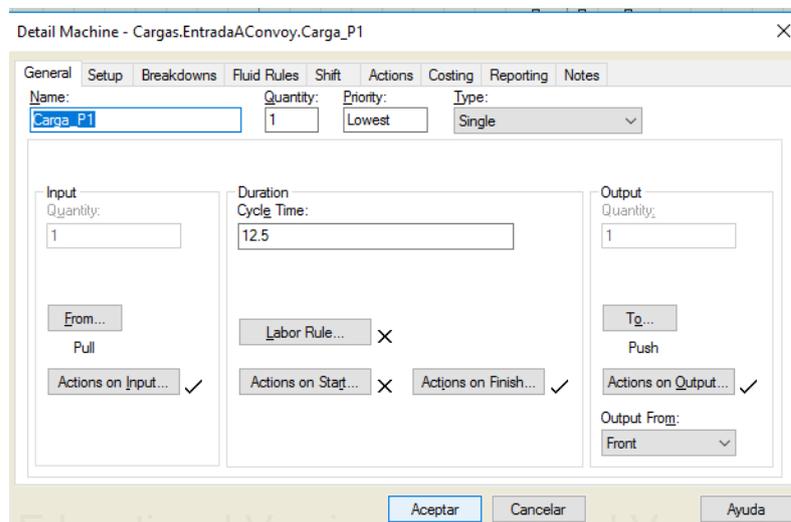


FIGURA 5.9 PROGRAMACIÓN DEL CARGADOR DE ENTRADA

Para establecer que debe traer las cubiertas desde fuera del circuito, se establece la siguiente sintaxis en from de DIM02, previamente definido como parte:

**PULL** from DIMENSIONES.DIM02 out of WORLD

Y para establecer el siguiente destino esta:

**PUSH** to EntradaDesdeP1

El tiempo de ciclo de este elemento será lo que variará de unas simulaciones a otras en función de la producción que establezcamos como diaria. Todos los tiempos de este modelo están calculados en centésimas de minuto puesto que esta es la forma establecida de trabajar en la fábrica debido a la precisión que aporta.

Las acciones programadas a la entrada de este cargador son las siguientes, por ser entrada al circuito:

```

IF Lógica.GanchosConvoys.NUM_GANCHOS_CONVOY1 = 0 OR
Lógica.GanchosConvoys.NUM_GANCHOS_CONVOY1 < 213
  PORCENTAJEOCUPADOC1 = 0
ELSE
  PORCENTAJEOCUPADOC1 = Lógica.GanchosOcupadosConvoys.NUM_OCUPADOS_CONVOY1 /
Lógica.GanchosConvoys.NUM_GANCHOS_CONVOY1
ENDIF

```

Este proceso se repetirá para cada uno de los convoys, variando en cada uno de ellos el número de ganchos totales, que serán los ganchos que tendrán en total. De esta forma, la variable definida como el porcentaje de ganchos ocupados de cada convoy en cada instante no se inicializará hasta que todo el conjunto de ganchos de cada convoy haya sido generado. Una vez esto se produzca, se calculará el porcentaje de ganchos ocupados sobre el total en cada convoy. Esto resulta útil a la hora de calcular los picos producidos en cada convoy, puesto que, si el porcentaje ocupado en cualquier momento supera el porcentaje máximo ocupado, éste se actualizará al nuevo porcentaje máximo ocupado. Además, el porcentaje ocupado de los ganchos no se inicializará hasta que todos ellos hayan sido generados.

A la hora de descargar las cubiertas en el convoy 1, cada vez que se produzca esta acción, se generará un número aleatorio comprendido entre 0 y 1. En función del intervalo en el que caiga este número y en base a la probabilidad de que la cubierta se destine a un lugar u otro, se generará el destino de la cubierta. De esta forma, cada vez que el cargador realice una operación, establecerá mediante probabilidades la próxima máquina destino, que sólo absorberá las cubiertas que lleven por nombre su dimensión.

Entre los destinos posibles se encuentran los tres almacenes situados en el convoy 1, el puesto de control 4 y el puesto de control 3 situados en el convoy 3 y el puesto de control 2. Según la programación del taller, habrá un total de un 65% de las cubiertas que entran a circuito que deberán dirigirse hacia los almacenes, entre las que se encuentran tanto las cubiertas de tipo 1 como las de tipo 2.

Si se trata de una cubierta de tipo 1, como se ha explicado anteriormente, deberá dirigirse a las máquinas del puesto de control 1 al 100%, y para acceder a éstas lo ha de hacer previamente a los almacenes para regular su temperatura y que las máquinas no presenten errores en la medición. De ese 65% de las cubiertas que deben dirigirse a los almacenes habrá alrededor de un 90% que sean de tipo 1, mientras que el otro 10% serán cubiertas de tipo 2.

Sin embargo, si se trata de una cubierta de tipo 2, puede ser que tenga que pasar por el puesto de control 1 o no. Del total de cubiertas de tipo 1, sólo deberá pasar por los almacenes un 13.5%. En el caso de que deba hacerlo, deberá seguir la misma trayectoria que las cubiertas de tipo 1, pasando previamente por alguno de los almacenes.

También se puede dar el caso de que no deba pasarla, por lo que los posibles destinos serían mayoritariamente el puesto de control 2, o en algún caso particular las máquinas anteriormente mencionadas, siendo estas la del puesto de control 4, máquina encargada de eliminar los pelets de las cubiertas para que así adquiera un mejor aspecto



superficial, o la máquina del puesto de control 3, para verificar por muestreo que la totalidad de la dimensión se adapta a los estándares de calidad establecidos por la empresa. El porcentaje de cubiertas que debe pasar por los puestos de control 3 y 4 es el mismo, y será un 5% del total de cubiertas que no pasan por el puesto de control 1 a cada uno de ellos.

El resto de las cubiertas que no pasan ni por el puesto de control 1 ni por las dos máquinas anteriormente mencionadas, cuyo porcentaje será el 90% de aquellas cubiertas de tipo 2 que no necesiten esta verificación, deberá dirigirse directamente al puesto de control 2, lugar por el que han de pasar el 100% de las cubiertas, exceptuando aquellas que hayan entrado al circuito a partir de un puesto de control 0.

También, en la programación de este cargador, se puede observar que hay un comando que hace que todas las cubiertas que sean de tipo 1 adquieran un color azulado, mientras que las de tipo 2 adquirirán un color rosado para así hacer más intuitiva la distinción entre ambos tipos de cubiertas.

Ahora explicaré las acciones realizadas al final de la operación:

```
Lógica.CUBIERTAS_CIRCUITO_Y_Hs = Lógica.CUBIERTAS_CIRCUITO_Y_Hs + 1
ENTRADA_A_CIRCUITO = ENTRADA_A_CIRCUITO + 1
```

Mediante esta variable, la cual se modifica a partir de cada entrada y salida al y del circuito, podré saber en todo momento el número de cubiertas que se encuentran en este más el número de cubiertas defectuosas que se han tenido que desechar.

También hay establecido en este cargador una serie de averías, representadas en la **Figura 5.10**, en las que puede caer y durante el cual no podrá estar en funcionamiento.

	Description	Check Only At Start Of Cycle	Breakdown Mode			Breakdown Duration		
			Mode	No. of Operations	Time Between Failures	Actions on Down	Labor Rule	Repair Time
1	Disponibilidad	<input checked="" type="checkbox"/>	Available		NegExp (175	N	Y	52133.33

FIGURA 5.10 PROGRAMACIÓN DE AVERÍAS O MANTENIMIENTOS EN EL CARGADOR DE LA ENTRADA AL CONVOY

A la izquierda del cargador explicado anteriormente, se encuentra otro cargador con un funcionamiento diferente, ya que además de funcionar como cargador también funciona como puesto de control tipo 2, y esto hace que su tiempo de ciclo sea mucho mayor, pero posibilitando que todas las cubiertas que pasen por aquí no tengan la necesidad de pasar por el puesto de control 2 posteriormente. Como se ha comentado anteriormente, este es el denominado puesto de control 0, representado en la **Figura 5.11**.

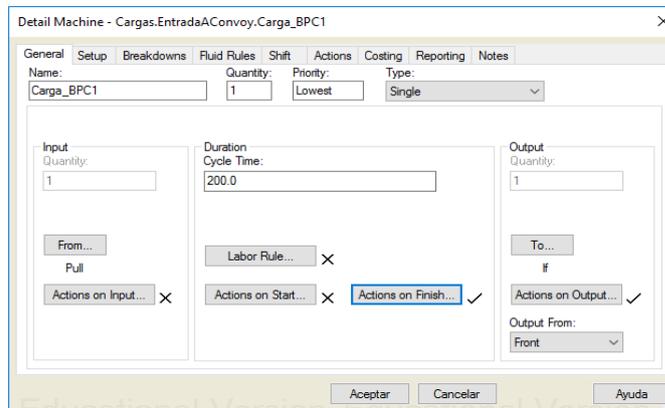


FIGURA 5.11 PROGRAMACIÓN DEL PUESTO DE CONTROL 0

A continuación, procederé a explicar la programación del mismo. Las acciones al fin son las mismas que en el anteriormente explicado para poder realizar el seguimiento de las cubiertas circulando por el circuito, sin embargo, como puede haber cubiertas en este primer control tipo 0 que no cumplan con los estándares de calidad, deberemos establecer una condición para que todas aquellas que no los cumplan sean desechadas:

```

IF TYPE = DIMENSIONES.DIM_H
PUSH to SCRAP
ELSE
PUSH to EntradaDesdeP1
ENDIF

```

Todas las cubiertas que accedan al circuito desde los dos puestos de control 0, deberán seguir la misma trayectoria que el resto, exceptuando que ninguna de ellas habrá de pasar por los puestos de control tipo 2. Por lo tanto, los porcentajes serán idénticos a los comentados anteriormente, exceptuando las que se dirijan a dicho puesto, que en este caso deberán dirigirse directamente al paletizado, donde serán almacenadas, ya como neumáticos, para su posterior comercialización.

Las cubiertas provenientes del puesto de control 0 deberán pasar por los bypasses oportunos para evitar un segundo control tipo 2, y estos bypasses son los que conectan los convoys 1 y 2 al 4 y el que conecta el 3 al 4.

Se puede ver como el siguiente bypass, en la **Figura 5.12** puentea el puesto de control 2 de los convoys 1 y 2:

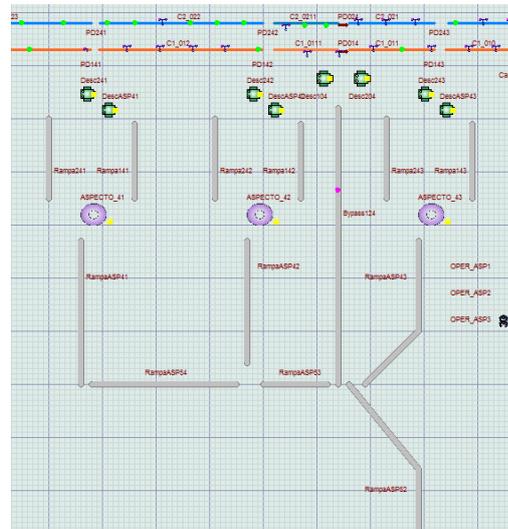


FIGURA 5.12 BYPASS QUE PUENTEA EL PUESTO DE CONTROL 2 DESDE LOS CONVOYS 1 Y 2

Vemos como este bypass de la **Figura 5.13** consigue puentear el puesto de control 2 del convoy 3.

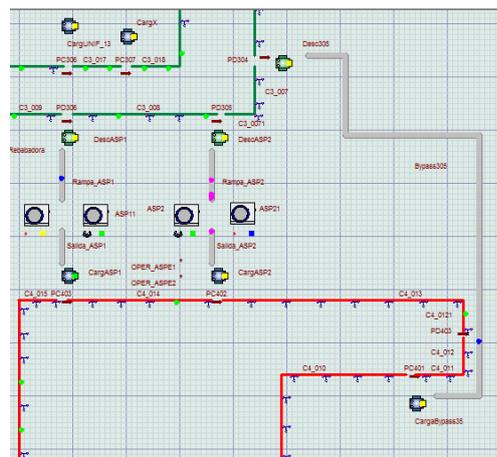


FIGURA 5.13 BYPASS QUE PUENTEA EL PUESTO DE CONTROL 2 DESDE EL CONVOY 3

En el convoy 3 la programación a la entrada será exactamente la misma, con la diferencia de que el 65% de las cubiertas que deben dirigirse a los almacenes no habrán de repartirse entre tres, puesto que este convoy, al ser llenado desde las prensas con una capacidad menor, solamente requerirá un almacén.

El tiempo de ciclo con el que el cargador deberá traer cubiertas variará de unos modelos a otros, en función de la producción a la que nos queramos ajustar.

Teniendo en cuenta que los puestos de control 0 son capaces de verificar 720 cubiertas diarias cada uno y que el cargador del convoy 1 carga aproximadamente dos tercios de las cubiertas totales, los cálculos se han realizado de la manera representada en la Tabla 5.1:

TOTAL	15000	BPC1	720	NO BPC	13560
CMN/CUB	10,619469	BPC2	720	LÍNEA 1	15,9292035
				LÍNEA 3	31,8584071
TOTAL	16000				14560
CMN/CUB	9,89010989			LÍNEA 1	14,8351648
				LÍNEA 3	29,6703297
TOTAL	17000				15560
CMN/CUB	9,25449871			LÍNEA 1	13,8817481
				LÍNEA 3	27,7634961
TOTAL	18000				16560
CMN/CUB	8,69565217			LÍNEA 1	13,0434783
				LÍNEA 3	26,0869565

**TABLA 5.1** CÁLCULOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA CON LA QUE ENTRAN LAS CUBIERTAS

Si tenemos 15.000 cubiertas diarias y restamos aquellas que pasan por BPC, quedarán 13.560. Además, si en 144.000 centésimas de minuto (1 día) han de pasar 15.000 cubiertas, podemos saber que  $144.000/13.560=10,619$  será la frecuencia con la que cada una de las cubiertas deban entrar a circuito, ya descontadas las de los puestos de control 0. Como se trata de frecuencia y no de período, sabemos que es inversamente proporcional, y las que hayan de pasar por el primer cargador serán  $10,619 \times 3/2=15,929$  cmn/cubierta, mientras que las que habrán de entrar al convoy 3 tendrán la frecuencia de  $10,619 \times 3/1=31,8584071$  cmn/cubierta.

Los cálculos se realizarán de igual manera para las distintas producciones, sin variar las que pasan por el puesto de control 0 pero sí variando las cubiertas totales, y por consiguiente, las que cargan tanto la línea 1 como la línea 3.

### Resumen:

Cada modelo dispone de cuatro entradas al circuito, a las que llegan las cubiertas desde las prensas, y entre las cuáles hay diferencias sustanciales. A la parte izquierda del taller, compuesta por los convoys 1 y 2, llegan las cubiertas procedentes de una línea de prensas por las que pasan aproximadamente dos tercios del total de cubiertas, mientras que a la parte derecha del taller llegan las procedentes de otra línea de prensas diferente, capaz de proporcionar un tercio de las cubiertas totales.

La mayor parte de las cubiertas serán cargadas al convoy 1 o 3 respectivamente, sin embargo, hay una pequeña cantidad de cubiertas que sufre antes de acceder a éste un proceso de verificación. Hay dos puestos que realizan este proceso y son los denominados puestos de control 0, cada uno de ellos capaz de absorber unas 720 cubiertas diarias, las cuáles no habrán de pasar posteriormente por los puestos de control 2, por lo que, si no han de pasar por el puesto de control 4 o el puesto de control 3, se dirigirán a paletizado directamente. Las cubiertas que no pasen por estos puestos y sean cargadas directamente a los convoys sí que deberán pasar al 100% por los puestos de control 2.



José Miguel Trigueros Rey



De todas las cubiertas que entren al circuito, un 65%, que incluye todas las cubiertas de tipo 1 y alguna de las cubiertas de tipo 2, deberá pasar por el puesto de control 1, y para que éste no presente errores debido a la elevada temperatura de las cubiertas procedentes de las prensas, habrán de acceder previamente a los almacenes y permanecer ahí un período de tiempo de 30 a 45 minutos para enfriar lo suficiente. El resto de las cubiertas de tipo 2 deberá dirigirse directamente a pasar por el puesto de control 2 si antes no han de pasar por los puestos de control 3 o 4.



## 6. ESTRUCTURA DEL MODELO (PUESTO DE CONTROL 1)

### 6.1- ALMACENES

En la **Figura 6.1**, **Figura 6.2** y **Figura 6.3** se pueden ver los almacenes que conforman el taller:

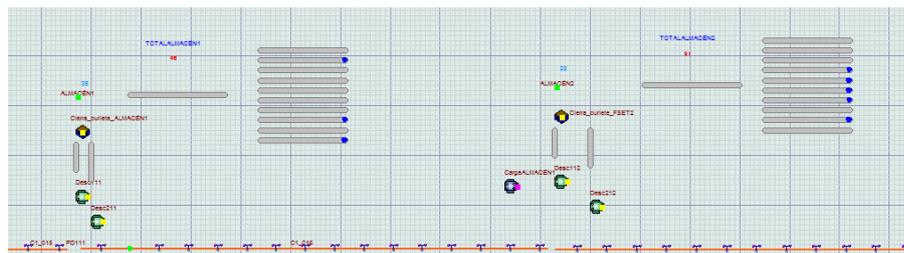


FIGURA 6.1 ALMACENES 1 Y 2

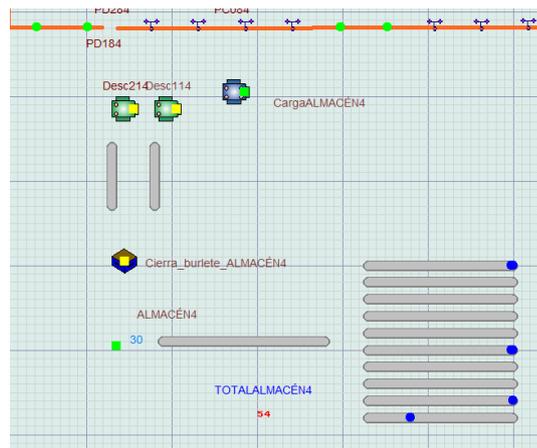


FIGURA 6.2 ALMACÉN 4

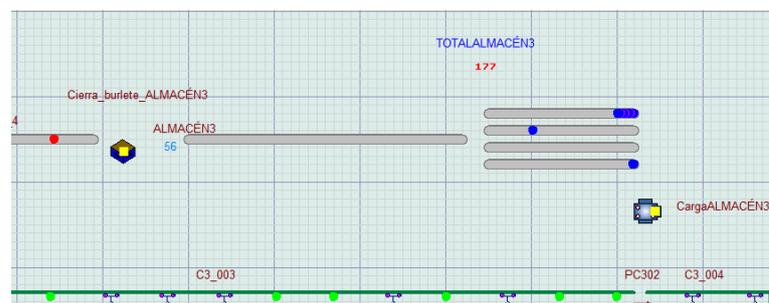


FIGURA 6.3 ALMACÉN 3

Como comentamos anteriormente, el 65% de las cubiertas procedentes de cocción deberán pasar por las máquinas del puesto de control 1 y, por consiguiente, previamente por los almacenes. Por esto mismo, todas aquellas que sean de tipo 1 deberán ir a éstos mientras que de las de tipo 2 irá un porcentaje.

De las cubiertas que no han de pasar por los almacenes, todas ellas de tipo 2, se puede ver que hay unas que son defectuosas, las cuales se desecharán, otras que se dirigirán al puesto de control 4, otras que irán al puesto de control 3 y el resto directamente al puesto de control 2 y posteriormente a paletizado, donde podrán ser identificadas como tipo 2 debido a su color rosa. Las cubiertas con origen en el puesto de control 0 y destino puesto de control 3 o 4 deben llevar un nombre diferente al resto, puesto que éstas ya han pasado por el puesto de control 0 y no habrán de pasar por el puesto de control 2.

Estos dos elementos de carga explicados anteriormente son irreales, ya que las cubiertas llegan desde el circuito de enfriamiento posterior a la cocción, pero sirven para generar el conjunto de cubiertas que van a pasar por todo el circuito.

Como se ha comentado anteriormente, al convoy 3 le alimenta otra serie de prensas con una capacidad inferior, el cual comparte rampa con el puesto de control 5. La programación de la entrada a este convoy está representada en la **Figura 6.4**. En el cargador no se establece el destino, sino que será más adelante, una vez llegue a la mesa de decisión, donde se establecerá qué cubiertas entrarán al almacén (65%) y cuáles lo harán al convoy 3 (35%).

Las cubiertas del puesto de control 5 ya poseen un destino definido y no se influye en éste. Al tener una capacidad inferior, obviamente, el tiempo de ciclo del cargador es mayor, puesto que carga cubiertas con menor asiduidad. Esta entrada también está complementada por otro puesto de control 0 con un funcionamiento similar al anteriormente comentado, con la pequeña diferencia de que el convoy 3 tiene únicamente un almacén en lugar de tres como tenía el convoy 1.

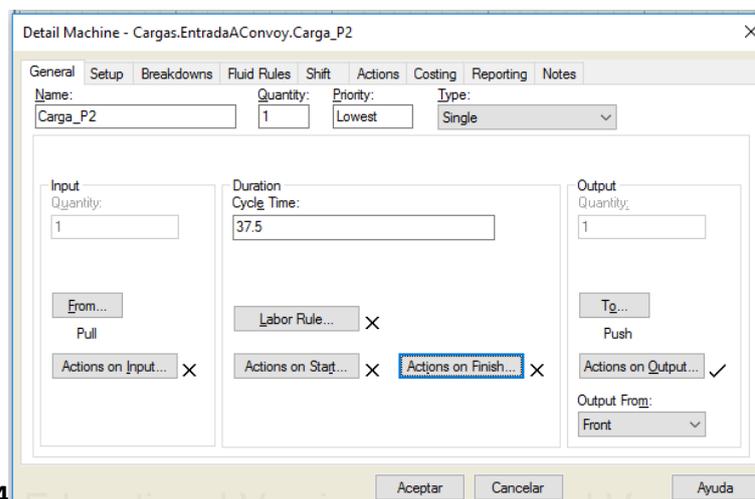


Figura 6.4

FIGURA 6.4 PROGRAMACIÓN DE LA ENTRADA AL CONVOY 3

Mediante la programación de la mesa de decisión representada en la figura 6.4, conseguiremos que un 65% de las cubiertas que acceden al circuito se dispongan a entrar al almacén, mientras que si se trata de cubiertas que provienen del puesto de control 5, seguirán su camino programado, o de cubiertas que tengan como destino los puestos de control 2, 3 o 4, accederán al convoy 3. A su vez, se asignará el color a la



cubierta en función de su carácter. Si son de primera tipo 1 serán azules y si son de tipo 2 serán rosas.

A continuación, se asignará el destino a cada una de las cubiertas. La programación del 65% que se dirige al almacén variará en función de si las cubiertas provienen del puesto de control 0 o del otro cargador. La programación de ambos tipos de cubiertas es prácticamente la misma, pero se diferencia en el nombre de las dimensiones porque hemos de recordar que las cubiertas que hayan pasado por el puesto de control 0 no tienen que pasar por el puesto de control 2, puesto que ya habrían pasado una verificación similar.

Todas aquellas cubiertas que provengan del puesto de control 0 tendrán que tener ese matiz en su nombre, ya que, aunque tengan que seguir el mismo camino que las cubiertas que han entrado directamente al circuito, deben estar correctamente identificadas para que posteriormente no accedan al puesto de control 2.

En los almacenes se asignará el puesto de la máquina del puesto de control 1 a la que deban acceder todas las cubiertas que allí se encuentren. Al estar situados en el convoy 3, las máquinas de dicho puesto de control a las que se dirigirán serán las situadas en éste, siendo estas las máquinas 10, 11, 12 y 13. Además, al entrar en el almacén, se le suma 1 a la variable que representa el número de cubiertas que se encuentran en este, puesto que tiene una capacidad limitada y no puede excederla:

$$\text{TOTALALMACÉN3} = \text{TOTALALMACÉN3} + 1$$

Las cubiertas que no han de pasar por el almacén, todas ellas de tipo 2, serán repartidas entre el puesto de control 4, con una probabilidad de un 5%, el puesto de control 3, con otro 5% y el puesto de control 2, donde irá un total de un 90% de las cubiertas de tipo 2 que no hayan de pasar por el puesto de control 1. A la salida del cargador también se establecerá que el número de ganchos ocupados del convoy 3 se incrementa en una unidad.

$$\begin{aligned} \text{Lógica.GanchosOcupadosConvoys.NUM_OCUPADOS_CONVOY3} &= \\ \text{Lógica.GanchosOcupadosConvoys.NUM_OCUPADOS_CONVOY3} &+ 1 \end{aligned}$$

A continuación, procederé a explicar la programación de los almacenes. En los descargadores previos al almacén 1 las sentencias serán las siguientes:

Las acciones a la entrada de dicho descargador son estas:

$$\begin{aligned} \text{Lógica.GanchosOcupadosConvoys.NUM_OCUPADOS_CONVOY1} &= \\ \text{Lógica.GanchosOcupadosConvoys.NUM_OCUPADOS_CONVOY1} &- 1 \end{aligned}$$

Para que así se registre que el convoy deja un gancho libre a la hora de descargar.

Las acciones al finalizar servirán para asignar el color a las cubiertas en función de su naturaleza, distinguiendo si son de tipo 1 o de tipo 2:

```

IF TYPE = DIMENSIONES.DIM_OE_ALMACÉN1 OR TYPE =
DIMENSIONES.DIM_ALMACÉN1_BPC_OE
PEN = 20
ELSEIF TYPE = DIMENSIONES.DIM_RT_ALMACÉN1 OR TYPE =
DIMENSIONES.DIM_ALMACÉN1_BPC_RT
PEN = 21
ENDIF

```

Ahora se explicará la programación de los almacenes en su totalidad, debido a que surgieron varios problemas a la hora de simularlo por las condiciones que sigue y su complejidad.

Cada almacén tiene una capacidad establecida y esta no se puede rebasar. Además, cuando una de las máquinas del puesto de control 1 caiga en un cambio de utillaje o un mantenimiento, se provocará que las cubiertas de los almacenes destinadas a estas máquinas deban esperar en los mismos hasta que éstas estén disponibles.

Esto supone un problema, ya que las cubiertas salen del almacén en función del orden de llegada, y si el destino no está disponible, se bloquearía la salida de todas las demás cubiertas. Por esto mismo, mi decisión fue crear una variable que represente la cantidad de cubiertas que caben en el almacén, además de programar una serie de cintas transportadoras a la salida de este, cada una con destino una máquina del puesto de control 1, y con la misma capacidad cada una de ellas, la del propio almacén entero.

La variable, además de incluir las cubiertas que se encuentren en el almacén, contará las cubiertas que estén en las rampas esperando que su máquina de destino quede liberada, consiguiendo así, que los cargadores al almacén no inserten más cubiertas cuando la suma de las situadas entre el almacén y las posteriores rampas superen la capacidad real del propio almacén. De este modo las restricciones a la entrada serán las siguientes:

```

IF TOTALALMACÉN1 < 1071
PUSH to ALMACÉN1
ELSE
Wait
ENDIF

```

Las acciones al finalizar la carga al almacén servirán para asignar el destino posterior a éste, en función de donde caiga el número aleatorio generado. Dependiendo del número de cubiertas que pueda soportar cada una de las máquinas del puesto de control 1, habrá alguna de ellas que tenga un mayor porcentaje. Por ejemplo, la máquina número tres, al tener una mayor capacidad, puesto que el tiempo de ciclo es algo menor, tendrá asignado un mayor porcentaje de las cubiertas destinadas a los almacenes.

A su vez, se produce una diferenciación entre las cubiertas provenientes del puesto de control 0, puesto que éstas no habrán de pasar por el puesto de control 2 posteriormente. Las acciones a la salida del cargador previo al almacén, harán que la



variable que contiene el número de cubiertas se incremente en una unidad, al igual que a la salida de las cintas transportadoras sucederá lo contrario.

$$\text{TOTALALMACÉN1} = \text{TOTALALMACÉN1} + 1$$

En el almacén se establecerá una condición de tiempo mínimo de espera de 20 minutos, como se puede ver en la **Figura 6.5**, para que las cubiertas se enfríen lo suficiente y el proceso realizado en las máquinas del puesto de control 1 no se vea afectado. Esto se puede observar en la figura 6.5, en la que pone 2.000 debido que todos los tiempos con los que trabajaremos se encontrarán expresados en centésimas de minuto.

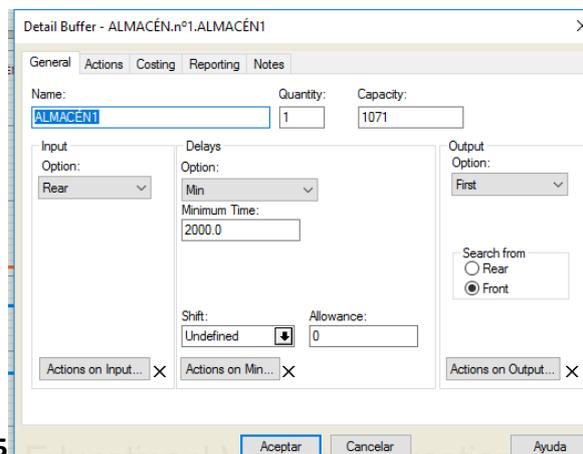


Figura 6.5

FIGURA 6.5 PROGRAMACIÓN DE UN ALMACÉN

Entonces, la cinta transportadora que manda cada cubierta a su respectiva rampa de espera tendrá la siguiente programación:

```
IF TYPE = DIMENSIONES.DIM_CONTROL1_1_OE OR TYPE =  
DIMENSIONES.DIM_CONTROL1_1_RT OR TYPE = DIMENSIONES.DIM_CONTROL1_1_BPC_RT OR  
TYPE = DIMENSIONES.DIM_CONTROL1_1_BPC_OE  
  PUSH to Rampa_Desc213 at Rear  
ENDIF
```

La programación que decide cuando una cubierta debe salir de su rampa o no, será la siguiente:

```
IF IState (Descargas.CONTROL1.Desc221) = 1 OR IState (Descargas.CONTROL1.Desc221) = 2  
  PUSH to Cargas.ALMACÉN.CargaALMACÉN1  
!  
ELSE  
  Wait  
ENDIF
```

Esta será la programación de cada una de las rampas, cada una de ellas asignada a una máquina del puesto de control 1, refiriéndose al descargador del convoy a la entrada de la cinta transportadora de cada una de ellas. Con esto conseguimos que las rampas manden las cubiertas en el caso de que los cargadores previos a las cintas

transportadoras de entrada a las máquinas estén disponibles u ocupados, pero nunca en el caso de que estén bloqueados, debido a que la rampa de entrada a la máquina ya se habría llenado. El comando IState permite hacer referencia en la programación a los iconos de la máquina que se desee, los cuales van cambiando de color en función del estado de dicha máquina, estando en 1(amarillo) cuando está disponible, y en 2(verde) cuando se encuentra ocupado.

En la **Figura 6.6** se puede ver el entramado completo de uno de los almacenes:

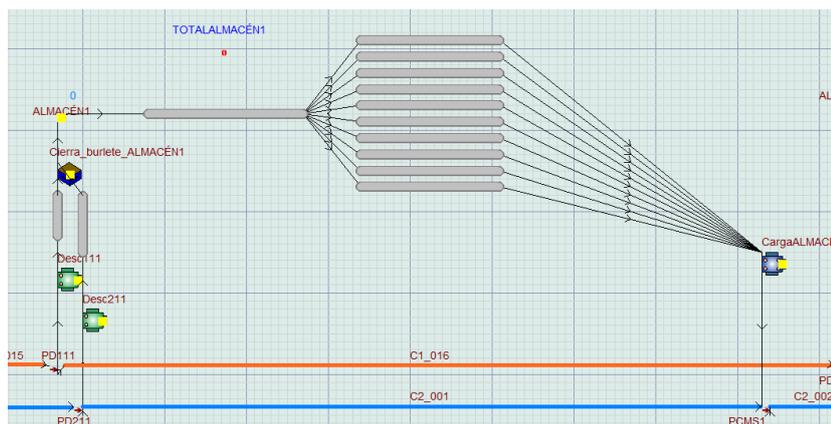


FIGURA 6.6 ENTRAMADO DE UN ALMACÉN

Este proceso se repetiría con cada uno de los 4 almacenes, teniendo en cuenta que las cubiertas que se cruzan entre los convoyes [1,2] y [3] serán las que vayan dirigidas a las máquinas de control número 3 y 12 para ofrecer estabilidad en caso de fallo de varias máquinas pertenecientes a un mismo convoy.

Las máquinas del puesto de control 1 tienen cada una su propio tiempo de ciclo, el cual puede coincidir con el de alguna de las otras o puede que no. En todo caso, la programación es muy similar en todas ellas, ya que realizan el mismo proceso. Por esto mismo procederé a explicar las sentencias de alguna de ellas.

Podemos ver que el descargador previo a la rampa de entrada a la máquina, al cual hemos hecho referencia en la programación llevada a cabo desde el almacén, es alimentado por una estación situada en el convoy 2, que decide cuáles son las cubiertas que deberán pasar a esta rampa y cuáles las que no. La programación para esto es la siguiente:

```

IF TYPE = DIMENSIONES.DIM_CONTROL1_1_OE OR TYPE =
DIMENSIONES.DIM_CONTROL1_1_RT OR TYPE = DIMENSIONES.DIM_CONTROL1_1_BPC_RT OR
TYPE = DIMENSIONES.DIM_CONTROL1_1_BPC_OE
  PUSH to Descargas.CONTROL1.Desc221
ELSE
  Wait
ENDIF

```

Todas aquellas cubiertas que tengan como destino la máquina número 1 del puesto de control 1 tendrán que ser descargadas en la rampa de entrada a esta, a no ser que



quede bloqueada, por lo cual habrían de dar otra vuelta por el convoy 2, que es a través del que acceden en la sección izquierda del taller, puesto que dicho convoy sirve de descarga para los almacenes. En el descargador, como acción a la entrada, habremos de incluir la siguiente sentencia para que el número de ganchos ocupados del convoy 2 se actualice:

```
Lógica.GanchosOcupadosConvoys.NUM_OCUPADOS_CONVOY2 =  
Lógica.GanchosOcupadosConvoys.NUM_OCUPADOS_CONVOY2 – 1
```

Después de los almacenes todas las cubiertas deberán pasar por el puesto de control 1, el cual será el proceso que se detalle a continuación.

### Resumen

Todas las cubiertas que pasen por los almacenes deberán esperar de 20 a 45 minutos y posteriormente salir hacia los convoys para acceder a las máquinas del puesto de control 1. La petición de cubiertas se realiza desde las propias máquinas del puesto de control 1, y se llevará a cabo cuando el cargador a la rampa previa a dichas máquinas se vea desbloqueado. Durante el tiempo que esté bloqueado, las cubiertas deberán esperar en el almacén.

## 6.2- PUESTO DE CONTROL 1

La mayoría de estas máquinas dispone de dos puestos diferenciados e independientes entre sí, como se puede ver en la **Figura 6.7**. Como consecuencia de esto, cada uno de estos puestos puede trabajar con una dimensión diferente al mismo tiempo.

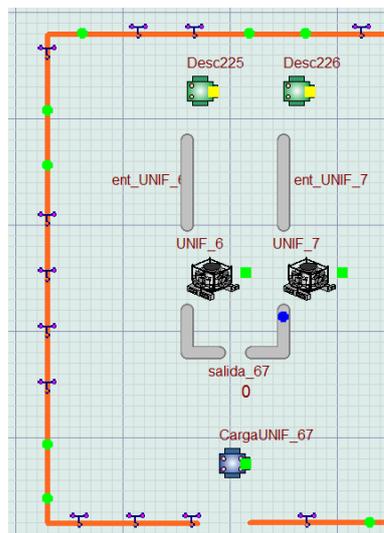


FIGURA 6.7 MÁQUINA DEL PUESTO DE CONTROL 1

Las acciones a la salida de la máquina serán las siguientes, siendo este uno de los códigos más complejos que tendrá el programa, debido a la multitud de destinos que puede haber:

Si se trata de una cubierta de color azul, o de tipo 1, podrá dirigirse a partir de las máquinas del puesto de control 1 hacia los puestos de control 2, 3, 4, 5, 6, o podrá ser desechada, como se puede ver en las siguientes tablas.

En la Tabla 6.1, Tabla 6.2, Tabla 6.3, Tabla 6.4, Tabla 6.5 y la Tabla 6.6 se representan los distintos destinos que puede adquirir una cubierta a partir de las máquinas del puesto de control 1 en función de su naturaleza.

Podemos ver que en las cubiertas de tipo 1, tanto las que provienen del puesto de control 0 como las que no, aparece un nuevo concepto denominado “Rejet de Tri”, el cual hace referencia a aquellas cubiertas que son de buena calidad, pero se ajustan más a las características de una cubierta de tipo 2 al pasar el puesto de control 1, por lo que se reclasifican. Este porcentaje ronda entorno al 15% del total de las cubiertas de tipo 1. Mediante la sentencia (PEN=21) también se conseguirá que se actualice el color de la cubierta y pase de azul a rosa.

Tipo 1		
Origen	Destino	Porcentaje
Puesto de control 1	Puesto 3	4,05%
	Puesto 4	4,05%
	Puesto 6	3,50%
	Puesto 2	72,96%
	Desecho	0,13%
	Puesto 5	0,30%
	Rejet de Tri	15,00%
	Total	100,00%

**TABLA 6.1** DISTRIBUCIÓN DE TIPO 1 DESDE LAS MÁQUINAS DEL PUESTO DE CONTROL 1

Rejet de Tri Tipo 1 --> Tipo 2	
Destino	Porcentaje
Puesto 3	4,80%
Puesto 4	4,80%
Puesto 2	86,46%
Puesto 6	3,50%
Puesto 5	0,30%
Desecho	0,13%
Total	100,00%

**TABLA 6.2** REJET DE TRI



Tipo 2		
Origen	Destino	Porcentaje
Puesto de control 1	Puesto 3	4,63%
	Puesto 4	4,63%
	Puesto 6	3,50%
	Puesto 2	83,39%
	Desecho	0,35%
	Puesto 5	3,50%
	Total	100,00%

**TABLA 6.3** DISTRIBUCIÓN DE TIPO 2 DESDE LAS MÁQUINAS DEL PUESTO DE CONTROL 1

Tipo 1 (Puesto de control 0)		
Origen	Destino	Porcentaje
Puesto de control 1	Puesto 3	4,05%
	Puesto 4	4,05%
	Puesto 6	3,50%
	Paletizado	72,96%
	Desecho	0,13%
	Puesto 5	0,30%
	Rejet de Tri	15,00%
	Total	100,00%

**TABLA 6.4** DISTRIBUCIÓN DE TIPO 1 (PUESTO DE CONTROL 0) DESDE LAS MÁQUINAS DEL PUESTO 1

Rejet de Tri (Puesto 0) Tipo 1 --> Tipo 2	
Destino	Porcentaje
Puesto 3	4,80%
Puesto 4	4,80%
Paletizado	86,46%
Puesto 6	3,50%
Puesto 5	0,30%
Desecho	0,13%
Total	100,00%

**TABLA 6.5** REJET DE TRI (PUESTO DE CONTROL 0)

Tipo 2 (Puesto de control 0)		
Origen	Destino	Porcentaje
Puesto de control 1	Puesto 3	4,63%
	Puesto 4	4,63%
	Puesto 6	3,50%
	Paletizado	83,39%
	Desecho	0,35%
	Puesto 5	3,50%
	Total	100,00%

**TABLA 6.6** DISTRIBUCIÓN DE TIPO 2 (PUESTO DE CONTROL 0) DESDE LAS MÁQUINAS DEL PUESTO 1

También se puede apreciar que las cubiertas pueden tener varios tipos de defectos, en función de los cuales se variará el destino. Existe un defecto denominado Retoque 7, otro denominado Retoque 8 y otro resultado de la combinación de ambos. Sólo haremos distinción de aquellas cubiertas que presenten únicamente Retoque 7 con respecto a aquellas cubiertas que presenten Retoque 8 o la combinación de ambos, puesto que en estos dos últimos casos el proceso que seguirá será el mismo.

La única diferencia es que si sólo presenta Retoque 7 deberá ir al puesto de control 6 por convoy, mientras que si representa Retoque 8 o Retoque 7 + Retoque 8 deberá ir por contenedor. Los contenedores utilizarán un operario de transporte para llevar las cubiertas a su destino, representados en este caso con el icono de un carrito.

De esta misma forma, las cubiertas que deban ir al puesto de control 5 lo harán a su vez por contenedor y las que se hayan clasificado como H o defectuosas se desecharán, quedando la salida de la máquina de la siguiente forma:

```
IF TYPE = DIMENSIONES.DIM_RECTI_CONTENEDOR
  PUSH to Máquinas.Contenedores.Contenedor_RECTI_12
ELSEIF TYPE = DIMENSIONES.DIM_REPAR
  PUSH to Máquinas.Contenedores.Contenedor_Reparacion_12
ELSEIF TYPE = DIMENSIONES.DIM_H
  PUSH to SCRAP
ELSE
  Wait
ENDIF
```

Se puede contemplar como la gran mayoría de las cubiertas estarán destinadas a las máquinas del puesto de control 2. Esta verificación no se la puede saltar ninguna cubierta a no ser que ya lo haya experimentado al pasar por un puesto de control 0, por lo que la principal diferencia entre las cubiertas que pasan por el puesto de control 1 será que las que no provengan del puesto de control 0 deberán pasar por el puesto de control 2 mientras que las que sí que provengan serán dirigidas por los bypasses hacia los almacenes del convoy 4 (o 4 y 5, dependiendo del modelo) para su posterior paletizado.

Entre las averías en las que puede caer una máquina del puesto de control 1 deberemos incluir todos los mantenimientos, además de los cambios de utillaje, durante los que la máquina no estará disponible y harán que se bloquee la rampa de entrada para que así los almacenes dejen de enviarla cubiertas. Todas las averías y mantenimientos están representados en la **Figura 6.8**.

Detail Machine - Máquinas.UNIF.UNIF\_1

General Setup Breakdowns Fluid Rules Shift Actions Costing Reporting Notes

Description	Check Only At Start Of Cycle	Breakdown Mode			Breakdown Duration			Output			Options	
		Mode	No. of Operations	Time Between Failures	Actions on Down	Labor Rule	Repair Time	Actions on Repair	To	Actions on Output	Setup on Repair	% Life Used
1 Metrología	<input checked="" type="checkbox"/>	Available		NegExp (432)	N	Y	8500.0	N	N	N	<input type="checkbox"/>	Undefined
2 Diarios	<input checked="" type="checkbox"/>	Available		NegExp (288)	N	Y	3000.0	N	N	N	<input type="checkbox"/>	Undefined
3 Mensuales	<input checked="" type="checkbox"/>	Available		NegExp (432)	N	Y	18000.0	N	N	N	<input type="checkbox"/>	Undefined
4 Seguridad	<input checked="" type="checkbox"/>	Available		NegExp (446)	N	Y	6000.0	N	N	N	<input type="checkbox"/>	Undefined
5 Disponibida	<input checked="" type="checkbox"/>	Available		NegExp (182)	N	Y	8 * 60 * 100	N	N	N	<input type="checkbox"/>	Undefined
6 Disponibida	<input checked="" type="checkbox"/>	Available		NegExp (62 *)	N	Y	3 * 60 * 100	N	N	N	<input type="checkbox"/>	Undefined
7 Calidad	<input checked="" type="checkbox"/>	Available		NegExp (14 *)	N	Y	60 * 100 * 30	N	N	N	<input type="checkbox"/>	Undefined
8 Avería	<input checked="" type="checkbox"/>	Available		NegExp (332)	N	Y	131 102071	N	N	N	<input type="checkbox"/>	Undefined
9 Avería ramp	<input checked="" type="checkbox"/>	Available		NegExp (115)	N	Y	1822 222222	N	N	N	<input type="checkbox"/>	Undefined
10 Cambio dime	<input checked="" type="checkbox"/>	Available		NegExp (194)	N	Y	1500.0	N	N	N	<input type="checkbox"/>	Undefined
11 Cambio dime	<input checked="" type="checkbox"/>	Available		NegExp (176)	N	Y	9000.0	N	N	N	<input type="checkbox"/>	Undefined

Breakdown Factors

Breakdowns Enabled Breakdown Interval: Undefined Breakdown Duration: Undefined

Acceptar Cancelar Ayuda

FIGURA 6.8 AVERÍAS, MANTENIMIENTOS Y CAMBIOS DE UTILLAJE DE CADA UNA DE LAS MÁQUINAS DEL PUESTO DE CONTROL 1

Estos cambios de utillaje deberán utilizar un recurso, los operarios aquí destinados, ya que no son ilimitados y en total hay 3 por turno, y dependerá de la disponibilidad de éstos que se pueda llevar a cabo o no, mientras que los mantenimientos ocuparán un recurso denominado operario de mantenimiento.

En la **Figura 6.9** se puede ver cómo le ha caído un cambio de utillaje a la máquina de control 1 número 2, que se corresponde con el puesto dos de la primera máquina, aquel en el que el icono de disponibilidad está en rojo, lo cual significa que está “averiada”.

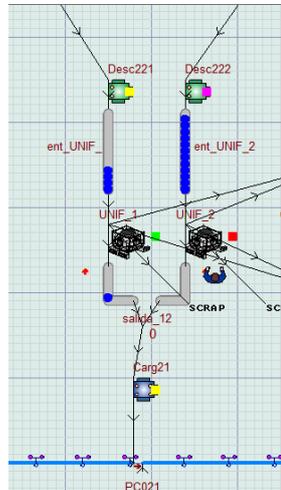


FIGURA 6.9 MÁQUINA DEL PUESTO DE CONTROL 1 EN LA QUE HA CAÍDO UN CAMBIO DE UTILLAJE

Esto provocará, al haberse llenado la rampa de entrada a la máquina, que todas las cubiertas aquí destinadas desde cada uno de los almacenes hayan de esperar allí hasta que el cargador a la rampa de entrada se vea liberado y, por consiguiente, el cambio de utillaje haya terminado. Como hemos dicho anteriormente, provocará el siguiente efecto, representado en la **Figura 6.10**:

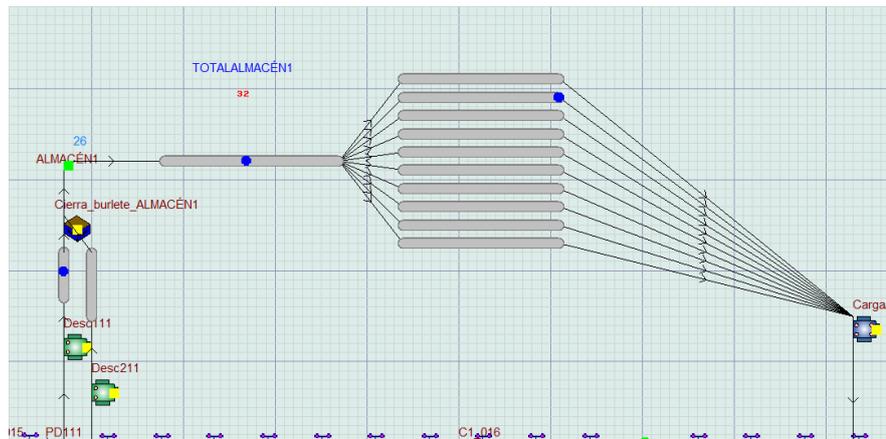


FIGURA 6.10 ESPERA DE LAS CUBIERTAS EN EL ALMACÉN DEBIDO AL CAMBIO DE UTILLAJE DE LA MÁQUINA DEL PUESTO DE CONTROL 1 A LA QUE ESTÁ ASOCIADO

En la figura 6.10 se puede ver cómo la rampa de los almacenes destinado a la máquina de control 1 número 2, la segunda en este caso, empieza a acumular cubiertas al final de la misma hasta que el cargador de la máquina de control 1 número 2 se desbloquea y así poder liberarlas.

Se trata de un factor crítico a programar, ya que varias máquinas pueden caer en un cambio de utillaje al mismo tiempo, y puede que esto pase en más de tres máquinas a la vez, siendo tres los operarios que se encarguen de las operaciones antes mencionadas. Esto podría provocar que los almacenes se saturen, ya que es muy probable que se llenen las rampas de entrada a las máquinas, haciendo que las cubiertas de la dimensión pedidas por cada una de ellas tengan que esperar a que los operarios terminen su trabajo en la máquina para poder partir hacia éstas a través del convoy.

Cuando dos o más de estas máquinas son arrancadas nuevamente al mismo tiempo o en instantes muy sucesivos puede provocar una saturación en el convoy, ya que las cubiertas que se encuentran esperando en los almacenes procederán a salir de éstos al terminar tanto los cambios de utillaje como los mantenimientos, que son realizados por otros operarios diferentes. Es de vital importancia fijarse bien en esto porque como se acaba de explicar, influye tanto en la saturación de los almacenes como en la de los convoys.

En la **Figura 6.11** se puede ver cómo se ha producido un cambio de utillaje en tres máquinas del puesto de control 1 al mismo tiempo y, mientras que la cinta transportadora de entrada a la máquina del medio se ha llenado, las de entrada a las otras dos no.

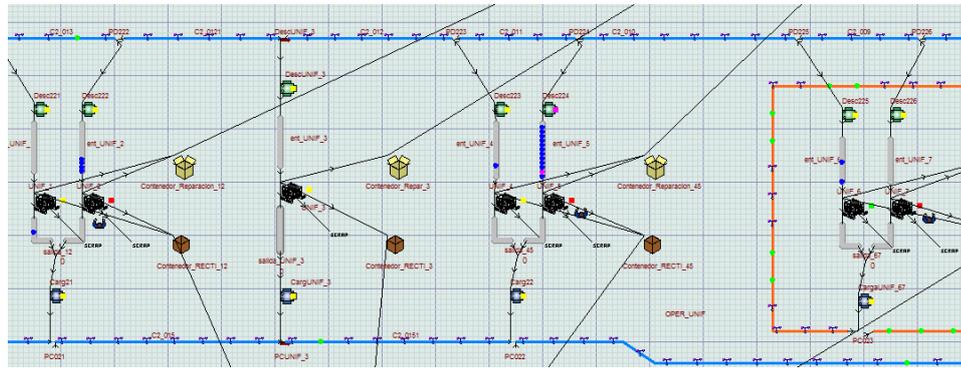


FIGURA 6.11 COINCIDENCIA DE VARIOS CAMBIOS DE UTILLAJE

Esto en principio no supondrá un problema ya que sólo permanecerán en los almacenes las cubiertas destinadas a la máquina del medio (la del cargador bloqueado).

Sin embargo, también se puede producir que la rampa de entrada se vea saturada en varias máquinas, lo cual provoca lo representado en la **Figura 6.12**:

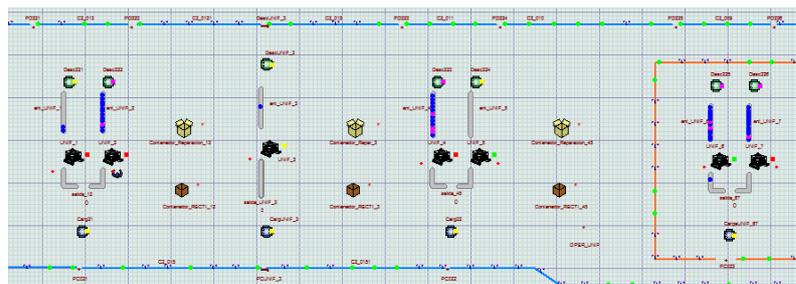


FIGURA 6.12 COINCIDENCIA DE CAMBIOS DE UTILLAJE EN VARIAS MÁQUINAS

En este caso sí que se puede producir una saturación en los almacenes, en los que por lo menos cuatro rampas, cada una destinada a una de las máquinas que han caído en mantenimiento, estarán esperando para poder evacuar sus cubiertas, de la forma representada en la **Figura 6.13**:

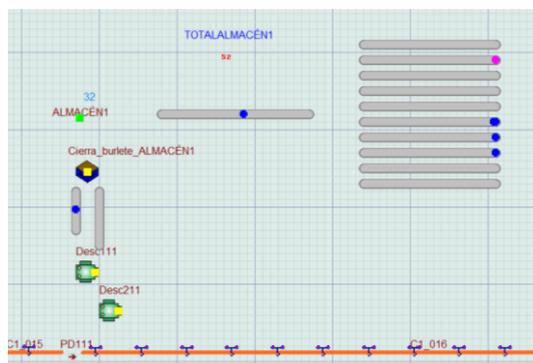


FIGURA 6.13 ESPERA DE LAS CUBIERTAS EN LOS ALMACENES CUANDO HAY VARIAS MÁQUINAS DEL PUESTO DE CONTROL 1 QUE HAN CAÍDO EN UN CAMBIO DE UTILLAJE

Sin embargo, la capacidad de estos almacenes se ha establecido pensando en esta posible clase de problemas, y como se puede ver en el almacén representado en la figura 6.7, únicamente hay 52 cubiertas del total de 1.071 que podría albergar.

Esto no es una razón para descuidar la programación de los almacenes, ni mucho menos. Con estos modelos planteados también se podrá saber la cantidad de cubiertas que ha albergado el almacén en promedio, la cantidad máxima, el tiempo de espera máximo y el tiempo de espera mínimo de todas las cubiertas que pasen por aquí, pudiendo así realizar un seguimiento detallado del comportamiento de los almacenes.

## **Resumen**

Las cubiertas que aquí llegan pueden ser tanto de tipo 1 como de tipo 2, y serán sometidas a las operaciones ejercidas por el puesto de control 1. Hay varias posibilidades:

Si son de tipo 1 puede ser que la supere, en tal caso su destino sería principalmente el puesto de control 2, pudiendo pasar antes por los puestos de control 3 o 4; que no la supere, teniendo que ser desechada; que presente algún error reparable, los cuales son Retoque 7, Retoque 8 o Retoque 7 + Retoque 8 (si presenta Retoque 7, deberá ir al puesto de control 6 por convoy, mientras que si presenta Retoque 8 o Retoque 7 + Retoque 8 deberá ir a la misma máquina por contenedor); que deba ir al puesto de control 5 o que presente Rejet de Tri. Esto quiere decir que la cubierta de tipo 1 ha sido reclasificada como cubierta de tipo 2, y a partir de aquí deberá seguir el mismo camino que las cubiertas de tipo 2.

Si son de tipo 2 puede ser que se clasifiquen como buenas, entonces el destino sería el puesto de control 2, pudiendo pasar antes por el puesto de control 3 o 4, puede que presenten algún defecto de los comentados anteriormente, en cuyo caso deberán ir al puesto de control 6, ya sea por convoy o por contenedor, o puede que sean desechadas directamente si el problema que presentan es irreparable.

Si se trata de cubiertas que provienen del puesto de control 0, tanto si son de tipo 1 como si se trata de cubiertas de tipo 2, tendrán la misma programación que las que no provienen de este con la única diferencia de que en vez de ir al puesto de control 2 deberían ir a paletizado directamente, mediante los consiguientes bypasses que puentean el puesto de control 2.

## 7. ESTRUCTURA DEL MODELO (PROCESOS POSTERIORES)

### 7.1- PUESTO DE CONTROL 2

Hay dos tipos, las situadas en la parte izquierda del taller, y las situadas a la derecha en el convoy 3. Las del convoy 3 son más eficientes y tienen un menor tiempo de ciclo. Éstas tienen 4 puestos de trabajo mientras que las situadas a la izquierda tienen 6. Ambas están representadas en la **Figura 7.1** y **Figura 7.2**.

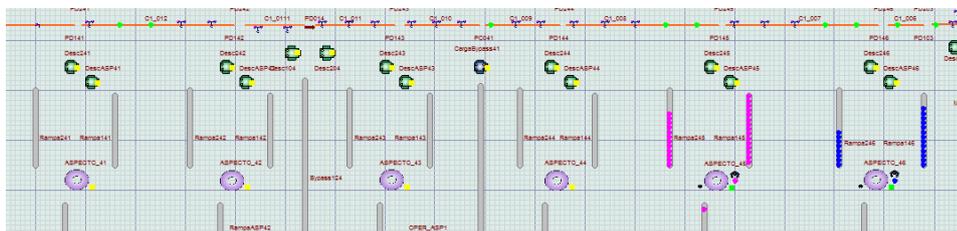


FIGURA 7.1 MÁQUINAS DEL PUESTO DE CONTROL 2 DE LOS CONVOYS 1 Y 2

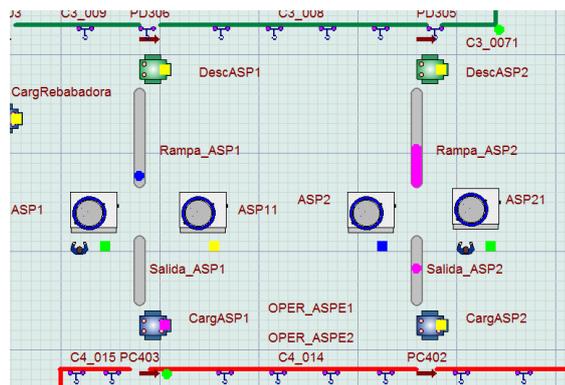


FIGURA 7.2 MÁQUINAS DEL PUESTO DE CONTROL 2 DEL CONVOY 3

En cada uno de los cargadores a los puestos de las máquinas se produce una distinción, mediante la cual hay tres puestos que procesan las cubiertas de tipo 1 y tres puestos que procesan las de tipo 2, suponiendo esto una gran facilidad para el operario, ahorrando así los tiempos perdidos para su identificación. En cualquier caso, los destinos de las cubiertas que acceden a dichos puestos serán los representados en la **Tabla 7.1** y **Tabla 7.2**, dependiendo de que se trate de una máquina que procese cubiertas de tipo 1 o de tipo 2:

Tipo 1		
Origen	Destino	Porcentaje
Puesto de control 2	Desecho	0,01%
	Puesto 5	0,30%
	Puesto 3	0,13%
	Paletizado	99,56%
	Total	100,00%

TABLA 7.1 DISTRIBUCIÓN DE TIPO 1 DESDE LAS MÁQUINAS DEL PUESTO DE CONTROL 2

Tipo 2		
Origen	Destino	Porcentaje
Puesto de control 2	Desecho	1,20%
	Puesto 5	0,30%
	Puesto 3	0,13%
	Paletizado	98,37%
	Total	100,00%

TABLA 7.2 DISTRIBUCIÓN DE TIPO 2 DESDE LAS MÁQUINAS DEL PUESTO DE CONTROL 2

Siendo los posibles destinos los puestos de control 3, 5 o directamente paletizado, donde las cubiertas se distribuirán entre los cuatro almacenes destinados al mismo. También es posible que los operarios se topen con alguna cubierta que haya de ser desechada.

Estas máquinas, tanto las de los convoys 1 y 2 como las del convoy 3, utilizarán como recurso a los operarios del puesto de control 2. Se puede contemplar como se han creado los turnos de cada uno de los operarios para que no coincida que estas máquinas se queden sin recursos. De esta manera, los operarios realizan los descansos en grupos de 3, 2 y 3, tanto fumaderos como bocadillos, de manera secuencial, consiguiendo así que en ningún momento haya un grupo de máquinas sin ningún trabajador.

En la **Figura 7.3** se podrá observar la problemática que surge después de producirse una reunión o briefing y tener a todos los operarios del puesto de control 2 parados durante ese tiempo:

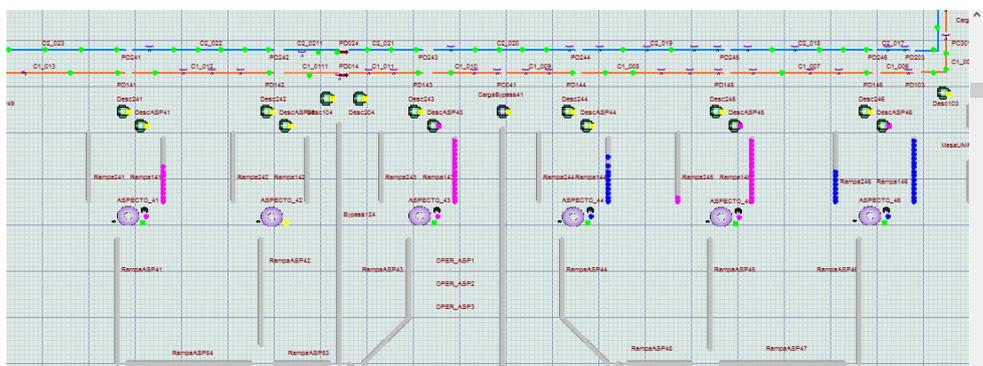


FIGURA 7.3 ACUMULACIÓN DE CUBIERTAS A LA ENTRADA DEL PUESTO DE CONTROL 2 DE LOS CONVOYS 1

Las rampas de entrada a las máquinas del puesto de control 2 se van llenando progresivamente, haciendo distinción entre las cubiertas de tipo 1 y las de tipo 2, y esto hace que si las dos máquinas situadas más a la izquierda de la foto se llenan (esto sería debido a que las de la derecha ya se han llenado), se estaría limitando al convoy a la hora de descargar, y las cubiertas en éste destinadas a las máquinas del puesto de control 2 habrían de dar otra vuelta entera al circuito para acceder a dichas máquinas.

En la **Figura 7.4** podremos contemplar cómo la salida del puesto de control 2 tiene un entramado muy complejo y bastante detallado debido a la problemática que provocaba a la hora de evacuar las cubiertas con los convoys 4 y 5 unidos:

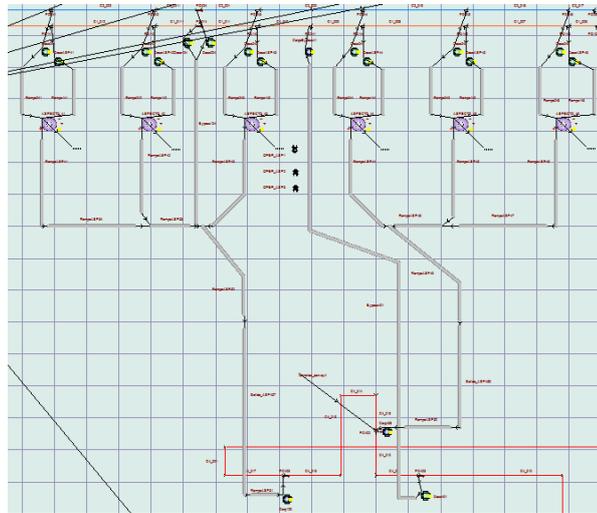


FIGURA 7.4 ENTRAMADO A LA SALIDA DEL PUESTO DE CONTROL 2 DE LOS CONVOYS 1 Y 2

En los modelos realizados se harán cuatro simulaciones de cada uno, siendo la diferencia principal la producción diaria y el número de operarios destinados al puesto de control 2, variando este número entre 7 y 8.

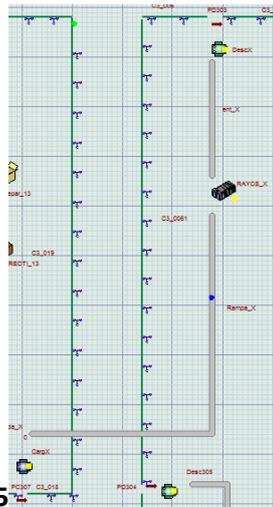
### Resumen

Por las máquinas del puesto de control 2 deberá pasar el 100% de las cubiertas, excepto las que ya han recibido la oportuna verificación al pasar por los puestos de control 0. Este puesto 2 es el que más operarios tienen destinados del taller. En ellos puede ser que las cubiertas se clasifiquen como buenas, en cuyo caso deberán ir directamente hacia paletizado, puede que hayan de ser desechadas o puede que deban ir a los puestos de control 3 o 5, en cuyo paso deberán hacer uso de los bypasses para ello destinados, siendo éstos los que comunican el convoy 4 con el 1 (puestos de control 3 y 5) y el 1 con el 3 (puesto de control 3).

## 7.2- Máquinas intermedias

### 7.2.1- PUESTO DE CONTROL 3

A esta máquina, representada en la **Figura 7.5**, solamente habrá de llegar un pequeño porcentaje del total de cubiertas, una muestra de cada dimensión para verificar que dichas cubiertas se adaptan a los estándares de calidad establecidos, y los destinos programados serán los descritos en la **Tabla 7.3**, **Tabla 7.4** y **Tabla 7.5**.



**Figura 7.5**

FIGURA 7.5 PUESTO DE CONTROL 3

Tipo 1		
Origen	Destino	Porcentaje
Puesto de control 3	Desecho	0,32%
	Puesto 4	1,01%
	Puesto 2	98,67%
	Total	100,00%

TABLA 7.3 DISTRIBUCIÓN DE TIPO 1 A PARTIR DEL PUESTO DE CONTROL 3

Tipo 2		
Origen	Destino	Porcentaje
Puesto de control 3	Desecho	0,32%
	Puesto 4	1,01%
	Puesto 2	98,67%
	Total	100,00%

TABLA 7.4 DISTRIBUCIÓN DE TIPO 2 A PARTIR DEL PUESTO DE CONTROL 3

Puesto de control 0		
Origen	Destino	Porcentaje
Puesto de control 3	Paletizado	100,00%
Total		100,00%



TABLA 7.5 DISTRIBUCIÓN DEL PUESTO DE CONTROL 0 A PARTIR DEL PUESTO DE CONTROL 3

El destino de estas cubiertas tras la revisión será mayoritariamente el puesto de control 2, exceptuando aquellas que se consideren defectuosas, las que deberán pasar por el puesto de control 4 para eliminar los pelets y aquellas que provengan del puesto de control 0, que se dirigirán directamente a paletizado.

Esta máquina también tiene una serie de averías programadas, las cuales están representadas en la **Figura 7.6**. En este caso se trata de mantenimientos programados o preventivos por seguridad y disponibilidad, así como mantenimientos correctivos debidos a averías en la misma máquina. Todos ellos serán llevados a cabo por los operarios de mantenimiento del taller.

	Description	Check Only At Start Of Cycle	Breakdown Mode			Breakdown Duration			Output		Options		
			Mode	No. of Operations	Time Between Failures	Actions on Down	Labor Rule	Repair Time	Actions on Repair	To	Actions on Output	Setup on Repair	% Life Used
1	Seguridad	<input checked="" type="checkbox"/>	Available		NegExp (262)	N	Y	1231850.0	N	N	N	<input type="checkbox"/>	Undefined
2	Disponibilidad	<input checked="" type="checkbox"/>	Available		NegExp (750)	N	Y	21614.3	N	N	N	<input type="checkbox"/>	Undefined
3	Avería	<input checked="" type="checkbox"/>	Available		NegExp (215)	N	Y	1375.0	N	N	N	<input type="checkbox"/>	Undefined

FIGURA 7.6 AVERÍAS Y MANTENIMIENTOS DE LA MÁQUINA DEL PUESTO DE CONTROL 3

### 7.2.2- PUESTO DE CONTROL 4

A esta máquina, representada en la **Figura 7.7**, estarán dirigidas todas aquellas cubiertas que requieran una eliminación de pelets debido a un convenio con el fabricante o porque así lo requieren los suministradores de tipo 2. Los destinos a partir de dicha máquina serán descritos en la **Tabla 7.6**, la **Tabla 7.7** y la **Tabla 7.8**.

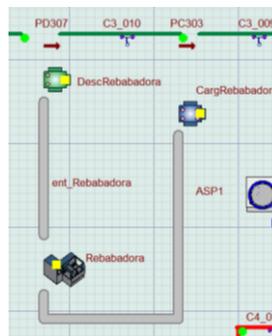


FIGURA 7.7 PUESTO DE CONTROL 4

Tipo 1		
Origen	Destino	Porcentaje
Puesto de control 4	Desecho	5,82%
	Puesto 2	85,40%
	Paletizado	8,78%
	Total	100,00%

TABLA 7.6 DISTRIBUCIÓN DE TIPO 1 DESDE EL PUESTO DE CONTROL 4

Tipo 2		
Origen	Destino	Porcentaje
Puesto de control 4	Desecho	5,82%
	Puesto 2	85,40%
	Paletizado	8,78%
	Total	100,00%

TABLA 7.7 DISTRIBUCIÓN DE TIPO 2 DESDE EL PUESTO DE CONTROL 4

Puesto de control 0		
Origen	Destino	Porcentaje
Puesto de control 4	Paletizado	100,00%
	Total	100,00%

TABLA 7.8 DISTRIBUCIÓN DEL PUESTO DE CONTROL 0 DESDE EL PUESTO DE CONTROL 4

Algunas cubiertas serán desechadas a partir de esta máquina y otras se dirigirán tanto al puesto de control 2 como a los almacenes en función de su programación.

Esta máquina también tiene programados dos mantenimientos preventivos, prácticamente equiespaciados en el tiempo, pese a tener alguna desviación, y un mantenimiento correctivo debido a averías en la propia máquina, como se puede ver en la **Figura 7.8**. Estos mantenimientos también habrán de ser llevados a cabo por los operarios de mantenimiento del taller.

	Description	Check Only At Start Of Cycle	Breakdown Mode			Breakdown Duration				Output		Options	
			Mode	No. of Operations	Time Between Failures	Actions on Down	Labor Rule	Repair Time	Actions on Repair	To	Actions on Output	Setup on Repair	% Life Used
1	Seguridad	<input checked="" type="checkbox"/>	Available		NegExp (525)	N	Y	1095000.0	N	N	N	<input type="checkbox"/>	Undefined
2	Disponibilidad	<input checked="" type="checkbox"/>	Available		NegExp (657)	N	Y	18325.0	N	N	N	<input type="checkbox"/>	Undefined
3	Avería	<input checked="" type="checkbox"/>	Available		NegExp (622)	N	Y	526.0770975	N	N	N	<input type="checkbox"/>	Undefined

FIGURA 7.8 AVERÍAS Y MANTENIMIENTOS DEL PUESTO DE CONTROL 4

### 7.2.3- PUESTO DE CONTROL 5

El puesto de control 5, representado en la **Figura 7.9**, estará compuesta por una cola de espera de 2 horas y una máquina que asignará el nuevo destino, siendo este uno de los cuatro almacenes de paletizado, como se puede ver en la **Tabla 7.9** y la **Tabla 7.10**.

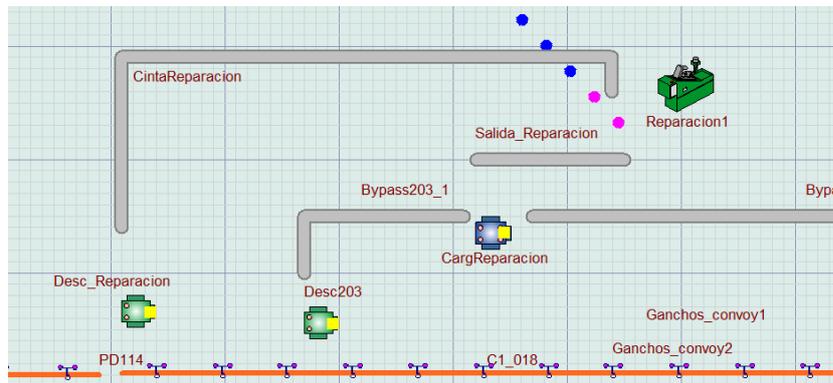


FIGURA 7.9 PUESTO DE CONTROL 5

Tipo 1		
Origen	Destino	Porcentaje
Puesto de control 5	Desecho	0,005%
	Paletizado	99,995%
	Total	100,00%

TABLA 7.9 DISTRIBUCIÓN DE TIPO 1 A PARTIR DEL PUESTO DE CONTROL 5

Tipo 2		
Origen	Destino	Porcentaje
Puesto de control 5	Desecho	0,005%
	Paletizado	99,995%
	Total	100,00%

TABLA 7.10 DISTRIBUCIÓN DE TIPO 2 A PARTIR DEL PUESTO DE CONTROL 5

También existirá un porcentaje de cubiertas defectuosas que habrá que desechar debido a que la operación llevada a cabo en el puesto de control 5 no ha sido posible.

Esta máquina no habrá de tener averías, puesto que el trabajo que se hace en ella es completamente manual, y siempre habrá por lo menos un operario disponible para trabajar en dicho puesto.

#### 7.2.4- PUESTO DE CONTROL 6

A esta máquina, la cual podemos observar en la **Figura 7.10**, habrán de ir todas aquellas cubiertas que presenten un problema de Retoque 7, Retoque 8 O Retoque 7 + Retoque 8. Estas pueden llegar aquí por medio de los convoys, en el caso de ser Retoque 7, o pueden llegar por contenedor, si son Retoque 8 o Retoque 7 + Retoque 8, gracias a la ayuda de los operarios de transporte, y una vez sean procesadas deberán ir directamente a paletizado por contenedor.

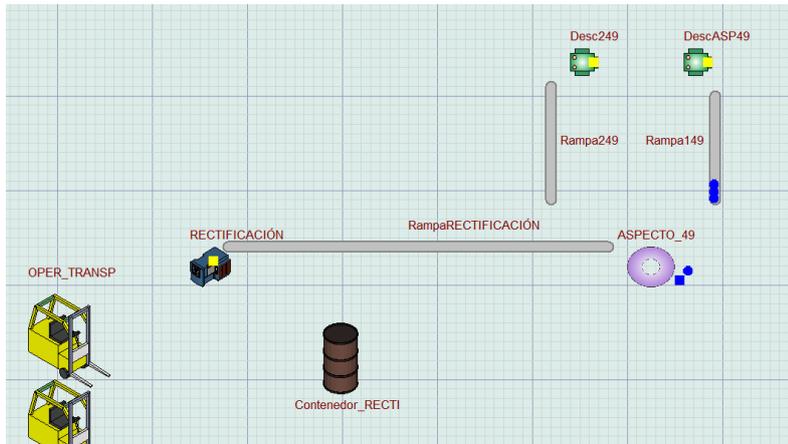


FIGURA 7.10 PUESTO DE CONTROL 6

Las cubiertas que presenten Retoque 7 deberán acceder a esta máquina tras pasar por una de las máquinas de los puestos de control similar al resto de ellas, que se encuentran en el taller para así no tener que acceder posteriormente al puesto de control 2 por el que tendrían que pasar.

Esta máquina también tendrá una serie de averías espaciadas en el tiempo, representadas en la **Figura 7.11**, durante las que deberá ser reparada y consumir de esta forma un recurso de mantenimiento:

	Description	Check Only At Start Of Cycle	Breakdown Mode			Breakdown Duration				Output		Options		
			Mode	No. of Operations	Time Between Failures	Actions on Down	Labor Rule	Repair Time	Actions on Repair	To	Actions on Output	Setup on Repair	% Life Used	
1	Nueva Averí	<input checked="" type="checkbox"/>	Available		NegExp (144000)	N	Y	500.0	N	N	N	N	<input type="checkbox"/>	Undefined

FIGURA 7.11 AVERÍAS Y MANTENIMIENTOS DEL PUESTO DE CONTROL 6

Una vez procesadas todas las cubiertas tendrán como destino paletizado, e irán por contenedor, gracias a la ayuda de uno de los operarios de transporte representados en la **Figura 7.10**.

### 7.3- PALETIZADO

El único objetivo de las cubiertas que lleguen al convoy 4 (o 4 y 5, dependiendo del modelo), será la llegada a los almacenes de paletizado, que son aquellos desde los que los robots KUKA sustraen las cubiertas y que así puedan llegar a paletizado para su posterior comercialización. Se pueden ver todos aquellos elementos que componen el paletizado en la **Figura 7.12**.

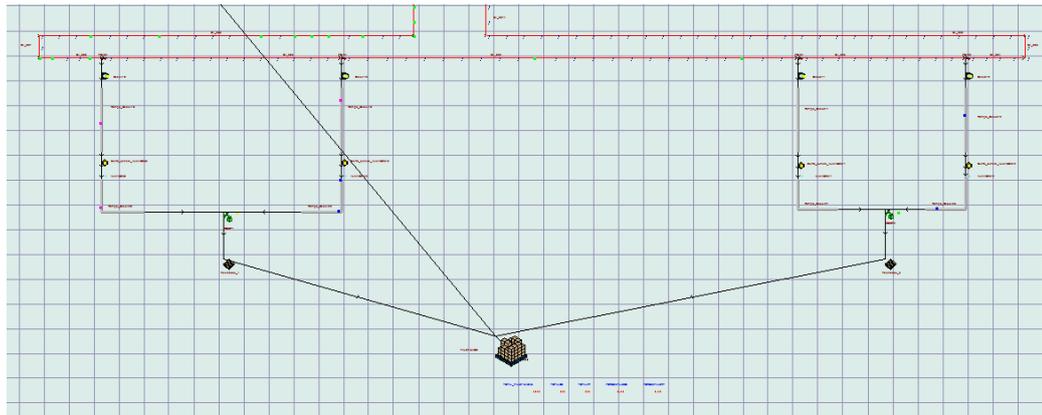


FIGURA 7.12 PALETIZADO

Cada vez que una cubierta llegue a paletizado sucederá lo siguiente:

```
Lógica.TOTAL_PALETIZADAS = Lógica.TOTAL_PALETIZADAS + 1
IF PEN = 20
TOTALOE = TOTALOE + 1
ELSEIF PEN = 21
TOTALRT = TOTALRT + 1
ENDIF
PORCENTAJEOE = TOTALOE / Lógica.TOTAL_PALETIZADAS
PORCENTAJERT = TOTALRT / Lógica.TOTAL_PALETIZADAS
```

Mediante estos comandos se consigue que la variable que almacena el número de cubiertas paletizadas se actualice y también quede registrado el carácter de los neumáticos en función del color que tienen como tipo 1 o tipo 2, para así poder hacer un seguimiento continuado en el taller del porcentaje de cada uno de estos.

Los dos robots destinados a paletizado también tendrán programadas una serie de averías representadas en la **Figura 7.13**, durante las cuáles no estarán disponibles. Deberá haber un operario que haga un seguimiento continuado del paletizado de estos robots, y éstos no estarán disponibles durante el tiempo que el operario no esté disponible, como en el caso de los fumaderos.

	Description	Check Only At Start Of Cycle	Breakdown Mode			Breakdown Duration			Output		Options		
			Mode	No. of Operations	Time Between Failures	Actions on Down	Labor Rule	Repair Time	Actions on Repair	To	Actions on Output	Setup on Repair	% Life Used
1	Disponibilidad	<input checked="" type="checkbox"/>	Available		NegExp (10512000)	N	Y	1314000.0	N	N	N	<input type="checkbox"/>	Undefined
2	Fumadero	<input checked="" type="checkbox"/>	Available		12000.0	N	N	1500.0	N	N	N	<input type="checkbox"/>	Undefined

FIGURA 7.13 AVERÍAS DEL PALETIZADO

### Resumen

El paletizado se refiere al almacenamiento de todas las cubiertas que han pasado por los puestos de control 1 y 2, las cuáles pasan a llamarse neumáticos y estarán disponibles para su próxima venta al cliente.



## 8. ESCENARIOS ALTERNATIVOS: EVALUACIÓN Y ANÁLISIS

Como conclusión he de añadir que se han logrado llevar a cabo todos los modelos planteados y cada una de las simulaciones de ellos variando la producción diaria, para así poder contemplar cuál de ellos es el que ofrece un mejor comportamiento. En las **Figura 8.1** y **Figura 8.2** se pueden observar las principales diferencias entre el modelo partido y el modelo sin partir.

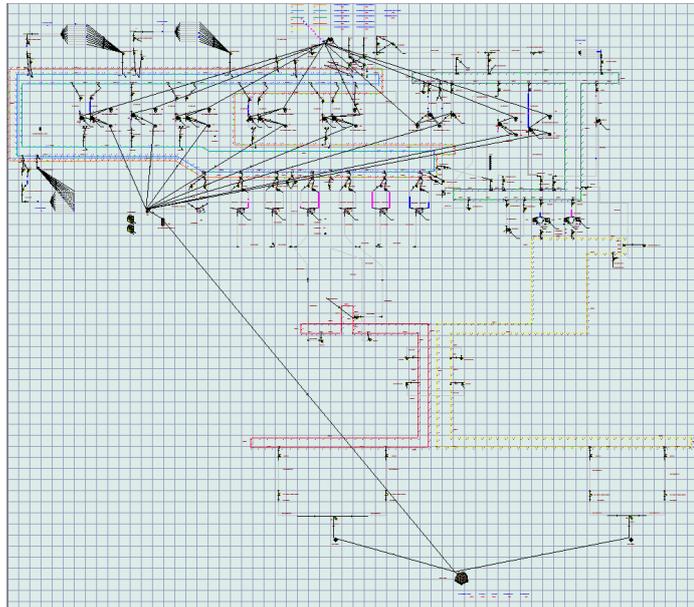


FIGURA 8.1 MODELO PARTIDO

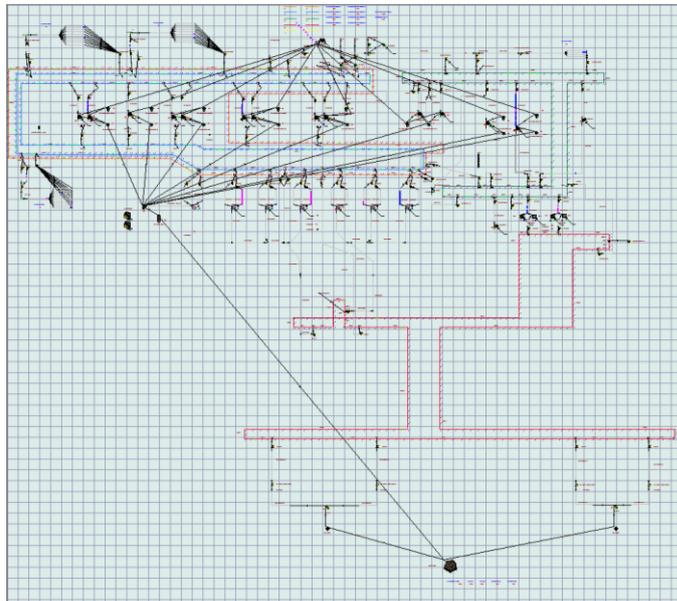


FIGURA 8.2 MODELO SIN PARTIR

Como se puede observar en ambas ilustraciones, la principal diferencia entre ellos consiste en que el convoy 4 se ha dividido en 2 convoys, para que así el puesto de control 2 de los convoys 1 y 2 y la del convoy 3 no descarguen sobre el mismo convoy, logrando evitar que éstas se quiten ganchos entre sí para que los operarios no tengan la necesidad de paletizar a mano. Esto supondría un ahorro de tiempo muy significativo para los operarios del puesto de control 2, el cual podrán emplear procesando un mayor número de cubiertas.

La estrategia seguida ha consistido en llevar a cabo un par simulaciones para cada uno de los modelos, una de ellas a razón de una producción diaria de 15.000 cubiertas y la otra a razón de 16.000, variando en cada modelo el número de trabajadores destinados al puesto de control 2, para así comprobar cuál sería el efectivo adecuado en función de la producción. Lo más lógico sería pensar que los modelos ofrecerán un mejor comportamiento con un operario más, pero se quiere comprobar hasta qué punto es asumible y no merece la pena su contratación. En la **Tabla 8.1** se muestran cuáles son los principales parámetros que variarán de un modelo a otro:

Variables
Tiempo de ciclo de entrada de cubiertas (Producción diaria)
Incentivo en el puesto de control 2 (7 u 8 operarios)
Partición del convoy 4
Inversión del convoy 1

TABLA 8.1 VARIABLES DE LOS MODELOS



8.1- SIN PARTIR EL CONVOY 4 NI INVERTIR EL 1, SITUACIÓN ACTUAL:  
 En la **Tabla 8.2** se estipularán las características de las variables empleadas en este modelo y en la **Figura 8.3** los resultados de la simulación.

	Variables
Tiempo de ciclo de entrada de cubiertas (Producción diaria)	15,000 diarias
Incentivo en el puesto de control 2 (7 u 8 operarios)	7
Partición del convoy 4	No
Inversión del convoy 1	No

TABLA 8.2 PRIMER EXPERIMENTO

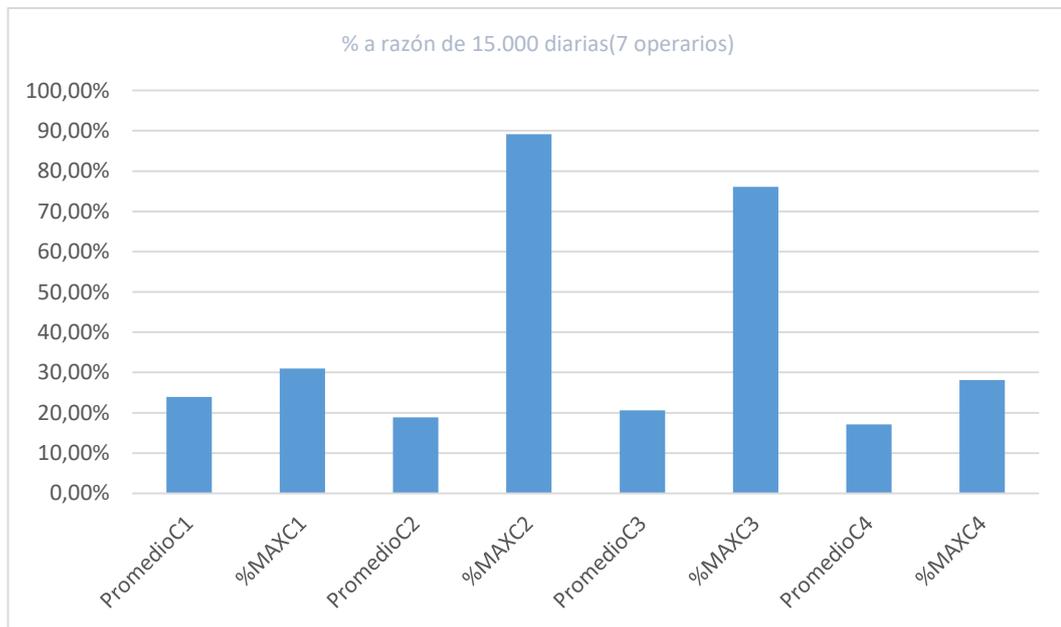


FIGURA 8.3 RESULTADOS EN LA OCUPACIÓN DEL PRIMER EXPERIMENTO

En la **Tabla 8.3** se estipularán las características de las variables empleadas en este modelo y en la **Figura 8.4** los resultados de la simulación.

	Variables
Tiempo de ciclo de entrada de cubiertas (Producción diaria)	15,000 diarias
Incentivo en el puesto de control 2 (7 u 8 operarios)	8
Partición del convoy 4	No
Inversión del convoy 1	No

TABLA 8.3 SEGUNDO EXPERIMENTO

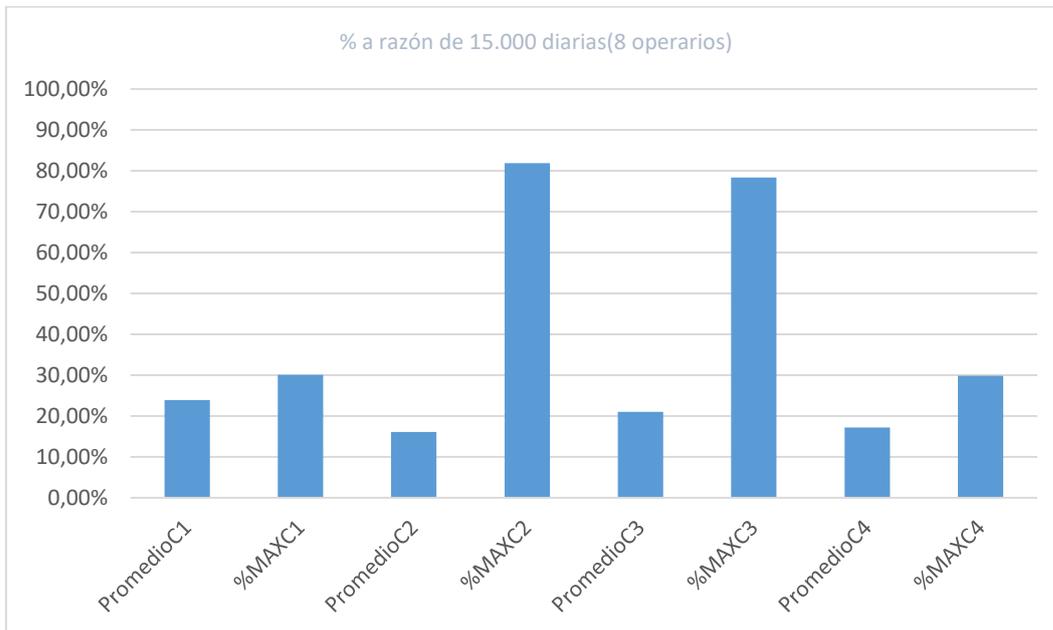


FIGURA 8.4 RESULTADOS EN LA OCUPACIÓN DEL SEGUNDO EXPERIMENTO

A partir de esta comparativa para el nivel productivo planteado podemos deducir que la contratación de un operario más en el puesto de control 2 no supone grandes beneficios en la ocupación de los convoys, y por lo tanto no merece el coste consiguiente y por lo tanto es mejor y más rentable trabajar con 7 operarios. Veremos si subiendo el nivel productivo a 16.000 diarias comienza a merecer la pena:

En la **Tabla 8.4** se estipularán las características de las variables empleadas en este modelo y en la **Figura 8.5** los resultados de la simulación.

	Variables
Tiempo de ciclo de entrada de cubiertas (Producción diaria)	16,000 diarias
Incentivo en el puesto de control 2 (7 u 8 operarios)	7
Partición del convoy 4	No
Inversión del convoy 1	No

TABLA 8.4 TERCER EXPERIMENTO

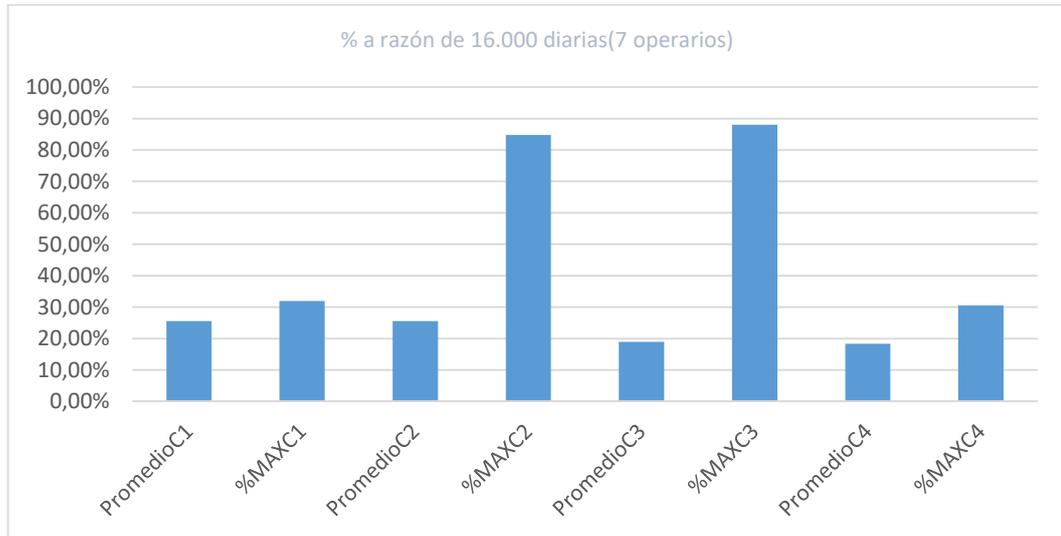


FIGURA 8.5 RESULTADOS EN LA OCUPACIÓN DEL TERCER EXPERIMENTO

En la **Tabla 8.5** se estipularán las características de las variables empleadas en este modelo y en la **Figura 8.6** los resultados de la simulación.

	Variables
Tiempo de ciclo de entrada de cubiertas (Producción diaria)	16,000 diarias
Incentivo en el puesto de control 2 (7 u 8 operarios)	8
Partición del convoy 4	No
Inversión del convoy 1	No

TABLA 8.5 CUARTO EXPERIMENTO

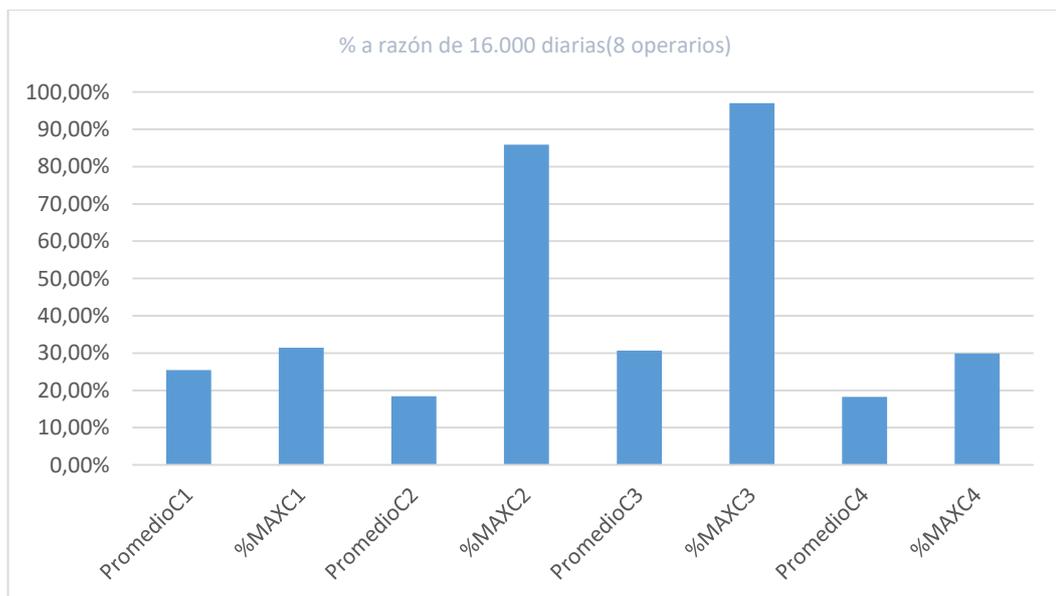


FIGURA 8.6 RESULTADOS EN LA OCUPACIÓN DEL CUARTO EXPERIMENTO

Se puede observar que, con respecto a la producción diaria de 15000 cubiertas, el incremento de la producción produce una subida bastante acentuada en el convoy 3, que también se puede notar en el convoy 2, aunque más levemente.

Vemos que hay una gran diferencia entre la simulación con 7 operarios y con la de 8. Esto no es debido a que haya un operario más, ya que no tiene sentido y debería producir el efecto contrario, puesto que en el convoy 3 no hay grandes diferencias de una simulación a la otra, sin embargo, es bastante probable que en la simulación con 8 operarios se haya producido alguna avería de mayor envergadura que haya tenido como consecuencia que el convoy se haya saturado, ya sea por la coincidencia de mantenimientos o cambios de utillaje en varias máquinas al mismo tiempo.

En cuanto a la variación con respecto a contar con un operario más en el puesto de control 2, se puede apreciar que a este nivel productivo no nos produciría una mejora lo suficientemente sustancial en la ocupación media y máxima de los convoys 1 y 2, por lo que no sería necesaria su contratación.



FIGURA 8.7 REPRESENTACIÓN SIN PARTIR NI INVERTIR

Se puede comprobar que el convoy 3 alcanza un máximo muy elevado, cercano al 98%, por lo que podemos afirmar que esta disposición no será en un principio aquella que ofrece un mejor comportamiento en los convoys. Veamos los siguientes modelos:



8.2- SIN INVERTIR EL CONVOY 1 CON EL CONVOY 4 PARTIDO, SITUACIÓN PROGRAMADA:

En la **Tabla 8.6** se estipularán las características de las variables empleadas en este modelo y en la **Figura 8.8** los resultados de la simulación.

	Variables
Tiempo de ciclo de entrada de cubiertas (Producción diaria)	15,000 diarias
Incentivo en el puesto de control 2 (7 u 8 operarios)	7
Partición del convoy 4	Si
Inversión del convoy 1	No

TABLA 8.6 PRIMER EXPERIMENTO

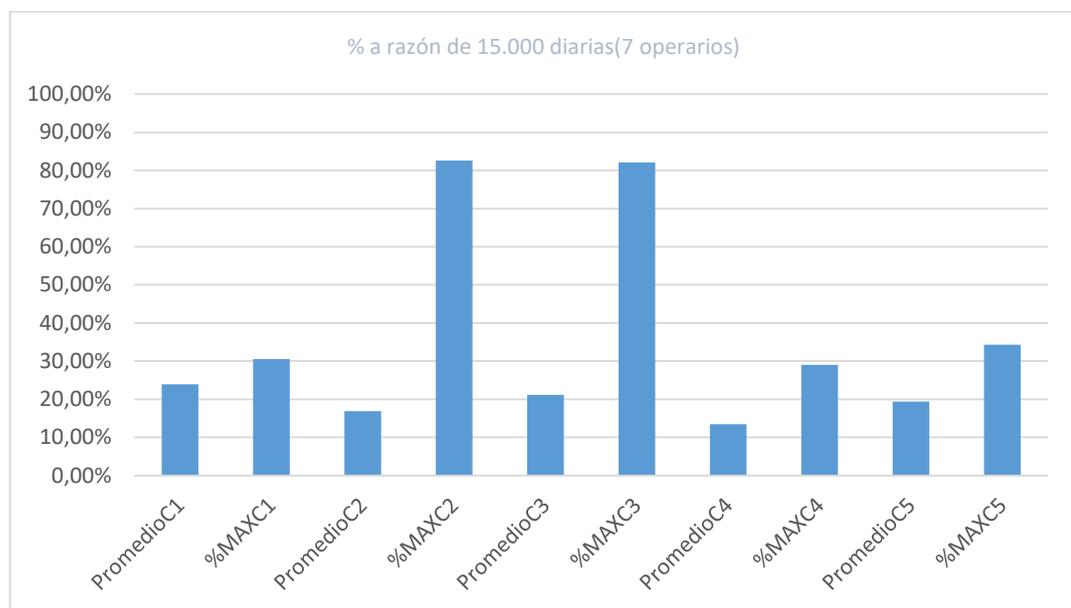


FIGURA 8.8 RESULTADOS EN LA OCUPACIÓN DEL PRIMER EXPERIMENTO

En la **Tabla 8.7** se estipularán las características de las variables empleadas en este modelo y en la **Figura 8.9** los resultados de la simulación.

	Variables
Tiempo de ciclo de entrada de cubiertas (Producción diaria)	15,000 diarias
Incentivo en el puesto de control 2 (7 u 8 operarios)	8
Partición del convoy 4	Si
Inversión del convoy 1	No

TABLA 8.7 SEGUNDO EXPERIMENTO

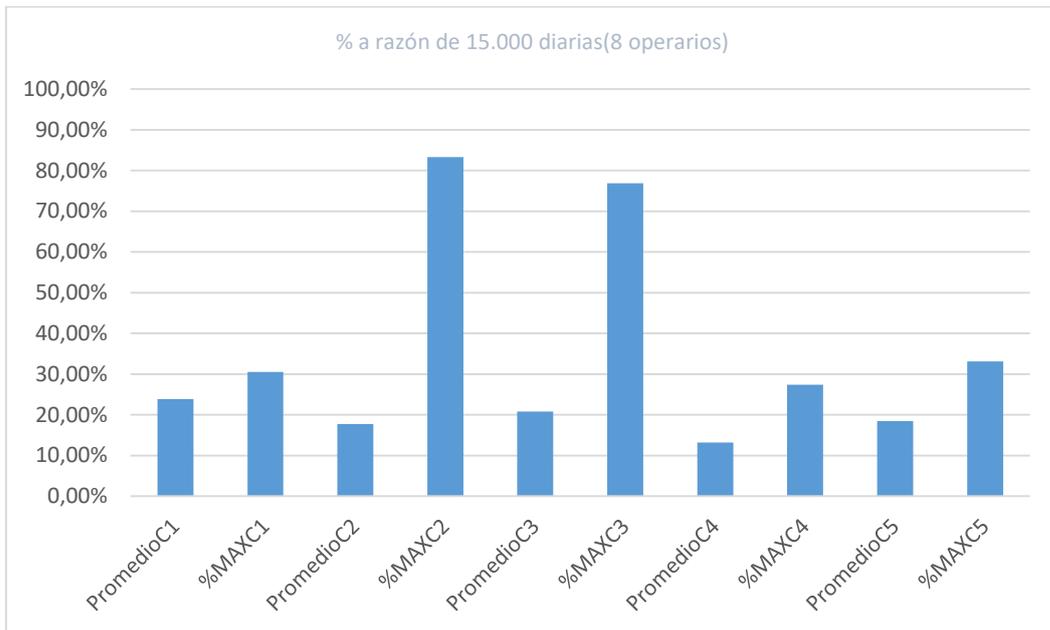


FIGURA 8.9 RESULTADOS EN LA OCUPACIÓN DEL SEGUNDO EXPERIMENTO

En esta comparación se puede observar cómo los picos producidos en los convoys 2 y 3 rondan alrededor del 80% y que la contratación de un operario más disminuye levemente la ocupación del convoy 3, pero aun así sigue siendo una mejora muy banal comparada con el coste de contratación de un operario más. Veremos cuál será el efecto si subimos la producción en 1.000 cubiertas diarias.

En la **Tabla 8.8** se estipularán las características de las variables empleadas en este modelo y en la **Figura 8.10** los resultados de la simulación.

	Variables
Tiempo de ciclo de entrada de cubiertas (Producción diaria)	16,000 diarias
Incentivo en el puesto de control 2 (7 u 8 operarios)	7
Partición del convoy 4	Si
Inversión del convoy 1	No

TABLA 8.8 TERCER EXPERIMENTO

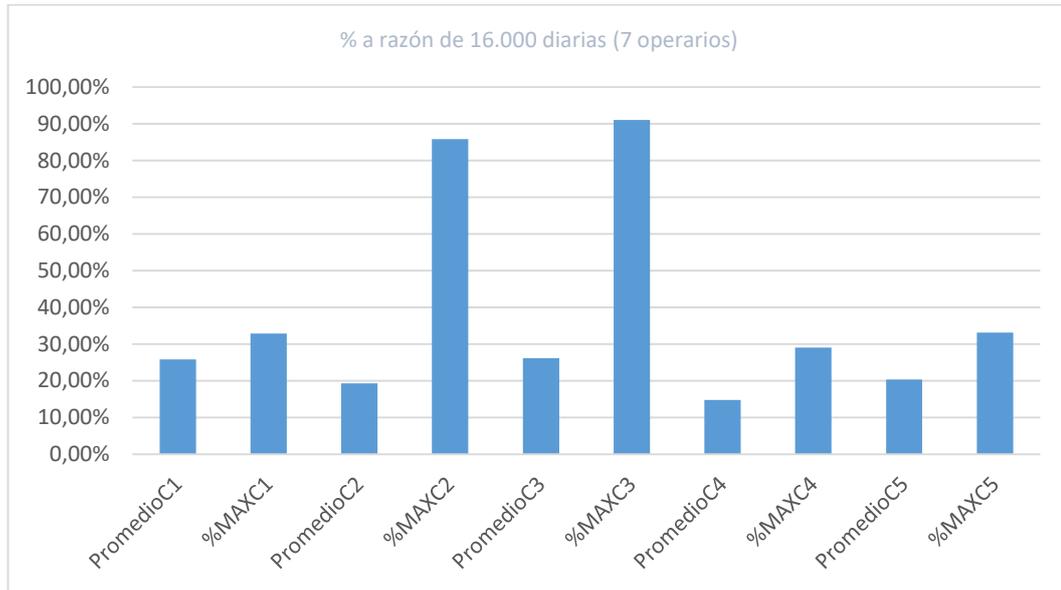


FIGURA 8.10 RESULTADOS EN LA OCUPACIÓN DEL TERCER EXPERIMENTO

En la **Tabla 8.9** se estipularán las características de las variables empleadas en este modelo y en la **Figura 8.11** los resultados de la simulación.

	Variables
Tiempo de ciclo de entrada de cubiertas (Producción diaria)	16,000 diarias
Incentivo en el puesto de control 2 (7 u 8 operarios)	8
Partición del convoy 4	Si
Inversión del convoy 1	No

TABLA 8.9 CUARTO EXPERIMENTO

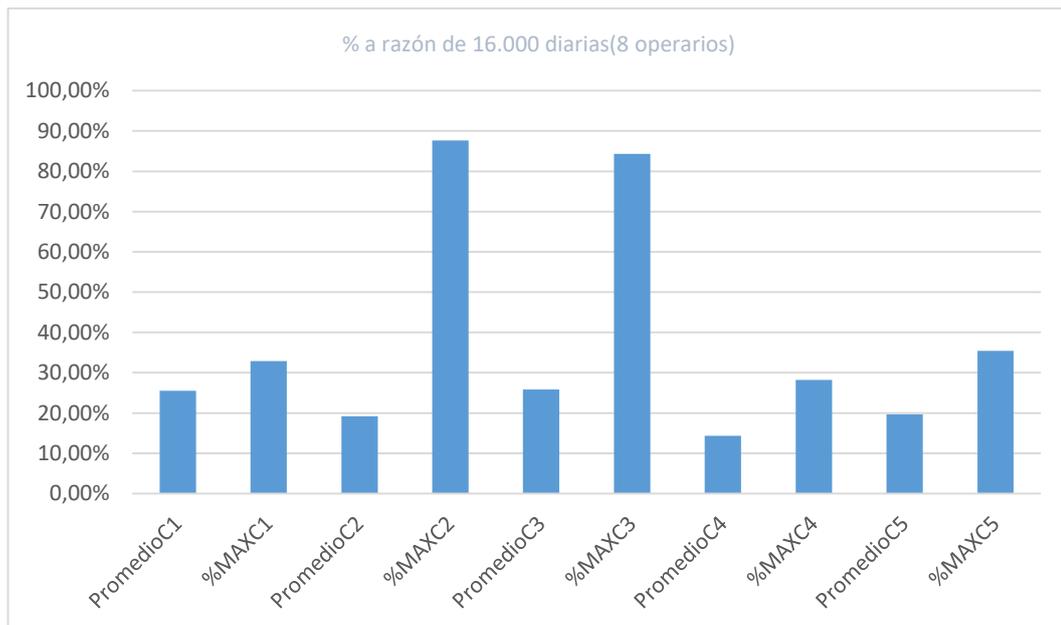


FIGURA 8.11 RESULTADOS EN LA OCUPACIÓN DEL CUARTO EXPERIMENTO

Se puede observar como el incremento de la producción se ve reflejado en el crecimiento tanto de la ocupación media como de la máxima, y sobretodo está más acentuado en los convoys 2 y 3, que llegan a máximos de incluso el 90%; porcentaje que se ve ligeramente rebajado en la simulación que tiene el incentivo de 8 operarios en el puesto de control 2; sin embargo, tampoco podemos apreciar una disminución lo suficientemente sustancial para decidir su contratación, por lo que posteriormente seguiremos trabajando con el modelo que tiene el incentivo de 7 operarios, que ofrece un comportamiento bastante similar. También se puede observar que la ocupación del resto de convoys aumenta ligeramente con el incremento del nivel productivo, pero no se aprecia ningún pico que pueda producir problemas de saturación de los convoys que limiten el funcionamiento del taller.

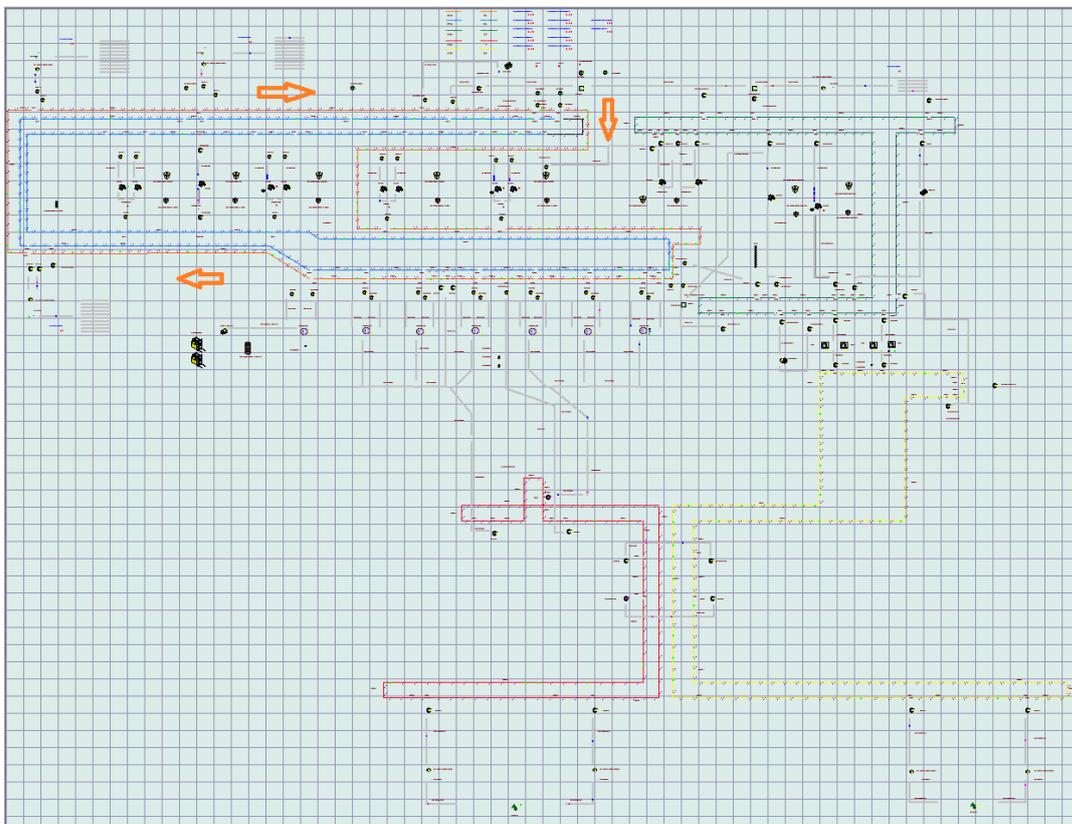


FIGURA 8.12 REPRESENTACIÓN PARTIDO SIN INVERTIR



### 8.3- CONVOY 1 INVERTIDO Y CONVOY 4 SIN PARTIR, SITUACIÓN PLANTEADA:

En la **Tabla 8.10** se estipularán las características de las variables empleadas en este modelo y en la **Figura 8.13** los resultados de la simulación.

	Variables
Tiempo de ciclo de entrada de cubiertas (Producción diaria)	15,000 diarias
Incentivo en el puesto de control 2 (7 u 8 operarios)	7
Partición del convoy 4	No
Inversión del convoy 1	Sí

TABLA 8.10 PRIMER EXPERIMENTO

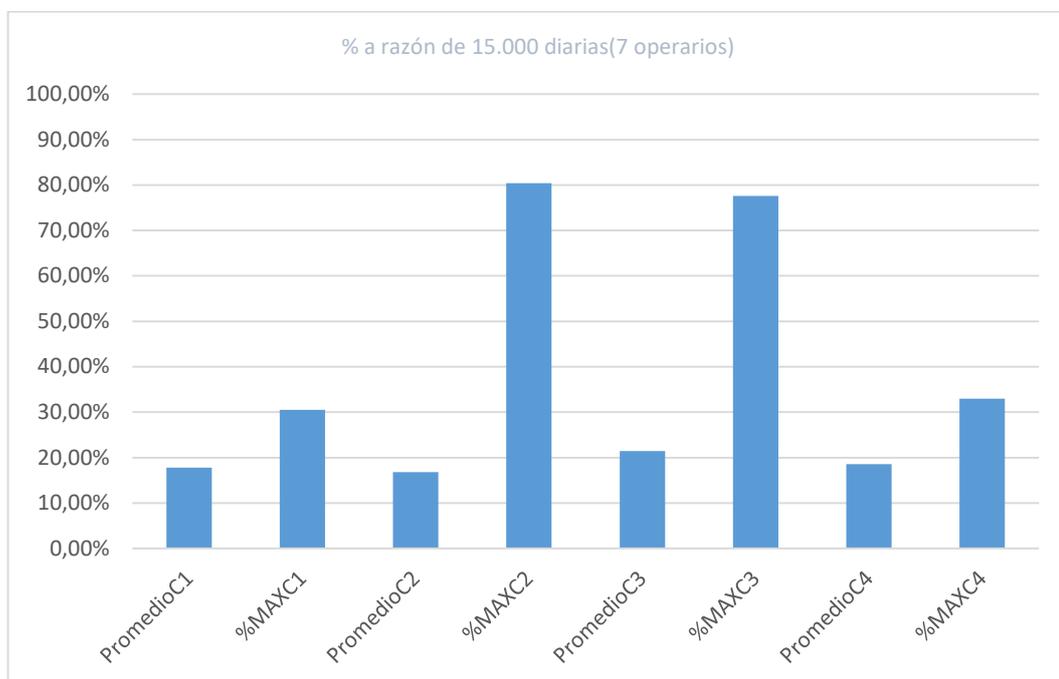


FIGURA 8.13 RESULTADOS EN LA OCUPACIÓN DEL PRIMER EXPERIMENTO

En la **Tabla 8.11** se estipularán las características de las variables empleadas en este modelo y en la **Figura 8.14** los resultados de la simulación.

	Variables
Tiempo de ciclo de entrada de cubiertas (Producción diaria)	15,000 diarias
Incentivo en el puesto de control 2 (7 u 8 operarios)	8
Partición del convoy 4	No
Inversión del convoy 1	Sí

TABLA 8.11 SEGUNDO EXPERIMENTO

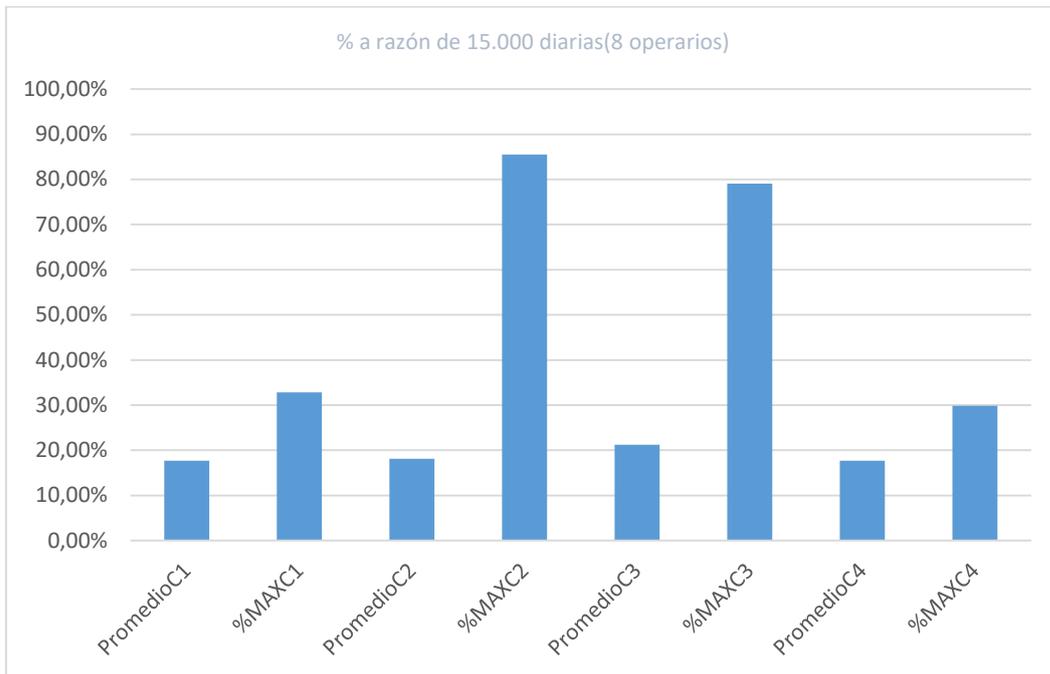


FIGURA 8.14 RESULTADOS EN LA OCUPACIÓN DEL SEGUNDO EXPERIMENTO

Podemos ver como con esta disposición del taller tampoco se ve un cambio sustancial a la hora de contratar un nuevo operario, por lo que lo descartaremos a este nivel productivo, dejando el efectivo del puesto de control 2 en 7 operarios. Se puede ver como en este caso la ocupación promedio y máxima del convoy 2 se ve aumentada al incluir un nuevo operario, pero, como hemos comentado anteriormente, esto no es debido al hecho de que haya un operario más, si no que es debido a que se ha producido un número mayor de averías, cambios de utillaje o mantenimientos preventivos, lo cual ha condicionado la ocupación de los convoys.

En la **Tabla 8.12** se estipularán las características de las variables empleadas en este modelo y en la **Figura 8.15** los resultados de la simulación.

	Variables
Tiempo de ciclo de entrada de cubiertas (Producción diaria)	16,000 diarias
Incentivo en el puesto control 2 (7 u 8 operarios)	7
Partición del convoy 4	No
Inversión del convoy 1	Sí

TABLA 8.12 TERCER EXPERIMENTO

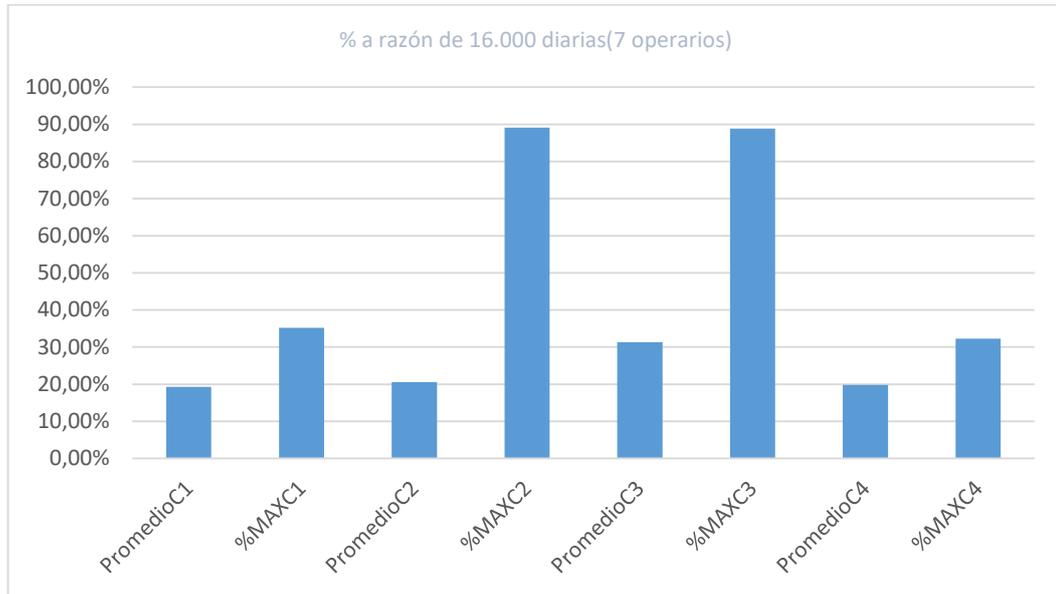


FIGURA 8.15 RESULTADOS EN LA OCUPACIÓN DEL TERCER EXPERIMENTO

En la **Tabla 8.13** se estipularán las características de las variables empleadas en este modelo y en la **Figura 8.16** los resultados de la simulación.

	Variables
Tiempo de ciclo de entrada de cubiertas (Producción diaria)	16,000 diarias
Incentivo en el puesto de control 2 (7 u 8 operarios)	8
Partición del convoy 4	No
Inversión del convoy 1	Sí

TABLA 8.13 CUARTO EXPERIMENTO

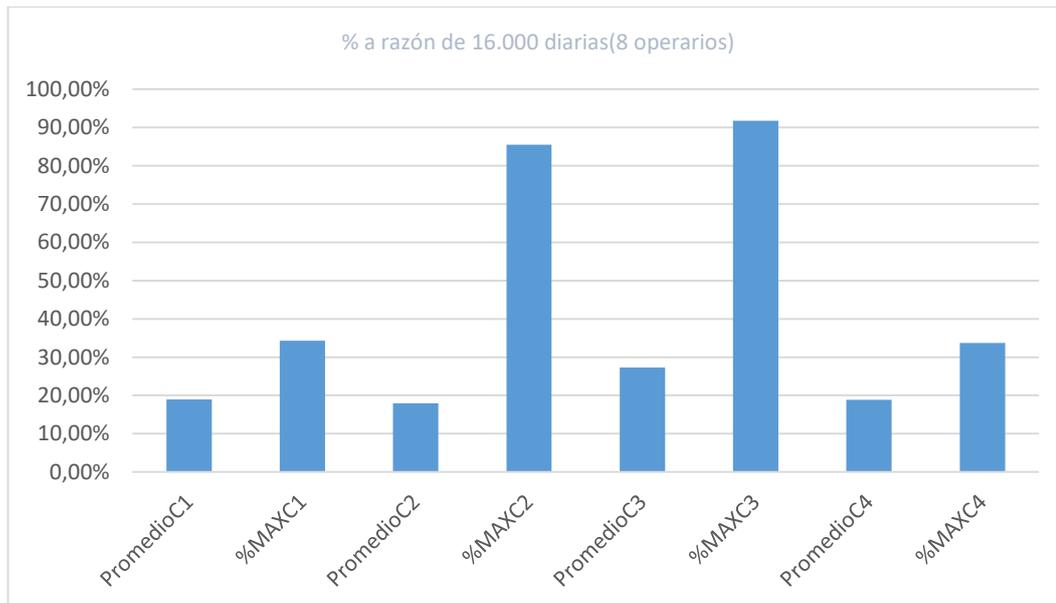


FIGURA 8.16 RESULTADOS EN LA OCUPACIÓN DEL CUARTO EXPERIMENTO

Podemos observar cómo la inclusión de un nuevo operario en el puesto de control 2 sigue sin ofrecer un cambio sustancial en el comportamiento del taller que haga que merezca la pena su contratación y que, pese a los elevados máximos, el taller ofrece un buen comportamiento con respecto a las ocupaciones.

A pesar de ello, se puede comprobar que, durante el funcionamiento del taller así dispuesto, se producen picos muy elevados que pueden poner en dificultades el correcto funcionamiento del mismo. El convoy 3 alcanza máximos inadmisibles que será necesario corregir para así lograr la optimización del funcionamiento del taller.

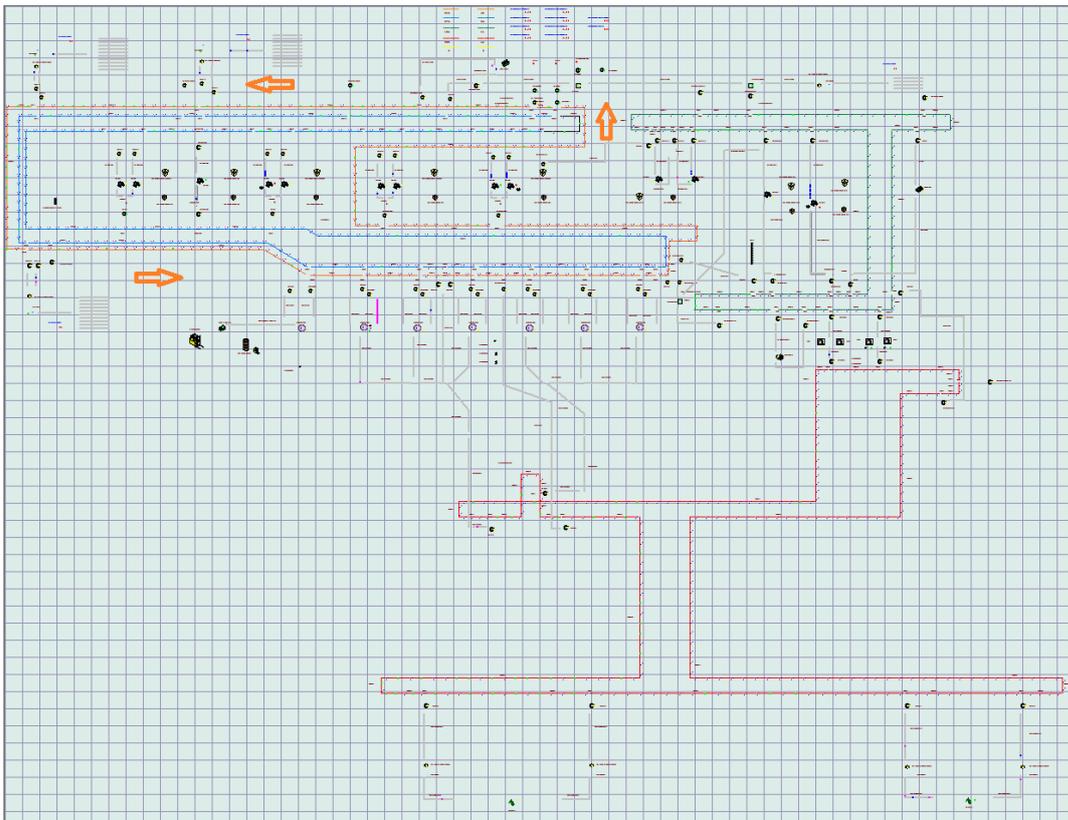


FIGURA 8.17 REPRESENTACIÓN SIN PARTIR INVERTIDO



### 8.4- CONVOY 1 INVERTIDO Y CONVOY 4 PARTIDO, SITUACIÓN ALTERNATIVA COMBINACIÓN DE LAS DOS ANTERIORES:

En la **Tabla 8.14** se estipularán las características de las variables empleadas en este modelo y en la **Figura 8.18** los resultados de la simulación.

	Variables
Tiempo de ciclo de entrada de cubiertas (Producción diaria)	15,000 diarias
Incentivo en el puesto de control 2 (7 u 8 operarios)	7
Partición del convoy 4	Sí
Inversión del convoy 1	Sí

TABLA 8.14 PRIMER EXPERIMENTO

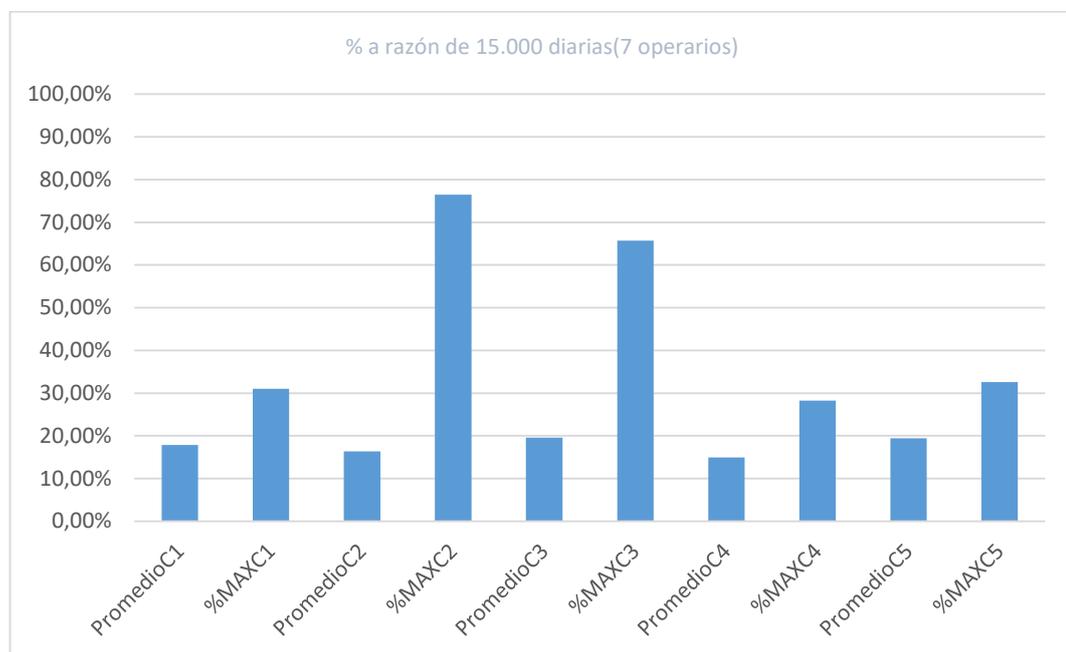


FIGURA 8.18 RESULTADOS EN LA OCUPACIÓN DEL PRIMER EXPERIMENTO

En la **Tabla 8.15** se estipularán las características de las variables empleadas en este modelo y en la **Figura 8.19** los resultados de la simulación.

	Variables
Tiempo de ciclo de entrada de cubiertas (Producción diaria)	15,000 diarias
Incentivo en el puesto de control 2 (7 u 8 operarios)	8
Partición del convoy 4	Sí
Inversión del convoy 1	Sí

TABLA 8.15 SEGUNDO EXPERIMENTO

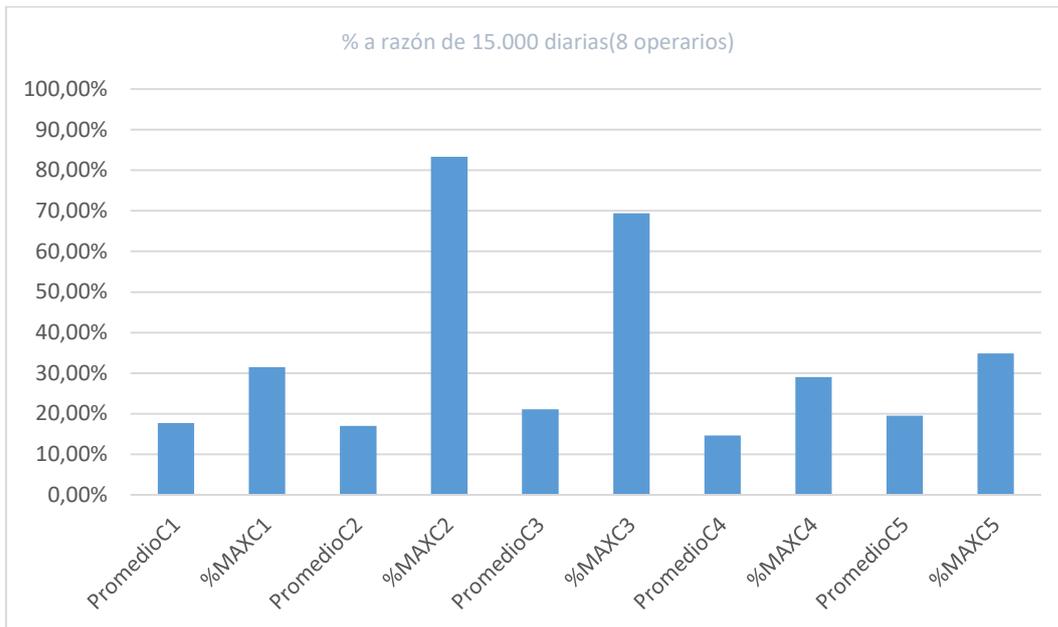


FIGURA 8.19 RESULTADOS EN LA OCUPACIÓN DEL SEGUNDO EXPERIMENTO

Se puede comprobar como con esta disposición se produce una reducción de las ocupaciones media y máxima y que la contratación de un operario más en el puesto de control 2 no es lo suficientemente significativa para que pueda valer la pena llevarla a cabo.

En la **Tabla 8.16** se estipularán las características de las variables empleadas en este modelo y en la **Figura 8.20** los resultados de la simulación.

	Variables
Tiempo de ciclo de entrada de cubiertas (Producción diaria)	16,000 diarias
Incentivo en el puesto de control 2 (7 u 8 operarios)	7
Partición del convoy 4	Sí
Inversión del convoy 1	Sí

TABLA 8.16 TERCER EXPERIMENTO

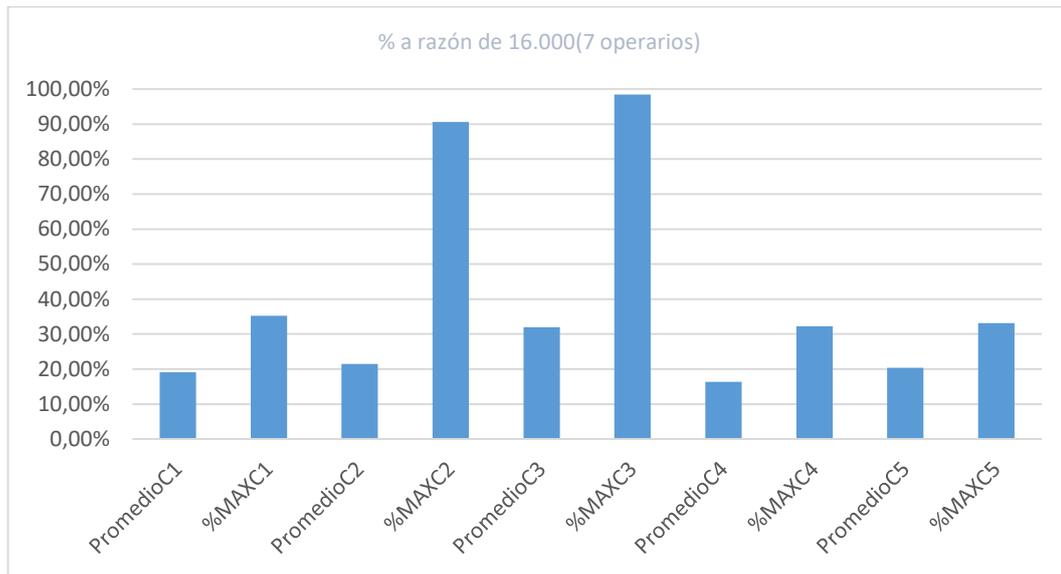


FIGURA 8.20 RESULTADOS EN LA OCUPACIÓN DEL TERCER EXPERIMENTO

En la **Tabla 8.17** se estipularán las características de las variables empleadas en este modelo y en la **Figura 8.21** los resultados de la simulación.

	Variables
Tiempo de ciclo de entrada de cubiertas (Producción diaria)	16,000 diarias
Incentivo en el puesto de control 2 (7 u 8 operarios)	8
Partición del convoy 4	Sí
Inversión del convoy 1	Sí

TABLA 8.17 CUARTO EXPERIMENTO

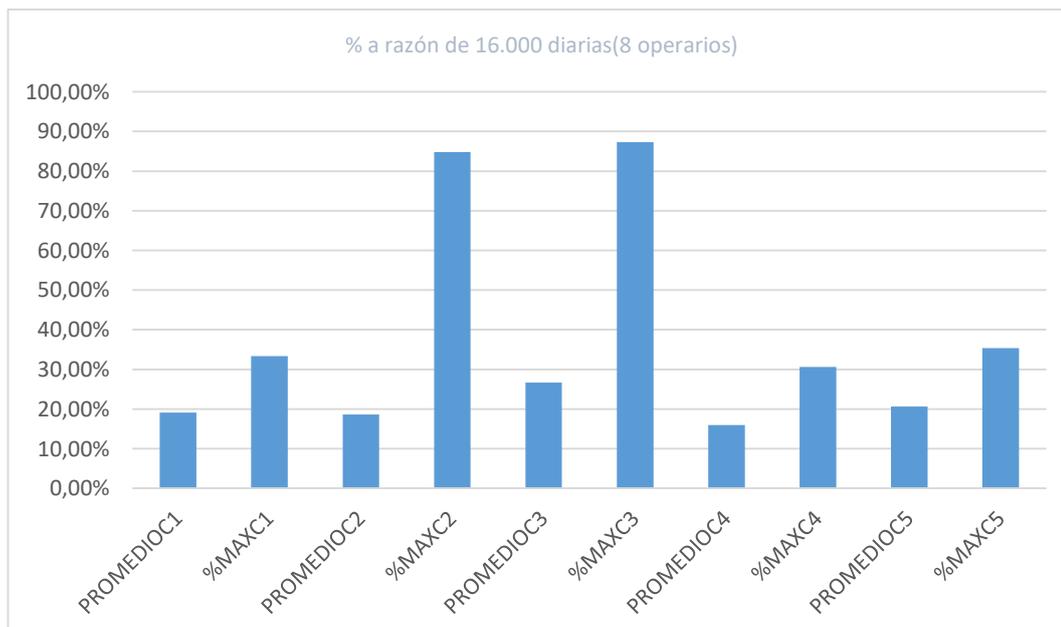


FIGURA 8.21 RESULTADOS EN LA OCUPACIÓN DEL CUARTO EXPERIMENTO

En esta comparación se puede observar como para 16.000 cubiertas diarias y 7 operarios en el puesto de control 2 la ocupación máxima del convoy 2 se ve sustancialmente incrementada, provocando que la opción de la contratación de un operario más para trabajar en dicho puesto cada vez se haga más acuciante. Tal vez las 16.000 cubiertas sea, en este caso, el punto productivo a partir del que dicha contratación comienza a merecer la pena.

También se puede ver cómo la ocupación del convoy 3 llega a máximos inadmisibles probablemente debido a la coincidencia de averías, mantenimientos o cambios de utillaje. Este problema se reduce en torno a un 10% en la simulación con 8 operarios, pero como ya se sabe, la contratación de este octavo operario para el puesto de control 2 no tiene influencia alguna en dicho convoy, por lo que se puede pensar que dicho problema haya sido provocado por la aleatoriedad de las averías y mantenimientos en el tiempo.

Con las comparaciones realizadas anteriormente podemos dilucidar que la opción de contratar un octavo operario destinado al puesto de control 2 nunca se hace crucial para el nivel productivo modelado, sin embargo, es posible que, si la producción aumenta, sí que sea necesario, ya que es un puesto por el que han de pasar todas aquellas cubiertas que no lleguen desde el puesto de control 0 y el cuello de botella del taller.

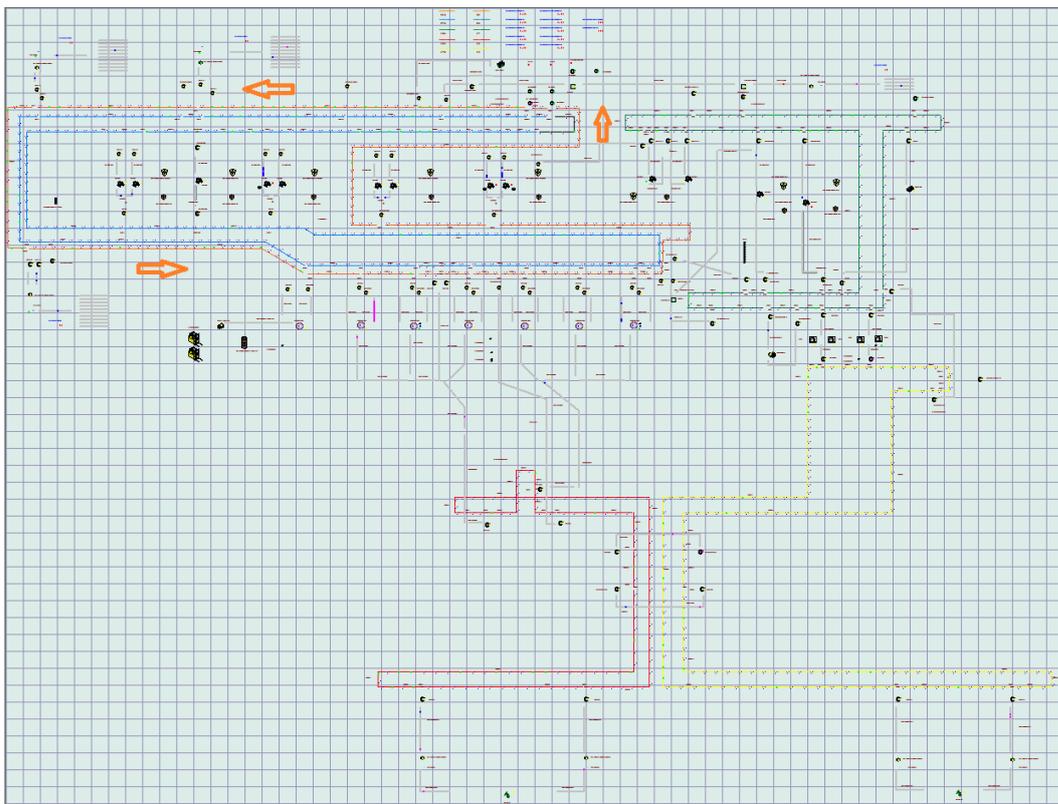


FIGURA 8.22 REPRESENTACIÓN PARTIDO INVERTIDO



Ahora se llevará a cabo una comparación de la ocupación de los convoys para un efectivo de 7 operarios en el puesto de control 2, situación en la que se ha podido comprobar que el taller ofrece un mejor comportamiento en relación al número de operarios. La situación planteada será a su vez la de una capacidad productiva mayor, ya que ésta será la situación más crítica sobre la que debamos actuar.

En primera instancia se compararán la situación actual con la situación de partir el convoy, es decir, la situación en la que los convoys 4 y 5 están unidos y la situación en la que realizamos la partición, ambos con el convoy 1 en la dirección ya establecida.

Se puede comprobar cómo tanto la ocupación media como la máxima del convoy 1 apenas sufre una variación significativa. Sin embargo, también se puede observar cómo la ocupación media del convoy 2 se ve reducida en torno a un 7% mientras que la máxima se mantiene en los mismos números. La ocupación media del convoy 3 aumenta aproximadamente ese 7% que pierde la media del 2 y la máxima se ve incrementada pero no significativamente.

A continuación, se procederá a comparar la situación actual con la situación planteada, es decir, la situación en la que el convoy 1 se mueve en el sentido establecido y la modificación en el que éste cambia, ambos con el convoy 4 sin partir.

Se puede percibir que las ocupaciones medias de los convoys 1 y 2 se ven reducidas en torno a un 6 y un 4 % respectivamente, pero también que se produce un incremento en la ocupación máxima de éstos de alrededor de un 3%. Con respecto a la ocupación del convoy 3 se puede comprobar cómo la ocupación media sube alrededor de un 12% y la máxima se mantiene en los mismos números.

Ahora se comparará la situación actual con la combinación de las dos planteadas anteriormente, es decir, la situación en la que el convoy 1 se mueve en el sentido establecido y con el convoy 4 sin partir, con la situación en la que el convoy 1 se invierte y el convoy 4 es partido en los convoys 4 y 5.

Se puede comprobar cómo la ocupación media del convoy 1 se ve disminuida en torno a un 6% mientras que la máxima aumenta un 4%. La ocupación media del convoy 2 también disminuye ligeramente, alrededor de un 3%, pero la máxima aumenta un 6%. Con respecto al convoy 3, la ocupación media se ve incrementada un 12% y la máxima un 10%, llegando a niveles casi inadmisibles de ocupación, por lo que se ha decidido, únicamente para este caso, llevar a cabo la misma comparación, pero variando el incentivo del puesto de control 2, siendo éste 8 operarios.

En este caso sí se puede observar cómo se produce una disminución de la ocupación media del convoy 1, mientras que en la máxima no se aprecian cambios significativos. Se puede ver también cómo en el convoy 2 no hay prácticamente variación de un modelo a otro, pero en el convoy 3 se produce un decremento de la ocupación media de alrededor de un 4% mientras que la máxima disminuye un 10%.





## CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

A continuación se mostrarán las principales conclusiones extraídas de este trabajo, así como las líneas futuras de estudio, en las que se tratarán posibles modificaciones planteadas.

### CONCLUSIONES

Anteriormente, se llevó a cabo una comparación de la ocupación de los convoys, en la que se pudo comprobar que el taller ofrece un mejor comportamiento para un efectivo de 7 operarios en el puesto de control 2. La situación planteada será a su vez la de una capacidad productiva mayor, ya que ésta será la situación más crítica sobre la que debamos actuar.

En lo referente a la alternativa de partición del convoy 4 en los convoys 4 y 5 frente a la alternativa de no hacerlo, se puede afirmar que el comportamiento del modelo es bastante similar en ambos casos, sin embargo, esta nueva disposición podría ayudar a paliar los problemas acontecidos a los operarios del puesto de control 2 cuando el convoy 4 se saturaba y que les obligaban a paletizar a mano.

Seguidamente, se procedió a comparar la situación actual con la situación planteada, es decir, la situación en la que el convoy 1 se mueve en el sentido establecido y la modificación en la que éste cambia, ambos con el convoy 4 sin partir.

Para poder llegar a una conclusión significativa, se deberá valorar cuál de las siguientes dos opciones se ajusta más a lo que dirección desea, estableciendo un orden de preferencia entre la absorción de los picos de producción y la disminución de la ocupación media de los convoys 1 y 2, que serían a priori los dos más problemáticos.

Asimismo, se procedió a comparar la situación actual con la combinación de las dos planteadas anteriormente, es decir, la situación en la que el convoy 1 se mueve en el sentido establecido actualmente y con el convoy 4 sin partir, con la situación en la que el convoy 1 se invierte y el convoy 4 es partido en los convoys 4 y 5.

Se puede afirmar que el comportamiento del taller se estabiliza con esta disposición para grandes capacidades productivas, a partir de las 16.000 cubiertas diarias, pero siendo necesaria la contratación de un operario más en el puesto de control 2. La ventaja que tiene la situación de invertir el convoy 1 y partir el 4 es que aporta las cualidades positivas de las dos por separado, pero también los inconvenientes.

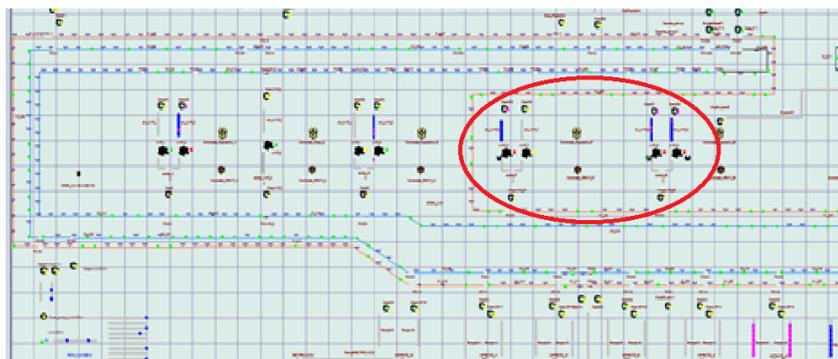
Por ejemplo, se ha podido observar que al igual que con la disposición inicial se formaba cola a la entrada del circuito del convoy 1, al invertir dicho convoy se solucionaba el problema. Sin embargo, surgían problemas de descarga en otra serie de máquinas, ya que ésta se veía condicionada por la prioridad asignada a esta cola de entrada.

Al invertir el convoy 1 se produce la circunstancia de que los puestos de las máquinas número 6, 7, 8 y 9 del puesto de control 1 tengan problemas de descarga, ya que al pasar las cubiertas del convoy primero por los almacenes y después por la descarga al puesto de control 2, si estos puestos no son capaces de absorber todas las cubiertas allí destinadas, se produce como consecuencia que las mismas hayan de dar otra vuelta al convoy para ver si durante ese tiempo los operarios situados en dicho puesto han sido capaces de evacuar suficientes cubiertas para que las que estén dando la segunda vuelta, así como las nuevas cuyo destino sea el puesto de control 2, puedan acceder.

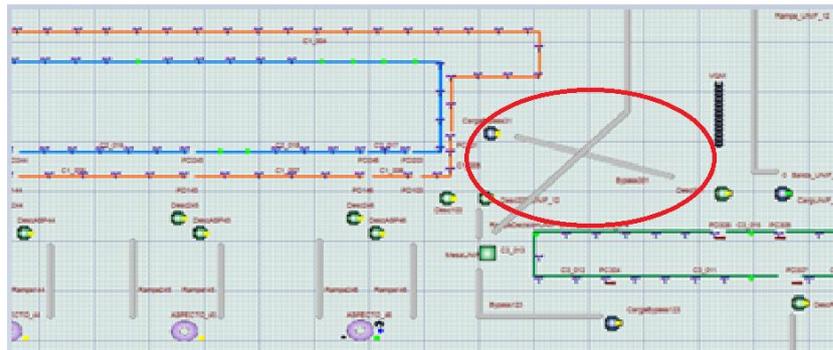
Esta situación de cubiertas dando más de una vuelta provoca que el convoy 1, durante el tramo que pasa por las máquinas del puesto de control 1 anteriormente mencionadas, no vaya vacío y éstas no puedan descargar, pudiendo suceder a su vez que queden bloqueadas a la salida y después a la entrada y como consecuencia, que las cubiertas de los almacenes que tuviesen como destino alguna de estas máquinas hayan de esperar hasta que se vean liberadas.

Lo mismo sucede con el bypass que comunica el convoy 3 con el 1, puesto que si éste último está saturado se podrá producir que el bypass no pueda evacuar las cubiertas haciendo que su cargador quede bloqueado y que todas las cubiertas del convoy 3 que tuviesen como destino alguna de las máquinas del convoy 1 no puedan acceder a éste una vez se alcance la máxima capacidad del bypass, y deban continuar dando vueltas por el convoy 3 hasta que la situación se vea solventada.

Esta es la situación que provoca que muchas veces la ocupación media y máxima del convoy 3 se vea aumentada cuando se invierte el convoy 1. A continuación se dispone una captura de pantalla de los puntos críticos anteriormente mencionados para que su ubicación sea lo más fácil posible:



PUNTO CRÍTICO DE ACUMULACIÓN DE CUBIERTAS PROVOCADO POR LA INVERSIÓN DEL CONVOY 1 A LA ENTRADA DE LAS MÁQUINAS 6, 7, 8 Y 9 DEL PUESTO DE CONTROL 1



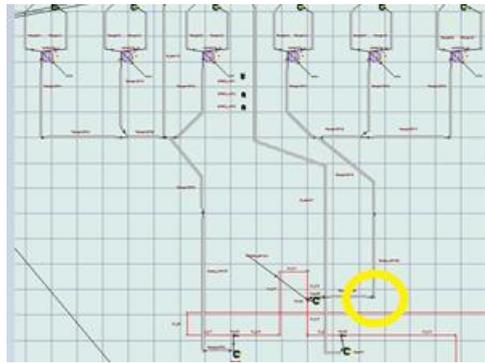
PUNTO CRÍTICO DE ACUMULACIÓN DE CUBIERTAS PROVOCADO POR LA NO ABSORCIÓN DE LAS MISMAS DESDE EL BYPASS QUE CONECTA LOS CONVOYS 1 Y 3 DEBIDO A LA SATURACIÓN DEL PRIMERO

Al invertir, todos aquellos lugares del convoy 1 que se encuentren después de las descargas del puesto de control 2 verán condicionada su descarga si el convoy 1 se satura. Por esto, será de vital importancia, si se decide llevar a cabo la reforma de invertir el convoy 1, establecer la programación adecuada de la descarga del bypass y de las máquinas del puesto de control 1 para que siempre haya huecos libres en el convoy y sean capaces de descargar, y así poder evitar una posible saturación en dichas descargas.

En el caso de no invertirlo, como se puede deducir, las únicas descargas que hay al convoy 1 posteriores al puesto de control 2 son los puntos de entrada al circuito por dicho convoy, puesto que todos los almacenes y demás máquinas del puesto de control 1 descargan en el convoy 2. Por lo tanto, en este caso, el punto crítico se encontraría a la entrada al circuito por el convoy 1.

### LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO

Se propuso como alternativa a la partición del convoy 4, la cual tenía la finalidad de dividirlo en los convoys 4 y 5, situar un buffer a la salida de la cinta transportadora de la salida del punto de control 2, como se puede observar en la siguiente figura. Con la implantación de éste, se pretende evitar que en aquellos momentos en los que el convoy 4 esté saturado o muy lleno, motivo por el cual es frecuente que los operarios del puesto de control 2 deban paletizar a mano, puesto que las cintas transportadoras a la salida no son capaces de absorber la gran cantidad de neumáticos que se dirigen hacia el paletizado, pueda haber un lugar en el que se acumulen los mismos para así lograr evitarlo.



BUFFER QUE PRETENDE SUSTITUIR LA PARTICIÓN DEL CONVOY 4

Por lo tanto, se deberá llevar a cabo un estudio para esclarecer qué es mejor para el funcionamiento del taller, si invertir y que se forme cola en las máquinas del puesto de control 1 y en el bypass 3-1, pensando una correcta programación para así conseguir que se pueda realizar la descarga, o si no invertir y dejar que la cola se forme en la entrada al circuito, también haciendo que la programación de la descarga de entrada al circuito evite que se formen grandes acumulaciones de cubiertas antes de que éstas entren al circuito.



## BIBLIOGRAFÍA

Para poder llevar a cabo este trabajo he tenido que recurrir a una serie de manuales y libros que explican el funcionamiento del programa, lugar al que he acudido cada vez que me surgía una duda, y entre estos documentos están los siguientes:

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Blanchard, B. S. (1992). *Logistics engineering and management*. Englewood Cliffs (New Jersey): Prentice-Hall, s.a.

Cuatrecasas, L. (2013). *Diseño avanzado de procesos y plantas de producción flexible*. Profit editorial.

Law, A. M. & Kelton W. D. (1991). *Simulation modeling & analysis*. New York: MacGraw - Hill Series in Industrial Engineering and Management Science.

### REFERENCIAS WEB:

Ayala, M., 2014: "Simulador para la toma de decisiones". Última visita 11/2017.

Recuperada de:

[https://prezi.com/rkf\\_ksx2erii/simulador-para-la-toma-de-decisiones/](https://prezi.com/rkf_ksx2erii/simulador-para-la-toma-de-decisiones/)

Calzada, J. G., 2015: "Michelin fabricará un millón de neumáticos más al año en Valladolid". Última visita 11/2017.

Recuperada de:

<http://www.elnortedecastilla.es/economia/empresas/201510/08/michelin-fabricara-millon-neumaticos-20151008143016.html>

De Benito Martín, J. J., "Manual básico de Witness". Última visita el 11/2017.

Disponible en:

[https://alojamientos.uva.es/guia\\_docente/uploads/2013/439/41635/1/Documento.pdf](https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2013/439/41635/1/Documento.pdf)

Elyana17, 2012: "Logística interna". Última visita 11/2007.

Recuperada de

<https://es.slideshare.net/Elyana17/logistica-interna-11641973>

Lane, C., 2017: "Bibendum gets new traction". Última visita 11/2017.

Recuperada de:

<https://www.logolounge.com/articles/bibendum-gets-new-traction>

Martín J. C.: “Capacidad productiva”. Última visita 12/2017.

Disponible en:

[http://www.academia.edu/12308755/Capacidad\\_productiva\\_Direcci%C3%B3n\\_de\\_producci%C3%B3n\\_y\\_operaciones](http://www.academia.edu/12308755/Capacidad_productiva_Direcci%C3%B3n_de_producci%C3%B3n_y_operaciones)

Pérez Porto, J., 2009: “Definición de logística”. Última visita 11/2017.

Disponible en:

<https://definicion.de/logistica/>

Plaza, L. M., 2014: “Logística interna”. Última visita 11/2017.

Recuperada de:

<https://es.slideshare.net/linaplaza22/diapositivas-logistica-39310962>

Ramírez, G., 2014: “Softwares utilizados para la simulación de sistemas”. Última visita 11/2017.

Recuperada de:

<http://softwaresdesimulacion.blogspot.com.es/2014/02/softwares-de-simulacion.html>

Salazar, V., 2015: “1.2 Definiciones y aplicaciones (unidad 1-simulacion)”. Última visita 11/2017.

Disponible en:

<https://prezi.com/cr3seaorfpe/12-definiciones-y-aplicaciones-unidad-1-simulacion/>

“Logística interna, qué es y cuando emplearla”. Última visita 11/2017.

Disponible en:

<https://www.transgesa.com/blog/logistica-interna-que-es/>

“Logística”. Última visita el 11/2017.

Disponible en:

<https://es.wikipedia.org/wiki/Log%C3%ADstica>

“Metodología Lean Manufacturing: Qué es y cómo implementarla en tu empresa”. Última visita 11/2017.

Disponible en:

<https://leanmanufacturing10.com/>

“Mejora Continua - Ciclo PDCA”. Última visita 11/2017.



Disponible en:

<http://www.guiadelacalidad.com/modelo-efqm/mejora-continua>

“Tipos de logística empresarial”. Última visita 11/2017.

Disponible en:

<https://www.emprendepyme.net/tipos-de-logistica-empresarial.html>

“Definición de Simulación”. Última visita 11/2017.

Disponible en:

<http://conceptodefinicion.de/simulacion/>

“Logística interna”. Última visita 11/2017.

Recuperada de:

<http://www.alpormayor.ws/logistica/servicios/logistica-interna.html>

“Historia de Michelin”. Última visita 11/2017.

Recuperada de:

<http://www.michelin.es/conoce-michelin/historia>

“Michelin en España”. Última visita 11/2017.

Recuperada de:

<http://www.michelin.es/conoce-michelin/michelin-en-espana>

“Alibaba”. Última visita 11/2017.

Recuperada de:

<https://spanish.alibaba.com/wholesale/Venta-al-por-mayor-m%C3%A1quinas-de-rayos-x.html>

“El orgullo de Michelin”, 2016. Última visita 11/2017.

Recuperada de:

<http://www.encamion.com/articulo/michelin/fabrica/aranda/duero/camiones/desarrollo/fabricacion/formacion/proceso/innovacion/camion/encamion>

“Así se fabrica un neumático Michelin”, 2016. Última visita 11/2017.

Recuperada de:

<http://debates.coches.net/forum/general/159622-asi-se-fabrica-un-neumatico-michelin?164874-Asi-se-fabrica-un-neumatico-michelin=>

“Swisslog presenta ACPaQ, una solución totalmente automatizada para la creación de palés mixtos”, 2017. Última visita 11/2017.

Recuperada de:

<http://www.interempresas.net/Logistica/Articulos/194013-Swisslog-presenta-ACPaQ-solucion-totalmente-automatizada-para-creacion-de-pales-mixtos.html>